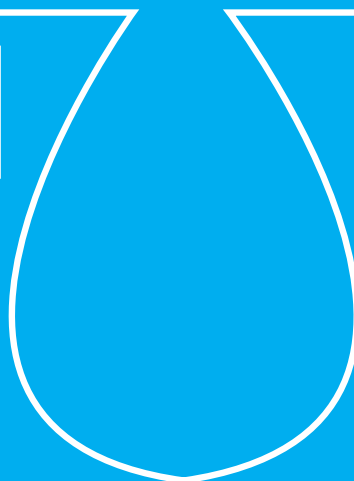


escuela de posgrado
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS DE POSGRADO EN **HIDROLOGÍA**

UAH URJC



máster universitario

en hidrología y gestión de recursos hídricos

proyectos
2015

Estudios Universitarios de Posgrado de las Universidades de Alcalá
y Rey Juan Carlos (coordina Universidad de Alcalá)



instituto
imdea
agua

traguanet



proyectos
2015

introducción

Esta quinta publicación de los mejores proyectos presentados en el Máster en Hidrología y Gestión de recursos hídricos corresponde a la octava promoción de egresados.

Queremos felicitar a los autores de los proyectos por el interesante trabajo realizado.

La Comisión Docente



Estudio Hidráulico del Sistema de Minería Romana “Ruina Montium” | 3 |

autor: **Juan José Castro Ríos**

directores: **Dra. Irene de Bustamante Gutiérrez (UAH)**
Dr. Javier Lillo Ramos (URJC)

Alcalá de Henares, 18 de mayo de 2015

Determinación del estado trófico de las masas de agua superficiales en el río Jarama mediante teledetección | 50 |

autor: **Javier de la Cruz Fernández**

directores: **Dr. Francisco Carreño Conde (URJC)**
Dr. Javier Lillo Ramos (URJC)

Alcalá de Henares, 9 de junio de 2015

Análisis de las crecidas del río Mocotíes hasta Tovar y Santa Cruz de Mora. Andes venezolanos | 75 |

autor: **Alejandro Delgadillo Santander**

directores: **Juan Antonio Pascual (CIDE)**

Dra. Irene de Bustamante (UAH)

Alcalá de Henares, 8 de junio de 2015

Caracterización hidrogeológica, hidrogeoquímica e isotópica de la Cuenca Quilca-Vitor-Chili, sur de Perú | 125 |

autora: **Jacquelyne del Rosio Chagua Flores**

directores: **Dra. M.ª del Carmen Cabrera Santana (ULPGC)**

Dra. Irene de Bustamante Gutiérrez (UAH)

Alcalá de Henares, 21 de mayo de 2015

Análisis de las relaciones de intensidades máximas de lluvias en función de la duración y frecuencia, para la cuenca endorreica del lago de Valencia, Venezuela | 159 |

autora: **Ada Celina Moreno Barrios**

directores: **Dr. Juan Antonio Pascual (CIDE)**

Dra. Irene de Bustamante Gutiérrez (UAH)

Alcalá de Henares, 21 de mayo de 2015

Caracterización del período de cese de caudal en ríos estacionales e intermitentes para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos por métodos hidrológicos. Aplicación a las Cuencas del Guadiana y Guadalquivir | 188 |

autora: **Cristina de Rojas Ortega**

directora: **Dra. Sara Pelegrín Mc Carthy**

Alcalá de Henares, 14 de mayo de 2015

Cuantificación de la recarga de agua en la MAS Aluviales Jarama-Tajuña (030.007) mediante el modelo numérico RENATA | 356 |

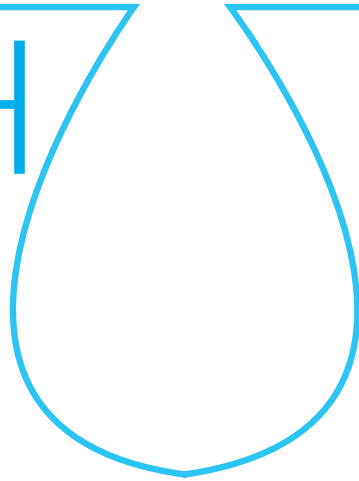
autora: **Lina María Lorenys Sandino Ramírez**

directora: **Dra. Sara Pelegrín Mc Carthy**

Alcalá de Henares, 07 de septiembre de 2015

escuela de posgrado
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS DE POSGRADO EN **HIDROLOGÍA**

UAH URJC



máster universitario

en hidrología y gestión de recursos hídricos

proyectos
2015

Estudio Hidráulico del Sistema de Minería Romana “Ruina Montium”

autor

Juan José Castro Ríos

directores

Dra. Irene de Bustamante Gutiérrez (UAH)

Dr. Javier Lillo Ramos (URJC)

Alcalá de Henares, 18 de mayo de 2015



ÍNDICE

1. Resumen	6
2. Introducción	6
3. El sistema de minería romana “Ruina Montium”	7
3.1. Factores	8
3.1.1. Factores socio-económicos	8
3.1.2. Contexto geológico y geomorfológico de Las Médulas	9
3.1.3. Topografía y Tecnología romana	11
3.1.4. Hidrología de la cuenca	13
3.2. Fundamentos Teóricos	14
3.2.1. Hidráulica de los canales	14
3.2.2. Cavitación en túneles	15
3.2.3. Estabilidad del terreno	16
4. El caso de las médulas	17
4.1. Caracterización de los canales de Las Médulas	17
4.2. Topografía de los canales	19
4.3. Hidrología	23
4.4. La red hidráulica de Las Médulas	29
5. Conclusiones	31
6. Bibliografía	32
7. Anexos	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de la presión de vapor	16
Tabla 2. Caracterización de canales	18
Tabla 3. Superficies de las subcuencas del canal C5	20
Tabla 4. Resultados de la geometría de los canales	22
Tabla 5. Serie de datos de precipitación INM, estación de Ponferrada	23
Tabla 6. Valores previos	23
Tabla 7. Resultados de intensidad de la máxima avenida	24
Tabla 8. Datos geométricos de cada subcuenca	25
Tabla 9. Valores del tiempo de concentración	25
Tabla 10. Intensidades para T500	26
Tabla 11. Intensidades para T100	26
Tabla 12. Intensidades para T50	26
Tabla 13. Umbral de precipitación Instrucción 5.2 IC	27
Tabla 14. Grupo de suelo en función de la infiltración. Instrucción 5.2 IC	28
Tabla 15. Valores de Pd/Pf	28
Tabla 16. Coeficientes de escorrentía	28
Tabla 17. T500	28
Tabla 18. T100	28
Tabla 19. T50	29
Tabla 20. Caudales a calado óptimo	30
Tabla 21. Caudales de avenida según tramos	31



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la explotación	7
Figura 2. Disposición de las terrazas	10
Figura 3. Mapa de terrazas tras la explotación	11
Figura 4. Corobate. Libro de los artilugios de Vitruvio.....	12
Figura 5. Pruebas de calibrado del Corobate, Moreno Gallo, 2004	12
Figura 6. Comparación de nivelaciones de Corobate y nivel actual, Moreno Gallo, 2004.....	12
Figura 7. Variación de temperaturas y precipitación desde el periodo romano	13
Figura 8. Variación de ecotonos en Europa.....	14
Figura 9. Curva de presión de vapor del agua en función de la temperatura	16
Figura 10. Topografía de la galería de Yeres	16
Figura 11. Presiones de un elemento diferencial.....	17
Figura 12. Esquema de explotación	17
Figura 13. Longitud de la red de canales, longitud	19
Figura 14. Detalle de limitación de equidistancia e intervalo de curvas de nivel.....	19
Figura 15. Ejemplo de discretización de curvas de nivel ...	20
Figura 16. Subcuencas interceptadas por el canal C5	20
Figura 17. Canal C5 y subcuencas interceptadas.....	20
Figura 18. Detalle de trazas del canal C5.....	21
Figura 19. Modelo 3D del canal C5 punto de vista a +450m	21
Figura 20. Modelo 3D del canal C5 con el punto de vista en su plano	21
Figura 21. Modelo 3D Comparación de resultados	21
Figura 22. Perfil del canal C5 eje horizontal en km, vertical en metros. Sin escala	23
Figura 23. Mapa de isólinas Instrucción 5,2 IC.....	26
Figura 24. Mapa del coeficiente corrector de escorrentía .	27
Figura 25. Sección a media ladera encajada	29
Figura 26. Sección a media ladera libre.....	29
Figura 27. Sección libre sin contención	29
Figura 28. Sección en talud vertical	30



1. RESUMEN

El presente estudio pretende analizar cómo empleó la civilización romana la hidráulica y los recursos hídricos para la obtención de oro. La extracción se realizaba por sedimentación de los lodos provenientes del lavado de las laderas auríferas. Para realizar este lavado fueron necesarias grandes cantidades de agua, en constante movimiento y con energía cinética suficiente para provocar el desprendimiento del material de la ladera. A la vista del paisaje que dejaron al final de su actuación, la cantidad de tierras removidas impresiona por su magnitud y hacen intuir el empleo de enormes volúmenes de agua, que no estaban disponibles en la zona de explotación.

Analizaremos la geología y geomorfología que justifican el proceso extractivo del mineral, calcularemos la capacidad de transporte mediante la red de canales y la disponibilidad de las diferentes captaciones que emplearon. Estudiaremos las limitaciones de la red, sobre todo por aportes excesivos difícilmente predecibles en los siglos I y II, que pudieron incluso determinar el final de la explotación.

Los romanos disponían de la tecnología necesaria para ejecutar con suficiente precisión pendientes del orden de milésimas (desniveles de 2 ó 3 metros por kilómetro). El aspecto que más asombra, por su espectacularidad, es la demolición o derrumbe de grandes masas de tierras, procedimiento denominado *Ruina Montium*. Cómo se provocaba ha sido, y es actualmente, objeto de debate por las interpretaciones y posibles justificaciones. Teorías sobre explosiones de aire comprimido, efecto pistón, cavitación, golpe de ariete y otras más propias de literatura de ciencia ficción, han intentado justificar la cantidad de energía necesaria para arrancar toneladas de tierras de forma instantánea. Del estudio de esa cantidad de energía, podremos deducir que ninguno de los modelos propuestos, por sí solo, es capaz de provocar el efecto que hoy podemos ver en el paisaje. Sólo modificando la resistencia del terreno, el empuje hidrostático puede provocar el deslizamiento de tierras.

Concluiremos que al saturarse el estrato arcilloso, se produce una pérdida de cohesión que proporciona una superficie de deslizamiento a medida que penetra el agua en los poros de la arcilla y en el contacto entre estratos. En el momento en que las fuerzas de cohesión, de la zona del estrato no saturada, se igualan a la componente del empuje hidrostático se inicia el deslizamiento, que ya resulta imparable.

2. INTRODUCCIÓN

El oro ha llamado la atención del hombre desde muy antiguo, por su aspecto y su fácil transformación en adornos, moneda, etc. Químicamente es el elemento de número atómico 79, metal precioso, de transición, de color amarillo, blando, pesado, dúctil y maleable. No reacciona con la mayoría de los productos químicos aunque es soluble en cianuro y mercurio, entre otros, propiedad que se aplica en minería para optimizar su obtención. Se encuentra normalmente en estado puro y su origen puede ser anterior incluso a la propia Tierra: se forma al colapsar el núcleo de las supernovas, al cesar la fusión nuclear y comprimirse las capas interiores del núcleo estelar, hasta fusionar los

núcleos de elementos ligeros (hierro por ejemplo) formando metales más pesados (uranio, oro), esta teoría es defendida por Edo Berger del Centro de Astrofísica Harvard-Smithsonian. (<https://www.cfa.harvard.edu/news/2013-19>).

Se encuentra en la naturaleza en estado nativo en pequeñas inclusiones, en cuarzo y pizarra principalmente, y en depósitos aluviales originados de estas rocas. Es en estos depósitos donde desde el Neolítico el hombre ha obtenido el metal por su facilidad de extracción. Bastaba “batear” arenas y gravas de ríos auríferos para recoger significativas cantidades de oro en polvo y pepitas de diferentes tamaños. Los egipcios empleaban oro obtenido de grandes explotaciones en Nubia 6000 años antes de nuestra era, o Mesopotamia que empleaba el oro extraído en Caldea hacia el año 2000 A.C. Durante la dominación romana de Iberia, los romanos obtuvieron oro en cantidades significativas en los siglos I y II D.C.

En la península ibérica, se sabe que desde los astures, que poblaban la zona noroeste, se usaba la batea (recipiente circular de poco fondo) para lavar las arenas del río Sil y sus afluentes, aún hoy en día hay bateadoras que continúan con esta tradición milenaria. Las cantidades de oro que obtenían eran de poca entidad, pero sirvieron para llamar la atención de los romanos para establecer allí varios puntos de extracción, si bien el sistema que emplearon producía mayores cantidades que lo hacían más rentable que el sencillo bateo.

Las mayores cantidades del metal precioso se encuentran en los depósitos aluviales, en forma de pepitas de tamaños variados. Su extracción se realiza mediante el arranque y transporte del estrato aurífero y sedimentación de las pepitas en canales de sedimentación dispuestos para tal fin. Si nos centramos en la minería romana, podemos analizar el sistema de extracción basándonos en los vestigios que han quedado marcados en el paisaje, y que hoy se pueden ver en la antigua tierra de los astures, en la actual comarca del Bierzo, provincia de León.

La disposición del oro y su concentración en el volumen de tierra donde se encuentra (ley) es muy variable dependiendo del estrato en que se encuentre, de tal forma que es posible encontrar estratos con leyes de oro insignificantes frente a abundantes concentraciones en estratos paralelos. Si el estrato con mayor ley se encuentra en las capas superiores del terreno, el lavado se puede realizar con canales paralelos a la línea de máxima pendiente, a modo de surcos (sistema peine o de los arados), que parten de un canal superior prácticamente horizontal. La energía acumulada por el agua en este canal, arranca en su caída por los surcos el material del manto aluvial siendo este transportado y conducido a las zonas de lavado, donde un canal con menor pendiente permite la sedimentación diferencial del material arrastrado, para su posterior recogida y tratamiento.

Si los estratos con mejores leyes de oro se encuentran en la zona inferior de la serie, y además, los estratos superpuestos no contienen oro en cantidad rentable, es cuando aparece el procedimiento más espectacular y que más huella ha dejado en las zonas mineras. Se trata del procedimiento denominado *Ruina Montium*. Esta denominación es poco precisa debiéndonos referir con mayor rigor al procedimiento como Arrugia, no obstante, seguiremos empleándola por ser la aceptada por la mayoría de los autores consultados, cuyas obras se referencian



en la bibliografía. Consistía en suprimir los estratos superiores con menor interés y evacuar el material estéril hacia las cuencas de vertido, y así llegar a los estratos con mayor concentración de forma más rápida y con mejores rendimientos. Para conseguir eliminar estas grandes cantidades de tierras perforaban las laderas, delimitando zonas de corte e inundando los túneles para provocar el “derrumbe de la montaña” (ruina montium). Hay discrepancias importantes al justificar el fenómeno que provoca el derrumbe, no habiendo ninguna teoría que por sí sola lo explique de manera satisfactoria, al menos aplicando los principios de la ingeniería moderna.

En lo que sí coinciden todos los autores es en la necesidad de captar y aportar grandes cantidades de agua, aunque tampoco hay consenso en la geometría de los medios de transporte (canales).

Es objetivo del presente trabajo determinar los fenómenos físicos que se producen en el Ruina Montium y así plantear una teoría que permita explicar cómo se produce. Asimismo determinaremos la posible geometría de los pozos y canales, en sección, trazado y pendiente. Usaremos parámetros hidrológicos que no se han tenido en cuenta hasta ahora y que muy bien podrían haber provocado el final de los 190 años de explotación aurífera (punto este sobre el que tampoco hay acuerdo). Analizaremos primero de forma general el sistema, para luego aplicar los datos que se conocen del caso particular de Las Médulas, donde tuvo el mayor auge el Ruina Montium y es el máximo exponente de la minería aurífera romana.

3. EL SISTEMA DE MINERÍA ROMANA “RUINA MONTIUM”

Con el objetivo de alcanzar lo antes posible los estratos auríferos inferiores más ricos se hacía necesario retirar las capas superiores estériles, con menores leyes de oro, de las que no era posible extraer el metal de manera rentable. En los siglos I

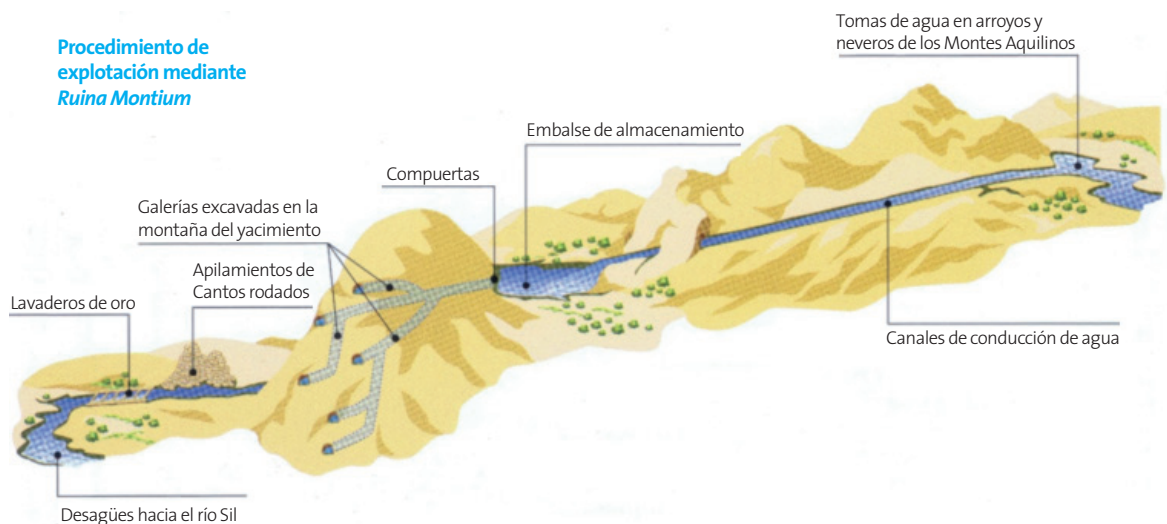
y II, no se manejaban maquinaria ni artilugios que aportaran suficiente rendimiento para su retirada mecánica. Por medios manuales sería demasiado lento y, por tanto, poco rentable. Sabían que haciendo circular agua a través de túneles excavados en la montaña se producía el derrumbe, en poco tiempo, de gran cantidad de material; el delimitado por los planos de las perforaciones y la ladera exterior.

Separando las perforaciones verticales la distancia deseada a demoler, se comunicaba la trama de pozos verticales con una red de túneles en ligera pendiente hacia la ladera, de manera que se delimitaba un volumen significativo de tierras y, a modo de bataches (tramos de excavación alternativos en vaciados de edificación), se conseguía demoler por tramos la práctica totalidad de la montaña, haciendo circular agua desde los depósitos situados en la parte más alta (fig. 1). El sistema es similar a las cortas actuales de las canteras de roca, mediante perforación y explosivo, sustituyendo el explosivo por el agua. Evidentemente el sistema no era tan eficaz, pero se conseguía el propósito.

Los propios túneles excavados servían para suministrar el caudal suficiente para lavar y arrastrar los derrubios producidos, llevando los estériles hacia el cauce de evacuación previsto o, en caso de estar ya en estratos rentables, hacia los canales de sedimentación.

Podemos suponer los sistemas de excavación que empleaban interpretando los escritos de Plinio el Viejo (23 d.C – 79 d.C.) y de Vitruvio (70 a.C. – 15 a.C.). El primero fue escritor y naturalista romano, autor de *Naturalis historia* fuente de gran parte de la información que hoy se maneja sobre la minería romana en Hispania, era procurador de la provincia Citerior (*Hispania Tarraconensis*). Vitruvio fue arquitecto e ingeniero romano, en su legado *Los diez libros de Arquitectura* abarca la práctica totalidad de los conocimientos que tenía la civilización romana en materia de ingeniería y arquitectura.

Figura 1. Esquema de la explotación





Los túneles profundos, se excavaban emparejados, de manera que estando intercomunicados entre sí, se podía suministrar la ventilación necesaria (Vitruvio, 1997) ya que los operarios permanecían en el interior del túnel desde que lo empezaban hasta que lo acababan, con la única luz de una *lucerna* cuya duración marcaba el fin de la jornada laboral (Plinio, 2008).

Se excavaban a distintos niveles conectándose entre sí por pozos verticales que garantizan la circulación del agua. Ésta se aporta desde los depósitos superiores, que no son más que estanques excavados en el terreno, con la consiguiente e inevitable infiltración permanente a los estratos subyacentes. El agua al circular por los túneles socava sus paredes, arrasando ya parte del material que forma el estrato por el que circula. Este efecto se ve incrementado por las variaciones en la sección de los túneles que, al provocar depresiones y sobrepresiones sucesivas, contribuyen al arranque de tierras de las paredes del túnel. El flujo de agua convertida así en lodo armado de cantos rodados, se precipita sobre los acopios de derrubios anteriores y moviliza el conjunto hacia las zonas de evacuación de estériles. En plena circulación de agua y aún con los arcos dispuestos como entibación para sostener los materiales sueltos de la pared del túnel, éste comienza a ampliarse por erosión, se inicia la pérdida de estabilidad que origina el derrumbe de la zona delimitada. Este momento cumbre del Ruina Montium, lo describe Plinio (Matías Rodríguez, 2008):

“De esto un derrumbe da la señal y un vigilante que está solo en lo alto de dicha montaña lo percibe. Este, con gritos y señas, manda evacuar los trabajos y, al mismo tiempo, él baja a toda prisa. La montaña cae desmenuzada por sí misma con un prolongado fragor, tal que la mente humana no es capaz de concebirlo, a la vez que con un golpe de aire increíble. (sc. Los mineros) contemplan victoriosos el derrumbamiento de la naturaleza.” (Plinio, 2008)

Una vez provocado el derrumbe de la ladera, se conducían las tierras arrolladas por los flujos de agua en forma de lodos y cantos rodados hasta su evacuación al cauce natural más próximo, siendo común una gran acumulación de estériles en las zonas más llanas, que incluso pueden llegar a los 30 metros en el caso de Las Médulas (López, 2005). Repitiendo el proceso se alcanzaban los estratos más ricos en oro y se comenzaba el auténtico proceso de extracción.

Haciendo circular los lodos auríferos por canales de superficie suficiente, las partículas sólidas de mayor densidad y tamaño, por tanto de mayor peso, sedimentan en los primeros tramos de estos canales. De los materiales arrastrados y en suspensión, el oro era el de mayor peso específico, por lo que tenía una mayor velocidad de sedimentación y se depositaba en los primeros tramos del canal. En el fondo disponían un entramado de ramajes de Tojo (planta arbustiva autóctona) de tal manera que sus hojas aciculares, auténticas espinas de 2 ó 3 cm de longitud, ejercían la misión de tamices; permitían el paso de las pepitas al fondo del canal donde la velocidad del agua se veía muy reducida por el propio arbusto, impidiendo su circulación por el fondo del canal. Posteriormente se recogía el conjunto y se quemaba el Tojo, recogiendo el oro de las cenizas.

Pero los flujos de agua no solo transportaban lodos auríferos sino también cantos rodados de diferentes tamaños que, de

permitir su circulación, podrían destruir los canales de sedimentación y arrastrar los tamices y pepitas sedimentadas. Para evitarlo, se retiraban a mano en las conducciones previas, amontonándose en lo que se ha denominado “murias”, visibles en la actualidad en numerosos puntos de las llanuras de evacuación. Muchas de estas murias alcanzan alturas superiores a los 10 metros (Matías Rodríguez, El agua en la ingeniería de la explotación minera de Las Médulas, 2008). No son más que acumulaciones de los cantos que retiraban en la fase previa a la sedimentación.

La evacuación de estériles se hacía por gravedad, a velocidades muy bajas, por lo que no todo el material se vertía a los cauces naturales, quedando depositado en las llanuras de evacuación o zonas de deyección. Se canalizaban con cauces artificiales incluso con derivaciones a través de túneles y cajeados en las laderas, es especialmente notable el túnel de evacuación de estériles de Las Médulas, denominado de La Palombeira de cerca de 200 m de longitud.

3.1. FACTORES

Para entender el proceso y poder aportar una justificación técnica es importante analizar los factores que influyeron en el éxito de la minería aurífera en la península ibérica. Daremos una breve descripción de los factores sociales y económicos que indujeron a los romanos a explotar este recurso. Profundizaremos en los factores tecnológicos, geológicos, topográficos, hidrológicos e hidráulicos, por ser los que justifican las soluciones adoptadas y garantizaron el éxito de sistema minero empleado.

3.1.1. FACTORES SOCIO-ECONÓMICOS

En el siglo I a.C. concretamente entre los años 29 y 7 antes de nuestra era, el geógrafo e historiador griego Estrabón, afincado en Roma, escribió su obra *Geografía*, en la que dedicaba el tomo tercero a Iberia. En este texto menciona en numerosas ocasiones las riquezas de la tierra ibérica: “... hasta ahora ni el oro, ni la plata ni el cobre se han hallado en ninguna parte de la tierra tan abundantes y excelentes.” Se refería a las zonas de las actuales cuencas del bajo Duero y del Sil (entre los ártabros, que habitan lo más lejano del Septentrión y del Ocaso de Lusitania, según sus propias palabras), para los dos primeros metales y del Guadalquivir (Turdetania) para el cobre. Según el criterio de gran parte de los historiadores actuales, estas afirmaciones determinaron el empeño de Roma en la conquista de toda la península y su mantenimiento.

Tales afirmaciones se encuentran también en los textos de Posidonio (escritor griego año 80 a.C.) quien describió Iberia como un país cubierto de plata y oro. Refiriéndose al Noroeste ibérico escribió: “Esta tierra es arrastrada por los ríos y las mujeres, después de amasada la tierra, la lavan en tamices tejidos en forma de cesta para extraer el oro.”

No obstante los romanos corroboraron estas descripciones en distintas expediciones o incursiones (emulando las razzias árabes) en el noroeste hispano. Se documentan desde el año 138 a.C. por Junio Bruno y más propiamente expediciones en busca



de confirmación de lo relatado por Posidonio y Estrabón, las realizadas por Julio César penetrando hasta Gallaecia.

Pero no es hasta conquistada la provincia que Roma comprueba realmente la veracidad de lo relatado por los escritores griegos. Lo plasma el escritor romano Plinio en su *Naturis Historia* hacia al año 77 d.C.: "...Asturia, Gallaecia y Lusitania suministran por este procedimiento 20.000 libras de oro al año... No hay parte alguna en la tierra donde se dé esta fertilidad en tantos siglos".

El noroeste hispánico fue precisamente el último territorio conquistado por los romanos, la franja de tierra comprendida entre el río Esla (entonces llamado Astura) hasta el norte de Portugal y Galicia lindando con el río Duero por el sur, era el territorio de los astures (Asturia), y en él se encuentra la zona minera de la que más oro extrajeron en los dos primeros siglos de nuestra era. También fue la última zona que abandonaron los ejércitos romanos en su retirada. Mantuvieron legiones en Bergidum Flavium (Cacabelos) y en Astúrica Augusta (Astorga) probablemente para asegurar la extracción del oro de Las Médulas.

En consecuencia, los romanos no descubrieron el oro hispánico tras conquistar la península, sino que conquistaron Hispania para explotar el legendario oro que, como ya sabían, iban a encontrar.

Un aspecto muy importante en la minería que estudiamos es el de la mano de obra. Fueron miles las horas empleadas en los casi dos siglos que duró la explotación. Históricamente se ha atribuido la totalidad de la mano de obra empleada a miles de esclavos sometidos a trabajos forzados. Nada más lejos de la realidad. Se han estudiado contratos firmados entre los romanos responsables de la explotación minera y los propios mineros, la inmensa mayoría astures (*locatio conductio operarum*) e incluso tenían una ley propia aplicable en la comarca minera que regulaba el distrito minero de Vipasca (Lusitania) también trabajada por los astures (Orejas, 2002). Bien es cierto que la mano de obra era gratuita como se deduce de los escritos mencionados, trabajaban a cambio de la exención de impuestos y los derechos de propiedad de sus tierras; podían ir y venir; y debían procurarse su propio sustento. De este modo Roma, a coste cero, empleaba a cientos o miles de astures, salvo los impuestos no recaudados que se suplían con creces con el oro extraído, ya que su totalidad pertenecía a Roma.

La razón para el interés demostrado por el oro hispánico se encuentra en el papel que el oro desempeñaba en el sistema monetario instaurado por Augusto, su valor político más que su propio valor intrínseco. El áureo era la moneda de mayor valor (7,8 g de oro) junto a la segunda en valor, el denario (3,9 g de plata). La imposición de este sistema monetario hacía necesario el control del estado romano sobre las minas de oro. Esta razón del interés por el oro hispánico pudo ser uno de los factores que influyeron en el fin de la explotación. Con la crisis del sistema monetario iniciada en el siglo III d.C. se devaluó el áureo, hasta el punto de que el oro perdió gran parte de su valor, con lo que ya no se hacía necesario controlar las minas por Roma.

En torno a las minas de oro se articularon una serie de industrias periféricas imprescindibles para los trabajos de extracción. La madera para las infraestructuras, cuyo empleo supuso la desforestación local de vastas zonas de arbolado. El hierro para la

confección de herramientas, extraído del propio entorno en las próximas minas de Orellán. Todos estos factores influyeron en el crecimiento demográfico de la zona, pues eran realizados por la población indígena. Todos salvo los trabajos de gestión, realizados por administradores venidos de Roma, los topográficos, dirección de tajos y replanteos que eran realizados por el propio ejército.

3.1.2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO DE LAS MÉDULAS

En la actual comarca de El Bierzo hay zonas (vertiente S y W de la Sierra del Couto) donde se encuentra el oro en yacimientos primarios, de los que se han podido aprovechar las zonas más superficiales disgregadas por la meteorización y la actividad tectónica mediante el empleo de minería hidráulica, que no es de aplicación cuando el oro se encuentra directamente en la mena primaria.

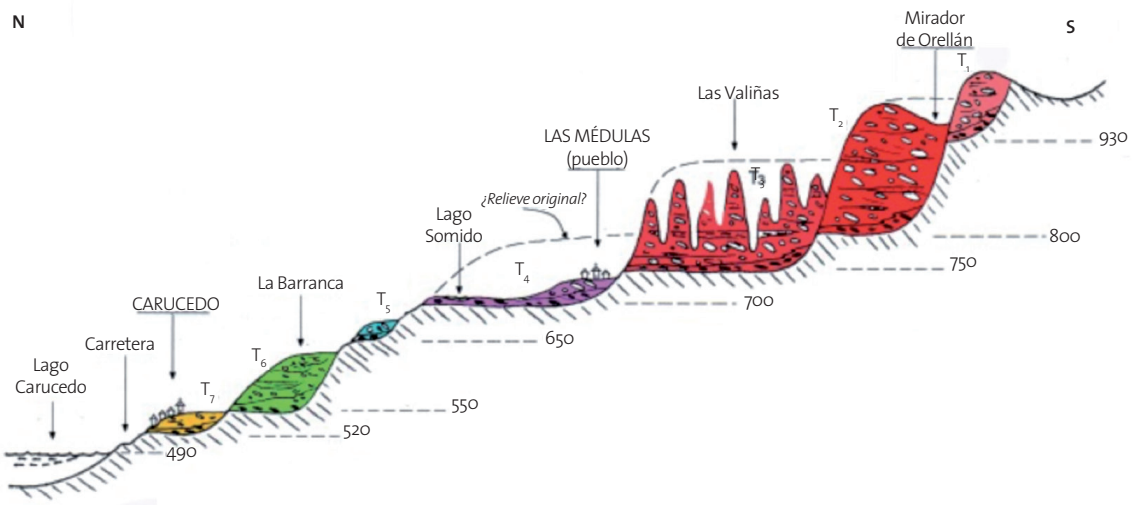
Estos yacimientos de oro primarios se encajan sistemáticamente en las cuarcitas, areniscas y pizarras. En las vertientes indicadas se han localizado bases múltiples de molinos de impacto romanos, empleados para moler y desmenuzar la roca, lo que hace pensar que se explotaron los yacimientos directamente de la mena, moliendo el cuarzo con su contenido de oro (Matías Rodríguez, Minería aurífera romana en Salientes-Villablino, 2013). Cuando el oro se encuentra como mena en gangas de material rocoso difícilmente disgregable, no se puede aprovechar la hidráulica como elemento de extracción, aunque sí en el lavado de las zonas superficiales meteorizadas. Es por esta razón que incluso en estos casos se localizan restos de canales que, en el caso de la Sierra de Couto, llegan hasta 24 Km de longitud.

Donde el agua se hace imprescindible es en las zonas donde el oro nativo se encuentra en suelos y sedimentos de arroyos y ríos, o en estratos de origen sedimentario; es decir, la minería hidráulica se aplica con rentabilidad suficiente en los yacimientos sedimentarios, siempre que el oro se extraiga por lavado y sedimentación. La geomorfología de estos yacimientos es variable, por lo que nos centraremos en el yacimiento de Las Médulas, el que mayor infraestructura hidráulica empleó en el mundo de los siglos I y II.

No se conoce con exactitud el origen del oro en la cuenca de El Bierzo. Es evidente que se acumuló en placeres situados en los aluviones, sobre suelos de rocas paleozoicas que constituyen el lecho y bordes perimetrales de lo que se conoce como Cubeta de El Bierzo, que da nombre también a la comarca, a la cuenca y al acuífero más importante de la región. No hay acuerdo sobre el origen primigenio de la roca que da origen al aluvión, aunque la mayor parte de los autores coinciden en señalar las pizarras de Luarca, las capas de Arening o la cuarcita Armoricana, de edad ordovícica (Martín Escorza, 2006). Sin embargo cómo se transportaron hasta Las Médulas, la edad (ausencia de fósiles) y origen de la disposición de los sedimentos rojos omnipresentes en la explotación (posición relativa), son elementos que aún se desconocen. Se han propuesto multitud de explicaciones, sin poder determinar alguna de ellas como definitiva.



Figura 2. Disposición de las terrazas



Fuente: Martín Escorza, 2006.

La Cuenca de El Bierzo es una cubeta de aproximadamente 50x20 Km limitada en sus bordes por rocas metamórficas del paleozoico y granito (en el Este). La metamórficas son pizarras, cuarcitas y calizas plegadas durante la Orogenia Hercínica, forman parte del sistema general de la Meseta denominado Macizo Hercínico (Macizo Ibérico), constituyen el área de erosión origen de los sedimentos posteriores. Estos sedimentos no fueron arrastrados ni depositados a la vez y es posible diferenciar varias capas y sucesivas disposiciones, aunque varían según los criterios de los autores.

Según Hérail (Martín Escorza, 2006) se pueden diferenciar en el conjunto de ellos tres formaciones: (muro o base) Formación Toral, Formación Santalla y Formación de Las Médulas (techo). De manera que cada una de ellas expande más sus depósitos hacia el interior de la cuenca, colocándose según una disposición en graderío, es decir a distintas alturas. Su deposición se habría hecho a través de conos aluviales.

Para Sánchez Palencia y Pérez García (1992) estos sedimentos representan depósitos proximales como 'abanicos aluviales' que dan facies de conglomerados (gravas y bloques) con lechos de arenas. Utilizan la nomenclatura de 'facies' para Las Médulas, Santalla y Orellán.

Durante la XX Sesión Científica de la Sociedad Geológica de España de 1998 se presentó una nueva interpretación firmada por Pagés et al. (1999) que difiere sustancialmente de las anteriores. Estos autores no encuentran evidencias de fallas ni de los límites de la disposición en graderío supuesta hasta entonces, no hay discordancias, basculamientos ni otras evidencias de actividad tectónica, tampoco se demuestra que los depósitos estén fracturados, así que proponen como alternativa que todos estos depósitos rojos son consecuencia de la existencia y resultado de transporte fluvial normal, de tal manera que la aparente disposición en graderío no sería más que la consecuencia de una deposición fluvial en terrazas dispuestas longitudinalmente a

su curso, que se habrían sedimentado sobre planos horizontales labrado previamente en el zócalo (Figura 2). El conjunto de los sedimentos rojos pertenecerían, según exponen, a siete niveles de terrazas, T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7, con sus bases en altitudes de 930, 800, 750, 700, 650, 550 y 520 m respectivamente.

Según esta interpretación el depósito más antiguo es el que se encuentra a mayor altitud, lo cual implicaría una disposición de los sedimentos contraria a lo supuesto con anterioridad. No se trataría de capas sedimentadas con facies correlativas o en formaciones superpuestas.

Esta disposición es la que se admite en la actualidad, avalada por un exhaustivo estudio geológico y una muy detallada cartografía del sector de Las Médulas (Matías Rodríguez, 2008). Así se diferencian dos grupos de terrazas:

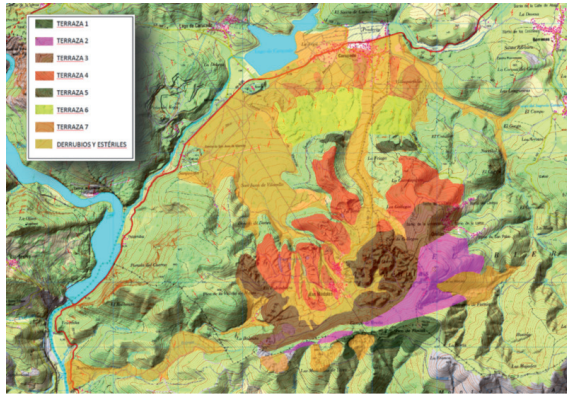
El grupo superior son depósitos de alta energía y potencia, situados por encima de los 700 metros, dispuestos en cuatro niveles escalonados y yuxtapuestos. Están formados por conglomerados heterométricos granosostenidos de cantos principalmente de naturaleza cuarcítica, con niveles de arenas gruesas. Se intercalan como depósitos de menor energía arenas laminadas y limos arcillosos en niveles notablemente continuos. Sus espesores reales no pueden ser determinados con precisión ya que han sufrido una importante modificación antrópica en época romana hasta el punto de que la terraza T-4, por ejemplo, ha sido desmantelada prácticamente en su totalidad.

El grupo inferior son depósitos de menor potencia y extensión, presentan conglomerados heterométricos de cuarcita (hasta 35 cm), a veces heterolíticos (cantos de cuarcita y pizarra) con matriz arenosa y arenas y limos, en secuencias de relleno y abanizo de canal. Los canales terminan en arenas finas y limos laminados, parcialmente erosionados por la siguiente base canalizada y muy frecuentemente edafizados.



La dirección de los dos grupos de terrazas indican la procedencia entre el Sur (T1) y el Suroeste (T7) con salidas hacia la Meseta y hacia el Atlántico respectivamente.

Figura 3. Mapa de terrazas tras la explotación



TERRAZAS FLUVIALES DE LAS MÉDULAS



Fuente: Adaptado de Pagés, 1999.

3.1.3. TOPOGRAFÍA Y TECNOLOGÍA ROMANA

Muchas son las obras civiles y edificaciones que han llegado hasta nuestros días tras 2000 años de estabilidad. Innumerables obras lineales de transporte de agua (acueductos y canales), infraestructuras de transporte vial (calzadas), saneamiento (cloacas) e instalaciones, fuentes, termas, baños, etc. Las estructuras portantes sorprenden por su estabilidad, basadas casi en su totalidad en un diseño autoportante, sin el empleo de los modernos morteros, ni refuerzos estructurales tales como el armado de hormigones o apoyo portante de estructuras metálicas. (Moreno Gallo, 2004) Fundamentaban sus edificaciones en el empleo de la piedra a hueso o con morteros a base de cal y arena con inclusiones de piedra de machaqueo (*Opus caementicum*) empleado como rellenos y elementos resistentes de edificaciones y obras revestidas de piedra. Asimismo emplearon el *opus signigum* compuesto de cal arena o puzolanas (cenizas obtenidas del Vesubio) y ladrillo picado o polvo de ladrillo, precursor del actual cemento puzolánico. En las obras hidráulicas este último cobró especial relevancia pues era de consistencia dura e impermeable tras su fraguado, lo emplearon como revestimiento de conductos, depósitos de agua, aljibes piscinas y canales. (Moreno Gallo, 2004)

En lo referente a la parte que nos compete en este estudio, las obras hidráulicas, además de la estabilidad de las obras, sorprende la precisión con que ejecutaban las pendientes y desniveles, los sifones para cruce de vaguadas y el dimensionamiento de las conducciones en función de los caudales a suministrar. Y sorprende sobre todo por los medios que emplearon para ello. No olvidemos que carecían de un sistema métrico idóneo para realizar cálculos complejos. Utilizaban la conocida numeración romana que para números grandes se hacía excesivamente

engorrosa, no usaban el número cero ni los decimales, imprescindibles en cualquier cálculo actualmente. Pero no solo tenían esta limitación, además sumar y multiplicar, sobre todo esta última operación aritmética, se hacía largo y tedioso cuando aparecían tres o más operadores. Restar y dividir era un conocimiento reservado a unos pocos. Utilizaban los ábacos de mano romanos para la aritmética. Conocían la trigonometría plana y la esférica. Entonces ¿cómo lo hacían? Utilizaban, en hidráulica fundamentalmente, los teoremas de Tales de Mileto, Pitágoras, Euclides, Apolonio y Arquímedes, además de otros matemáticos y filósofos griegos en su mayoría.

No eran inventores, pero sí se caracterizaban por adquirir y utilizar adecuadamente los conocimientos aprendidos de sus maestros y de las civilizaciones que fueron absorbiendo en sus conquistas. Para el replanteo de sus obras lineales usaban la proporcionalidad de segmentos y triángulos enunciada por Tales. Era fácil hacer un triángulo rectángulo sin más que unir tres varillas de madera de longitud 3, 4 y 5 unidades, ya sean codos, pies o millas. La geometría euclidiana no tenía ningún secreto para ellos. Podían hacer un círculo perfecto con una cuerda de longitud constante sin más que fijar un punto interior. Desde cualquier punto de esa circunferencia uniendo los extremos de cualquier diámetro, obtenían un ángulo recto perfecto. Dividir una circunferencia en partes iguales les permitía medir ángulos con precisión topográfica.

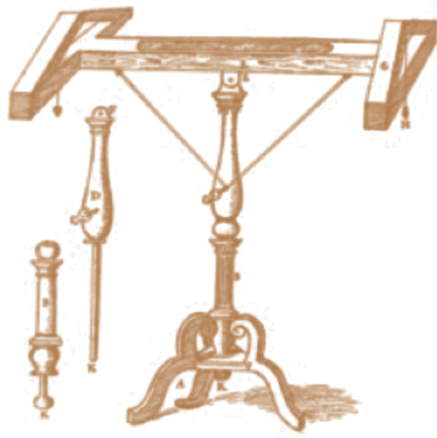
El ábaco estaba dividido en partes alícuotas múltiplos de 12. Se utilizó así probablemente por las recomendaciones de Vitruvio referentes a las pendientes óptimas para transportar el agua, un cuarto de pulgada por cada cien pies (Vitruvio s I a.C.). Desconocían el concepto de velocidad, al menos tal y como hoy lo empleamos, y el de caudal, sencillamente porque eran incapaces de medir el tiempo con precisión. Por ello medían los caudales en función del diámetro de las tuberías. Conocían el concepto de presión, y podían calcular, seguramente basándose en la experiencia previa, las pérdidas de carga en las tuberías, de tal manera que en los sifones la diferencia de cota a la entrada y la salida es precisamente la pérdida de carga del tramo intermedio en presión.

Conocían perfectamente la astronomía y la propia Tierra, conocimientos adquiridos de Eratóstenes (s II a.C.), Posidonio y Estrabón que aproximaron el radio de la Tierra, precisado después por Ptolomeo, de tal manera que, siguiendo las indicaciones de Vitruvio no se puede nivelar con agua porque ésta no tiene una superficie horizontal, sino curva. Así no hacían tramos mayores de 60 ó 70 metros donde tal error es despreciable. Para mediciones mayores, corregían el error de esfericidad usando los mismos principios que empleamos hoy en día.

Podemos deducir que el conocimiento romano era suficiente para calcular los parámetros necesarios para diseñar un canal o un depósito en función de la demanda. Pero también disponían de aparatos y artilugios que facilitaban la difícil labor del replanteo a escala natural. Disponían de la simple cuerda, la cadena, la decempeda o pértica, el odómetro y otros muchos que facilitaban la labor de campo. Pero especialmente útil en topografía y obras lineales fueron la dioptra y el corobate. El primero para medir ángulos y el segundo para la nivelación propiamente dicha.



Figura 4. Corobate. Libro de los artilugios de Vitruvio



Conocemos el Corobate por la descripción que hizo Vitruvio (edición de Miguel de Urrea, impresa en Alcalá de Henares en 1582). No se conserva ninguno, pero se ha reconstruido siguiendo la descripción que hace el francés Claude Perrault, en su traducción de Vitruvio. Básicamente se trata de una superficie horizontal aplomada sobre un pie vertical, en la que se dispone una regla desde la que se lanza la visual. Tal aparato resulta difícil de poner en estación y no permite ningún giro en su plano horizontal por lo que resulta complicado repetir mediciones en número suficiente como requiere el replanteo de un canal de 143 Km de longitud. Por este motivo, se ha reconstruido siguiendo la traducción literal de Vitruvio, omitiendo los errores que se supone cometió Perrault (Moreno Gallo, 2004). Isaac Moreno Gallo reproduce un Corobate comprobando que se asemeja a un nivel óptico actual. Con esta reconstrucción consigue una precisión de medida muy similar a la de los instrumentos modernos, aunque depende de la agudeza visual del operario puesto que en época romana no existía el antejojo. Hizo comparaciones de campo y demostró su eficacia.

Figura 5. Pruebas de calibrado del Corobate, Moreno Gallo, 2004



Figura 6. Comparación de nivelaciones de Corobate y nivel actual, Moreno Gallo, 2004



La forma de trabajar con el corobate consistía en proyectar el plano horizontal de la cota de partida a lo largo del terreno que debía soportar la canalización. A continuación se disminuía o incrementaba la cota, dependiendo del sentido del replanteo respecto a la dirección del agua, en proporción exacta a la distancia recorrida por el canal.

En la cartografía romana no se empleaban las curvas de nivel, de manera que para diseñar el trazado de los canales, así como de los caminos, levantaban cartas con la altimetría y planimetría reflejadas por su valor numérico; era necesario hacerlo así porque de su cálculo y trazado preciso dependía la distancia a la que había que llevar el canal para captar el agua a una cota posible. De ahí surgían pendientes del orden de milésimas (1 metro de elevación por cada Km avanzado), incluso hoy con los aparatos topográficos modernos, es una labor difícil por la precisión requerida. No bastaba con trazar el lecho del canal entre los puntos inicial y final, porque las variaciones de pendiente intermedias influyen en la velocidad del agua y en su régimen de circulación, pudiendo ser tales que destruyen el canal. Tiene que ser conocida la velocidad ideal del agua en función del tipo de revestimiento del canal y de la propia calidad del líquido, ya que las sedimentaciones y las concreciones pueden producir problemas en la durabilidad del canal o erosiones de sus paredes y fondo. Esto los romanos lo sabían aunque no fue enunciado por Bernoulli hasta siglos después. Este complicado equilibrio, que los romanos supieron establecer magníficamente, aún hoy se puede analizar en la gran mayoría de los acueductos que han perdurado en el tiempo.

Para el trazado de túneles, la labor se hacía más dificultosa. El trazado de estas galerías dependía en muchos casos del terreno que tenían encima. Se trazaba la galería como proyección de la planta establecida en superficie. La galería podía ser recta o ir describiendo quiebros, normalmente en los pozos de registro, que siempre se promediaban a cierta distancia. El replanteo de la galería se trasladaba desde la superficie al canal a través de los pozos. Estos eran construidos antes que la canalización, fijando en su fondo la cota de la canalización y la dirección que debía llevar, mediante la ayuda de hilos con plomadas. Una vez trasladados estos datos al interior de la galería, se podía empezar a excavar desde cualquiera de los pozos y en cualquiera de las direcciones. Se fijaba en el techo de la galería un hilo bien tensado con clavos, de él se colgaban plomadas que permitían mantener la dirección perfectamente. Mediante el nivel de agua (*libra aquaria*) puede llevarse la cota, a partir de cualquiera de los pozos, aplicando el incremento de cota necesaria por unidad de longitud según la pendiente requerida.

En definitiva, los ingenieros de Roma poseían unos excelentes conocimientos topográficos y matemáticos, así como instrumentos suficientemente potentes como para llevar a cabo estas labores con éxito. La certificación de estos extremos puede encontrarse en la comprobación geométrica de sus propias obras.



3.1.4. HIDROLOGÍA DE LA CUENCA

Tanto la geología como la topografía de la cuenca se pueden deducir por el estado actual del terreno, así como del análisis visual de los cortes dejados por la explotación de las minas. Incluso pueden ayudar los sondeos que, de ser necesario, se pueden practicar en el terreno. Igualmente importante que estas deducciones son las relativas a la hidrología de la zona. Sin embargo, resulta difícil extrapolar los datos pluviométricos que se pueden obtener en el futuro, que son los que sirven de base para los cálculos hidrológicos en los que se basa el dimensionamiento de los canales. Las técnicas modernas de predicción de pluviometría estiman a futuro esos valores basándose en los datos del pasado. Es decir, estudiando una serie de datos pluviométricos, registrados en años anteriores en las estaciones meteorológicas dispuestas para ese fin, se puede estimar estadísticamente cual va a ser, con cierta probabilidad, la lluvia en los próximos años. Concretamente es útil conocer la cantidad de lluvia máxima que se va a producir en un periodo de tiempo determinado. Es lo que se conoce como el tiempo de retorno o periodo de retorno. El periodo de retorno es pues el tiempo esperado medio entre dos avenidas con caudales mayores o iguales a uno determinado.

Para el cálculo de la máxima avenida se recopila una serie de datos históricos de precipitaciones máximas diarias y, mediante métodos de distribución estadística (Gumbel, log-Pearson) se extrapola la precipitación a los diferentes periodos de retorno.

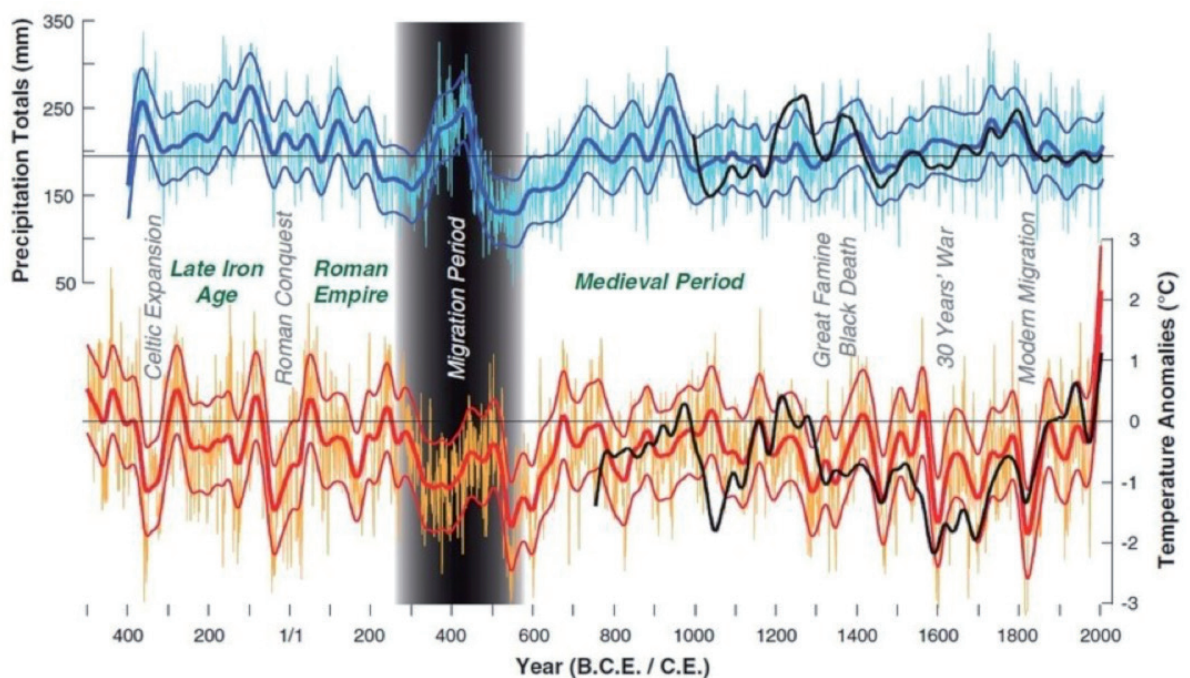
Si queremos estimar la precipitación de un periodo de hace 2000 años, no podremos contar con ninguna serie histórica ya que hace 2000 años no se registraban las precipitaciones y,

aunque se registraran es muy difícil que pudiéramos disponer de ellas en la actualidad. Hemos de recurrir a la paleoclimatología.

La dendroclimatología podría darnos la solución. Basa sus estimaciones en el estudio de los anillos concéntricos de árboles fósiles que se puedan datar con cierta fiabilidad comparando series de troncos de árbol de distintos años del mismo periodo, donde se repita la disposición, anchura, densidad, etc. En efecto, presenta información objetiva y cuantitativa (temperatura y precipitación) con una resolución anual e incluso menor (estacional). Del estudio de las series climáticas en la península ibérica en los últimos 2500 años, se deducen tres oscilaciones o anomalías, la primera en los siglos I y II d.C. denominada Óptimo Romano, la Anomalía Climática Medieval, y el periodo actual tras un periodo de enfriamiento intermedio (pequeña edad de hielo x XIV a XIX). (Crumley y Marquardt, 2011) Estas tres anomalías en las series climáticas se corresponden con etapas de calentamiento, elevación de temperaturas e incremento de la humedad y la precipitación fig. 7.

Estas conclusiones nos permiten aproximar las series actuales de intensidad máxima diaria de lluvia, a las que debieron producirse en el periodo de explotación de las minas de oro en Hispania.

Figura 7. Variación de temperaturas y precipitación desde el periodo romano

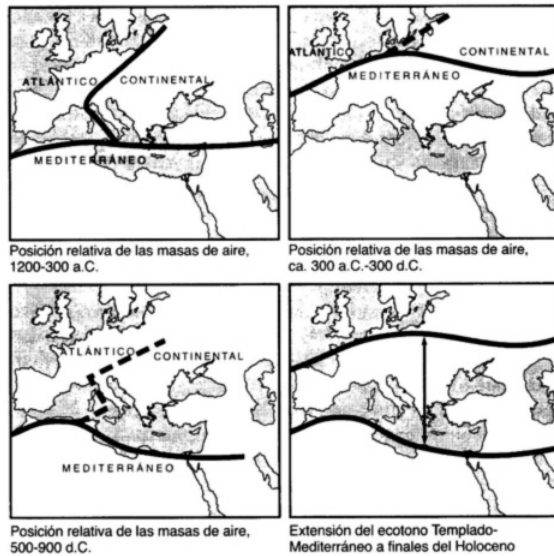


Fuente: http://www.tiempohoy.es/es/home/tiempo/noticias-del-tiempo/noticias-del-tiempo/ch/473b29e2d7439252a4d968ce5c65f615/article/clima_en_el_imperio_romano.html



Otros estudios que avalan esta decisión se basan en la ubicación de los ecotonos (línea frontera entre los tres climas principales presentes en Europa, continental, oceánico y mediterráneo) en Europa en diferentes periodos. Se presentan en la fig. 8.

Figura 8. Variación de ecotonos en Europa



Fuente: Crumley, 2011.

Crumley basa la ubicación de los ecotonos en la palinología (estudio del polen y las esporas) y otros factores paleoclimáticos que afectan más a la ecología que a la climatología que nos ocupa. La última imagen de la fig. 8 representa la variación entre el inicio de la Anomalía Climática Medieval y el final del Holoceno, que se posiciona en la misma ubicación que el Óptimo Romano.

En el apartado 4.3 de este trabajo veremos con detalle las avenidas y valores máximos anuales de precipitación diaria obtenidos a partir de la serie de datos de la estación de Ponferrada de 62 los últimos 65 años (1951-2012).

Estimada la precipitación del periodo, se calculan los caudales de la máxima avenida que se producen en la cuenca de recepción que afecta a la explotación de la mina. Es decir, aplicando la precipitación a la superficie sobre la que se produce se calcula la acumulación de agua en el punto más bajo de la cuenca, por donde va a desaguar toda la escorrentía de la cuenca. Para este cálculo y dada la superficie en estudio, da suficiente aproximación el método de Témez, empleado en el cálculo de caudales de evacuación de drenaje superficial en carreteras y canales, normalizado en la Instrucción 5.2 IC Drenaje superficial del Ministerio de Fomento de España, actualmente en vigor y sancionada por la práctica. Este método emplea las precipitaciones anuales máximas diarias, el coeficiente de escorrentía para calcular el tiempo de concentración y la intensidad de la lluvia para obtener el caudal. Definiremos estos conceptos en el caso de aplicación al entorno de Las Médulas, apartado 4.2 del presente estudio.

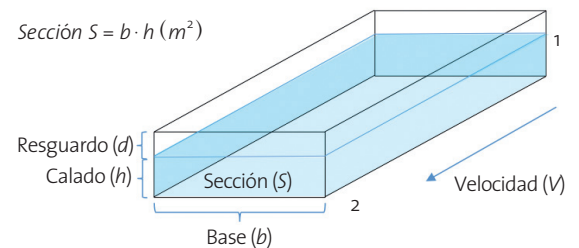
3.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.2.1. HIDRÁULICA DE LOS CANALES

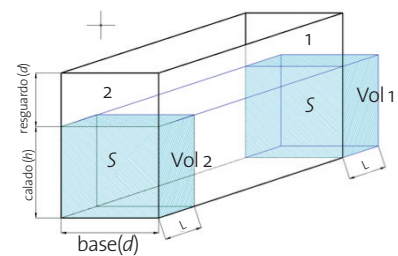
Se entiende por conducción abierta a toda aquella que transporta una corriente líquida, en nuestro caso agua, con parte de su superficie en contacto con la atmósfera, también se conoce por canal abierto o simplemente canal.

Para definir un canal ha de conocerse su trazado en planta (del eje longitudinal), su trazado en alzado (sucesión de pendientes del eje) y su sección (perpendicular al eje). La sección puede ser cualquier forma geométrica regular o irregular; analizaremos únicamente la sección rectangular por ser la empleada por los romanos en los canales de aportación a las minas. Definimos perímetro mojado (p) como la suma de la base del canal y las alturas que alcanza el agua (profundidad) en cada una de las dos paredes que lo forman, a esta altura la llamaremos calado (h). La sección del canal será la comprendida por la base y el calado, independientemente de la altura que tenga la fábrica que contiene el agua. El calado, por tanto, no podrá nunca ser mayor que la altura del canal.

Se define como radio hidráulico (R_h) a la relación que existe entre la sección y el perímetro mojado (p). Este parámetro "Rh" es fundamental para el cálculo de velocidades de circulación del agua.



perímetro $p = b + 2h$ se mide en metros



Radio hidráulico $R_h = \frac{S}{p} = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$ se mide en metros

A la pendiente longitudinal la denominaremos (i). El volumen de agua que entra por la sección 1 debe de ser igual al que sale por la sección 2, si no hay pérdidas en el canal y no se incorpora otro flujo de agua. El volumen de agua que entra será igual al del prisma de base S y altura L , es decir $\text{Vol} = S \cdot L$ si calculamos ese volumen en la unidad de tiempo, será $\text{Vol} = S \cdot L / t$ pero la longitud que avanza el agua (L) entre el tiempo que tarda en avanzar (t) es la velocidad. Si llamamos Q al volumen de agua por unidad de tiempo (caudal) será:

$$Q = S \cdot V$$



Que es la denominada ecuación de continuidad en su expresión más simple (Bonafe, 1988).

La velocidad de circulación V es un elemento decisivo y determinante en los canales, ya que va a influir en la durabilidad de la construcción o el depósito indeseado por sedimentación de materiales transportados por el agua. Valores por debajo de 0.5 m/s generan un energía cinética (que depende del cuadrado de la velocidad) insuficiente para arrastrar partículas de determinados tamaños que se depositarán en el fondo, su acumulación es un elemento indeseable. Por el contrario, una velocidad excesiva puede provocar la erosión del fondo y las paredes del canal reduciendo su durabilidad. La velocidad determina el régimen de circulación del agua, Froude (Bonafe, 1988) introdujo un número dependiente de la velocidad (v), la gravedad (g) y el calado (h) según la siguiente expresión:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Se dice que el agua circula en régimen lento (subcrítico) cuando F tiene valores inferiores a la unidad ($F < 1$), rápido (torrencial o supercrítico) si son mayores que 1 ($F > 1$) y crítico cuando $F = 1$. Esto ayuda a prever los daños mencionados anteriormente diseñando los canales para valores de F comprendidos entre 0.4 y 0.6. Fuera de estos límites corremos el riesgo de entrar en uno de los supuestos mencionados por velocidades inadecuadas.

Comprobaremos la idoneidad de los canales de la red hidráulica de Las Médulas calculando el número de Froude, para ello necesitaremos conocer la velocidad. El ingeniero francés Chézy propuso en 1769 una relación entre la velocidad (v) el radio hidráulico (Rh) y la pendiente del canal (i)

$$C = C \sqrt{Rh \cdot i}$$

C es la constante de Chézy cuyo valor ha sido aproximado por diferentes autores (Bonafe, 1988):

Bazin propuso $C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{Rh}}}$ donde γ es un coeficiente que se

encuentra tabulado que depende de la naturaleza de los diferentes tipos de materiales con los que se construye el canal, o, si es excavado sobre el terreno directamente sin revestir, del tipo de suelo por el que circula el agua.

El ingeniero irlandés Robert Manning en 1889 propuso $C = \frac{Rh^{1/6}}{n}$ donde n se tabula igualmente a lo propuesto por

Bazin (Bonafe, 1988). Sustituyendo este valor de C en la fórmula de Chézy se obtiene la ecuación más universalmente utilizada:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

Ganguillet y Kutter (Bonafe, 1988) propusieron otra expresión más compleja que también depende del coeficiente de Manning (n):

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{i}\right) \frac{n}{Rh}}$$

Si sustituimos el valor de la velocidad de Manning en la ecuación de continuidad tendremos:

$$Q = S \cdot V = S \cdot \frac{1}{n} Rh^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

Que es la expresión del caudal en función del resto de parámetros que intervienen en el diseño de un canal.

El valor del coeficiente de Manning, también llamado de rugosidad, depende de la naturaleza del revestimiento del canal, cuanto más rugoso sea, menor es el caudal que puede transportar a igual sección y pendiente. Del análisis hidráulico de la fórmula anterior, se pueden sacar ciertas conclusiones que afectan muy directamente al estudio de los canales de Las Médulas, porque van a limitar la cantidad de agua que se podía transportar sin poner en riesgo la estabilidad de la obra.

A igual caudal y sección de canal (que no sección del agua, es decir la altura sería el calado más el resguardo) un incremento de la pendiente elevaría la velocidad de circulación y el calado produciendo dos efectos indeseados, la erosión del canal y su desbordamiento. Por esta razón no es válido utilizar la pendiente media, calculada como relación entre el desnivel y la longitud del canal, porque en tramos intermedios puede haber variaciones de pendiente que, dando la misma media, hagan inservible el canal para el uso para el que se construyó. Esto implica que en los estudios que hemos analizado, el trazado supuesto es erróneo porque genera pendientes incompatibles con el caudal que se transporta. No se detecta el error porque emplean la pendiente media. Las mejores condiciones de circulación en los canales de Las Médulas se obtendrían revistiendo las paredes y el fondo con lajas de piedra (pizarra por ejemplo, muy abundante en la zona) e incluso con el mortero descrito con anterioridad, (*opus signigum*), con éste además, se evitarían filtraciones o al menos se reducirían en aquellas zonas en las que se excavaba el canal por debajo de la rasante (cota del terreno natural). El coeficiente de Manning es similar para estos casos al correspondiente a la roca sin revestir.

También podemos deducir de la fórmula de Manning, la sección óptima para una determinada base del canal (el que da el mayor caudal), rugosidad y pendiente dadas, sin más que derivar la expresión parcialmente en función de la variable h (calado), igualando a cero se obtiene que dicha sección óptima se produce cuando el calado es la mitad de la base, dicho de otra manera cuando $b = 2h$. Como veremos más adelante, los romanos dejaron un resguardo suficiente por encima de este calado óptimo, para poder absorber caudales punta en momentos en que fuera necesario.

3.2.2. CAVITACIÓN EN TÚNELES

La cavitación es un fenómeno físico, mediante el cual un líquido, en determinadas condiciones, pasa a estado gaseoso y unos instantes después pasa nuevamente a estado líquido. En nuestro caso analizamos agua que circula por canales y túneles.

Para que el agua pase a estado gaseoso (vapor) ha de elevarse la temperatura a 100 °C en condiciones de presión atmosférica a nivel del mar, es decir 1 atmósfera o 10 metros de columna de agua (mca) aproximadamente. También se puede cambiar de estado disminuyendo la presión a temperatura constante.



En los canales abiertos, como vimos, el agua circula a presión atmosférica por lo que sería necesario elevar la temperatura a 100 °C para producir la cavitación, descartamos por esta razón que se pueda producir el fenómeno en canales.

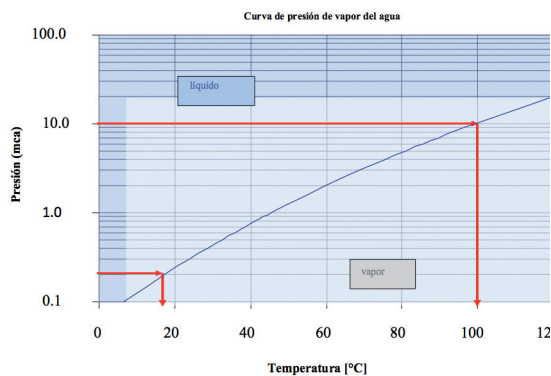
Para que se pueda producir cavitación en los túneles, es necesario que se produzca una disminución de presión (depresión) y/o una elevación de la temperatura. El fenómeno físico se produce de la siguiente manera:

Tabla 1. Valores de la presión de vapor

T (°C)	Pv (mca)	T (°C)	Pv (mca)
0	0.062	40	0.753
4	0.083	50	1.258
10	0.125	60	2.033
20	0.239	80	4.831
30	0.433	100	10.33

Las moléculas del agua se mueven en todas las direcciones y con todas las velocidades posibles (teoría cinético-molecular generalizada, Klasius 1857). Solo las moléculas que posean una energía cinética mayor que las fuerzas de atracción podrán escapar del agua líquida, produciéndose su evaporación. Podemos incrementar la energía de esas moléculas elevando su temperatura o disminuir la resistencia a escapar reduciendo la presión. Las moléculas escapadas quedan sobre la superficie libre del líquido y contribuyen a aumentar la presión del gas exterior con una presión parcial que se denomina tensión o presión de vapor. En un líquido que se encuentre en un recipiente cerrado con espacio libre sobre su superficie, esta tensión de vapor irá aumentando hasta que el número de moléculas que entran en el líquido se iguale con las que salen, estableciéndose un equilibrio entre el líquido y su tensión de vapor, que se conoce como tensión máxima de saturación (TMS). La tensión máxima de saturación varía en función de la naturaleza del líquido y de la temperatura (a mayor temperatura mayor tensión de vapor).

Figura 9. Curva de presión de vapor del agua en función de la temperatura



Fuente: Serrano, 2009.

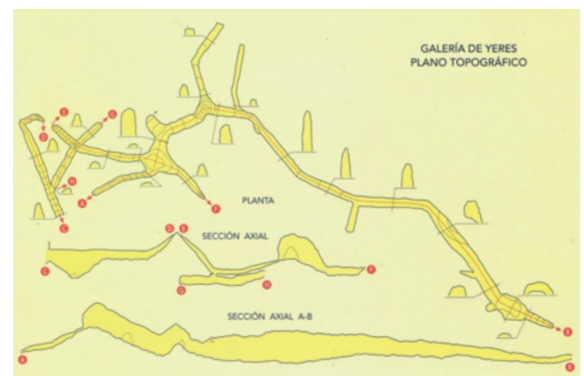
Cuanto menor sea la presión absoluta a que está sometido un líquido menor será la temperatura a la que se produce su vaporización, es decir, su temperatura de saturación. Por ejemplo, como dijimos anteriormente, a la presión atmosférica normal (1 atm, 10

mca) el agua hierve a 100°C, pero si se reduce la presión absoluta a 0.013 atm (0.13 mca), herviría a 10°C aproximadamente.

Si en algún lugar del túnel la presión absoluta es menor que la tensión de vapor a esa temperatura, el agua hierve. Si posteriormente la presión absoluta aumenta hasta ser mayor que la tensión de vapor, el agua se condensa. Si el túnel está completamente lleno de agua, las burbujas que se forman imploran al volver a estado líquido, formándose un microchorro que se desplaza a velocidades muy elevadas (>1000 m/s), con la gran cantidad de energía cinética asociada (Serrano Rodríguez, 2009). Esta energía produce una sobrepresión sobre la pared del túnel, si se encuentra en sus proximidades, que desprende las partículas de los conglomerados o estratos arcillosos, produciendo su disgregación. Así, la cavitación podría contribuir al lavado de las paredes interiores del túnel, aumentando su sección y arrastrando ya al inicio del proceso, material aurífero.

Pero los romanos no tenían fácil provocar la cavitación, al menos a escala suficiente, sí podrían elevar la temperatura calentando las paredes del túnel con fuego y vinagre, lo que provocaría la elevación súbita de la temperatura del agua (Plinio, 2008). Asimismo podían modificar la sección del túnel, un aumento de la sección provocaría una depresión que contribuiría, junto al incremento de temperatura, a producir la cavitación. David G. López, en su libro sobre las Médulas muestra el resultado de la restitución topográfica que realizó su equipo en 2005 de los últimos túneles que excavaron los romanos. Es interesante comprobar los constantes cambios de sección, sucediéndose ensanchamientos y estrechamientos que podrían, junto con el fuego mencionado por Plinio, favorecer la aparición de la cavitación. Algunos autores le atribuyen a éste fenómeno físico el Ruina Montium. Sin embargo no se genera suficiente energía como para producirlo, ya que el efecto es local, sobre las paredes del túnel. Como veremos, mucho antes de que se pudiera socavar lo suficiente por cavitación la mole de tierras hasta producir su desplome, éste ya se habría producido por otras causas.

Figura 10. Topografía de la galería de Yeres



Fuente: López, 1995.

3.2.3. ESTABILIDAD DEL TERRENO

Analizamos la estabilidad de las zonas de excavación en túneles, donde se produce el Ruina Montium. El fondo de excavación de los canales se asienta en la mayoría de los casos sobre pizarras o cuarcitas, de suficiente capacidad portante, cuando no las

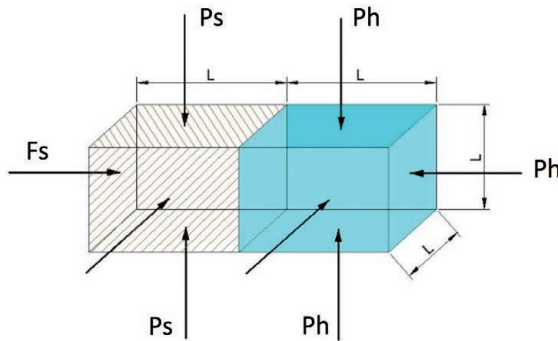


atraviesa formando túneles de variada longitud, con idéntica sección que el canal que le llega. En el trazado de los canales sólo se han excavado túneles en roca, por lo que su estabilidad no generó problema alguno salvo el tiempo de ejecución. Es la inestabilidad del terreno, en la zona de explotación, el gran aliado de los ingenieros romanos para desarrollar la minería de la forma que lo hicieron.

A veces resulta difícil aplicar los conceptos aprendidos para evitar un suceso precisamente para lo contrario, provocarlo. Pero en las dos formas de aplicación es preceptivo conocer hasta dónde puede aguantar, cuál es su resistencia, o qué fuerzas provocarían su fallo, y qué factores influyen en facilitar o dificultar el suceso en estudio. En nuestro caso, la evidencia demuestra que se produjeron derrumbes de grandes cantidades de tierras, y que los derrubios se transportaron varios kilómetros; del análisis de la estabilidad del terreno, de los taludes y de los túneles, podremos deducir cómo se produjo y qué acción física los provocó.

El terreno, como ya vimos, está formado por estratos alternados de conglomerados y arenas arcillosas de diferentes potencias dispuestos casi horizontalmente con ligera inclinación hacia el centro de la mina. Los datos que vamos a manejar se corresponden con las últimas terrazas, las de niveles superiores, concretamente nos centraremos en los cortes vistos que han quedado en la última fase de la explotación (mirador de Orellán, La Fucarona, etc.). En esquema:

Figura 11. Presiones de un elemento diferencial



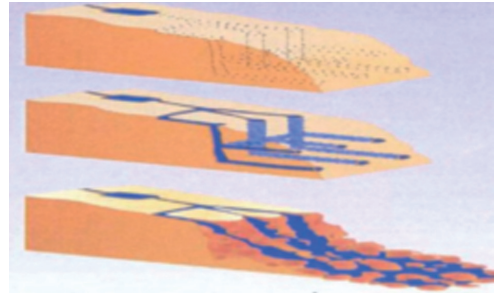
Supongamos el sistema descrito anteriormente de excavación en galerías en el seno de la ladera a demoler. Tras excavar los túneles que darán paso al agua se abren las compuertas del depósito superior y el agua entra en los túneles hasta el espacio inferior, que rellena completamente. El aire acumulado en el interior es expulsado a través del propio túnel de entrada. Hay que hacer notar que el agua no salía del depósito a través de un sumidero de fondo, ya que no hay evidencias de tal desagüe en los depósitos que se han conservado hasta hoy. (Matías Rodríguez, 2008) por lo tanto el agua no circulaba a sección llena por las galerías, hasta que se llenaba el interior completamente.

El momento de máxima presión se produce cuando la cavidad interior y la galería está completamente llena de agua. En ese momento, un elemento unitario del volumen de agua, transmite sobre la pared del fondo y lateral (fig. 11) una presión de:

$$Ph = pgh$$

La porción de terreno en contacto con el agua de igual dimensión se opone al desplazamiento en el sentido horizontal producido por el empuje del agua con una fuerza:

Figura 12. Esquema de explotación



$Fs = cN$ donde c es coeficiente de rozamiento del terreno y N es la normal, que es igual al peso de la columna de suelo que gravita sobre el plano del fondo. El empuje del agua no depende del volumen de agua en contacto con el terreno, es el mismo para una cavidad de 1 metro que para otra de 50 ó 100 m de ancho. Sin embargo la reacción Fs sí depende de la carga que se apoya en el plano, es decir, será mayor cuanto mayor sea su distancia al borde exterior de la ladera. Evidentemente la carga que gravita sobre el plano de apoyo también depende de la densidad de suelo que es del orden de 1,8 a 2 veces mayor que la del agua. Si la ladera es vertical, como sucede tras la primera corta, la altura de las tierras puede ser mayor o igual también que el nivel del agua. Por todo esto, no es posible que el empuje del agua sea mayor que la reacción del suelo, salvo en el caso de hacer planos de corte verticales muy cercanos al borde exterior con el incremento que eso supone de excavación (más metros lineales de pozo por m^3 de excavación), o realizar los cortes escalonados siendo menos efectivos cuanto más altos se encuentren.

Existe también la posibilidad de reducir la resistencia del terreno. Si se inician excavaciones de pozos sucesivas, sin esperar al derrumbe, paulatinamente el suelo se irá saturando de agua. La saturación de terrenos arcillosos conlleva una disminución importante de la cohesión hasta casi anularla, entonces el empuje del agua sobre la pared del terreno sería suficiente para desplazar el bloque de tierras y producir el Ruina Montium. Sería el equivalente al sistema de excavación actual denominado "por batches".

4. EL CASO DE LAS MÉDULAS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS CANALES DE LAS MÉDULAS

Como ya hemos mencionado, la base fundamental de la explotación aurífera romana de Las Médulas es el agua. Todo el sistema está basado en el empleo de grandes cantidades de agua, para la extracción de material aurífero, la obtención del oro por sedimentación y la retirada de estériles. En la zona de explotación hay cauces de agua, ríos y arroyos, pero se sitúan



a cotas inferiores a la mina, por lo que se hacía muy difícil, lento y costoso elevar el agua para su utilización, pese a que los romanos poseían aparatos suficientes, tales como el tornillo de Arquímedes o la noria de cangilones.

La solución la encontraron en transportar el agua mediante canales, en cuya construcción eran auténticos expertos, desde cotas más altas, y a la vez muy alejadas. Se identifican canales desde 18.3 hasta los 143 Km del canal C3 (Matías Rodríguez, 2008), que tiene su captación en el río Cabrera perteneciente a la cuenca del río Sil. Llegando incluso a captar agua del río Eria, perteneciente a la cuenca del Duero en lo que seguramente es el primer trasvase de la historia de la península (Matías Rodríguez, 2008).

En total la suma de las longitudes de los canales que confluyen en Las Médulas es de 603 Km (Matías Rodríguez, 2008), distribuidos en las dos vertientes de los Montes Aquilianos. En lo referente a la clasificación de los canales basamos, salvo que se indique lo contrario, en el trabajo que Roberto Matías ha realizado a lo largo de más de 20 años, es autor de numerosa bibliografía sobre la minería romana, parte de la cual se cita en este trabajo. Matías clasifica los canales en dos grupos: La red hidráulica septentrional, con captación en la cuenca del río Oza, al norte de los Montes Aquilianos, y la red hidráulica meridional, en la vertiente sur, con captación en la cuenca del Cabrera. Los distribuye en red septentrional y red meridional:

RED HIDRÁULICA SEPTENTRIONAL (Cuenca del río Oza)

CANAL CN1: (longitud: 71,7 km), captación en el río Oza por debajo de la localidad de Peñalba de Santiago, suministraba los depósitos superiores del sector de La Frisga, en las inmediaciones de la localidad de Orellán, durante las primeras fases de explotación del yacimiento de Las Médulas.

CANAL CN1BIS longitud: 19,3 km. Captación en el Arroyo de Ferradillo, por encima de la localidad de Villavieja. Su trazado discurre sobre las localidades de Paradela de Muces, Voces y Orellán, para verter sus aguas en la parte NE de la excavación de Las Médulas (sector de Las Valiñas) a la cota 880. Por las escasas posibilidades de suministro del Arroyo de Ferradillo, es probable que el llenado pleno de este canal sólo se produjese en épocas de lluvias.

CANAL CN-2 longitud: 57,7 km. Captación del Arroyo de Pico Tuerto, suministraba su caudal al punto de confluencia de Campo de Braña, en la cota más alta de abastecimiento de Las Médulas y en donde suma sus aguas a las aportadas por los canales C-4 y C-5, procedentes ambos de la vertiente meridional de los Montes Aquilianos, por lo que la utilización de estos canales se corresponde con las últimas fases de la explotación.

RED HIDRÁULICA MERIDIONAL (Cuenca del río Cabrera + captación del Eria)

CANAL C-0 longitud: 45 km Captación en el río Cabrera en las inmediaciones de Odollo. Se desconoce el punto de abastecimiento a Las Médulas, ya que quedó sepultado por el avance del cono de estériles de La Balouta. Debió de ser, sino el primero, uno de los primeros canales que aportaron agua para la explotación del yacimiento, aunque por un periodo de tiempo

reducido, dada su situación a cota tan baja respecto a la masa principal explotada.

CANAL C-1 longitud: 95 km Captación en el río Cabrera en las inmediaciones de Losadilla de Cabrera. El avance de la explotación ha hecho desaparecer los últimos tramos, pudiéndose encontrar algunos vestigios de su llegada de La Balouta.

CANAL C-2 longitud: 35 km Captación en el arroyo de Valdecorrales unos metros por encima del canal C-1. a apenas unos cientos de metros de su captación. La entrada en la explotación de Las Médulas la realiza apenas unos metros por debajo de la plataforma superior de las murias de las explotaciones de «Las Medulillas» de Yeres en el sector de «Las Pedrices».

CANAL C-3 longitud: 143 km Captación en el río Cabrera en las proximidades del lago de La Baña, a la altura de la zona de las actuales explotaciones de pizarra, las que se encuentran situadas a una cota más baja sobre la margen derecha del río Cabrera. Es el canal más largo de los que abastecen a Las Médulas, en la cota 940, apenas 40 metros por debajo de la cota máxima de abastecimiento de la red hidráulica, marcada por la confluencia de canales de Campo de Braña, que se encuentra situado a la cota 978.

CANAL C-4 longitud: 81 km. Captación en el río Eria (Cuenca del Duero), junto con el CN-2 de la red septentrional, ocupa la posición de abastecimiento de cota más alta para la mina de Las Médulas, que se sitúa en el depósito de regulación de Campo de Braña (978 m), donde confluyen estos dos canales junto con el canal C-5.

CANAL C-5 longitud: 42,5 km. Este canal tiene su captación en el Arroyo de la Sierra a la cota 1275 m, entre Llamas de Cabrera y Odollo. Por su posición y capacidad de abastecimiento, el canal C-5 tendría principalmente como objetivo realizar un aporte adicional de agua a la confluencia de canales de Campo de Braña.

Tabla 2. Caracterización de canales

Canal	Longitud (Km)	Terraza de suministro	Cota de suministro
C-0	45,00	T-7	575,00
C-1	95,00	T-5	780,00
CN-1	71,70	T-5	810,00
C-2	35,00	T-4	840,00
CN1-BIS	19,30	T-4	880,00
C-3A	10,00	T-4	885,00
C-3B	10,00	T-3	910,00
C-3	143,00	T-2	940,00
C-4	81,00	T-1	978,00
C-5	41,00	T-1	978,00
CN-2	51,70	T-1	978,00

Fuente: Matías 2008.

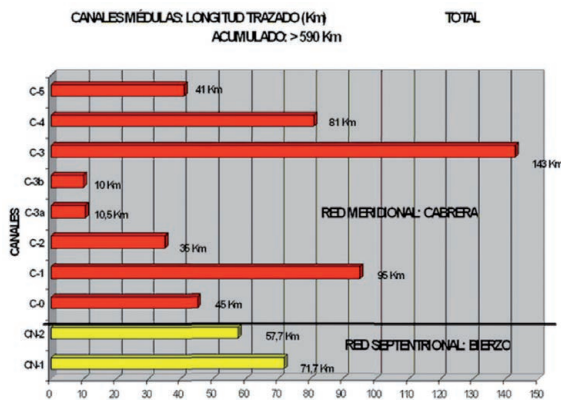
La longitud total de los canales es aproximadamente de 600 Km. Esta cifra no está exenta de error, ya que considera la medición en proyección horizontal, y no en verdadera magnitud (Matías Rodríguez, 2008). Esto en sí no aportaría un error sig-



nificativo dadas las mínimas pendientes que se manejan, pero sí al realizar el trazado en planta sobre un mapa o sobre una fotografía satelital, tanto la apreciación humana como los errores de escala, o de aberraciones en las lentes de las fotografías, dan distorsiones muy importantes. A modo de ejemplo si tratamos de apreciar una diferencia de cota de 1 metro (recordamos que las pendientes de los canales son del orden de milésimas), sobre un mapa impreso podemos desplazar el punto 20 ó 30 metros en horizontal. En la fotografía satelital georreferenciada, la apreciación es mucho menos precisa dependiendo de las resoluciones que se manejen. Hemos obtenido diferencias de 180 metros en zonas de poca pendiente del terreno para aproximar un punto con diferencia de cota de 0,5 metros. Siendo así, la longitud del canal es meramente orientativa, al igual que las variaciones de pendiente que hacen completamente inútil usar la pendiente media para calcular caudales y velocidades de circulación del agua.

Hacer un estudio completo de la geometría de todos los canales es una tarea inmensa que se sale de los límites de este trabajo. Pero sí hemos estudiado un canal, el C5, con suficiente detalle como para dar unas pendientes fiables, y una medición precisa. Elegimos el C5 por ser el último y más alto de los canales meridionales, tiene una longitud razonable, en comparación con otros y es el que más distorsiones presenta en la estimación de pendientes. Los resultados obtenidos difieren en parte de los publicados hasta la fecha, siendo la diferencia admisible, teniendo en cuenta los errores de aproximación que hemos mencionado.

Figura 13. Longitud de la red de canales, longitud



Fuente: Matías, 2008

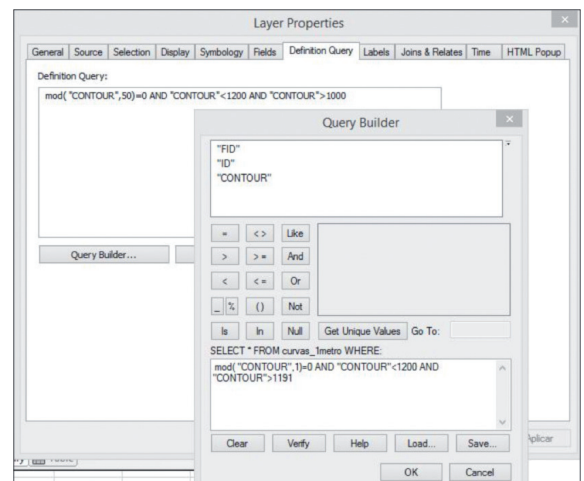
4.2. TOPOGRAFÍA DE LOS CANALES

Dada la magnitud de los trazados lineales de los canales, que se acerca a 600 km (Matías Rodríguez, 2008), es de especial dificultad estimar la pendiente real para cada tramo. No es válido estimar una pendiente media como relación entre el desnivel salvado y la longitud del canal, puesto que las fluctuaciones de sus valores pueden hacer que la misma sección del canal, considerada en distintos tramos, sea de sobrada capacidad o completamente insuficiente (ver apartado 4.1 Hidráulica de los canales).

Para poder estimar las pendientes y los trazados en planta con cierto rigor, sin recurrir a costosos levantamientos topográficos, hemos recurrido a los Sistemas de Información Geográfica, estudiando las imágenes obtenidas con tecnología LIDAR, del que se ha confeccionado un Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

Sobre el MDE que se han georreferenciado los puntos que se conservan en la actualidad. La precisión con que se trabaja en los programas informáticos (ARCGIS 10.2) depende del tamaño de las unidades de información. Las imágenes manejadas permiten un MDT con un paso de malla de 5 m, con la misma distribución de hojas que el MTN50, en formato de archivo ASCII matriz ESRI (asc). El sistema geodésico de referencia es el ETRS89 y la proyección UTM en el huso 30N correspondientes a las hojas 192-1, 192-2, 192-3 y 192-4 (distribución MTN50). El MDT05 se ha obtenido del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con resolución de 25 a 50cm/píxel, revisada e interpolada con líneas de ruptura. Las hojas manejadas se generaron en 2010. Todas las imágenes empleadas se han obtenido del centro de descargas que mantiene el Centro Nacional de Información Geográfica elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional de España (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/inicio.do>)

Figura 14. Detalle de limitación de equidistancia e intervalo de curvas de nivel



Para obtener el trazado en planta del canal en estudio, se han marcado sobre el MDE los puntos de coordenadas conocidas, que se corresponden con vestigios visibles del canal, como son los tramos excavados en roca y que la erosión no ha eliminado, los túneles igualmente excavados en roca, y los tramos del canal que se han venido utilizando como caminos y que en la actualidad se mantienen en su trazado original. Partiendo de dos de esos puntos fijados, y siguiendo la línea de mínima pendiente, se traza la línea del eje del canal. Para ello se calculan las líneas de nivel que pasan por esos puntos y se eligen las elevaciones de los puntos intermedios de manera que se obtiene una pendiente uniforme. Las curvas de nivel así determinadas se trazan en el programa ARCGIS seleccionando en el MDE la opción *Definition Query* con la instrucción $mod("CONTOUR",x)=0$ que es una ecuación de congruencia de módulo cero, es decir, todas aquellas curvas de nivel cuyo valor dividido por "x" dan resto nulo. Dicho



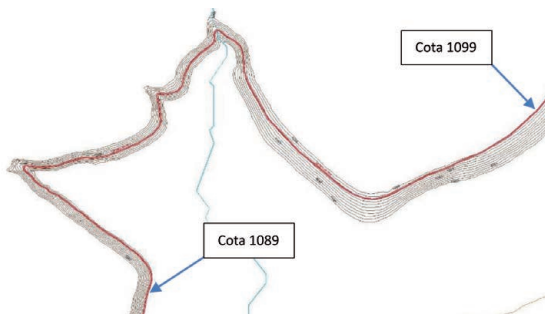
de otra manera, los múltiplos de x , que será la equidistancia entre las curvas de nivel.

Esto permite seleccionar la equidistancia, a menor valor de x , mayor precisión y mayor cantidad de memoria RAM consumida, por lo que los límites los fija la propia memoria RAM del ordenador. Para paliar esta limitación, se añaden otras instrucciones que limitan el intervalo de curvas a trazar, enlazadas con la instrucción AND. El conjunto de instrucciones quedaría.

$mod("CONTOUR",50)=0$ AND " $CONTOUR$ " < $z1$ AND " $CONTOUR$ " > $z2$

donde $z1$ y $z2$ se corresponden con las elevaciones, mayor y menor respectivamente, de los puntos fijados seleccionados (fig. 15 ejemplo con $x=1$ m $z1=1099$ m y $z2=1089$ m).

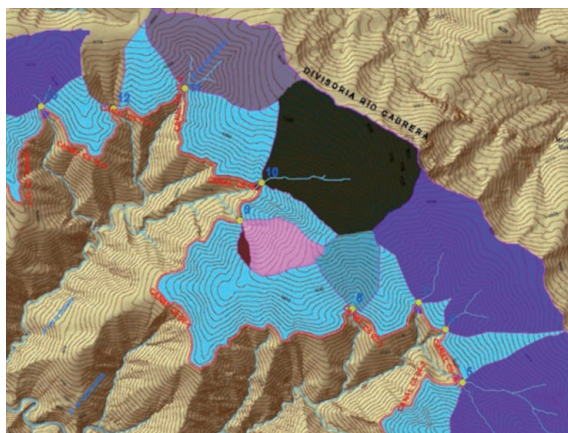
Figura 15. Ejemplo de discretización de curvas de nivel



El resto de curvas de nivel no se procesan con el consiguiente ahorro de RAM y tiempo de cálculo.

Partiendo del MDE se ha obtenido la cuenca del río Cabrera del que son afluentes todos los arroyos que atraviesa el canal en estudio. Este canal recoge todas las aguas de escorrentía que fluyen por las diferentes subcuencas de cada afluente, interceptándolas y acumulando el caudal que de otra manera llegaría a desaguar al río principal. Para ello se determina la dirección del flujo de agua en el raster para luego calcular el flujo acumulado. Quedan así determinados los cauces teóricos de todos los puntos de acumulación de agua.

Figura 16. Subcuencas interceptadas por el canal C5



En particular interesan los puntos en los que el canal intercepta a cada cauce (puntos 5 y siguientes de la fig. 16), porque de ahí partirá, aguas arriba del propio cauce interceptado, la subcuenca que no aporta agua al canal, por evacuar al cauce de la red secundaria. Esto es así ya que al interceptar el canal a un cauce natural, el punto se puede utilizar como captación, si el caudal transportado es insuficiente, o como aliviadero si es excesivo; podría indistintamente utilizarse en un sentido u otro. La intención al delimitar las subcuencas interceptadas es valorar los caudales recogidos por escorrentía que, cuando sea el correspondiente a la máxima avenida, habría que evacuar para salvaguardar la obra del canal. El agua recogida por la cuenca, aguas arriba del cauce natural, se evacua por el propio cauce, no siendo recogida por el canal en estudio.

Este caudal que discurre por el afluente se deduce del total acumulado en la traza del canal, con lo que obtenemos el volumen de agua de escorrentía realmente transportada. Se han calculado las superficies de las cuencas interceptadas (fig. 16); con los datos obtenidos (tabla 3) calcularemos el caudal de la máxima avenida.

Figura 17. Canal C5 y subcuencas interceptadas

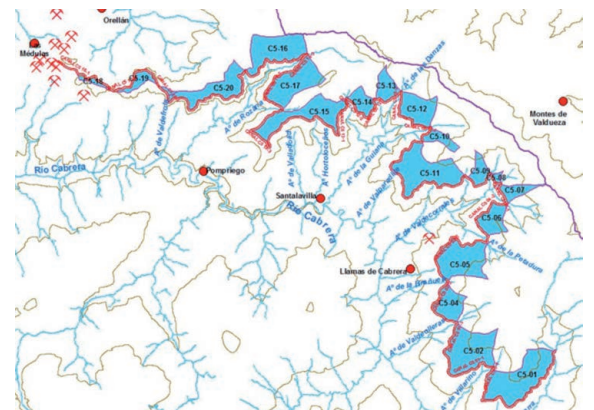


Tabla 3. Superficies de las subcuencas del canal C5

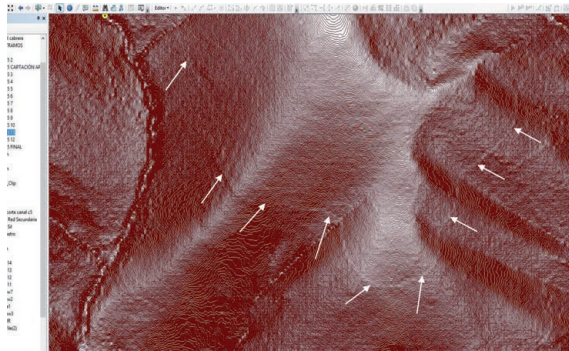
Id Cuenca	Superficie km ²	Id Cuenca	Superficie km ²
C5-01	1,850	C5-12	0,813
C5-02	1,533	C5-13	0,433
C5-04	0,664	C5-14	0,400
C5-05	1,356	C5-15	1,339
C5-06	0,579	C5-16	1,340
C5-07	0,343	C5-17	1,254
C5-08	0,077	C5-18	0,130
C5-09	0,345	C5-19	0,337
C5-10	0,301	C5-20	1,064
C5-11	1,701		

Para identificar tramos que no son visibles a simple vista, es de gran ayuda la representación del MDE con curvas de nivel suficientemente próximas (equidistancias de 0,5 m y 1 m), así se detectan cambios de pendiente anómalos. Sabiendo que el canal discurre por una ladera de pendiente sensiblemente uniforme y pronunciada, al presentarse una traza de pendiente



prácticamente nula, se rompe la uniformidad de las curvas para dejar entrever con cierta precisión la línea del canal.

Figura 18. Detalle de trazas del canal C5



No solo se distingue esta línea, sino muchas otras que descartamos por presentar pendientes ascendentes (positivas), o descendentes (negativas) excesivas; cualquiera de estos casos no podrían llevar el agua por gravedad al siguiente punto de control, o al depósito regulador de la explotación en el tramo final.

Las líneas de pendiente positiva o negativa excesiva se corresponden con caminos en desuso o los empleados por los propios romanos para acceder al canal, a veces discurren paralelos a la propia traza y se descartan por sufrir cambios repentinos de dirección o pendiente que serían incompatibles con un canal.

Para someter la propuesta de trazado realizada para el canal C5 a una verificación que avale el resultado como aceptable, hemos representado el terreno en tres dimensiones y proyectado el canal sobre él con la ayuda del módulo arcSCENE de ESRI. Se comprueba, como era de esperar, que al realizar una proyección lateral a 0° sexagesimales, es decir, una visual horizontal, a la altura de la elevación del canal en un punto cualquiera, se presenta la traza como una línea recta.

Esto no sucedía con ninguno de los trazados que habíamos analizado, de ninguno de los autores que los han publicado de entre los referenciados en la bibliografía. (López, 2005) (Matías Rodríguez, 2008). Proyectando sus propuestas en el modelo 3D, los puntos fijos (aquellos de los que quedan elementos visibles) sí aparecen ubicados con precisión en coordenadas y elevación, pero entre ellos los canales hacen constantes subidas y bajadas imposibles para una conducción en lámina libre.

Las fig. 19, fig. 20 y fig. 21 se representan imágenes obtenidas en el modelo 3D. La primera es una vista aérea del resultado, con una elevación del punto de vista de 400 m por encima del canal que se representa en azul. La segunda es la misma con el punto de vista en el plano inclinado que contiene al canal C5. La fig. 21, muestra una comparación de dos trazados, el publicado anteriormente en color rojo (López, 2005) (Matías Rodríguez, 2008) y el modelo propuesto en este trabajo en color azul. Se observa en rojo una línea irregular, que sube por la ladera y penetra en la montaña, indicador de pendientes ascendentes y descendentes. La pendiente media resulta sensiblemente igual, pero no es riguroso aceptar el trazado en planta.

Figura 19. Modelo 3D del canal C5 punto de vista a +450m



Figura 20. Modelo 3D del canal C5 con el punto de vista en su plano

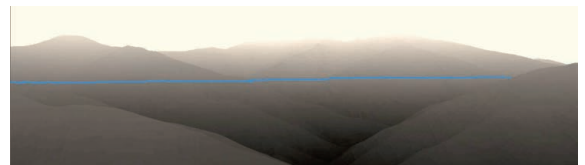


Figura 21. Modelo 3D Comparación de resultados





El resultado de los cálculos geométricos realizados se refleja en la tabla 4, los datos se obtienen del MDE, concretamente del *shape* (trazado vectorial) pasado a *raster* y proyectándolo sobre la *raster* de elevaciones. El resultado de la pendiente de cada tramo se calcula geoméricamente puesto que el dato que ofrece ArcMap es el de la pendiente media del terreno. Este valor no es válido porque lo que nos interesa es la pendiente del

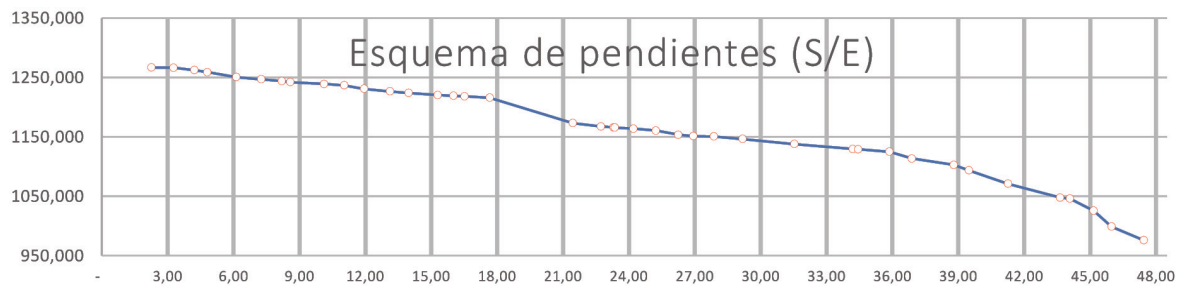
canal, que no coincide en general con la del terreno, por eso se hace necesario ejecutar obras de paso en pequeñas vaguadas o excavaciones en desmonte, para mantener una pendiente uniforme en el fondo del canal. En la figura 22 se representa un perfil esquemático del canal, cada punto representa los puntos fijos, aunque no se representa a escala (por su gran longitud), si se ha mantenido la proporcionalidad de las distancias.

Tabla 4. Resultados de la geometría de los canales

Tramo de canal	Longitud m	Distancia captación	Cota inicial m	Cota final m	Desnivel m	Pendiente milésimas (‰)
CANAL C5 00-1	2.263,90	2.263,90	1271,421	1266,537	4,883	2,1571
CANAL C5 00-2	1.008,62	3.272,52	1266,537	1266,202	0,335	0,3322
CANAL C5 00-3	940,53	4.213,05	1266,202	1262,264	3,938	4,1872
CANAL C5 00-4	594,99	4.808,04	1262,264	1258,963	3,301	5,5478
CANAL C5 01-1	1.321,12	6.129,17	1258,963	1250,563	8,400	6,3582
CANAL C5 01-2	1.140,95	7.270,12	1250,563	1246,938	3,625	3,1774
CANAL C5 01-3	927,98	8.198,10	1246,938	1243,958	2,979	3,2106
CANAL C5 02-1	391,33	8.589,43	1243,958	1241,877	2,081	5,3183
CANAL C5 02-2	1.531,13	10.120,55	1241,877	1239,131	2,746	1,7933
CANAL C5 03-1	918,40	11.038,95	1239,131	1236,599	2,533	2,7575
CANAL C5 03-2	906,32	11.945,27	1236,599	1230,876	5,723	6,3143
CANAL C5 03-3	1.175,65	13.120,92	1230,876	1226,415	4,461	3,7942
CANAL C5 04-1	861,25	13.982,17	1226,415	1223,960	2,455	2,8511
CANAL C5 04-2	1.311,39	15.293,56	1223,960	1220,424	3,536	2,6961
CANAL C5 05-1	716,66	16.010,22	1220,424	1219,018	1,406	1,9615
CANAL C5 06-1	501,94	16.512,16	1219,018	1218,264	0,754	1,5022
CANAL C5 07-1	1.150,94	17.663,10	1218,264	1215,909	2,356	2,0469
CANAL C5 08-1	3.788,78	21.451,88	1215,909	1173,022	42,886	11,3193
CANAL C5 08-2	1.275,77	22.727,64	1173,022	1167,560	5,462	4,2816
CANAL C5 091	568,95	23.296,60	1167,560	1165,720	1,840	3,2340
CANAL C5 09-1	56,67	23.353,26	1165,720	1165,600	0,120	2,1177
CANAL C5 10-1	860,36	24.213,63	1165,600	1163,685	1,915	2,2262
CANAL C5 10-2	1.017,71	25.231,34	1163,685	1160,417	3,268	3,2110
CANAL C5 11-1	1.023,27	26.254,60	1160,417	1153,673	6,744	6,5909
CANAL C5 12-1	678,02	26.932,62	1153,673	1151,085	2,588	3,8169
CANAL C5 12-2	942,56	27.875,17	1151,085	1150,716	0,368	0,3907
CANAL C5 13-1	1.305,00	29.180,17	1150,716	1146,303	4,414	3,3823
CANAL C5 13-2	2.358,55	31.538,72	1146,303	1137,781	8,522	3,6130
CANAL C5 13-3	2.659,22	34.197,94	1137,781	1129,536	8,245	3,1004
CANAL C5 14-1	243,90	34.441,85	1129,536	1128,860	0,676	2,7716
CANAL C5 14-2	1.426,55	35.868,40	1128,860	1124,981	3,879	2,7193
CANAL C5 14-3	1.020,16	36.888,55	1124,981	1113,486	11,495	11,2682
CANAL C5 15-1	1.904,06	38.792,61	1113,486	1102,774	10,712	5,6258
CANAL C5 15-2	693,71	39.486,32	1102,774	1093,553	9,221	13,2918
CANAL C5 16-1	1.777,05	41.263,37	1093,553	1071,019	22,534	12,6805
CANAL C5 16-2	2.371,32	43.634,68	1071,019	1047,676	23,344	9,8442
CANAL C5 16-3	455,74	44.090,42	1047,676	1045,756	1,919	4,2116
CANAL C5 17-1	1.078,55	45.168,97	1045,756	1025,622	20,134	18,6676
CANAL C5 17-2	812,14	45.981,11	1025,622	998,718	26,904	33,1276
CANAL C5 18-1	1.472,15	47.453,26	998,718	975,880	22,838	15,5135



Figura 22. Perfil del canal C5 eje horizontal en km, vertical en metros. Sin escala



4.3. HIDROLOGÍA

Como ya mencionamos, calcularemos el caudal de la máxima avenida en función de los datos obtenidos de la estación meteorológica de Ponferrada, concretamente la intensidad máxima diaria anual. De los 22.000 datos acopiados en la estación de referencia, seleccionamos los correspondientes a los días de mayor intensidad de lluvia en cada año, resultando los siguientes valores:

Tabla 5. Serie de datos de precipitación INM, estación de Ponferrada

Año	Precip máx 24 h (mm)	Año	Precip máx 24 h (mm)	Año	Precip máx 24 h (mm)
1951	51,3	1971	26,4	1991	22,1
1952	37,2	1972	35,9	1992	40,7
1953	21,3	1973	46,7	1993	23,9
1954	32,4	1974	46,6	1994	40,9
1955	92,2	1975	25,2	1995	59,8
1956	32,8	1976	22,5	1996	35,9
1957	44,8	1977	37,3	1997	34,3
1958	53,7	1978	45,6	1998	24,3
1959	39	1979	40,6	1999	63,6
1960	44,5	1980	32,2	2000	40
1961	43,2	1981	50	2001	42
1962	46	1982	44	2002	32,3
1963	32,3	1983	31	2003	34,7
1964	26,7	1984	34,1	2004	52,8
1965	38,2	1985	39,5	2005	25,6
1966	55	1986	58,3	2006	48,5
1967	23,9	1987	40,5	2007	30,7
1968	33,1	1988	31,1	2008	23,2
1969	34,2	1989	38,6	2009	49,6
1970	34	1990	26,1	2010	43,6
				2011	28,9

Número de datos N= 61

Valor medio $P_m = 38.7705$ mm

Desviación típica de la muestra $S_y = 12.2896$ mm

Calcularemos la intensidad para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años

Para facilitar el cálculo determinaremos los valores de

$$P = \frac{n}{N+1} \quad \text{donde } n \text{ es el número de orden de la serie y } N \text{ el número total de datos}$$

$$Y = -\ln(-\ln(P))$$

Obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 6. Valores previos

n	$P=n/(N+1)$	$Y=-\ln(-\ln(P))$
1	0,016129	-1,41758
2	0,032258	-1,23372
3	0,048387	-1,10807
4	0,064516	-1,00826
5	0,080645	-0,92334
6	0,096774	-0,84817
7	0,112903	-0,77989
8	0,129032	-0,71671
9	0,145161	-0,65747
10	0,161290	-0,60133
11	0,177419	-0,54768
12	0,193548	-0,49605
13	0,209677	-0,44609
14	0,225806	-0,39748
15	0,241935	-0,35001
16	0,258065	-0,30347
17	0,274194	-0,25768
18	0,290323	-0,21250
19	0,306452	-0,16780
20	0,322581	-0,12346
21	0,338710	-0,07938
22	0,354839	-0,03546
23	0,370968	0,00839
24	0,387097	0,05226
25	0,403226	0,09623



n	P=n/(N+1)	Y=-Ln(-Ln(P))
26	0,419355	0,14037
27	0,435484	0,18477
28	0,451613	0,22950
29	0,467742	0,27465
30	0,483871	0,32029
31	0,500000	0,36651
32	0,516129	0,41340
33	0,532258	0,46104
34	0,548387	0,50954
35	0,564516	0,55899
36	0,580645	0,60951
37	0,596774	0,66123
38	0,612903	0,71427
39	0,629032	0,76879
40	0,645161	0,82495
41	0,661290	0,88295
42	0,677419	0,94298
43	0,693548	1,00530
44	0,709677	1,07019
45	0,725806	1,13796
46	0,741935	1,20901
47	0,758065	1,28379
48	0,774194	1,36284
49	0,790323	1,44683
50	0,806452	1,53660
51	0,822581	1,63317
52	0,838710	1,73789
53	0,854839	1,85251
54	0,870968	1,97941
55	0,887097	2,12192
56	0,903226	2,28492
57	0,919355	2,47595
58	0,935484	2,70768
59	0,951613	3,00383
60	0,967742	3,41764
61	0,983871	4,11902

Número de datos N= 61

Valor medio de los datos de la tabla 6 $\bar{Y} = 0.55238$ mm

Desviación típica poblacional de la tabla 6 $S_y = 1.17586$ mm

Para un periodo de retorno T, la precipitación es: $P_T = u + a \cdot Y_T$

Los parámetros a y u son: $a = \left(\frac{1}{S_y}\right) \cdot P_s$ $u = P_m - \left(\frac{\bar{Y}}{S_y}\right) P_s$

El valor de Y_T se calcula con $Y_T = -\ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$

P_s es la desviación típica de los valores de precipitación máxima diaria

P_m es el valor medio de la serie de precipitación máxima diaria, obtenido de la tabla 5.

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$a = \left(\frac{1}{1,17586}\right) \cdot 12,2896 = 10,452$$

$$u = 38.77 - \left(\frac{0,55238}{1,17586}\right) 12,2896 = 33,004$$

Para los valores del tiempo de retorno a calcular, resultan los valores de la tabla 7:

Tabla 7. Resultados de intensidad de la máxima avenida

Periodo de Retorno	$Y_T = -\ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$	$P_T = u + a \cdot Y_T$
50	3,9019387	73,79
100	4,6001492	81,08
500	6,2136073	97,95

El valor de la precipitación máxima del año 1955 solo es superado por la Pmax del periodo de retorno de 500 años., es decir la precipitación registrada en ese año es mayor que los periodos de retorno de 50 y 100 años. Comparando esa precipitación con el resto de valores de la serie (de su año y del resto, es el único valor de ese orden de magnitud de los 22000 datos analizados), podría considerarse que se trata de una anomalía en la medición, no obstante no se descarta el valor porque se obtendrían avenidas máximas muy similares y menores en volumen de agua, lo que deja su permanencia del lado de la seguridad.

Con esta intensidad máxima, calculamos los valores del caudal de la máxima avenida de cada una de las subcuencas, usaremos el método recomendado por la Instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial de Carreteras (MOPU, 1990). Se trata de un método hidrometeorológico que estima la esorrentia de la cuenca, y en base a ésta y a la superficie de la cuenca, calcula una Intensidad media de precipitación para el periodo de retorno T_{500} , que supera la precipitación máxima en 24 H de las producidas en la serie estudiada.

Los datos de partida son los reflejados en la tabla 3, con esos valores confeccionamos la tabla 8 complementándola con la longitud del cauce principal de cada subcuenca y su pendiente (gradiente/longitud):



Tabla 8. Datos geométricos de cada subcuenca

Subcuenca	Superficie km ²	Longitud del cauce principal (m)	Cota superior (m)	Cota inferior (m)	Gradiente	Pendiente
C5-01	1,85	998,82	1586,41	1263,94	322,47	0,32285096
C5-02	1,533	1677,08	1723,59	1249,96	473,63	0,28241348
C5-04	0,664	848,1	1562,79	1233,22	329,57	0,38859804
C5-05	1,356	1605,23	1721,74	1237,57	484,17	0,30162033
C5-06	0,579	605,57	1559,7	1206,71	352,99	0,58290536
C5-07	0,343	1321,63	1790,27	1212,63	577,64	0,43706635
C5-08	0,077	276,49	1361,65	1220,03	141,62	0,51220659
C5-09	0,345	947,82	1611,24	1220	391,24	0,4127788
C5-10	0,301	982,49	1556,22	1178,53	377,69	0,38442122
C5-11	1,701	1028,59	1632,45	1144,5	487,95	0,47438727
C5-12	0,813	874,44	1500	1137,78	362,22	0,41423082
C5-13	0,433	1071,06	1510,99	1131,06	379,93	0,35472336
C5-14	0,4	580,43	1414,19	1143,67	270,52	0,46606826
C5-15	1,339	789,06	1477,3	1140,32	336,98	0,42706512
C5-16	1,34	820,05	1400	1120,03	279,97	0,34140601
C5-17	1,254	908,22	1401,81	1120,12	281,69	0,31015613
C5-18	0,13	539,44	1263,08	1057,27	205,81	0,38152529
C5-19	0,337	212,3	1071,41	1041,2	30,21	0,14229863
C5-20	1,064	220,81	1025,72	993,78	31,94	0,14464925

El caudal de cada subcuenca es: $Q = \frac{CIA}{3}$

Donde:

Q= Caudal de avenida en m³/s

A= Superficie de la cuenca en Km²

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad media de la precipitación

Incluye un aumento del 20% en Q para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación.

Según la Instrucción 5.2 IC. La intensidad media se obtiene de la expresión

$$\frac{I_t}{I_h} = \left(\frac{I_m}{I_h} \right)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

donde I_t es la intensidad que queremos calcular. I_h es la intensidad media horaria, obtenida como la del periodo de retorno T_{500} repartida en partes iguales en las 24 horas del día (el valor de la intensidad de la precipitación obtenido por el método de Gumbel es la precipitación máxima en 24 horas). T_c es el tiempo de concentración:

$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{I_m/4} \right)^{0,76}$ con L la longitud del cauce y I_m la pendiente, obtenemos los siguientes valores para cada subcuenca:

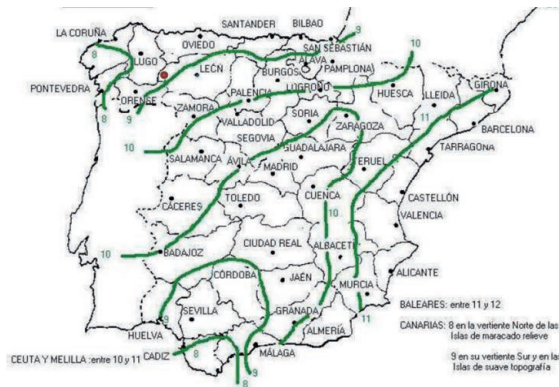
Tabla 9. Valores del tiempo de concentración

Subcuenca	Longitud del cauce L (Km)	Pendiente Jm	Tiempo de concentración Tc (horas)
C5-01	0,99882	0,323	0,37
C5-02	1,67708	0,282	0,57
C5-04	0,8481	0,389	0,32
C5-05	1,60523	0,302	0,54
C5-06	0,60557	0,583	0,23
C5-07	1,32163	0,437	0,43
C5-08	0,27649	0,512	0,13
C5-09	0,94782	0,413	0,34
C5-10	0,98249	0,384	0,35
C5-11	1,02859	0,474	0,35
C5-12	0,87444	0,414	0,32
C5-13	1,07106	0,355	0,38
C5-14	0,58043	0,466	0,23
C5-15	0,78906	0,427	0,29
C5-16	0,82005	0,341	0,32
C5-17	0,90822	0,310	0,35
C5-18	0,53944	0,382	0,23
C5-19	0,2123	0,142	0,13
C5-20	0,22081	0,145	0,14

El valor de I_m/I_h , siempre siguiendo la 5.2 IC, se obtiene del mapa de isolinias (fig. 23), que representan la mencionada relación (MOPU, 1990)



Figura 23. Mapa de isolinias Instrucción 5.2 IC



$\frac{I_m}{I_h} = 8,8$ El valor de I_h se deduce del de la precipitación máxima en un día (24 h) sin más que dividir su valor por 24. Así $I_h = 97,946/24 = 4,081$ mm/h

Sustituyendo en la expresión (1) y despejando obtendremos el valor de I_t para la subcuenca C5-01:

$$\frac{I_t}{I_h} = 8,8 \frac{28^{0,1} - 0,37^{0,1}}{28^{0,1} - 1} = 14,778$$

$$I_t = 14,778 \times 4,081 = 60,31 \text{ mm}$$

Un proceso idéntico para todas las subcuencas nos da el resultado reflejado en la tabla 10.

Repetiremos los cálculos para los periodos de retorno T50 y T100, con lo que obtendremos los valores de las tablas 11 y 12.

Tabla 10. Intensidades para T500

Subcuenca	Tiempo de concentración				
	Tc (horas)	I_m/I_h	I_t/I_h	I_h	I_t
C5-01	0,37	8,8	14,777984	4,081	60,31
C5-02	0,57	8,8	11,939519	4,081	48,73
C5-04	0,32	8,8	15,990138	4,081	65,26
C5-05	0,54	8,8	12,226169	4,081	49,90
C5-06	0,23	8,8	18,775262	4,081	76,62
C5-07	0,43	8,8	13,669779	4,081	55,79
C5-08	0,13	8,8	24,430213	4,081	99,70
C5-09	0,34	8,8	15,425891	4,081	62,95
C5-10	0,35	8,8	15,117392	4,081	61,70
C5-11	0,35	8,8	15,155696	4,081	61,85
C5-12	0,32	8,8	15,903256	4,081	64,90
C5-13	0,38	8,8	14,520818	4,081	59,26
C5-14	0,23	8,8	18,683948	4,081	76,25
C5-15	0,29	8,8	16,568728	4,081	67,62
C5-16	0,32	8,8	15,997675	4,081	65,29
C5-17	0,35	8,8	15,259987	4,081	62,28
C5-18	0,23	8,8	18,840823	4,081	76,89
C5-19	0,13	8,8	23,967807	4,081	97,81
C5-20	0,14	8,8	23,680734	4,081	96,64

Tabla 11. Intensidades para T100

Subcuenca	Tiempo de concentración				
	Tc (horas)	I_m/I_h	I_t/I_h	I_h	I_t
C5-01	0,37	8,8	14,777984	3,378	49,93
C5-02	0,57	8,8	11,939519	3,378	40,34
C5-04	0,32	8,8	15,990138	3,378	54,02
C5-05	0,54	8,8	12,226169	3,378	41,31
C5-06	0,23	8,8	18,775262	3,378	63,43
C5-07	0,43	8,8	13,669779	3,378	46,18
C5-08	0,13	8,8	24,430213	3,378	82,54
C5-09	0,34	8,8	15,425891	3,378	52,12
C5-10	0,35	8,8	15,117392	3,378	51,07
C5-11	0,35	8,8	15,155696	3,378	51,20
C5-12	0,32	8,8	15,903256	3,378	53,73
C5-13	0,38	8,8	14,520818	3,378	49,06
C5-14	0,23	8,8	18,683948	3,378	63,12
C5-15	0,29	8,8	16,568728	3,378	55,98
C5-16	0,32	8,8	15,997675	3,378	54,05
C5-17	0,35	8,8	15,259987	3,378	51,55
C5-18	0,23	8,8	18,840823	3,378	63,65
C5-19	0,13	8,8	23,967807	3,378	80,97
C5-20	0,14	8,8	23,680734	3,378	80,00

Tabla 12. Intensidades para T50

Subcuenca	Tiempo de concentración				
	Tc (horas)	I_m/I_h	I_t/I_h	I_h	I_t
C5-01	0,37	8,8	14,777984	3,074	45,43
C5-02	0,57	8,8	11,939519	3,074	36,71
C5-04	0,32	8,8	15,990138	3,074	49,16
C5-05	0,54	8,8	12,226169	3,074	37,59
C5-06	0,23	8,8	18,775262	3,074	57,72
C5-07	0,43	8,8	13,669779	3,074	42,03
C5-08	0,13	8,8	24,430213	3,074	75,11
C5-09	0,34	8,8	15,425891	3,074	47,43
C5-10	0,35	8,8	15,117392	3,074	46,48
C5-11	0,35	8,8	15,155696	3,074	46,59
C5-12	0,32	8,8	15,903256	3,074	48,89
C5-13	0,38	8,8	14,520818	3,074	44,64
C5-14	0,23	8,8	18,683948	3,074	57,44
C5-15	0,29	8,8	16,568728	3,074	50,94
C5-16	0,32	8,8	15,997675	3,074	49,18
C5-17	0,35	8,8	15,259987	3,074	46,92
C5-18	0,23	8,8	18,840823	3,074	57,92
C5-19	0,13	8,8	23,967807	3,074	73,69
C5-20	0,14	8,8	23,680734	3,074	72,80

Para calcular el coeficiente de escorrentía sabemos la precipitación máxima diaria y necesitamos conocer el umbral de escorrentía corregido (P_f), que será: $P_f = P_o \times C_k$



P_f es el umbral de escorrentía final y C_k es el coeficiente de mayoración por localización geográfica, que se estima en el mapa propuesto en la norma 5.2 IC.:

El valor de P_0 se determina en función de la naturaleza del terreno, de la vegetación y de la infiltración o retención de agua superficial. Para ello empleamos la tabla elaborada por el servicio de conservación de suelos de los EE.UU, reproducida en la Norma española (tabla 2-1 de la 5.2IC):

Figura 24. Mapa del coeficiente corrector de escorrentía



Tabla 13. Umbral de precipitación Instrucción 5.2 IC

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Característ. Hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Rotación de cultivos pobres	>=3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	< 3	R / N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	>=3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	< 3	R / N	47	25	16	13
Praderas	>=3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	70	33	18	13
		Muy buena	80	41	22	15
	< 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	80	35	17	10
		Buena	12	55	22	14
		Muy buena	250	100	25	16
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	>=3	Pobre	62	26	15	10
		Media	80	34	19	14
		Buena	100	42	22	15
	< 3	Pobre	75	34	19	14
		Media	95	42	22	15
		Buena	120	50	25	16
Masas forestales (bosques, monte bajo,...)	----	Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	75	34	22	16
		Espesa	90	47	31	23
		Muy espesa	120	65	43	33
Barbecho	>=3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	< 3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	>=3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	< 3	R / N	28	19	14	11
Cereales de Invierno	>=3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	< 3	R / N	34	21	14	12



Tabla 14. Grupo de suelo en función de la infiltración.
Instrucción 5.2 IC

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa	Perfecto
			Areno limosa	
B	Moderada	Media a grande	Franco arenosa	Bueno a moderado
			Franca	
			Franco arcillo arenosa	
			Franco limosa	
C	Lenta	Media a pequeña	Franco arcillosa	Imperfecto
			Franco arcillo limosa	
			Arcillo arenosa	
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontales de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Tabla 15. Valores de Pd/Pf

	T ₅₀₀	T ₁₀₀	T ₅₀
P _d /P _f	5,155043602	4,26750662	3,88343236

Siendo Pd la precipitación diaria calculada y P_f=P_o × C_k = 10 × 1,9 = 19, será Pd/Pf según la tabla 15.

el coeficiente de escorrentía se calcula con la expresión

$$C = \frac{\left(\frac{P_d}{P_f} - 1\right) \left(\frac{P_d}{P_f} + 23\right)}{\left(\frac{P_d}{P_f} + 11\right)^2}$$

y sus valores serán:

Tabla 16. Coeficientes de escorrentía

	T ₅₀₀	T ₁₀₀	T ₅₀
C	0,448	0,382	0,350

Tabla 17. Caudal de avenida para periodo de retorno
de 500 años

Subcuenca	Superficie Km ²	I _t	C	Caudal de avenida (m ³ /s)
C5-01	1,6595	60,310	0,448	14,95
C5-02	1,5186	48,726	0,448	11,06
C5-04	0,6732	65,257	0,448	6,56
C5-05	1,4279	49,896	0,448	10,65
C5-06	0,468	76,623	0,448	5,36
C5-07	0,3293	55,787	0,448	2,74
C5-08	0,048	99,702	0,448	0,72
C5-09	0,3688	62,954	0,448	3,47
C5-10	1,7736	61,695	0,448	16,35
C5-11	0,2824	61,852	0,448	2,61
C5-12	0,6685	64,902	0,448	6,48
C5-13	0,3481	59,261	0,448	3,08
C5-14	0,3529	76,251	0,448	4,02
C5-15	1,3109	67,618	0,448	13,24
C5-16	1,1923	65,288	0,448	11,63
C5-17	1,1309	62,277	0,448	10,52
C5-18	1,1533	76,891	0,448	13,25
C5-19	0,2486	97,814	0,448	3,63
C5-20	0,149	96,643	0,448	2,15

Tabla 18. Caudal de avenida para periodo de retorno
de 100 años

Subcuenca	Superficie Km ²	I _t	C	Caudal de avenida (m ³ /s)
C5-01	1,6595	49,93	0,382	10,56
C5-02	1,5186	40,34	0,382	7,80
C5-04	0,6732	54,02	0,382	4,63
C5-05	1,4279	41,31	0,382	7,51
C5-06	0,468	63,43	0,382	3,78
C5-07	0,3293	46,18	0,382	1,94
C5-08	0,048	82,54	0,382	0,50
C5-09	0,3688	52,12	0,382	2,45
C5-10	1,7736	51,07	0,382	11,54
C5-11	0,2824	51,20	0,382	1,84
C5-12	0,6685	53,73	0,382	4,58
C5-13	0,3481	49,06	0,382	2,18
C5-14	0,3529	63,12	0,382	2,84
C5-15	1,3109	55,98	0,382	9,35
C5-16	1,1923	54,05	0,382	8,21
C5-17	1,1309	51,55	0,382	7,43
C5-18	1,1533	63,65	0,382	9,35
C5-19	0,2486	80,97	0,382	2,56
C5-20	0,149	80,00	0,382	1,52



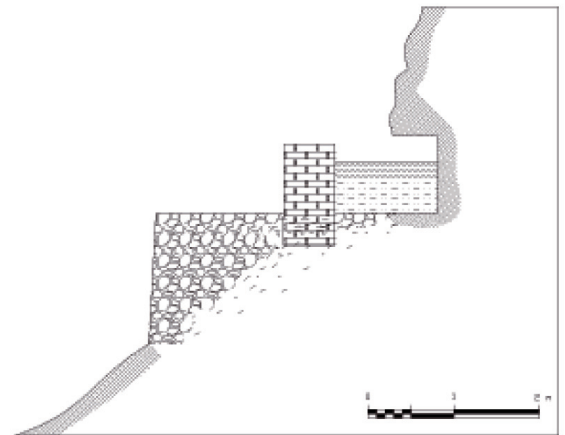
Tabla 19. Caudal de avenida para periodo de retorno de 50 años

Subcuenca	Superficie Km ²	I_t	C	Caudal de avenida (m ³ /s)
C5-01	1,6595	45,43	0,350	8,79
C5-02	1,5186	36,71	0,350	6,50
C5-04	0,6732	49,16	0,350	3,86
C5-05	1,4279	37,59	0,350	6,26
C5-06	0,468	57,72	0,350	3,15
C5-07	0,3293	42,03	0,350	1,61
C5-08	0,048	75,11	0,350	0,42
C5-09	0,3688	47,43	0,350	2,04
C5-10	1,7736	46,48	0,350	9,62
C5-11	0,2824	46,59	0,350	1,53
C5-12	0,6685	48,89	0,350	3,81
C5-13	0,3481	44,64	0,350	1,81
C5-14	0,3529	57,44	0,350	2,36
C5-15	1,3109	50,94	0,350	7,79
C5-16	1,1923	49,18	0,350	6,84
C5-17	1,1309	46,92	0,350	6,19
C5-18	1,1533	57,92	0,350	7,79
C5-19	0,2486	73,69	0,350	2,14
C5-20	0,149	72,80	0,350	1,27

4.4. LA RED HIDRÁULICA DE LAS MÉDULAS

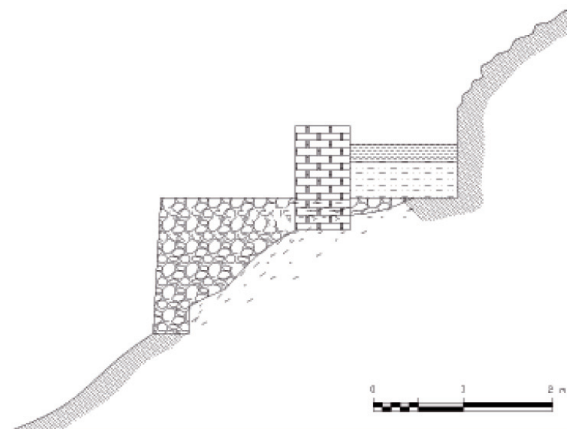
En los canales que abastecieron la mina de Las Médulas se repiten los mismos patrones de sección tipo, dependiendo de su situación puntual. Así, si el canal discurría por una ladera se excavaba el canal en su zona interior y la base, cerrando por el exterior con un muro de fábrica de piedra apoyado sobre una bancada de contención. En zonas más llanas, se cerraban ambos lados mediante muros de fábrica de piedra, reservando la excavación completa de la sección del canal para los casos en los que había que atravesar roca. Si la diferencia de cota entre la base del canal y la de la superficie de la roca era inferior a la altura del canal, se escavaba el fondo y se levantaban sendos muros de fábrica a cada lado. Si era superior se escavaba en túnel. Pero la constante era la sección rectangular, salvo en túneles que era abovedada, de dimensiones aproximadas de 1,30 m de base y una altura no menor de 1 metro; este último dato es una estimación basada en la altura de los túneles, que no deberían ser de menor altura del canal que lo atraviesa. (Matias Rodríguez, 2008)

Figura 25. Sección a media ladera encajada



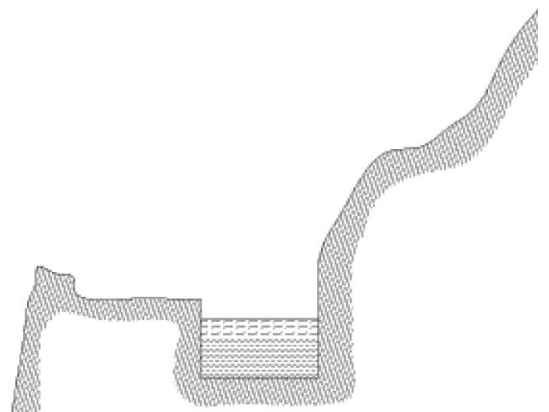
Fuente: Matías, 2008.

Figura 26. Sección a media ladera libre



Fuente: Matías, 2008.

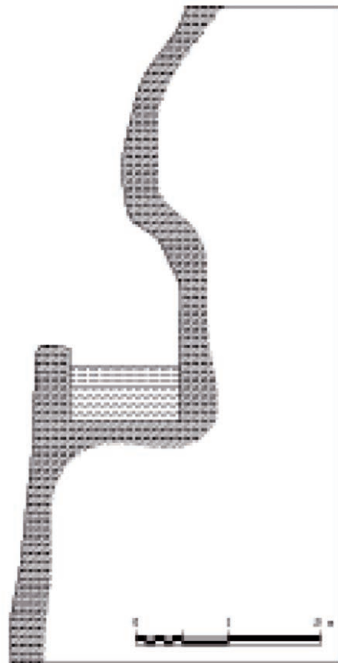
Figura 27. Sección libre sin contención



Fuente: Matías, 2008.



Figura 28. Sección en talud vertical



Fuente: Matías, 2008.

Aceptando estas medidas como válidas (figs. 25 a 28), podemos deducir, conocida la pendiente y el material de la construcción del canal, su capacidad máxima. La sección óptima de un canal rectangular, como vimos anteriormente, es aquella en la que la base es el doble de la altura. Así con 1,3 m de base, la altura óptima del canal sería de 0,65 m. el resto es un resguardo de seguridad para puntas de caudal y evitar que rebose, ya que esto supondría un importante deterioro de las paredes del canal.

Para poder estimar el coeficiente de rugosidad de Manning debemos de conocer el material del que estaban construidos los canales. Si carecían de revestimiento de mortero (Matías Rodríguez, 2008) la roca virgen y el revestimiento con lajas de piedra, probablemente pizarra, tienen un coeficiente de rugosidad similar, entre $n=0,03$ y $n=0,035$. Adoptaremos el valor $n=0,033$ como valor medio. Con estos datos podemos estimar la capacidad del canal:

$$Q = S \cdot V = S \cdot \frac{1}{n} R h^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

La sección mojada sería $S=b \times h=1,3 \times 0,65=0,845 \text{ m}^2$

El perímetro mojado $p=b+2h=1,3+2 \times 0,65=2,6 \text{ m}$

El radio hidráulico $R_h=S/p=0,845/2,6=0,325 \text{ m}$

El valor de la pendiente i varía en cada tramo, para el primero (C5 00-1) $i=0,002157$

Sustituyendo $Q = 0,845 \cdot \frac{1}{0,033} \cdot 0,325^{2/3} \cdot \sqrt{0,002157} = 0,56 \text{ m}^3/\text{s}$

Calculando de igual manera para todos los tramos con diferentes pendientes resulta

Tabla 20. Caudales a calado óptimo

Canal	Longitud m	Anchura del canal	Pendiente (j)	Caudal estimado (m³/s)
CANAL C5 00-1	2.263,90	1,3	0,22%	0,562
CANAL C5 00-2	1.008,62	1,3	0,03%	0,221
CANAL C5 00-3	940,53	1,3	0,42%	0,783
CANAL C5 00-4	594,99	1,3	0,55%	0,902
CANAL C5 01-1	1.321,12	1,3	0,64%	0,965
CANAL C5 01-2	1.140,95	1,3	0,32%	0,682
CANAL C5 01-3	927,98	1,3	0,32%	0,686
CANAL C5 02-1	391,33	1,3	0,53%	0,883
CANAL C5 02-2	1.531,13	1,3	0,18%	0,513
CANAL C5 03-1	918,40	1,3	0,28%	0,636
CANAL C5 03-2	906,32	1,3	0,63%	0,962
CANAL C5 03-3	1.175,65	1,3	0,38%	0,746
CANAL C5 04-1	861,25	1,3	0,29%	0,646
CANAL C5 04-2	1.311,39	1,3	0,27%	0,628
CANAL C5 05-1	716,66	1,3	0,20%	0,536
CANAL C5 06-1	501,94	1,3	0,15%	0,469
CANAL C5 07-1	1.150,94	1,3	0,20%	0,548
CANAL C5 08-1	3.788,78	1,3	1,13%	1,288
CANAL C5 08-2	1.275,77	1,3	0,43%	0,792
CANAL C5 091	568,95	1,3	0,32%	0,688
CANAL C5 09-1	56,67	1,3	0,21%	0,557
CANAL C5 10-1	860,36	1,3	0,22%	0,571
CANAL C5 10-2	1.017,71	1,3	0,32%	0,686
CANAL C5 11-1	1.023,27	1,3	0,66%	0,983
CANAL C5 12-1	678,02	1,3	0,38%	0,748
CANAL C5 12-2	942,56	1,3	0,04%	0,239
CANAL C5 13-1	1.305,00	1,3	0,34%	0,704
CANAL C5 13-2	2.358,55	1,3	0,36%	0,728
CANAL C5 13-3	2.659,22	1,3	0,31%	0,674
CANAL C5 14-1	243,90	1,3	0,28%	0,637
CANAL C5 14-2	1.426,55	1,3	0,27%	0,631
CANAL C5 14-3	1.020,16	1,3	1,13%	1,285
CANAL C5 15-1	1.904,06	1,3	0,56%	0,908
CANAL C5 15-2	693,71	1,3	1,33%	1,395
CANAL C5 16-1	1.777,05	1,3	1,27%	1,363
CANAL C5 16-2	2.371,32	1,3	0,98%	1,201
CANAL C5 16-3	455,74	1,3	0,42%	0,786
CANAL C5 17-1	1.078,55	1,3	1,87%	1,654
CANAL C5 17-2	812,14	1,3	3,31%	2,203
CANAL C5 18-1	1.472,15	1,3	1,55%	1,508

El mayor caudal que se podía transportar con la sección óptima es de 2.203 m³/s en el tramo C5-17-2, próximo a la explotación. Pero este caudal con la pendiente de 3,31%, mucho mayor que el resto del trazado. La sección que menos caudal puede transportar será la de menor pendiente, de tal manera que sería el



punto más peligroso y el que antes rebosaría (a menor pendiente, mayor calado).

Los tramos en estudio se corresponden con las subcuencas interceptadas y sus caudales de máxima avenida, según la tabla 21:

Tabla 21. Caudales de avenida según tramos

Tramo	Subcuenca	Pendiente	Caudal de avenida T500	Caudal de avenida T100	Caudal de avenida T50
CANAL C5 00-1	C5-01	0,22%	14,95	10,56	8,79
CANAL C5 00-2	C5-01	0,03%	14,95	10,56	8,79
CANAL C5 00-3	C5-01	0,42%	14,95	10,56	8,79
CANAL C5 00-4	C5-01	0,55%	14,95	10,56	8,79
CANAL C5 01-1	C5-02	0,64%	11,06	7,80	6,50
CANAL C5 01-2	C5-02	0,32%	11,06	7,80	6,50
CANAL C5 01-3	C5-02	0,32%	11,06	7,80	6,50
CANAL C5 02-1	C5-04	0,53%	6,56	4,63	3,86
CANAL C5 02-2	C5-04	0,18%	6,56	4,63	3,86
CANAL C5 03-1	C5-05	0,28%	10,65	7,51	6,26
CANAL C5 03-2	C5-05	0,63%	10,65	7,51	6,26
CANAL C5 03-3	C5-05	0,38%	10,65	7,51	6,26
CANAL C5 04-1	C5-06	0,29%	5,36	3,78	3,15
CANAL C5 04-2	C5-06	0,27%	5,36	3,78	3,15
CANAL C5 05-1	C5-07	0,20%	2,74	1,94	1,61
CANAL C5 06-1	C5-08	0,15%	0,72	0,50	0,42
CANAL C5 07-1	C5-09	0,20%	3,47	2,45	2,04
CANAL C5 08-1	C5-11	1,13%	2,61	1,84	1,53
CANAL C5 08-2	C5-11	0,43%	2,61	1,84	1,53
CANAL C5 091	C5-10	0,32%	16,35	11,54	9,62
CANAL C5 09-1	C5-10	0,21%	16,35	11,54	9,62
CANAL C5 10-1	C5-12	0,22%	6,48	4,58	3,81
CANAL C5 10-2	C5-12	0,32%	6,48	4,58	3,81
CANAL C5 11-1	C5-13	0,66%	3,08	2,18	1,81
CANAL C5 12-1	C5-14	0,38%	4,02	2,84	2,36
CANAL C5 12-2	C5-14	0,04%	4,02	2,84	2,36
CANAL C5 13-1	C5-15	0,34%	13,24	9,35	7,79
CANAL C5 13-2	C5-15	0,36%	13,24	9,35	7,79
CANAL C5 13-3	C5-15	0,31%	13,24	9,35	7,79
CANAL C5 14-1	C5-17	0,28%	10,52	7,43	6,19
CANAL C5 14-2	C5-17	0,27%	10,52	7,43	6,19
CANAL C5 14-3	C5-17	1,13%	10,52	7,43	6,19
CANAL C5 15-1	C5-16	0,56%	11,63	8,21	6,84
CANAL C5 15-2	C5-16	1,33%	11,63	8,21	6,84
CANAL C5 16-1	C5-20	1,27%	2,15	1,52	1,27
CANAL C5 16-2	C5-20	0,98%	2,15	1,52	1,27
CANAL C5 16-3	C5-20	0,42%	2,15	1,52	1,27
CANAL C5 17-1	C5-19	1,87%	3,63	2,56	2,14
CANAL C5 17-2	C5-19	3,31%	3,63	2,56	2,14
CANAL C5 18-1	C5-18	1,55%	13,25	9,35	7,79

Se comprueba que los caudales de la menor de las avenidas supera con mucha diferencia los caudales máximos que se cubican para el calado estimado de 0.65 m. En muchos casos se haría necesario disponer de aliviaderos intermedios para soportar incluso los caudales recogidos por escorrentía común, sin llegar a los máximos correspondientes a los periodos de retorno calculados.

5. CONCLUSIONES

De la descripción de la red hidráulica de Las Médulas que han hecho todos los autores citados, se puede deducir que los romanos disponían de tecnología suficiente para ejecutar la obra civil necesaria para transportar el agua desde grandes distancias, controlando los caudales a suministrar y empleándola para los fines que perseguían. Podían garantizar el suministro continuo de volúmenes importantes de agua para conseguir la excavación de las tierras auríferas, y su posterior lavado para, por sedimentación, obtener el oro. Y pudieron mantener la explotación en funcionamiento durante al menos 190 años. Esto no sería posible dejando cosas al azar. Sabían de dónde hacer las captaciones, qué arroyos eran permanentes y cuáles no.

Analizando la red de canales y la cantidad de agua que fueron capaces de suministrar, no se puede poner en duda su capacidad para la gestión de los recursos de que disponían. Y si así se ha podido demostrar, surgen interrogantes que pueden poner en duda las teorías que pretenden explicar los fenómenos físicos que aprovecharon para sus fines. En lo referente al Ruina Montium como sistema de excavación, la forma de los restos que han quedado y las evidencias de los canales y depósitos hacen poner en duda tales teorías.

La capacidad de los depósitos es muy pequeña para producir las avalanchas de agua que se proponen con frecuencia, escasos 18000 m³ de agua no se pueden hacer impactar contra el interior de la montaña de una sola vez a través de las galerías de menos de 2 m² de sección; más bien se trata de depósitos de regulación, para mantener un caudal constante y garantizar un flujo a presión suficiente para producir la cavitación, y facilitar así la erosión del terreno desde su seno, además, claro está de la escorrentía superficial que se producía a posteriori. Si no fuera esto así, no sería preciso unir cuatro canales en la última fase de la explotación, cuando en apenas 6 horas se llena el depósito. Si la descarga instantánea que se apunta no fuera efectiva en primera instancia, ¿cómo retiraban el agua para volver a ejecutarla?

Otra teoría que no podría aplicarse es la que mantiene que el monte se derribaba mediante el aire comprimido al soltar de golpe todo el agua del depósito, con un efecto pistón. Esto no es posible por la configuración de la excavación. Las galerías en ligera pendiente y la descarga lateral del depósito (no hay desagües de fondo) permiten en todo momento que el aire salga por los mismos pozos por los que entra el agua, y si alguna bolsa de aire quedara confinada, su presión no podría ser superior a la del agua que está en contacto, por lo que no habría diferencia entre las presiones ejercidas por ambos fluidos, y ya vimos que la presión hidrostática no es suficiente.



La cavitación no puede explicar por sí misma la excavación de grandes masas de tierras. Su efecto es superficial, es una presión instantánea la que ejerce sobre las paredes de las galerías, suficiente para arrancar material, pero no para empujar el terreno, su energía cinética no es suficiente, a pesar de las altas velocidades a las que se producen en las implosiones, ya que su masa es muy pequeña, y se disipa casi instantáneamente, por lo que su efecto está muy localizado. Sí parece claro, examinando las galerías que se conservan, que se ha producido cavitación por la huella que deja, y en las galerías donde no ha circulado agua, son evidentes los cambios de sección para producir depresiones que faciliten la cavitación. Esto indica que las galerías se empleaban para lavar los estratos auríferos desde dentro, en los niveles inferiores donde las leyes de oro son mayores, y para saturarlos en los estratos superiores con bajas leyes o estériles, y producir el Ruina Montium.

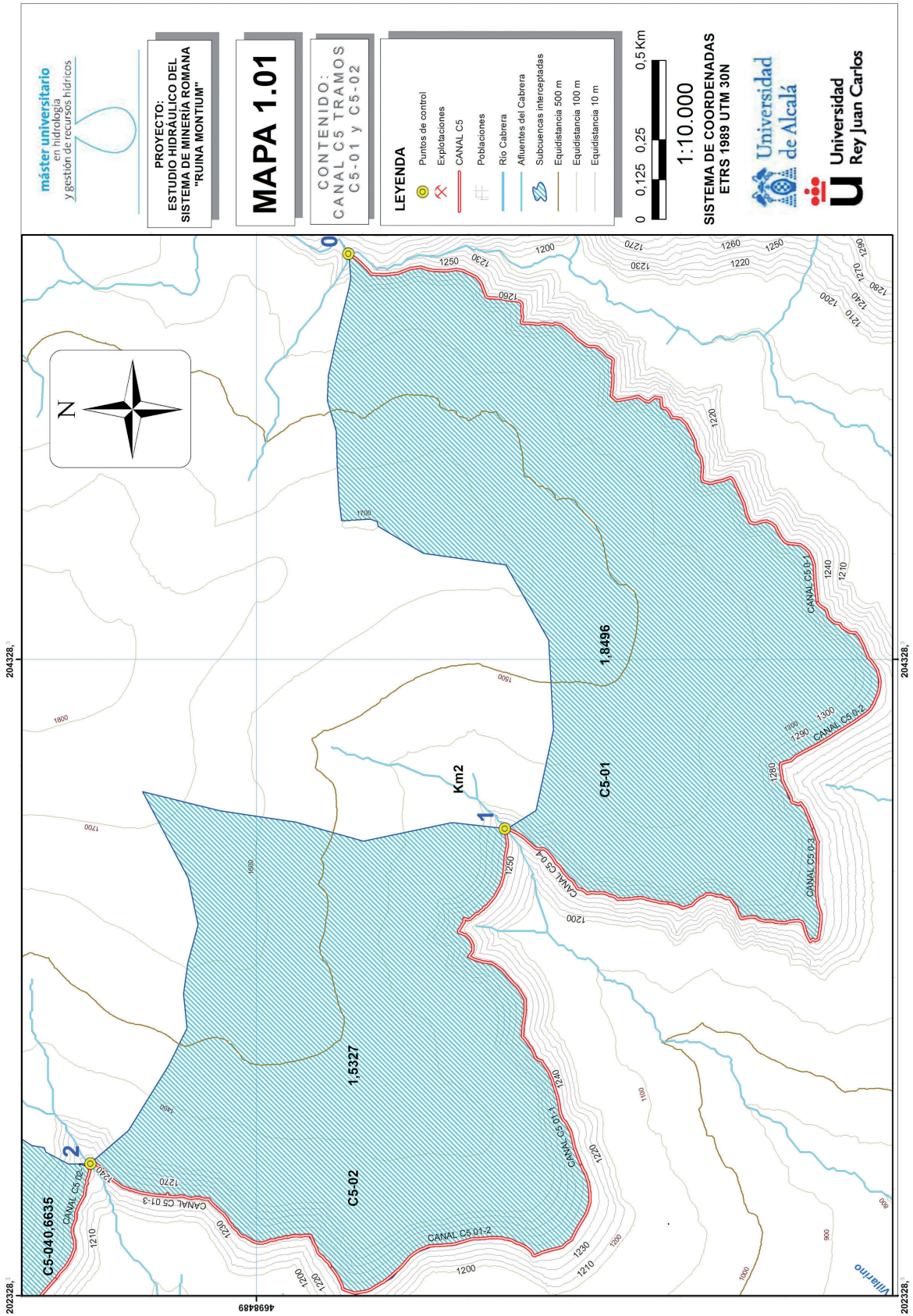
La presión hidrostática por sí misma no puede producir el derrumbe pues la reacción del terreno es siempre mayor que el empuje, salvo ciertas condiciones antieconómicas, es decir muchos túneles para poco volumen removido. Sin embargo, combinada con la pérdida de cohesión de las arcillas y los conglomerados al saturarse, sí podría explicar el fenómeno.

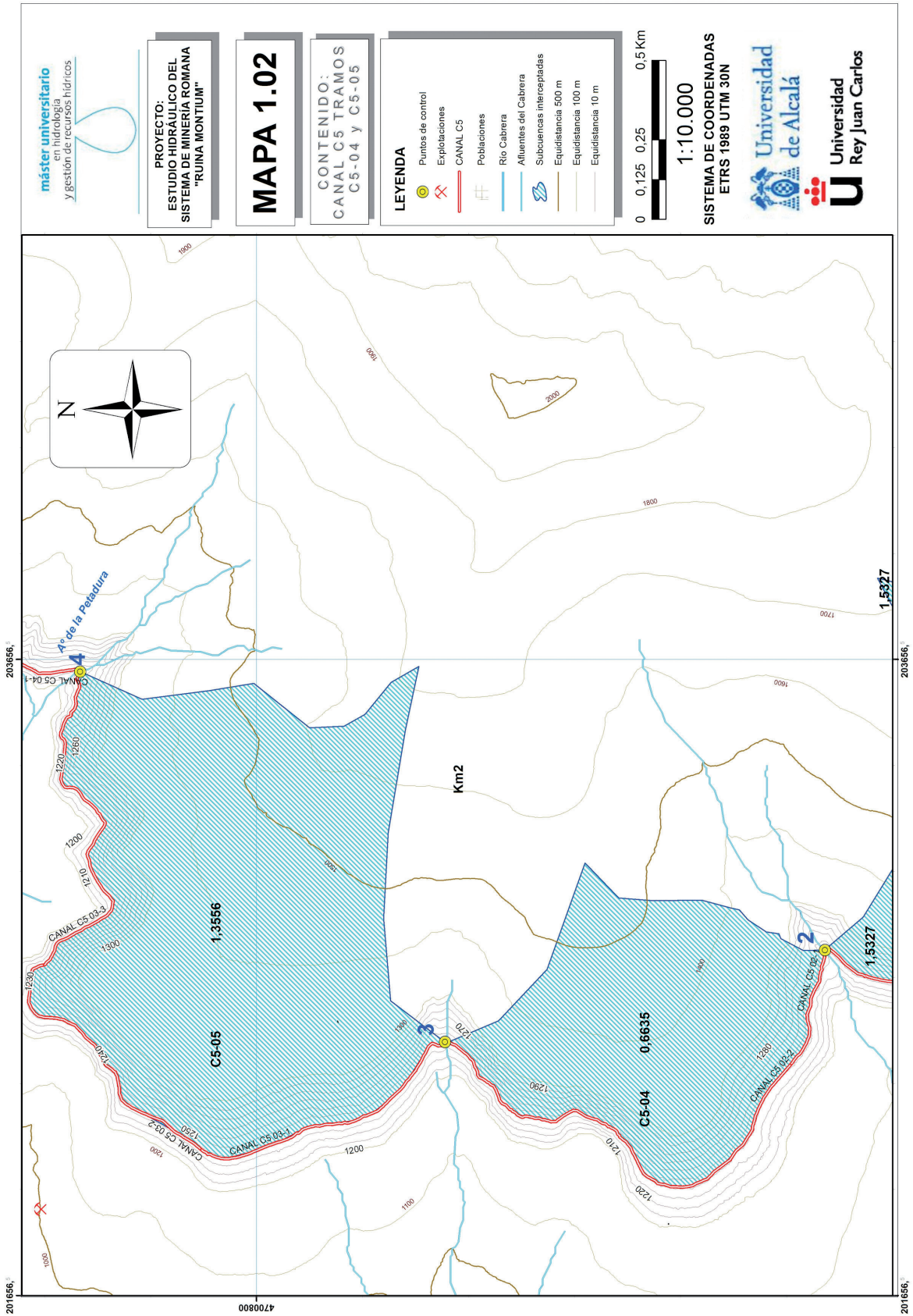
Si tenemos en cuenta la capacidad de los romanos para diseñar y ejecutar semejante red hidráulica, y sus conocimientos técnicos, demostrados en otras muchas obras de abastecimiento y saneamiento en todo su imperio, en particular, su conocimiento de las conducciones en presión (con tubería de piedra y de cerámicas endurecidas, o recubiertas de plomo), ¿por qué no ejecutaron los depósitos a cotas superiores? Podían incrementar la presión del agua en decenas de metros de columna de agua sin más que ubicarlos en las estribaciones de los montes Aquilianos. O las laderas norte de la cuenca, a menor distancia. La respuesta puede estar en que no les interesaba la presión tanto como la regularidad en el suministro de agua. Esto refuerza la teoría de la humectación y saturación del suelo para producir el Ruina Montium.

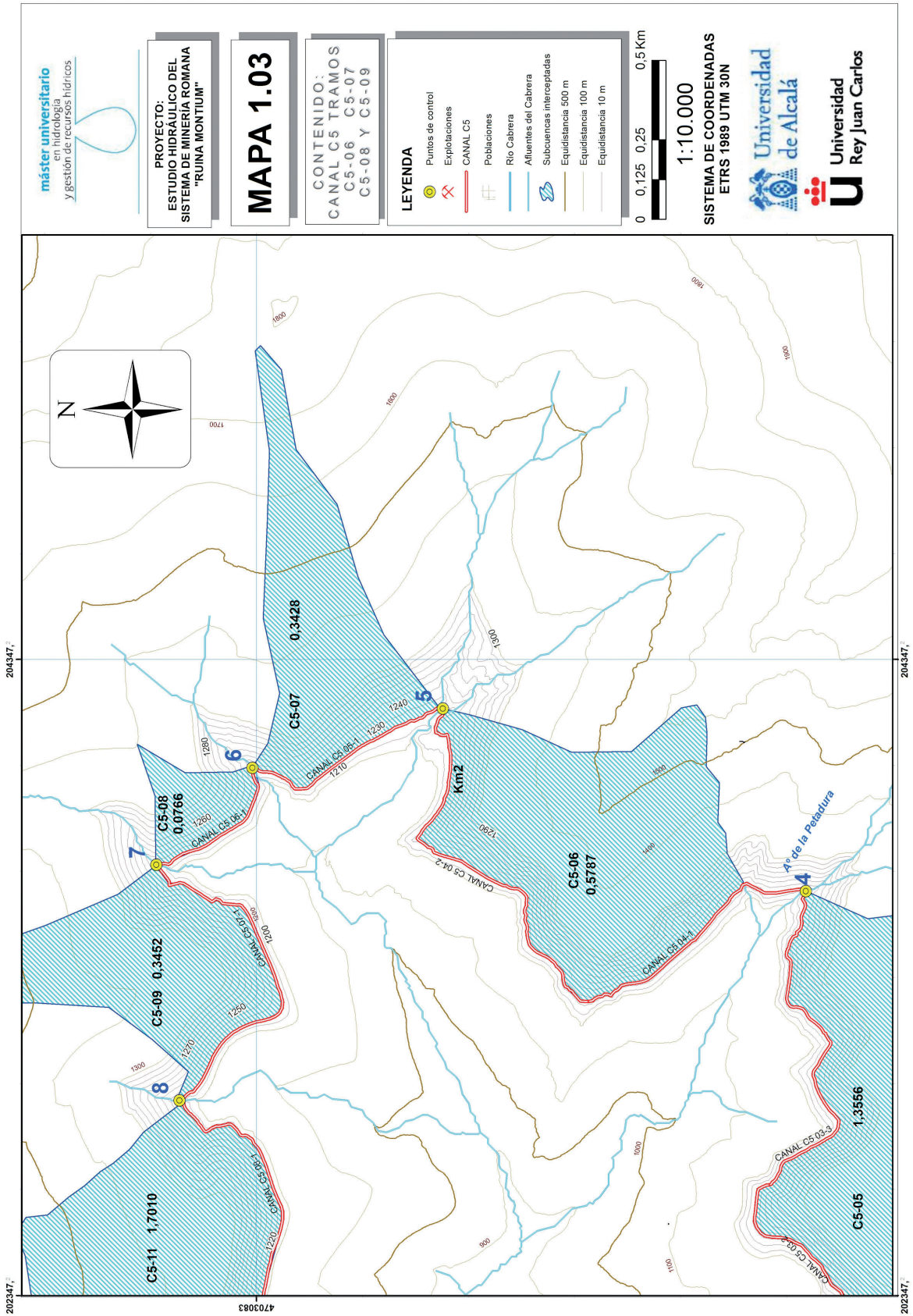
Otro punto de controversia es la razón del final de la explotación de Las Médulas. La devaluación de la moneda puede ser una razón, pero entonces ¿por qué siguieron con la explotación de minas de oro en otras zonas del entorno? Se construyeron nuevos canales para las minas de Llamas de Cabrera, destruyendo incluso parte de los que alimentaban Las Médulas (o lo que quedara de ellos) con sus derrubios. Si analizamos los caudales calculados para las máximas avenidas y los comparamos con los máximos que se podían admitir con garantías de estabilidad, aún con calados superiores a lo razonable, veremos que aquellos superan a éstos en 9 ó 10 veces, incluso más en algunos casos. Los tramos que se verían más afectados son precisamente de los que no queda vestigio alguno para su estudio, y se corresponden con las mayores subcuencas interceptadas. Esto podría ligarse al fin de la explotación tan solo con que se alcanzara en 190 años la avenida de los 50 años. Con la reducción del rendimiento de la explotación podría no haber sido rentable reparar los daños que se hubieran ocasionado y sí abrir nuevas minas más ricas.

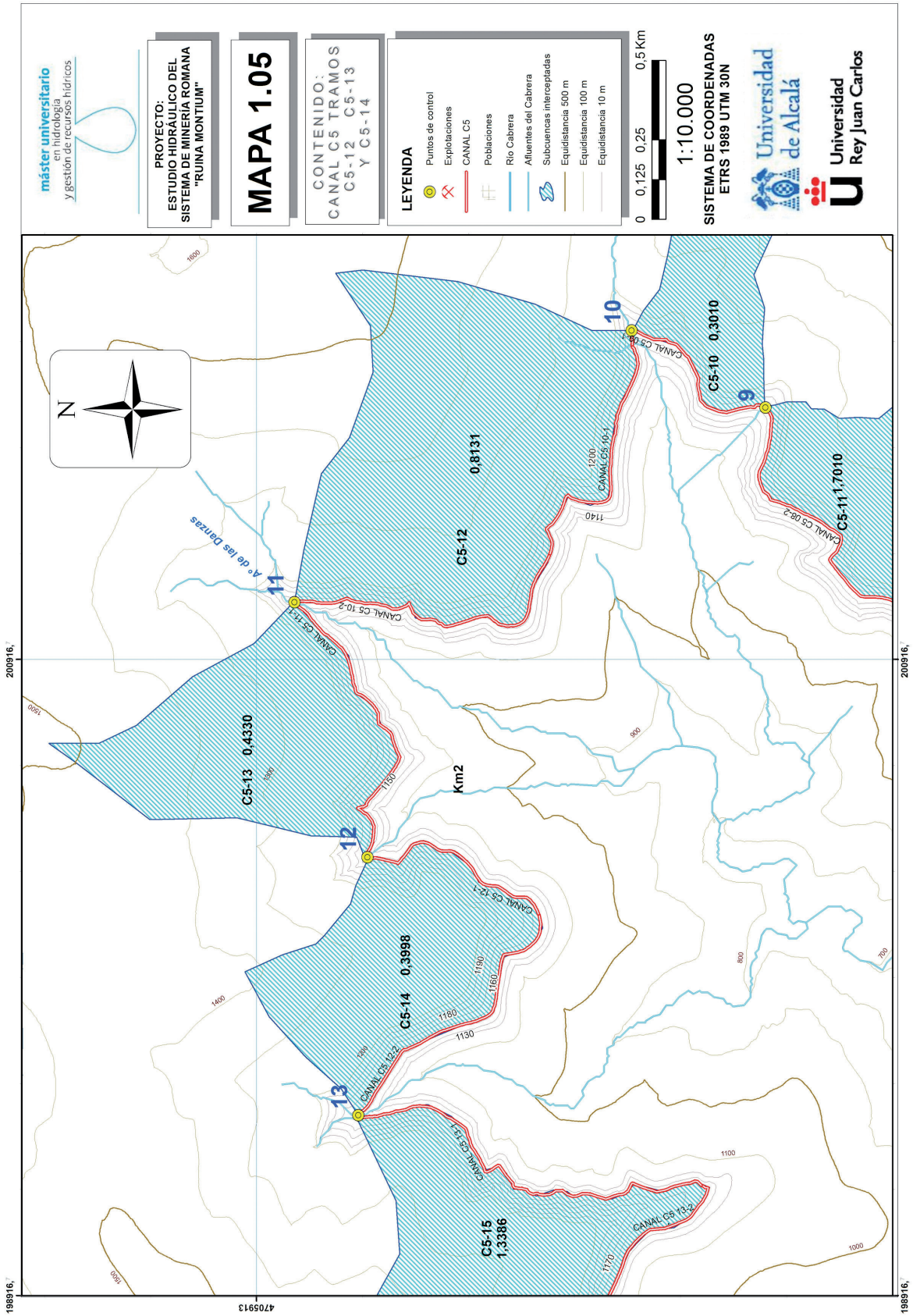
6. BIBLIOGRAFÍA

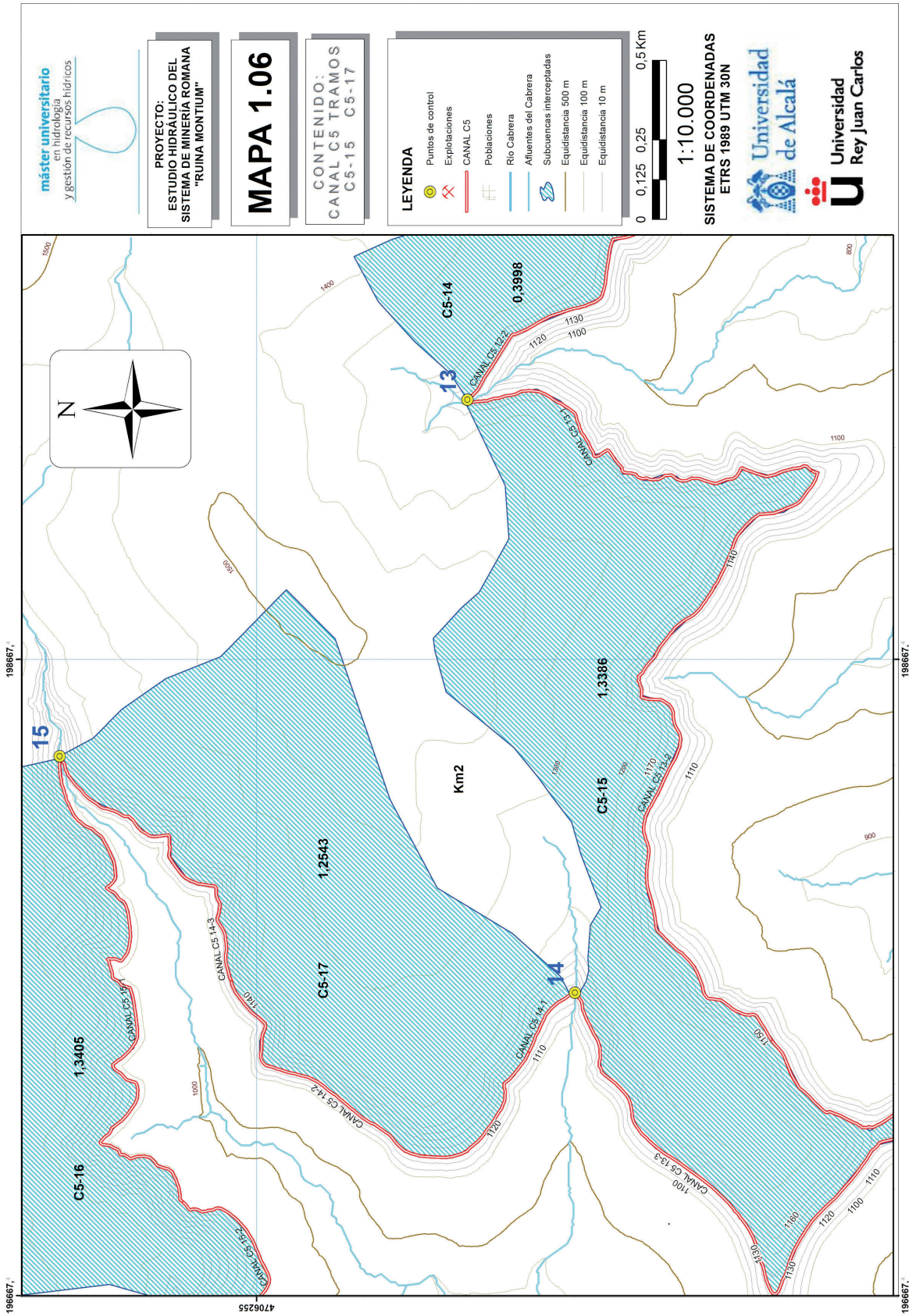
- Bonafe, D. E. (1988). *Hidráulica para Ingenieros*. Madrid: Librería Técnica Bellisco.
- Crumley, C., & Marquardt, W. (2011). *Regional Dynamics. Burgundian Landscapes in the Historical Perspective*. San Diego. California: Academic press, INC.
- García de los Reyes, J. C. (2018). *Las labores de oro de época romana. Geología*.
- López, D. G. (2005). *Minas de oro romanas, Las Médulas*. León: EDILESA.
- Martín Escorza, C. (2006). EL ORO EN LAS MÉDULAS. Su geología y arqueología. *SENDEROS GEOARQUEOLÓGICOS II - (El oro de las Médulas)*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. <http://www.sam.mncn.csic.es/publicaciones1.php?idpublic=40>.
- Matías Rodríguez, R. (2008). *El agua en la ingeniería de la explotación minera de Las Médulas*. León: Universidad de León.
- Matías Rodríguez, R. (2013). Minería aurífera romana en Salientes-Villabliño. *XIV Congreso sobre Patrimonio Geológico y Minero*, (págs. 631-648). Asturias.
- MOPU. (1990). *INSTRUCCION 5,2-IC Drenaje Superficial*. Madrid: MOPU Demarcación de carreteras.
- Moreno Gallo, I. (2004). *Topografía Romana. II Congreso de Obras Públicas Romanas*. Tarragona.
- Orejas, A. (2002). *La mano de obra en Las Médulas*. (I. d. CSIC, Ed.) León: Fundación Las Medulas.
- Pagés, J., Hacar, M., & Alonso, A. (1999). Nueva interpretación de la geología de la mina romana de Las Medulas. *Geogaceta*, 25.
- Plinio, G. s. (2008). *Plinio y la minería aurífera romana: nueva traducción e interpretación de PLINIO Maurilio Pérez y Roberto Matías (2008)*. León: Cuadernos de filología clásica. Estudios Latinos.
- Sánchez Palencia, F., & Pérez García, L. (1992). *Los yacimientos de oro de Las Médulas de Carucedo (León). Colección Textos Universitarios*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Sánchez Palencia, F., & Pérez, L. (2000). *La infraestructura hidráulica*. León: Instituto Leonés de Cultura.
- Sánchez Palencia, F., Pérez García, L., & Torres Ruiz, J. (2000). Tertiary and Quaternary alluvial gold deposits of Northwest Spain and Roman Mining (NW of Duero and Bierzo Basins). *Journal of Geochemical Exploration* 71. Madrid: Centro de Estudios Históricos, CSIC.
- Serrano Rodríguez, J. Á. (2009). La cavitación en sistemas de tuberías. *Jornada Válvulas Hidráulicas. Información: La cavitación en sistemas de tuberías*. Barcelona: Adequa Grupo Uralita.
- Vitruvio, P. M. (1997). *S. I a.C. Los diez libros de Arquitectura. Versión de José Luis Domingo(1997)*. Madrid: ALIANZA.

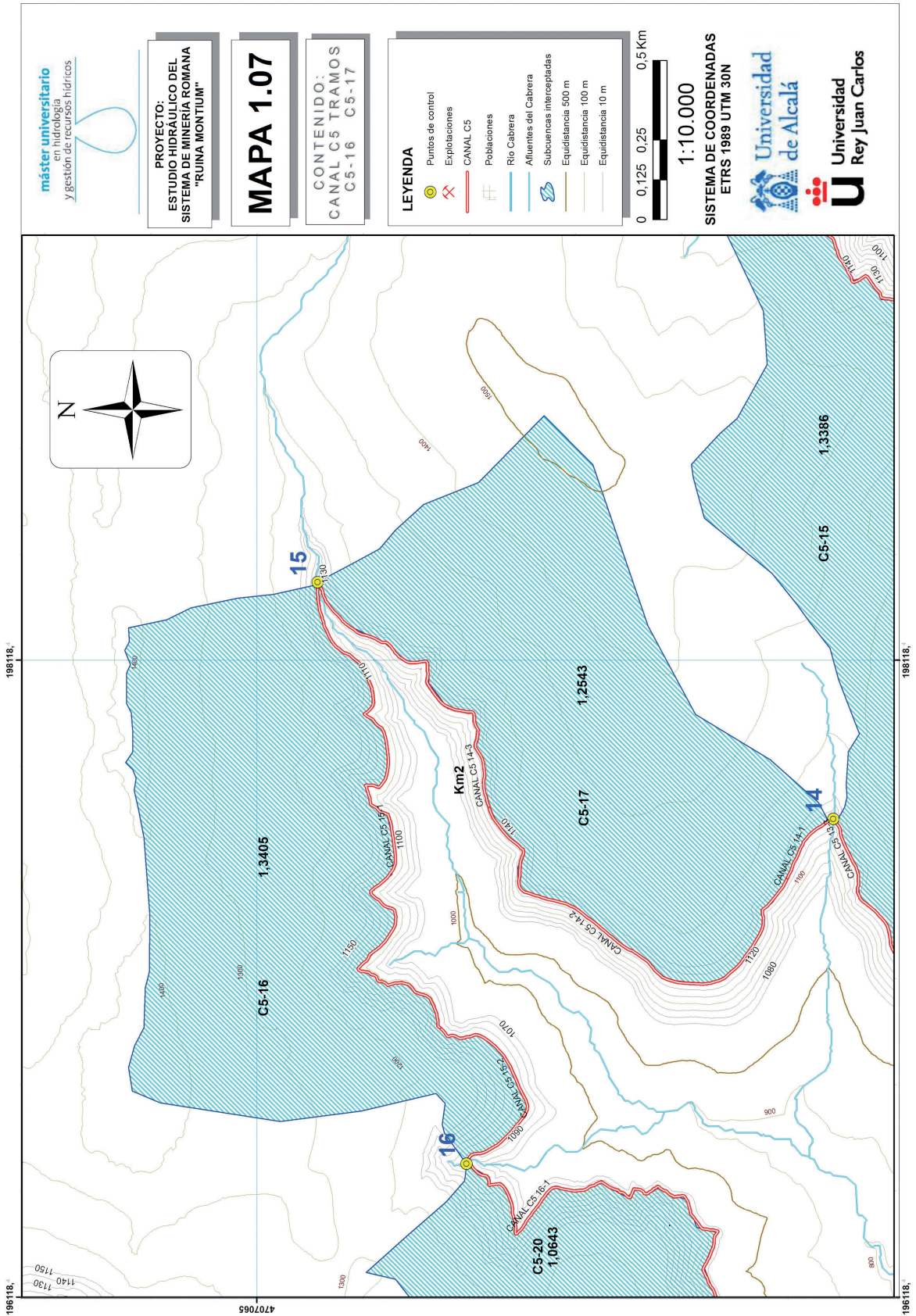


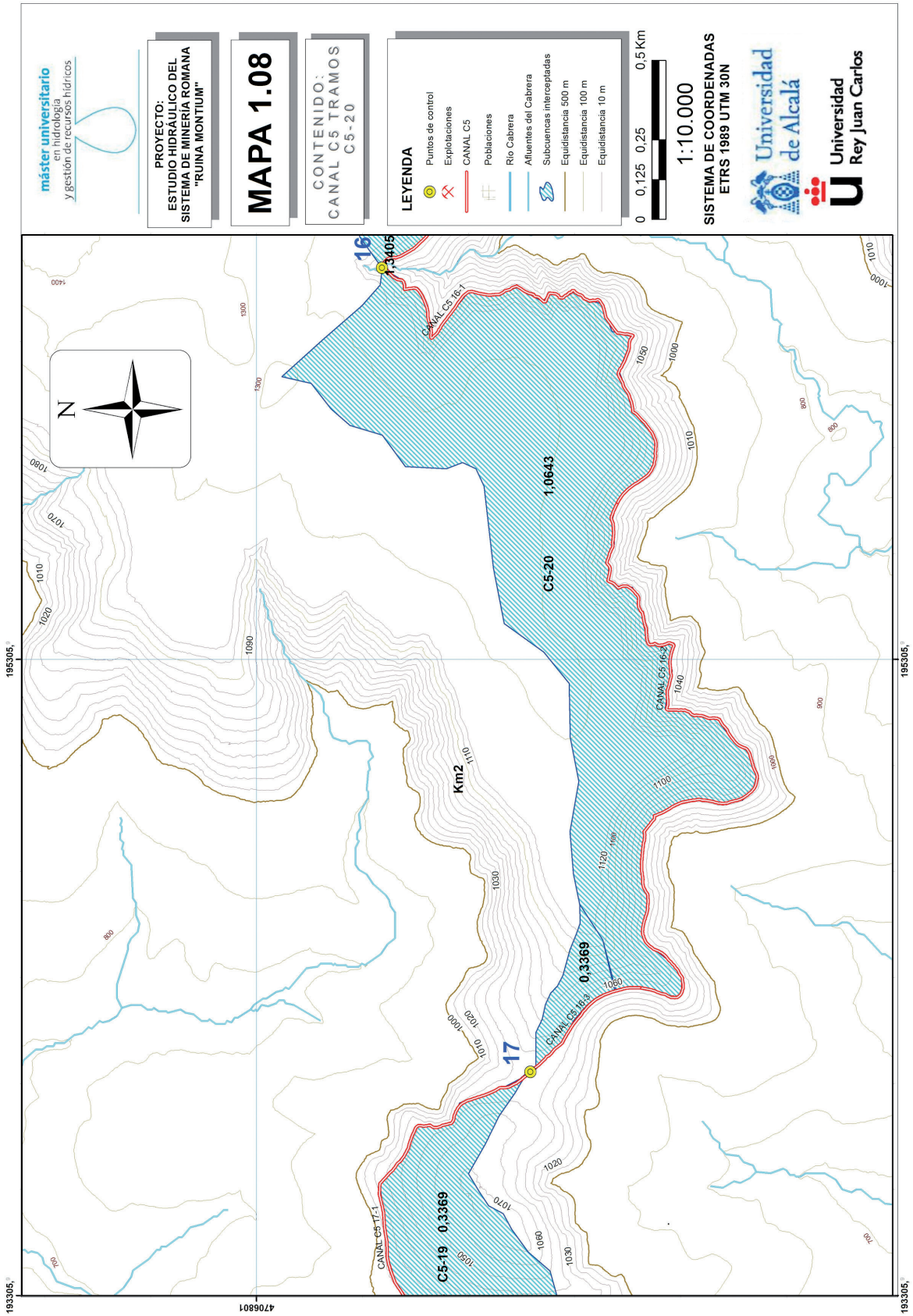


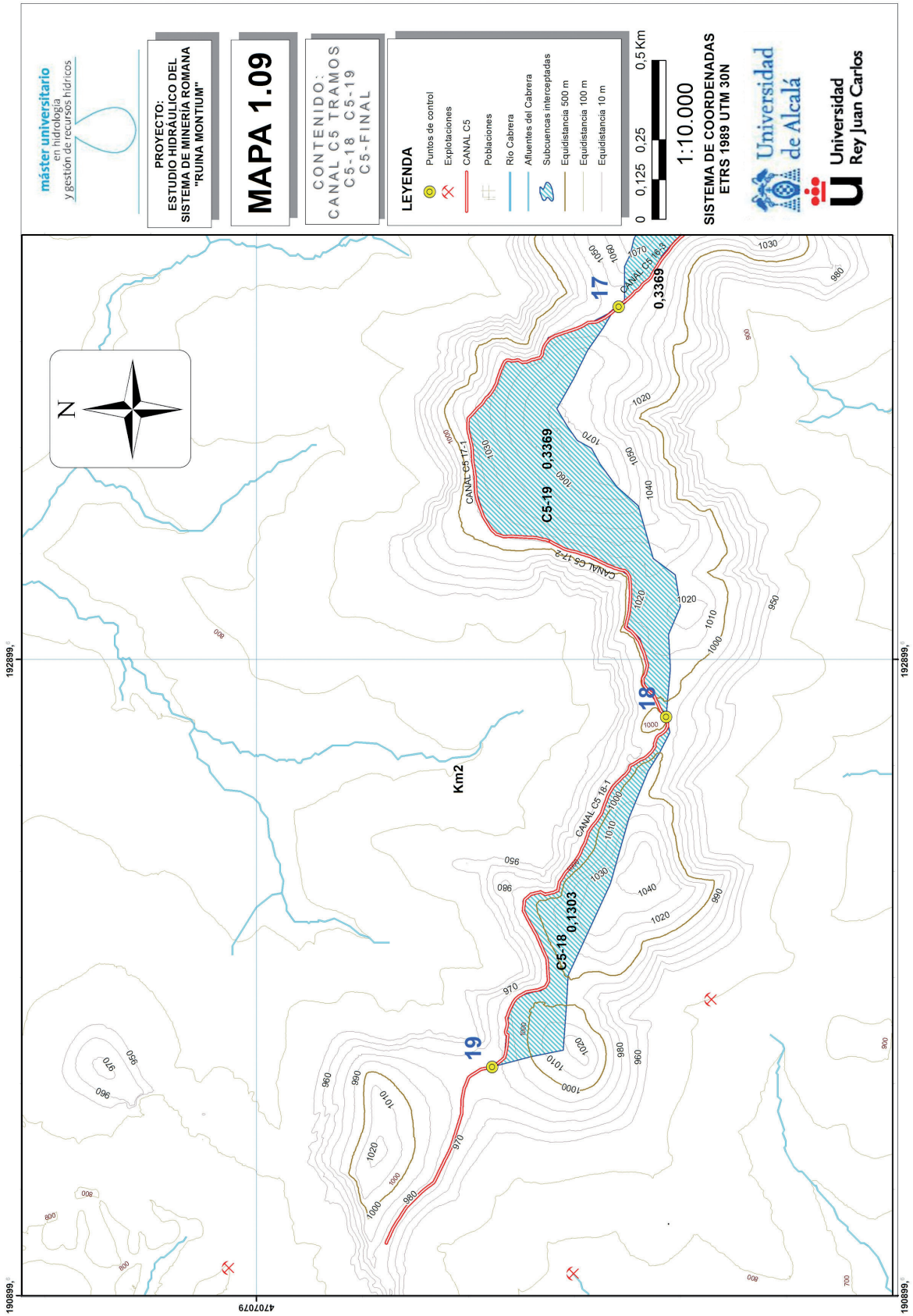


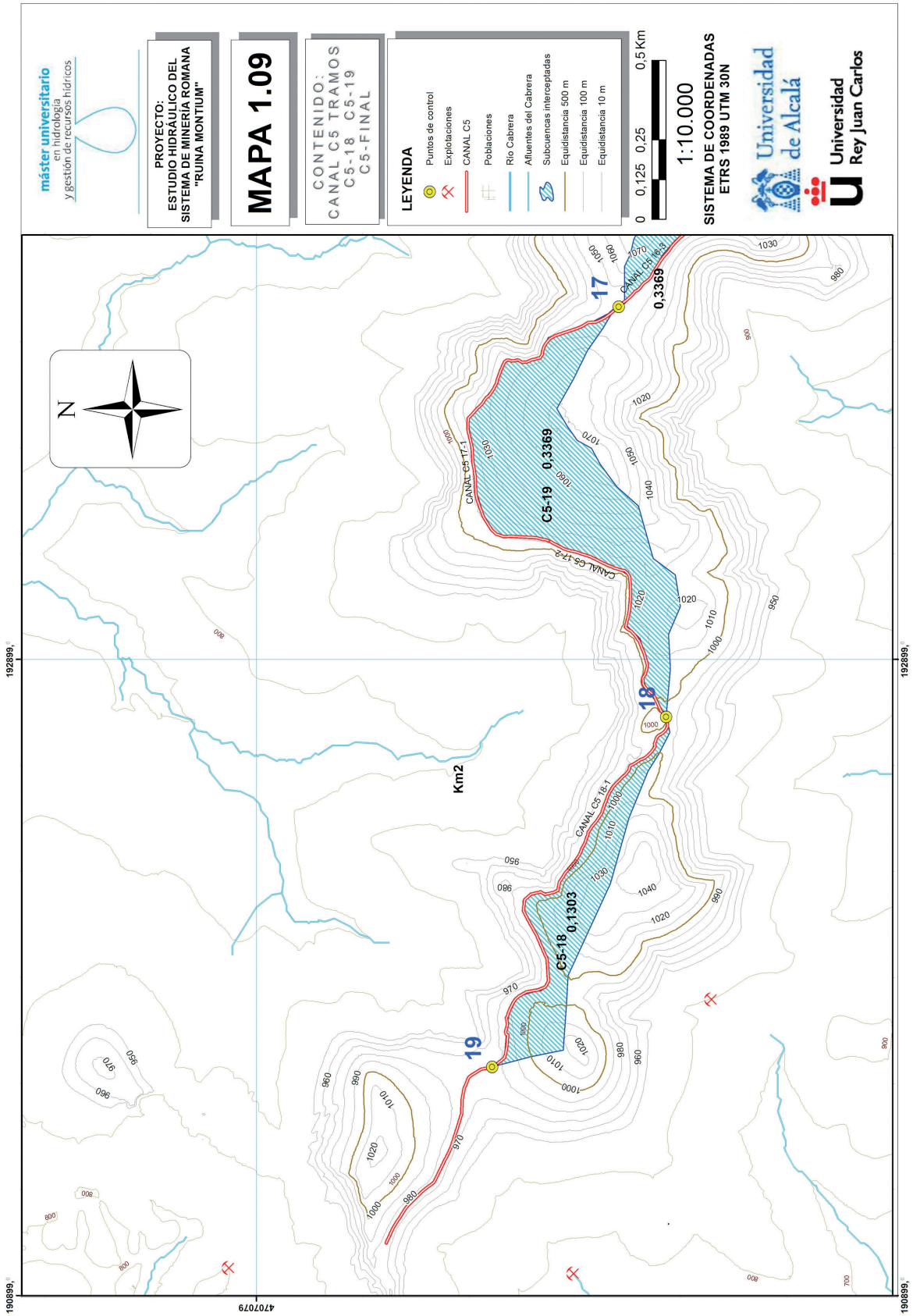


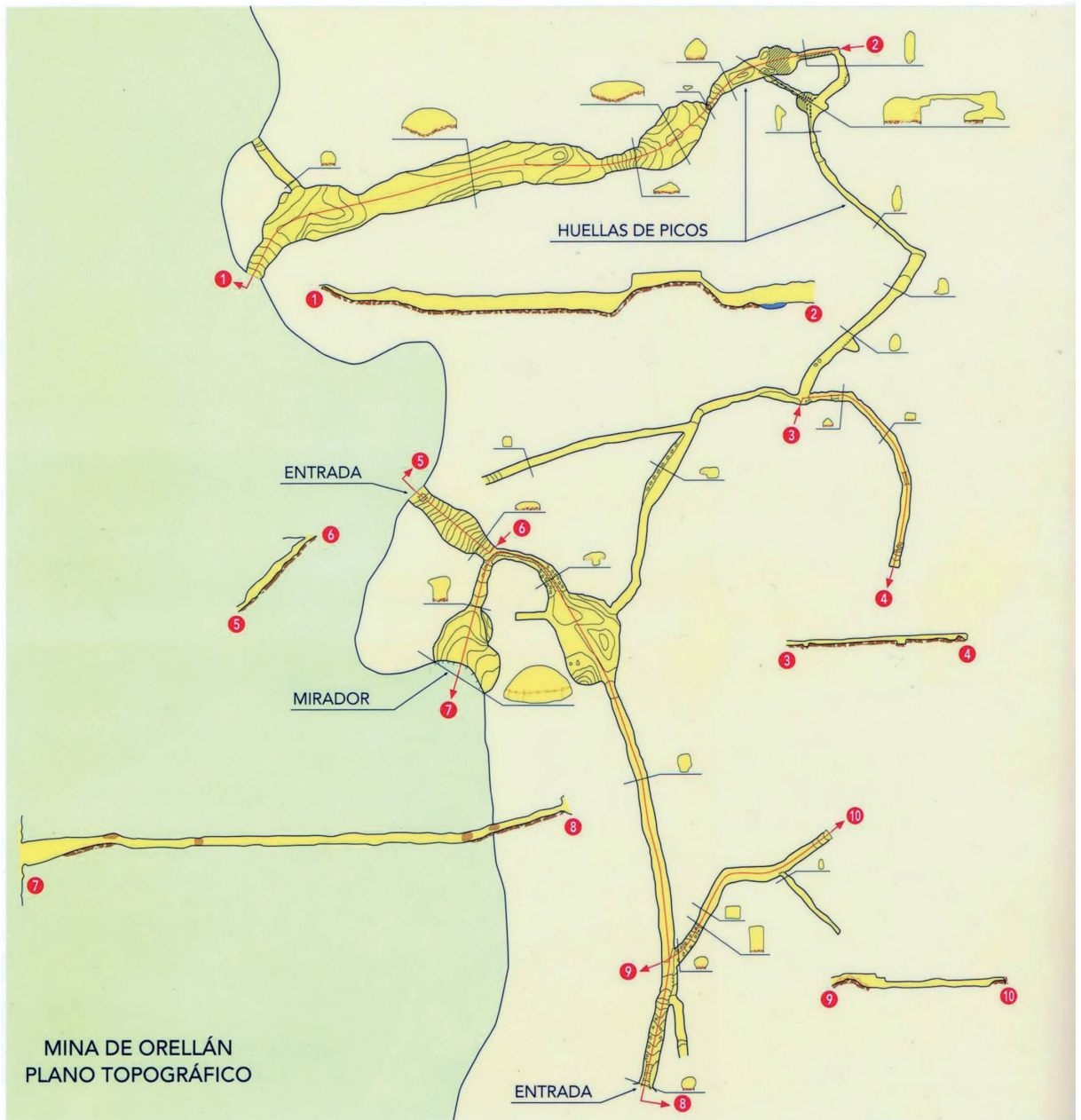




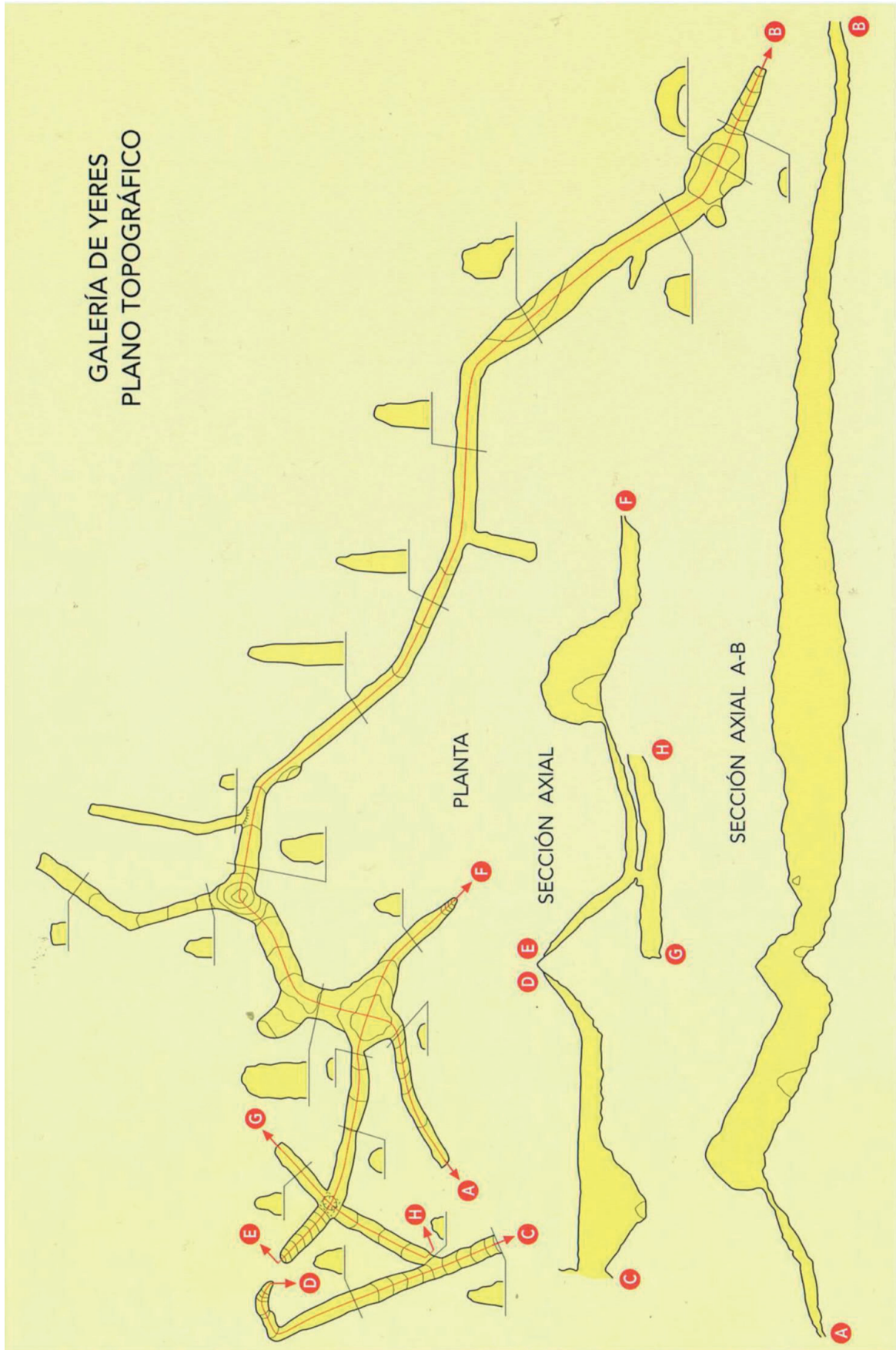




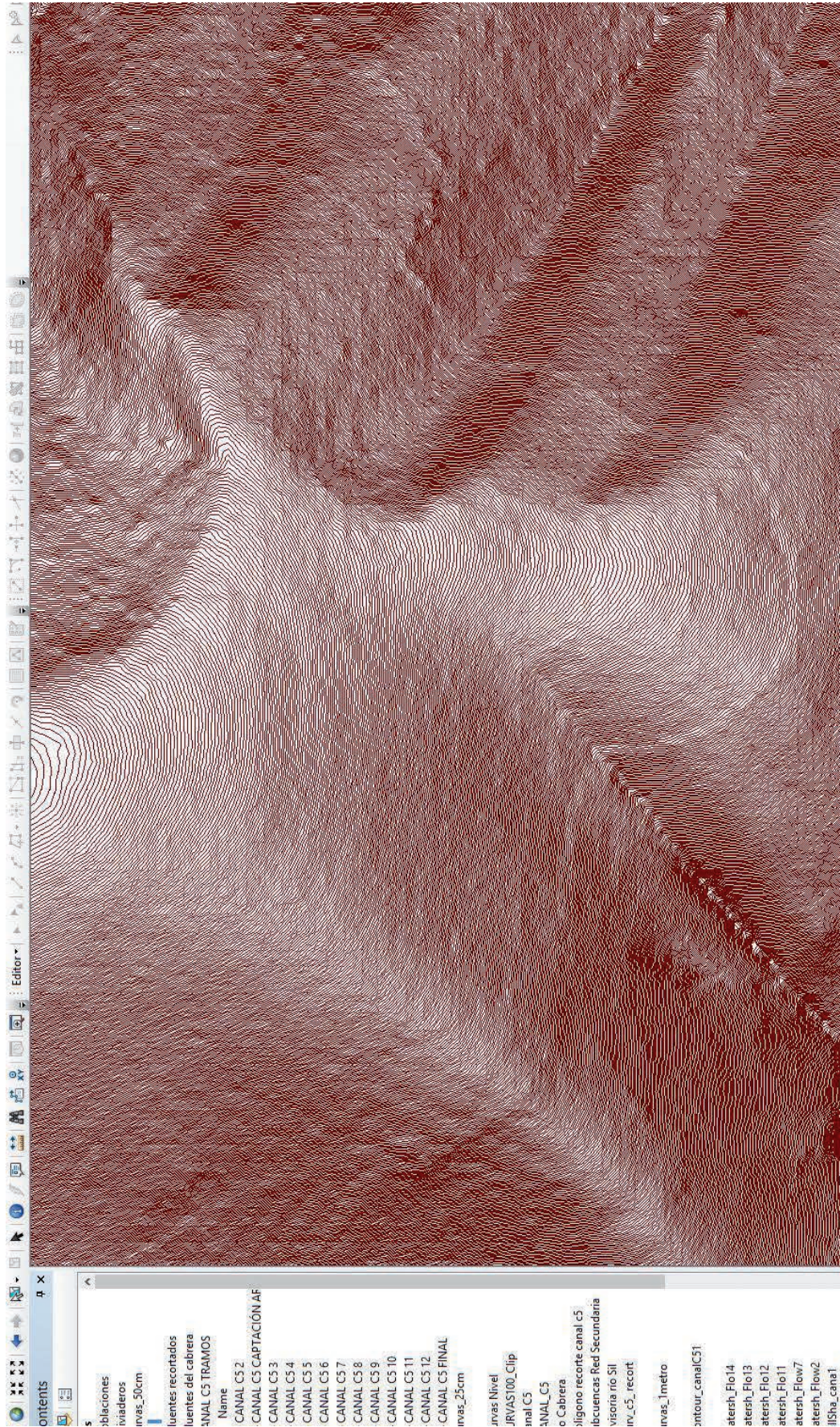


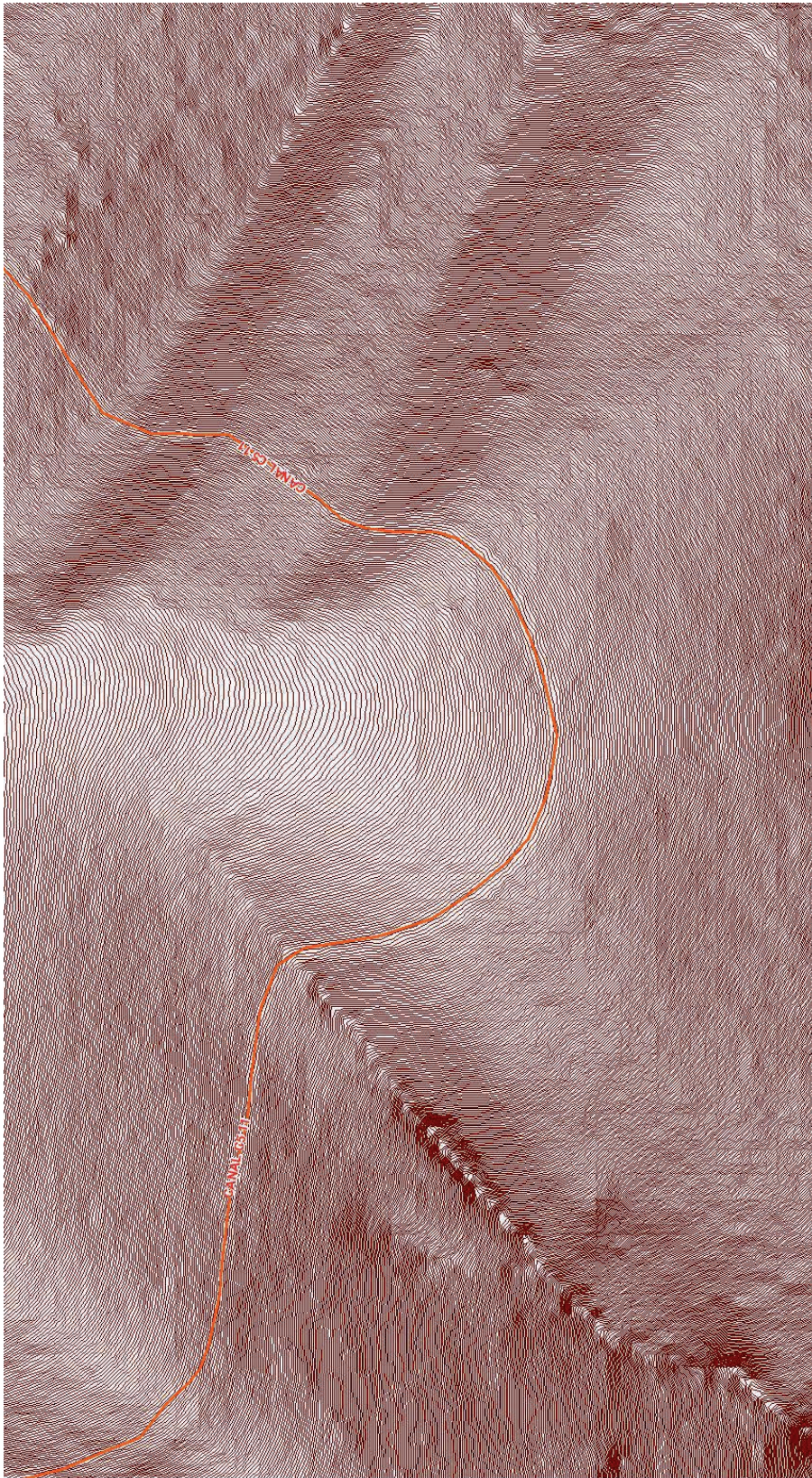


Fuente: López, 1995.

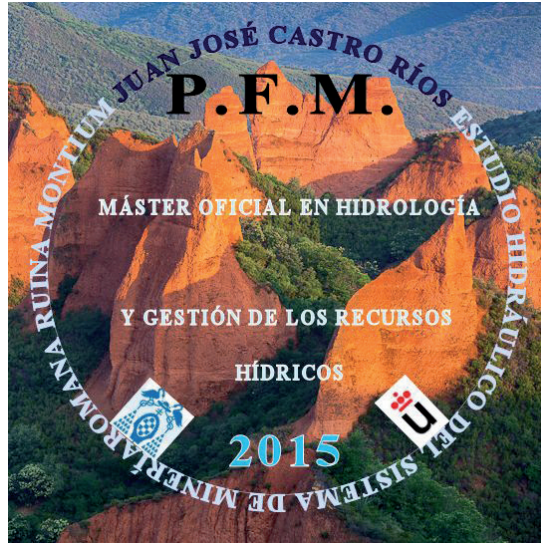


Fuente: López, 1995.



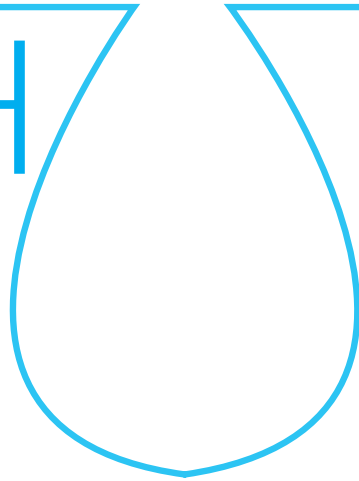


es	5	recortados del cabecera 5 TRAMOS	.CS 2	CS CAPTACIÓN AF	CS 3	CS 4	CS 5	CS 6	CS 7	CS 8	CS 9	CS 10	CS 11	CS 12	.CS FINAL	cm	cm	30_Clip	5	ra	recorte canal c5 as Red Secundaria to Sil	m	:to14	:to13	:to12	:to11	:to10	:to9	:to8	:to7	:to6	:to5	:to4	:to3	:to2	:to1	:to0	:to-1	:to-2	:to-3	:to-4	:to-5	:to-6	:to-7	:to-8	:to-9	:to-10	:to-11	:to-12	:to-13	:to-14	:to-15	:to-16	:to-17	:to-18	:to-19	:to-20
----	---	----------------------------------	-------	-----------------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-----------	----	----	---------	---	----	---	---	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------



escuela de posgrado
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS DE POSGRADO EN **HIDROLOGÍA**

UAH URJC



máster universitario

en hidrología y gestión de recursos hídricos

proyectos
2015

Determinación del estado trófico de las masas de agua superficiales en el río Jarama mediante teledetección

autor

Javier de la Cruz Fernández

Directores

Dr. Francisco Carreño Conde (URJC)

Dr. Javier Lillo Ramos (URJC)

Alcalá de Henares, 9 de junio de 2015



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis directores de proyecto, los doctores don FRANCISCO CARREÑO CONDE (URJC) y don JAVIER LILLO RAMOS (URJC), por la inestimable atención que me han prestado a lo largo del Máster, y por el sabio consejo y asesoramiento con el que han sabido orientarme en la elaboración de este Proyecto, tanto en los aspectos teóricos como en las prácticas de campo compartidas con ellos.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a la doctora doña INMACULADA FERNÁNDEZ MONISTROL (UAH), por su desinteresada ayuda en la lectura y revisión de este trabajo cuando aún era un borrador, por su docta opinión sobre él, y por haberme facilitado una mayor comprensión del fenómeno de la eutrofización en los albores de este trabajo.

Mi agradecimiento también a don DAVID MOSTAZA COLADO (IMDEA), por su diverso apoyo, y por haber compartido conmigo su conocimiento durante los trabajos de campo realizados en el Parque Regional del Suroeste.

Por último, quiero expresar mi más cariñoso agradecimiento a mis padres, Ana y Javier, por su permanente afecto, y sin cuyo inestimable apoyo moral y material yo no podría haber realizado este Máster.



ÍNDICE

1. Resumen	55
2. Introducción	55
3. Metodología	56
3.1. Zona de estudio	56
3.2. Datos	58
3.2.1. Campañas de campo	58
3.3. Imágenes de satélite	60
3.3.1. Tratamiento de imágenes	60
3.3.2. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	61
3.3.3. Transectos en la laguna de El Campillo	62
3.3.4. Algoritmo utilizado	62
4. Resultados	62
4.1. Medidas de turbidez	62
4.2. Análisis de la correlación turbidez-reflectancia	63
4.3. Análisis de la reflectividad en la laguna del Campillo	68
4.4. Análisis del NDVI y estado trófico	69
5. Conclusiones	69
6. Recomendaciones	69
7. Bibliografía	70
8. Anexo 1.1	72
9. Anexo 1.2	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores límites de la clasificación trófica para las masas de agua superficiales. PT Medio: Media de la concentración de PT de un lago; Cla Media: Media de la concentración de clorofila-a en aguas superficiales; Cl-a Máx.: Pico de la concentración de clorofila-a en aguas superficiales; DS Medio: Media de la transparencia del disco de Secchi; DS Mín.: Mínimo de la transparencia del disco de Secchi (OECD, 1982)

Tabla 2. Situación y coordenadas de las lagunas de la zona de estudio incluidas en los Humedales Protegidos de la Comunidad de Madrid. (1) La superficie cartográfica que se indica es la recogida en la ficha correspondiente a la resolución de 16 de octubre de 2006, de la Dirección General para la Biodiversidad, por la que se incluyen en el Inventario Nacional de Zonas Húmedas, humedales de la Comunidad de Madrid, teniendo en cuenta la corrección de errores de la misma mediante Resolución de 11 de diciembre de 2009

Tabla 3. Puntos de muestreo y localización de las campañas en el PRSE (Madrid)

Tabla 4. Distribución de las bandas en OLI y TIRS. (*) Las bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a remuestrear a 30 metros. (USGS, 2013)

Tabla 5. Se utilizó el modelo MODTRAN® 4 para simular los parámetros estandarizados de los modelos atmosféricos

Tabla 6. Imágenes utilizadas (Enero a Marzo) para el análisis de la transparencia del agua

Tabla 7. Medidas de turbidez correspondientes a cada punto de muestreo para las tres campañas

Tabla 8. Intervalo de reflectividades del canal 4 del sensor OLI, y de las medidas correspondientes a cada parámetro para los días de campaña

Tabla 9. Desviación standard máxima, mínima y media para una celda de 3 x 3 píxeles para el veintiocho de Enero. Esta tabla muestra los valores de reflectancia corregidos en los píxeles estudiados en cada una de las bandas y para cada punto de muestreo (P). Las demás campañas se encuentran adjuntadas en los anexos

Tabla 10. Valores de la determinación del coeficiente (R²), ecuación de la línea de ajuste y el RMSE entre el logaritmo (turbidez medida) y el logaritmo (turbidez estimada usando el algoritmo de Bustamante et al., 2009 para cada día

Tabla 11. Parámetros optimizados en la ecuación 5 para cada fecha

Tabla 12. Valores de la determinación del coeficiente (R²), ecuación de la línea de ajuste y el RMSE entre el logaritmo (turbidez medida) y el logaritmo (turbidez estimada usando los nuevos parámetros estimados para cada día

Tabla 13. Análisis físico-químico de las aguas superficiales en las cuatro campañas realizadas

Tabla 14. Desviación standard máxima, mínima y media para una celda de 3 x 3 píxeles para el veintiséis de Marzo

Tabla 15. Desviación standard máxima, mínima y media para una celda de 3 x 3 píxeles para el dos de Abril



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona protegida del PRSE sobre ortofoto con la localización de las lagunas y de la imagen Landsat que cubre Madrid. Los números indican el sistema mundial de referencia (WRS2) fila y columna.....	57
Figura 2. Fotografías de campo de la Laguna Velilla de San Antonio en las que se observa un aumento de eutrofización desde A) 28 Enero 2015; B) 10 Marzo 2015. Coordenadas UTM: X459.140,26 Y4.467.173,15	58
Figura 3. Localización de las lagunas y los puntos en el río Jarama sobre el modelo digital de elevaciones, con las estaciones de muestreo superpuestas sobre una imagen con falso color del Landsat 8 OLI, Comunidad de Madrid, Enero 2015	59
Figura 4. Ubicación de transectos en la laguna El Campillo	62
Figura 5. Relación entre el logaritmo (turbidez medida) y el logaritmo (turbidez estimada usando el algoritmo de Bustamante et al., 2009) para todo el período de estudio a lo largo de las tres campañas	64
Figura 6. Relación entre el logaritmo (turbidez medida) y logaritmo (turbidez estimada con los parámetros optimizados para cada día	64
Figura 7. Transecto A de Este a Oeste. A) Transecto para la imagen del 28 de Enero. B) Transecto para la imagen del 26 de Marzo. C) Transecto para la imagen del 2 de Abril. Banda 2 (en azul) Banda 3 (en verde) y Banda 4 (en rojo)	68
Figura 8. Transecto B de Norte a Sur. A) Transecto para la imagen del 28 de Enero. B) Transecto para la imagen del 2 de Abril. La pendiente pronunciada en ambos gráficos (Sur del transecto) es debida a la selección de algún píxel con vegetación lo que hace que la reflectividad se dispare	68
Figura 9. NDVI para la laguna de Velilla (enmarcada en cuadro rojo), en los meses de Enero (A) y Marzo (B)	69



INDICE DE ABREVIATURAS

- BIL:** Banda Intercalada por línea
- BIP:** Banda Intercalada por píxel
- CAM:** Comunidad autonómica de Madrid
- Cl-a:** Clorofila a
- DS:** Disco de Secchi
- ENVI:** *Environment for visualizing images*
- ETM:** *Enhanced Thematic Mapper*
- FLAASH:** *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*
- GAM:** *Generalized Additive Model*
- LDCM:** *Landsat Data Continuity Mission*
- NASA:** *National Aeronautics and Space Administration*
- NDVI:** *Normalized Difference Vegetation Index*
- NTU:** Unidades Nefelométricas de Turbidez
- NDVI:** *Normalized Difference Vegetation Index*
- OECD:** Organización de Cooperación y desarrollo Económico
- OLI:** *Operational Land Imager*
- PRSE:** Parque Regional del Sureste
- PT:** Fósforo total
- RMSE:** Error Cuadrático Medio
- TDS:** Transparencia del disco de Secchi
- TIRS:** *Thermal Infrared Sensor*
- TM:** *Thematic Mapper*
- TSI:** *Trophic State Index*
- TSS:** Total de Sólidos en Suspensión
- USGS:** *United States Geological Survey*
- WRS:** *World Reference System*



1. RESUMEN

La calidad de las aguas continentales se está viendo mermada por el fenómeno de la eutrofización. Se ha demostrado que la información obtenida desde satélites permite determinar variables que indican el estado trófico del agua, tales como la concentración de clorofila *a*, la transparencia y las partículas en suspensión.

El objeto de este trabajo consiste en relacionar la transparencia de aguas superficiales, medida *in situ*, con las unidades de respuesta de la radiación solar reflejada o radiación emitida, utilizando las diferentes bandas del sensor *Operational Land Imager* (OLI); siendo posible utilizar estos modelos para determinar el estado trófico de masas de agua superficiales con características que van desde el extremo hipereutrótico hasta el extremo ultraoligotrófico.

Este trabajo muestra la relación entre los datos de turbidez obtenidos en varias campañas experimentales llevadas a cabo sobre las masas de agua superficiales del río Jarama y la información extraída de las imágenes Landsat OLI entre los meses de enero y marzo del año 2015. Asimismo, el presente trabajo también pretende dilucidar la conveniencia o no de la utilización de ciertos algoritmos aplicados previamente en otros casos. Los resultados de este estudio muestran que el uso de aquellos algoritmos infravaloran los valores de turbidez, lo que demuestra que la utilización de un único algoritmo para un período completo de estudio no proporciona un análisis fiable del grado de turbidez. La diversidad de los datos de turbidez obtenidos en las masas de agua superficiales del río Jarama ha facilitado el desarrollo de expresiones específicas para cada día, lo que, a su vez, ha permitido la obtención de mapas de turbidez.

Palabras clave: Imágenes Landsat OLI, turbidez, algoritmos de estimación, eutrofización.

ABSTRACT

The quality of inland waters is being undermined by the phenomenon of eutrophication. It has been shown that specific information obtained from satellites determine some variables that indicate the trophic status of the water, such as chlorophyll *a* concentration, transparency, and particles in suspension.

The purpose of this work consists of relating the transparency of surface water, measured *in situ*, along with the response units taken from both the reflected solar radiation and the emitted radiation, using different sensor bands of an *Operational Land Imager* (OLI); making it possible to use these models to determine the trophic status of surface water bodies with features ranging from the hypertrophic end to the ultraoligotrophic end.

This paper shows the relationship between turbidity data obtained during several experimental campaigns carried out on the bodies of surface water along the Jarama River and the information extracted from the Landsat OLI between January and March 2015. This study also seeks to determine the convenience or not about the use of certain algorithms previously applied in other cases. The results of this study show that the

use of those algorithms underestimates the turbidity values, demonstrating that the use of a single algorithm for a full period of study does not provide a reliable analysis of the degree of turbidity. The diversity of turbidity data obtained in bodies of surface water along the Jarama River has allowed the development of specific expressions for each day, which, in turn, has got the design of turbidity maps.

Keywords: Landsat OLI images, turbidity, estimation algorithms, eutrophication.

2. INTRODUCCIÓN

La monitorización y el modelado de la calidad del agua superficial en lagos es un asunto crucial en la toma de decisiones de gestión hacia la sostenibilidad de la calidad del agua (Girgin et al., 2010). El estado trófico de lagos y embalses ha sido objeto de estudio durante muchos años, y esto es debido a que la calidad de aguas de lagos y embalses se puede ver deteriorada por el fenómeno de la eutrofización. La primera definición limnológica de eutrofización la propuso Naumann en 1919: "La eutrofización es un aumento de los niveles nutricionales, especialmente con respecto al fósforo y al nitrógeno". Más recientemente, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 1982) ha definido la eutrofización como un enriquecimiento de las aguas en sustancias nutritivas que, generalmente, conduce a modificaciones—como el aumento de la producción de algas y otras plantas acuáticas—y al deterioro de la calidad de agua y del ecosistema acuático de un lago. Es un concepto, por tanto, que se refiere a la producción biológica que se da en un lago. El nivel de producción es determinado por diversos factores, tales como el suministro de fósforo, volumen y la edad del agua en el lago.

Los humedales son importantes ecosistemas que mantienen numerosas comunidades de plantas y animales. Su estado ambiental está caracterizado por la calidad de los cuerpos de agua. La calidad del agua puede ser asignada mediante parámetros biofísicos (tales como la concentración de Clorofila *a* (Cl-*a*), la temperatura superficial del agua y la transparencia), ya sea en profundidad o en zona lacustre, o mediante bioindicadores (vegetación acuática sumergida) en la superficie o en zona palustre. El interés científico en monitorizar los humedales se ha incrementado en las últimas décadas (Mitsch and Gosselink, 2000), y con ello el uso de la teledetección para identificar humedales, estudiar su comportamiento estacional, etcétera. (Alexandridis et al., 2009).

Carlson (1977) desarrolló un índice del estado trófico, *Trophic State Index* (TSI) usando biomasa algal como base para la clasificación del estado trófico. Posteriormente, la OECD aplicó un programa para proporcionar los valores límites de PT (Fósforo Total) Cl-*a* y DS (Disco de Secchi) en el ámbito de los lagos (tabla 1). El índice usa cualquiera de las 3 variables: clorofila, profundidad del disco de Secchi y fósforo total para, independientemente, clasificar el estado trófico de un cuerpo de agua.



Tabla 1. Valores límites de la clasificación trófica para las masas de agua superficiales. PT Medio: Media de la concentración de PT de un lago; Cl-a Media: Media de la concentración de clorofila-a en aguas superficiales; Cl-a Máx.: Pico de la concentración de clorofila-a en aguas superficiales; DS Medio: Media de la transparencia del disco de Secchi; DS Mín.: Mínimo de la transparencia del disco de Secchi (OECD, 1982)

Clasificación	IET	PT Medio (µg/L)	Cl-a Media (µg/L)	Cl-a Máx. (µg/L)	DS Medio (m)	DS Mín. (m)
Ultraoligotrófico	< 20	< 4	< 1	< 2,5	> 12	> 6
Oligotrófico	20 - 40	< 10	< 2,5	< 8	> 6	> 3
Mesotrófico	40 - 60	10 - 35	2,5 - 8	8 - 25	6 - 3	3 - 1,5
Eutrófico	60 - 80	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1,5	1,5 - 0,7
Hipereutrófico	> 80	> 100	> 25	> 75	< 1,5	< 0,7

Tabla 2. Situación y coordenadas de las lagunas de la zona de estudio incluidas en los Humedales Protegidos de la Comunidad de Madrid. (1) La superficie cartográfica que se indica es la recogida en la ficha correspondiente a la resolución de 16 de octubre de 2006, de la Dirección General para la Biodiversidad, por la que se incluyen en el Inventario Nacional de Zonas Húmedas, humedales de la Comunidad de Madrid, teniendo en cuenta la corrección de errores de la misma mediante Resolución de 11 de diciembre de 2009

Denominación	Municipio	UTM X	Utm Y	Altitud (M.S.N.M)	Subcuenca	Superficie Cartográfica (1) (Ha)
Lagunas de las madres	Arganda	456.362	4.461.107	525	Jarama	23,78
Laguna del Campillo	Rivas-Vaciamadrid	457.505	4.463.689	527	Jarama	48,55
Laguna de Velilla	Velilla de San Antonio	459.290	4.467.536	534	Jarama	50,08

La transparencia del disco de Secchi (TDS) y las concentraciones de Cl-a han sido satisfactoriamente predichas por las imágenes de satélite debido a que cuantifican la relación *in-situ* entre las medidas del TDS, la Cl-a y la respuesta espectral de las bandas roja, verde, azul y del infrarrojo cercano (Mayo et al., 1995; Zilioli y Brivio, 1997). El uso del sensor *Thematic Mapper* (TM) de Landsat es útil para la determinación de variables indicadoras del estado trófico, como la concentración de clorofila a, la transparencia y las partículas en suspensión o seston en el agua (Cheshire et al., 1988; Lathrop et al., 1991; Baban, 1993; Dekker y Peters, 1993; Lavery et al., 1993; Mayo et al., 1995; Alle et al., 1999; Brivio et al., 2001; Kloiver et al., 2002; Duan et al., 2007). Esta aproximación ha sido implementada satisfactoriamente en España (López-García y Caselles, 1987 y 1990; Doña et al., 2009; Chao et al., 2014) para estimar la calidad de las aguas en lagos donde la información es limitada. Este trabajo demuestra la validez del uso de series temporales de imágenes Landsat para medir la evolución de la calidad de los parámetros del agua y su dinámica ambiental para pequeños cuerpos de agua.

Ley 7/1990, de 28 de junio, de Protección de Embalses y Zonas Húmedas, determina la necesidad de instrumentar medidas para preservar dichas áreas. El catálogo de zonas húmedas contiene, a día de hoy, 23 zonas húmedas protegidas, con sus correspondientes planes de ordenación, que ocupan una superficie de 928 ha. En la tabla 2 se muestran las lagunas estudiadas.

Estas lagunas están ligadas directamente a la minería a cielo abierto ya que se han generado artificialmente por actividades extractivas de arena y grava correspondientes a los materiales aluviales cuaternarios del Jarama que han provocado la aparición del agua del subálveo del Jarama. Su antigüedad puede cifrarse en unos 40 años (Álvarez Cobelas et al., 1987). El estado trófico de estas lagunas depende del grado de intervención humana. Se trata de espacios con clara naturaleza de humedal, que incluyen unidades ecológicas funcionales que actúan como sistemas acuáticos (en concreto aguas artificiales de interés ecológico). Además este espacio posee relevancia científica, educativa y faunística.

La llanura aluvial del Jarama, en este tramo del río, está formada por un paquete de sedimentos cuyo espesor alcanza los 30-35 m de potencia en algunos puntos. Se encaja en una masa rocosa constituida por materiales yesíferos de origen Mioceño que se formaron en un ambiente árido sometido a intensa evaporación, donde precipitaron las sales disueltas en el agua de antiguas cuencas lacustres (López-García et al., 1987). Los materiales de fondo de valle, en cambio, han sido transportados por el río desde su cabecera, situada en el ámbito Paleozoico del noroeste del Sistema Central, y los ha depositado a lo largo

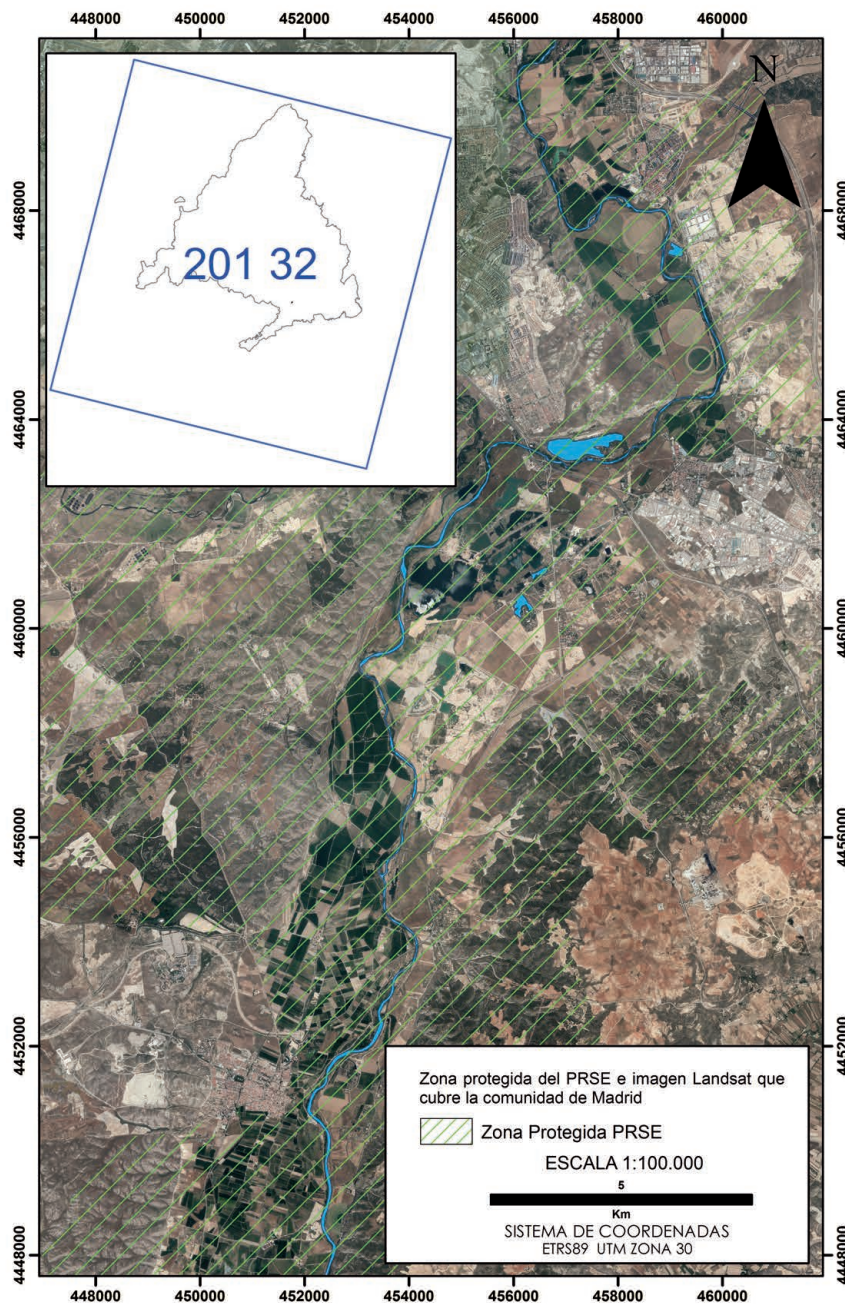
3. METODOLOGÍA

3.1. ZONA DE ESTUDIO

Las masas de agua superficiales objeto de este estudio se localizan en la cuenca del río Jarama, a 25 km al SE de la ciudad de Madrid (figura 1). Es una reserva natural denominada "Parque Regional del Sureste" (PRSE). La CAM cuenta con áreas protegidas en base a convenios o programas internacionales. La



Figura 1. Zona protegida del PRSE sobre ortofoto con la localización de las lagunas y de la imagen Landsat que cubre Madrid. Los números indican el sistema mundial de referencia (WRS2) fila y columna



del Cuaternario, hasta la actualidad, a la vez que el río ha ido labrando su valle. Constan fundamentalmente de gravas y arenas, materiales entre cuyos poros se infiltra y circula una importante masa de agua que constituye el acuífero aluvial. La masa de agua subterránea satura los componentes permeables del subsuelo desde el lecho rocoso sobre el que yacen hasta el nivel freático (Doña et al., 2009). Durante los trabajos de extracción de áridos, la lámina de agua se va ampliando con el transcurso de la actividad minera, dando lugar a lagunas artificiales, como la de El Campillo. En otros lugares, en cambio, el acuífero se encuentra a gran profundidad, de modo que las graveras no generan humedales. Tanto las aguas subterráneas procedentes

del acuífero existente bajo los yesos, como las de escorrentía superficial, mineralizadas progresivamente a medida que circulan por los barrancos tributarios, o las que entran en contacto con la masa rocosa encajante, aumentan el contenido en Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y, sobre todo, en fosfatos (HPO_4^{2-}) del acuífero aluvial (Álvarez Cobelas et al., 1987). Las aguas de la laguna y el suelo se cargan así de sales (algo más de 1 g/l). Los contaminantes urbanos y agrícolas que se vierten al Jarama acaban pasando al acuífero y, aunque el sustrato filtra el agua en cierta medida, acaban incorporándose a las lagunas que, como en el caso de El Campillo, se encuentran próximas a los cauces fluviales.



Figura 2. Fotografías de campo de la Laguna Velilla de San Antonio en las que se observa un aumento de eutrofización desde A) 28 Enero 2015; B) 10 Marzo 2015. Coordenadas UTM: X459.140,26 Y4.467.173,15



(a)



(b)

El alto contenido en materia orgánica y nutrientes dispara la producción de fitoplancton (figura 2), cuya actividad fotosintética eleva la alcalinidad del agua, valor medio anual del pH=8,65 (Álvarez Cobelas et al., 1987).

La biomasa acuática acaba consumiendo, especialmente en verano, el oxígeno disuelto en el agua, llegándose a un punto en el que la materia orgánica resultante no se puede oxidar, privando de oxígeno al fondo. Las masas de agua estable y profunda, como la de El Campillo, mantienen uniforme la temperatura durante el invierno, dado que la lámina en contacto con el exterior, al enfriar la capa superior, hace que aumente su densidad y descienda por su propio peso, estableciéndose un circuito. Sin embargo, en verano se produce una estratificación térmica en la que se manifiestan tres capas superpuestas que no se mezclan entre sí: una superior, más caliente y poco densa; otra intermedia, en la que tiene lugar un rápido descenso de la temperatura; y otra inferior, más fría y densa. La gran cantidad de microorganismos que se producen en la superficie, debido a la intensa iluminación, se acaba decantando en forma de materia orgánica, que acaba enseguida con las reservas de oxígeno del fondo de la laguna. Al no circular el agua en este

periodo, todo el volumen de la laguna se localiza en zonas de aguas someras.

La laguna de las Madres sufrió un plan de recuperación en los años 90. Actualmente es un sistema oligotrófico, y es utilizada para usos educativos y recreativos (Doña et al., 2009).

A diferencia de otras masas de agua, estos lagos carecen casi por completo de entradas o salidas superficiales de agua. La contribución de agua se produce en épocas de lluvia. Debido a esto, la evolución temporal del sistema se comporta de forma cíclica, y la ausencia de grandes cantidades de concentraciones de seston permite que la actividad biológica sea abundante y la concentración de Cl-a elevada (Domínguez, 2002). Los lagos seleccionados representan diferentes situaciones de la calidad de las aguas en ese área, desde una alta transparencia en la laguna de las Madres hasta una más baja en las lagunas de Velilla y el Campillo.

3.2. DATOS

3.2.1. CAMPAÑAS DE CAMPO

Para las medidas *in situ* de la turbidez de las masas de agua superficiales se han realizado cuatro campañas durante el año 2015 en las siguientes fechas: 28 de enero, 10 de marzo, 26 de marzo y 22 de abril del 2015. Los ocho puntos muestreados son representativos de la zona de estudio, teniendo en cuenta la variabilidad del estado trófico y accesibilidad de las diferentes masas de agua superficiales. En la figura 3 y tabla 3 se muestra la localización de las mismas.

Tabla 3. Puntos de muestreo y localización de las campañas en el PRSE (Madrid)

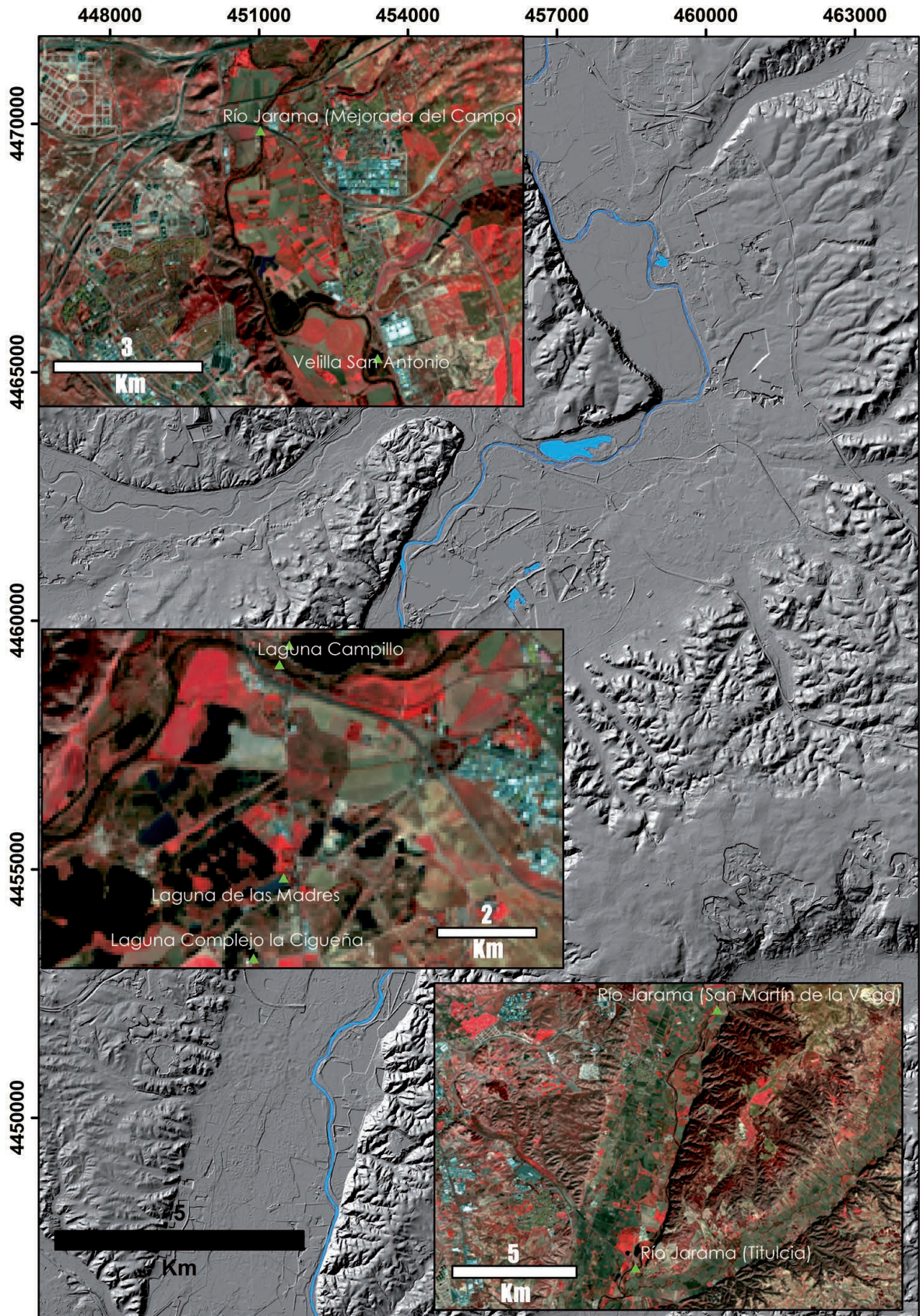
Puntos muestreo	Nombre	UTM30 X	UTM30 Y
P1	Río Jarama (Titulcia)	450.811	4.443.264
P2	Laguna de las Madres	456.633	4.461.160
P3	Laguna Complejo La Cigüeña	456.329	4.460.352
P4	Laguna Velilla de San Antonio	459.140	4.467.173
P5	Río Jarama (Mejorada del Campo)	456.782	4.471.751
P6	Laguna del Campillo	456.690	4.463.499
P7	Río Jarama (cercano a Laguna del Campillo)	456.592	4.463.305
P8	Río Jarama (San Martín de la Vega)	454.103	4.453.656

En las campañas se han obtenido los datos de transparencia (medida en unidades de turbidez o NTU). La claridad del agua o transparencia que está relacionada con la cantidad de fitoplancton, turbidez no algal y ácidos tánicos (Fuller et al; 2004) se mide, normalmente, con el disco de Secchi. La fórmula para calcular el valor del TSI es (Carlson, 1977):

$$\text{Disco Secchi } (m) = TSI (SD) = 60 - 14.41 \ln (SD) \quad (1)$$



Figura 3. Localización de las lagunas y los puntos en el río Jarama sobre el modelo digital de elevaciones, con las estaciones de muestreo superpuestas sobre una imagen con falso color del Landsat 8 OLI, Comunidad de Madrid, Enero 2015





En este trabajo se ha utilizado un turbidímetro de campo como método alternativo para medir la turbiedad. El turbidímetro consiste en un tubo de vidrio graduado y con una marca en forma de disco en el fondo del tubo. Con el turbidímetro se mide la correlación entre la visibilidad y la turbidez para obtener un nivel de turbidez. La altura a la cual deja de ser vista la marca del fondo determina dicho nivel de turbidez. Este método es particularmente

idóneo para situaciones donde las decisiones pueden basarse en una turbidez aproximada (acercándose a las 5 Unidades Nefelométricas de Turbidez, NTU). Los valores de turbidez medidos en NTU corresponden a diferentes longitudes medidas sobre el disco visible. Estos valores pueden ser usados para calcular la turbidez del tubo directamente o convirtiendo los valores en unidades de turbidez. La relación entre la profundidad del disco visible y la turbidez es exponencial. La transparencia puede estar afectada por el color del agua, las algas y los sedimentos en suspensión. Si existen concentraciones de materia orgánica elevadas, el descenso de transparencia medido no es lineal.

Para asegurar la coherencia y consistencia de los análisis sólo se utilizaron las medidas recogidas en un rango de 9 días con respecto a la fecha de adquisición de las imágenes. Con esta restricción de fechas se obtienen mejores resultados para los modelos predictivos TDS (Kloiber et al., 2002). Se excluyeron las medidas cuando las nubes o sombras de las nubes cubrían el lago o los puntos de muestreo. Las nubes y las sombras son factores limitantes y son la razón de que las imágenes deban ser elegidas en los días claros de sobrevuelo del satélite, por lo que finalmente sólo se utilizaron los datos de las tres primeras campañas.

Por otro lado, también se realizaron los análisis físico-químicos de las muestras de aguas recogidas en las campañas de muestreo. En total se realizaron 22 análisis correspondientes a una muestra por campaña para cada punto, con la excepción de que en la campaña de enero de 2015 no se pudieron muestrear los puntos P1 y P8. Los resultados de ésta analíticas se encuentran en el Anexo 1.1.

3.3. IMÁGENES DE SATÉLITE

Las imágenes utilizadas para éste trabajo corresponden a Landsat 8 (OLI). El programa Landsat consiste en una serie de misiones de observación de la tierra por satélite gestionadas conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Landsat ha sido el único sistema de satélite diseñado y operado para observar repetidas veces la cubierta de la tierra con una resolución moderada. En la actualidad el programa se encuentra en su octava versión, denominada: "Landsat Data Continuity Mission" (LDCM). Tras el lanzamiento, el satélite LDCM será rebautizado como Landsat 8, constando de una plataforma con capacidad de carga de dos sensores de observación terrestre: el *Operational Land Imager* (OLI) y el sensor térmico infrarrojo *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). El sensor TIRS recoge dos bandas espectrales en la longitud de onda que antes era cubierta por una sola banda espectral con los sensores TM y ETM+. Tanto la calidad de los datos (relación de la señal en función del ruido) como la resolución radiométrica del TIRS

son más altas que las de los anteriores instrumentos Landsat (8 bits). Las imágenes Landsat 8 constan de once bandas espectrales (tabla 4).

Tabla 4. Distribución de las bandas en OLI y TIRS. (*) Las bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a remuestrear a 30 metros. (USGS, 2013)

	Bandas	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
Landsat 8	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
Operational	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Land Imager (OLI)	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
Sensor Térmico Infrarrojo (TIRS)	Banda 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Febrero 11, 2013	Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100*
	Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100*

El sensor OLI introduce un salto cualitativo en la tecnología de sensores Landsat. Sus imágenes tienen una resolución espacial de 15 m pancromáticas y 30 metros (incluido el visible, infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta) a lo largo de 185 kilómetros de ancho de imagen, cubriendo así amplias zonas de la tierra, mientras que proporcionan una resolución suficiente como para distinguir características tales como centros urbanos, granjas, bosques y otros tipos de cubiertas del suelo. El OLI fue diseñado para tener una vida útil de cinco años y detectará las mismas bandas espectrales que los anteriores instrumentos del Landsat (es decir sensores TM y ETM+), con la excepción de una banda en el infrarrojo térmico. Además de las 7 bandas multiespectrales del anterior Landsat (seis de las cuales han sido refinadas), el OLI agregará dos nuevas bandas espectrales, una banda azul "costera" (banda 1) y una banda en el infrarrojo de onda corta "cirros" (banda 9). Estas nuevas bandas ayudarán a medir la calidad del agua, y facilitarán la detección de nubes altas y delgadas, que previamente han sido difíciles de observar en las imágenes Landsat.

3.3.1. TRATAMIENTO DE IMÁGENES

Una imagen de satélite está sometida a una serie de interferencias que hacen que la información que quiera obtenerse aparezca perturbada por una serie de errores:

- **Corrección radiométrica:** Para corregir los fallos en los sensores debidos a la generación de píxeles incorrectos. Esta corrección implica, por una parte, la restauración de líneas o píxeles perdidos y, por otra parte, la corrección del bandeo de la imagen.
- **Corrección atmosférica:** Para corregir las interferencias de la atmósfera que alteran de forma sistemática los valores de los



píxeles. Esta corrección trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre.

Las imágenes de satélite fueron procesadas usando el *software* ENVI™ 5.1. Para el tratamiento de las imágenes se realizó una corrección atmosférica por el método FLAASH® (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*; Adler-Golden et al., 1999), por estar implementado directamente en ENVI, ser de los más completos y, además, poder estimar los valores de vapor de agua por píxel. El FLAASH® es una herramienta de corrección atmosférica que corrige longitudes de onda en el espectro visible a través de las regiones del infrarrojo cercano y de onda corta, hasta 3 μm. FLAASH® trabaja con la mayoría de los sensores hiperespectrales y multiespectrales. El vapor de agua y la recuperación de aerosol sólo son posibles cuando la imagen contiene bandas en posiciones de longitud de onda apropiadas. A diferencia de muchos otros programas de corrección atmosférica, que interpolan propiedades de transferencia de radiación a partir de una base de datos pre-calculados de los resultados del modelo, FLAASH® incorpora el código de transferencia de radiación MODTRAN®. El programa permite elegir cualquiera de los modelos estándar de las atmósferas MODTRAN®, así como los tipos de aerosoles para representar la escena (tabla 5).

FLAASH® parte de una ecuación estándar para la radiancia espectral en un píxel sensor, L, que se aplica a la gama de la longitud de onda solar (la emisión térmica se desprecia) y a los materiales Lambertianos o sus equivalentes. La ecuación es la siguiente:

$$L = \left(\frac{A_o}{1 - \rho_e S} \right) + \left(\frac{B \rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (2)$$

Donde:

- ρ_e es la reflectancia de la superficie de los píxeles.
- ρ_e es una reflectancia media de la superficie para el píxel y su zona circundante.
- S es el albedo esférico de la atmósfera.
- L_a es la radiación reflejada dispersada por la atmósfera.
- A y B son coeficientes que dependen de condiciones atmosféricas y geométricas, pero no de la superficie.

FLAASH® puede corregir imágenes recogidas tanto en vertical (nadir) como inclinadas. La imagen de entrada para FLAASH® debe ser una imagen de radiación en formato de banda intercalada por línea (BIL) o de banda intercalada por píxel (BIP). La imagen de entrada puede ser de punto flotante, entero largo (4 bytes con signo) o entero (2 bytes con o sin signo).

Al no ajustarse la imagen a estos criterios se llevó a cabo una calibración radiométrica, utilizando la herramienta de calibración radiométrica para crear una imagen de radiación adecuada para FLAASH® con las siguientes propiedades: una intercalación BIL con tipo de datos de punto flotante y un factor de escala de 0.1. Esto escala los datos en unidades de $\mu W/(cm^2 \cdot sr \cdot \eta m)$.

Tabla 5. Se utilizó el modelo MODTRAN® 4 para simular los parámetros estandarizados de los modelos atmosféricos

Parámetros	Entrada de Datos
Porcentaje reflectancia en superficie	0.1 a 0.7
Tipo de sensor	Multiespectral
Modelo atmosférico	Latitudes medias de verano
Modelo Aerosol	Rural (visibilidad predeterminada = 23 km)
Visibilidad	23 km
Estación	Primavera-verano

Puesto que la superficie del área asociada a cada píxel es de 30 x 30 m, se comprobó que la reflectancia corregida muestra unos valores con pequeña variabilidad en el área asociada al píxel estudiado. Para ello se usó un tamaño de celda de 3 x 3 píxeles centrado en el píxel estudiado, donde se llevó a cabo la toma de muestras. Esta malla corresponde a un área de 90 x 90 metros. La variabilidad en la reflectancia corregida de la malla en todas las bandas espectrales del OLI fue estudiada usando desviación estadística. En la tabla 6 se muestran las imágenes Landsat OLI utilizadas en este trabajo y que fueron facilitadas por el USGS.

Tabla 6. Imágenes utilizadas (Enero a Marzo) para el análisis de la transparencia del agua

WRS2 - Fila	WRS2- Columna	Fecha de la imagen de referencia	Fecha de la toma de datos
201	32	28/01/2015	28/01/2015
201	32	28/01/2015	31/01/2015
201	32	28/01/2015	02/02/2015
201	32	01/03/2015	10/03/2015
201	32	02/04/2015	26/03/2015

3.3.2. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

El NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) se utiliza para transformar la información multiespectral en una única banda para representar la distribución de la vegetación. Los valores del NDVI indican la cantidad de vegetación presente en el píxel. Altos valores de NDVI indican gran cantidad de vegetación. El algoritmo que se usó para determinar el NDVI fue:

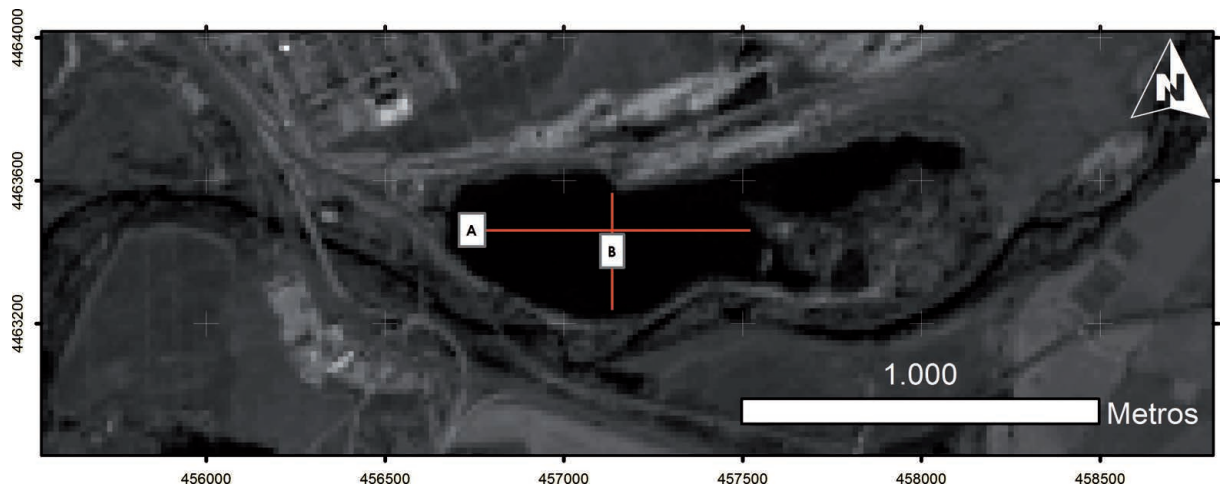
$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (3)$$

Donde "NIR" es la banda del infrarrojo cercano y "Red" es la banda Roja.

Los resultados válidos caen entre valores de -1 a +1. Este valor puede ser usado como indicador de la vegetación en la laguna (eutrofización). Cuando este valor es calculado para aguas profundas el NDVI toma valores negativos. Sin embargo, cuando la vegetación es visible por encima o a través de la columna de agua estos valores se vuelven positivos, aunque pequeños.



Figura 4. Ubicación de transectos en la laguna El Campillo



3.3.3. TRANSECTOS EN LA LAGUNA DE EL CAMPILLO

En cada imagen multispectral se analizaron las bandas independientemente y mediante combinaciones e índices estadísticos que permiten identificar mejor los espacios acuáticos. Se realizaron 2 transectos a través de la laguna El Campillo (figura 4), que nos permiten observar el comportamiento de la superficie de la laguna mediante el perfil obtenido. Estos perfiles espectrales se realizaron con el fin de conocer los valores digitales en las diferentes bandas y su variación a lo largo de las campañas.

3.3.4. ALGORITMO UTILIZADO

Los valores de la reflectancia corregida desde las imágenes de satélite fueron usados para analizar los valores de turbidez obtenidos con el algoritmo de Bustamante *et al.*, (2009) (4). Este algoritmo fue desarrollado usando medidas de turbidez *in situ* y usando imágenes del Landsat-5 (TM) y el Landsat-7 (ETM+). Es un modelo empírico que usa la banda 3 (630-690 nm). Este modelo conforma un modelo predictivo de tipo GAM (*Generalized Additive Model*) para obtener la medida de la prevista turbidez en un simple punto en NTU, que luego es logarítmicamente transformado (logaritmo natural). Este modelo predice la turbidez del agua en un pixel desde la reflectividad del espectro visible correspondiente a la banda 3, e indica una relación lineal positiva entre la turbidez y la reflectancia de esta banda (Carpintero *et al.*, 2013). Para este trabajo se utilizarán, en cambio, las imágenes del Landsat 8 (OLI) y se usará la banda 4 (640-670 nm), que es la que corresponde a la banda 3 en los anteriores Landsat.

$$\ln(NTU + 0.01) = 1.195 + 14.45 * B4 \quad (4)$$

donde

LN= logaritmo natural
NTU= turbidez
B4= reflectancia de la banda 4

4. RESULTADOS

4.1. MEDIDAS DE TURBIDEZ

En la tabla 7 se adjuntan los resultados de las medidas de turbidez para las campañas de enero y marzo. Se excluyeron las medidas de la campaña de abril ya que las nubes o sombras de las nubes cubrían el lago y los puntos de muestreo, por lo que finalmente sólo se utilizaron los datos de las tres primeras campañas.

Tabla 7. Medidas de turbidez correspondientes a cada punto de muestreo para las tres campañas

Puntos muestreo	Nombre	NTU (28/01/2015)	NTU (10/03/2015)	NTU (26/03/2015)
P1	Río Jarama (Titulcia)	10.6	10	22.78
P2	Laguna de las Madres	< 5	< 5	< 5
P3	Laguna Complejo La Cigüeña	< 5	< 5	< 5
P4	Laguna Velilla de San Antonio	30	100	30
P5	Río Jarama (Mejorada del Campo)	8.13	6.2	30
P6	Laguna del Campillo	18.64	76.2	32.1
P7	Río Jarama (cercano a Laguna del Campillo)	9.068	12	20
P8	Río Jarama (San Martín de la Vega)	11.58	12.6	22.5



4.2. ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN TURBIDEZ-REFLECTANCIA

En la tabla 8 se muestra los intervalos de reflectividades de la banda 4 para las tres campañas.

El análisis de la turbidez fue realizado por comparación entre un logaritmo decimal de la turbidez estimada mediante el modelo y la turbidez medida *in situ*. Para obtener esto, el error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de determinación (R^2) fueron obtenidos de los datos de cada imagen (tabla 9). Este análisis revela si los valores estimados predicen la turbidez medida *in situ* o si, por el contrario, la infravaloran o la sobrevaloran (Carpintero et al., 2013).

situ o si, por el contrario, la infravaloran o la sobrevaloran (Carpintero et al., 2013).

Para las imágenes seleccionadas se estimó el valor de turbidez en los píxeles asociados a cada punto de muestreo utilizando el algoritmo de Bustamante et al., (2009) y comparándola con la correspondiente medida *in situ*.

En la figura 5 se puede observar que, a lo largo de los tres días estudiados, el modelo siempre sobrevaloró los valores de turbidez. Para los tres días estudiados los valores del coeficiente del R^2 para el ajuste de la ecuación son muy bajos (tabla 10).

Tabla 8. Intervalo de reflectividades del canal 4 del sensor OLI, y de las medidas correspondientes a cada parámetro para los días de campaña

Punto	Muestras	Banda OLI 4 (%) (28/01/2015)	Banda OLI 4 (%) (10/03/2015)	Banda OLI 4 (%) (26/03/2015)
P1	2	4.8	6.7	5.03
P2	3	0.9	8.3	5.15
P3	3	2.7	7.3	6.2
P4	3	0.5	9.1	8.1
P5	3	3.9	9.6	7.5
P6	3	1.9	9.6	11.4
P7	3	4.3	11.3	12.6
P8	2	5.2	8.67	8.9

Tabla 9. Desviación standard máxima, mínima y media para una celda de 3 x 3 píxeles para el veintiocho de Enero. Esta tabla muestra los valores de reflectancia corregidos en los píxeles estudiados en cada una de las bandas y para cada punto de muestreo (P). Las demás campañas se encuentran adjuntadas en los anexos

		Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
P1	Min	0.029300	0.023700	0.041200	0.043400	0.028000	0.030800	0.023600
	Max	0.036200	0.031300	0.050200	0.051300	0.102700	0.085100	0.058000
	Mean	0.032467	0.027500	0.045033	0.046733	0.059567	0.052000	0.037700
P2	Min	0.011600	0.001500	0.005100	0.000900	0.000000	0.002700	0.003800
	Max	0.022300	0.014500	0.022800	0.023800	0.032800	0.036600	0.032100
	Mean	0.015767	0.006900	0.011133	0.008967	0.012900	0.014633	0.013533
P3	Min	0.008700	0.000800	0.006000	0.000000	0.000000	0.005300	0.007700
	Max	0.060400	0.049300	0.042800	0.050600	0.083700	0.090800	0.076500
	Mean	0.031333	0.022167	0.025600	0.027367	0.049000	0.054933	0.046967
P4	Min	0.007100	0.000000	0.006000	0.004100	0.000000	0.003400	0.004300
	Max	0.007900	0.000300	0.006900	0.006800	0.005900	0.011900	0.012000
	Mean	0.007567	0.000100	0.006533	0.005367	0.002333	0.007400	0.007733
P5	Min	0.024900	0.018300	0.031100	0.034900	0.067300	0.078400	0.060100
	Max	0.027800	0.020600	0.033600	0.043800	0.127100	0.129900	0.084500
	Mean	0.026533	0.019700	0.032267	0.038833	0.093467	0.099500	0.071167
P6	Min	0.013200	0.007600	0.019000	0.014200	0.002600	0.003500	0.003900
	Max	0.017400	0.013300	0.026200	0.024000	0.023500	0.033300	0.026000
	Mean	0.015233	0.010400	0.022967	0.019467	0.013967	0.017667	0.014367
P7	Min	0.025200	0.017600	0.032600	0.037800	0.084200	0.095600	0.071100
	Max	0.037800	0.029700	0.039900	0.048000	0.088600	0.096700	0.078400
	Mean	0.031500	0.023650	0.036250	0.042900	0.086400	0.096150	0.074750
P8	Min	0.033700	0.028200	0.045500	0.050800	0.048800	0.054000	0.037800
	Max	0.034000	0.030200	0.048200	0.052100	0.097100	0.106800	0.071100
	Mean	0.033833	0.029000	0.046800	0.051600	0.065067	0.076333	0.052333



Figura 5. Relación entre el logaritmo (turbidez medida) y el logaritmo (turbidez estimada usando el algoritmo de Bustamante et al., 2009) para todo el período de estudio a lo largo de las tres campañas

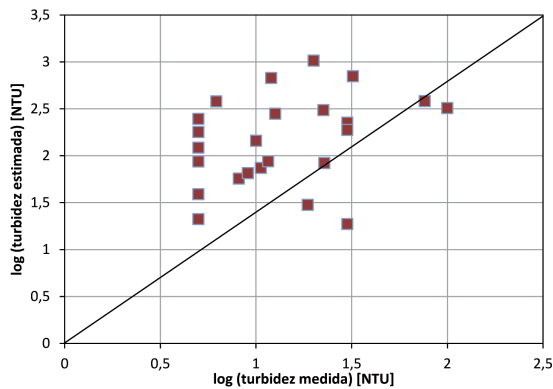


Tabla 10. Valores de la determinación del coeficiente (R^2), ecuación de la línea de ajuste y el RMSE entre el logaritmo (turbidez medida) y el logaritmo (turbidez estimada usando el algoritmo de Bustamante et al., 2009) para cada día

Fecha	R^2	Ecuación	RMSE
28-Enero-2015	0.006	$y = -0,0823x + 2,6098$	1.32
10-Marzo-2015	0.009	$y = 0,0417x + 2,4632$	1.28
26-Marzo-2015	0.008	$y = -0,4372x + 3,1001$	1.18

La gran variabilidad exhibida por los valores de turbidez en el estudio, junto con los resultados obtenidos usando el algoritmo de Bustamante et al., 2009, han permitido utilizar una nueva expresión para cada imagen. En este caso los parámetros optimizados difieren unos de otros, en contraste con los valores constantes propuestos por dichos autores.

$$LN(NTU + c) = m + b * B4 \quad (5)$$

Donde:

NTU= turbidez en NTU
B4= reflectancia de la banda 4
c,m,b= parámetros optimizados.

Tabla 11. Parámetros optimizados en la ecuación 5 para cada fecha

Fecha	c	m	b
28/01/2015	-10.4	-0.0823	2.6098
26/03/2015	-11.6	0.0417	2.4623
02/04/2015	-22.2	0.4327	3.1001

El uso de una escala logarítmica-decimal ha sido propuesto por la mayoría de los trabajos en diferentes partes del mundo, principalmente debido al orden de magnitud de la turbidez (Carpintero et al., 2013). Se puede observar que, a diferencia de la expresión de Bustamante et al., (2009), que presenta un valor único para los parámetros c, m y b para todo el período de estudio, en la ecuación propuesta estos parámetros varían

cada día. El mejor valor de R^2 es de 0,73 (obtenido el 28 de enero de 2015). El valor más bajo de R^2 es de 0,352 (obtenido el 26 de marzo de 2015).

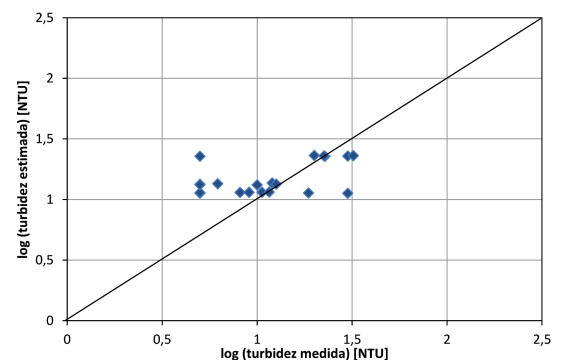
En lo que se refiere al parámetro c, del estudio de las series se desprende que todos sus indicadores presentan un valor negativo variable para cada día estudiado y adoptando los valores que se muestran en la tabla 11.

El modelo propuesto por estos autores es útil en cuanto a que proporciona una única expresión para todos los días, en tanto que el presente estudio utiliza una expresión diferente para cada día, lo cual exige la disponibilidad de medidas *in situ* para cada fecha analizada. La discrepancia entre las estimaciones del modelo de Bustamante et al., y las medidas *in situ* pueden ser debidas a que las condiciones del cuerpo de agua donde se realizaron, el PRSE, presentan bajo flujo de circulación de agua y un rango bajo en la variación de la profundidad de la columna de agua.

Además, el rango de turbidez observado en el PRSE presenta un orden de magnitud más bajo que el utilizado por dichos autores en Doñana, y, así mismo, presenta un régimen mucho menos variable; excepto en los puntos de muestreo P1, P5, P7 y P8 (río Jarama), puesto que no está sujeto a las descargas fluviales de la cuenca asociadas a los fines de riego u otras demandas.

La figura 6 muestra la relación obtenida entre el logaritmo de la turbidez estimada (modificada con los parámetros optimizados) y el logaritmo de la turbidez medida. Puede observarse que los valores obtenidos de turbidez representan con mayor precisión los valores de turbidez medidos en los puntos de muestreo. El mejor valor de RMSE es de 0,16, (obtenido el 26 de marzo de 2015) comparado con el valor de 1,18 obtenido por el modelo de Bustamante et al., (2009).

Figura 6. Relación entre el logaritmo (turbidez medida) y logaritmo (turbidez estimada con los parámetros optimizados) para cada día



Los valores RMSE obtenidos (tabla 12) para la turbidez reflejan el hecho de que las expresiones específicas mejoran significativamente la estimación de turbidez con respecto al algoritmo de Bustamante et al., puesto que, a lo largo de todos los días estudiados, el RMSE es más bajo, alcanzando su valor mínimo el 26 de marzo de 2015 (en esa fecha el valor máximo de turbidez fue de 32.1 NTU).



Tabla 12. Valores de la determinación del coeficiente (R^2), ecuación de la línea de ajuste y el RMSE entre el logaritmo (turbidez medida) y el logaritmo (turbidez estimada usando los nuevos parámetros estimados para cada día

Fecha	R^2	Ecuación	RMSE
28-Enero-2015	0.73	$y = 0,0231x + 1,0382$	0.17
10-Marzo-2015	0.35	$y = 0,0214x + 1,1096$	0.37
26-Marzo-2015	0.35	$y = 0,0033x + 1,3544$	0.16

Una vez que las expresiones propuestas para la turbidez estimada han sido calculadas, pueden obtenerse mapas de turbidez para toda el área de estudio para cada uno de los días. Los mapas 1, 2 y 3 muestran la distribución espacial de turbidez en las lagunas a la hora del paso del sensor en las fechas 28 de enero, 26 de marzo y 02 de abril.

Mapa 1

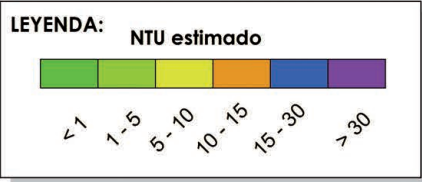


PROYECTO:
DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES DEL RÍO JARAMA MEDIANTE TELEDETECCIÓN

MAPA 1



CONTENIDO:
Distribución espacial de turbidez en las lagunas a la hora del paso del sensor el día 28 de enero



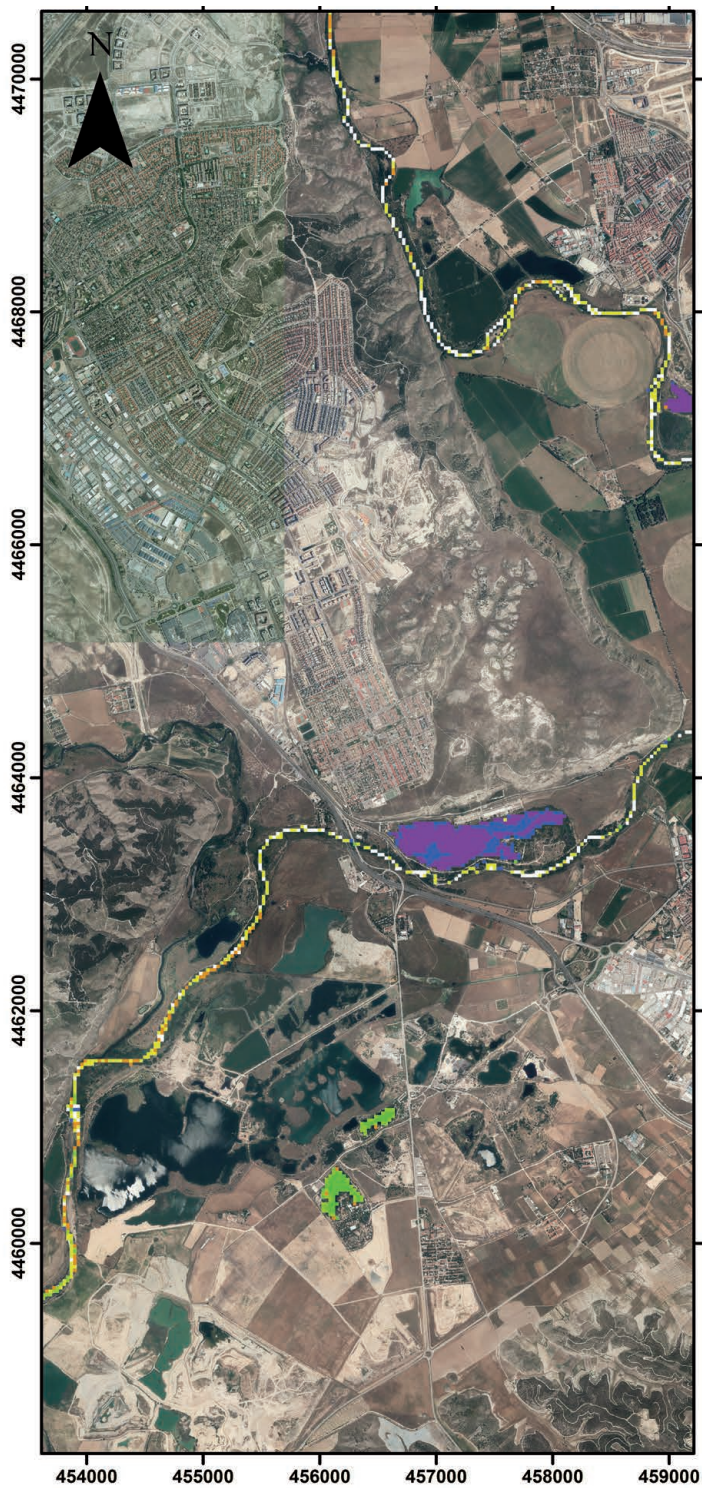
ESCALA 1:50.000

Metros

SISTEMA DE COORDENADAS
ETRS89 UTM ZONA 30N



Mapa 2

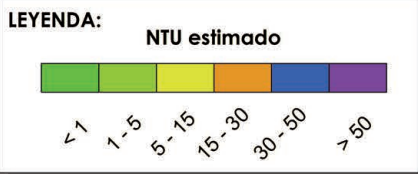


PROYECTO:
DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES DEL RÍO JARAMA MEDIANTE TELEDETECCIÓN

MAPA 2

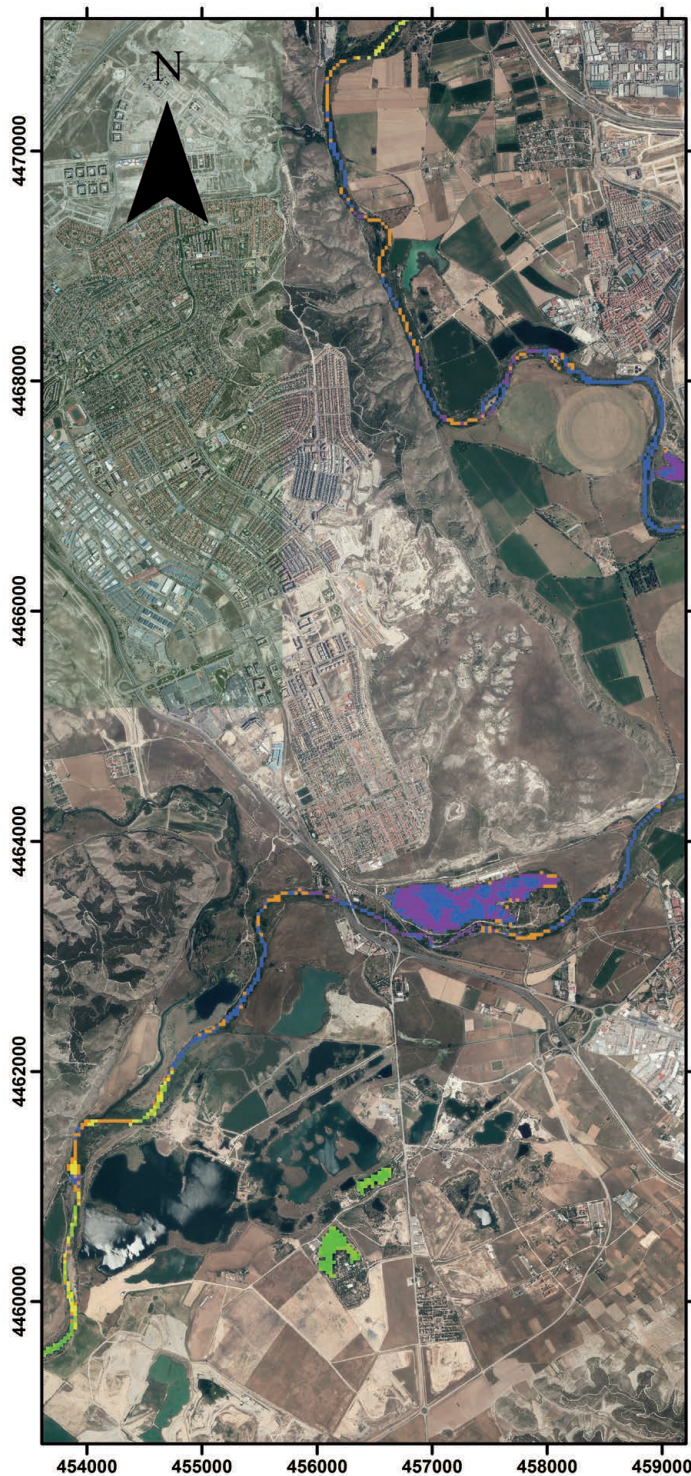


CONTENIDO:
Distribución espacial de turbidez en las lagunas a la hora del paso del sensor el día 26 de marzo





Mapa 3



PROYECTO:

DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES DEL RÍO JARAMA MEDIANTE TELEDETECCIÓN

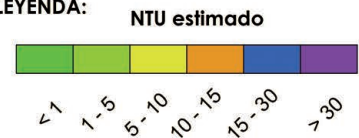
MAPA 3



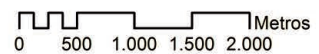
CONTENIDO:

Distribución espacial de turbidez en las lagunas a la hora del paso del sensor el día 2 de abril

LEYENDA:



ESCALA 1:50000



SISTEMA DE COORDENADAS

ETRS89 UTM ZONA 30N



4.3. ANÁLISIS DE LA REFLECTIVIDAD EN LA LAGUNA DEL CAMPILLO

En las figuras 7 y 8 se muestran los transectos con los valores en reflectividad de las diferentes bandas. El contenido de sedimentos en suspensión en el agua modifica su reflectancia; a mayor cantidad de sedimentos mayor reflectancia en el espectro visible. La reflectividad del espectro visible correspondiente a la banda 4 (roja, en las figuras) tiene una relación lineal positiva entre la turbidez y la reflectancia de esta banda.

En la figura 8 para el transecto A se observa un aumento de la reflectividad de enero a abril, lo que coincide con los análisis físico-químicos realizados durante las campañas con un aumento de los TSS (Total de Sólidos en Suspensión). Para los meses de enero y marzo la reflectividad se mantiene constante a lo largo del transecto, para el mes de abril se observa un descenso de esta relacionado con un descenso de la turbidez en el segmento Este del transecto (ver mapa 3). En la figura 9 para el transecto B se observa un aumento de la reflectividad en la banda 4 de enero a abril.

Figura 7. Transecto A de Este a Oeste. A) Transecto para la imagen del 28 de Enero. B) Transecto para la imagen del 26 de Marzo. C) Transecto para la imagen del 2 de Abril. Banda 2 (en azul) Banda 3 (en verde) y Banda 4 (en rojo)

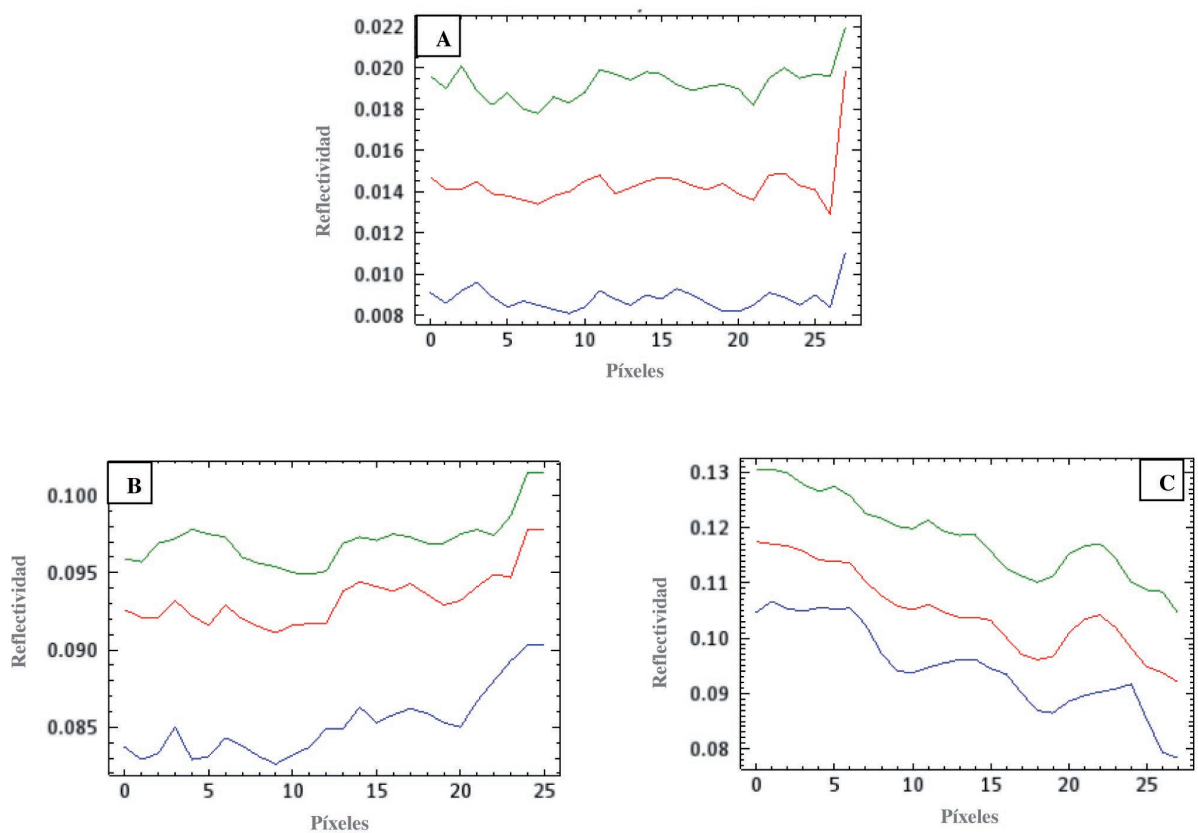


Figura 8. Transecto B de Norte a Sur. A) Transecto para la imagen del 28 de Enero. B) Transecto para la imagen del 2 de Abril. La pendiente pronunciada en ambos gráficos (Sur del transecto) es debida a la selección de algún pixel con vegetación lo que hace que la reflectividad se dispare

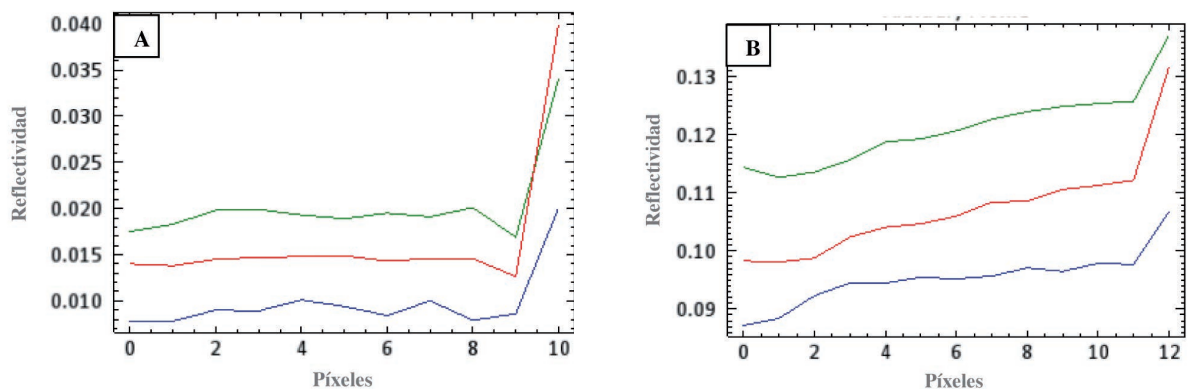
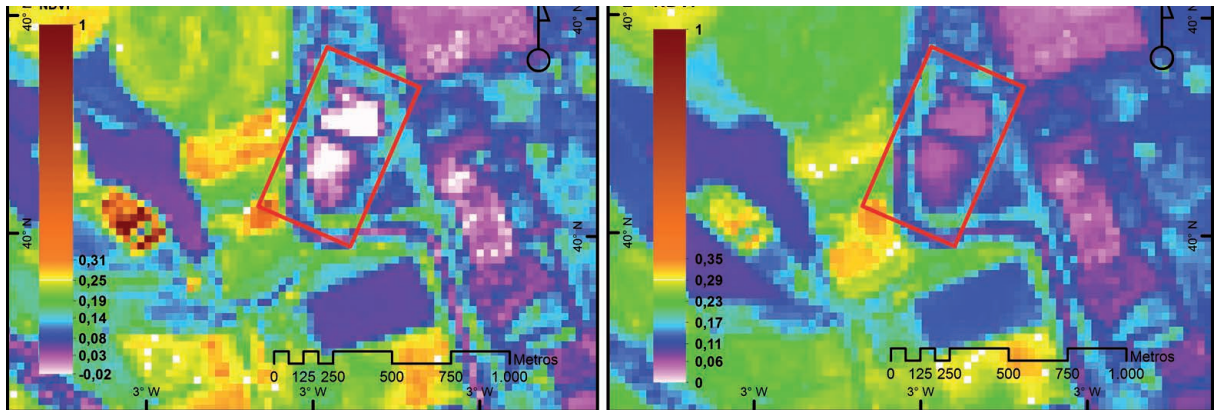




Figura 9. NDVI para la laguna de Velilla (enmarcada en cuadro rojo), en los meses de Enero (A) y Marzo (B)



4.4. ANÁLISIS DEL NDVI Y ESTADO TRÓFICO

Los valores de NDVI para el conjunto de las masas de agua consideradas no mostraron una clara relación de eutrofización en las lagunas estudiadas, excepto en el caso de la laguna de San Antonio.

En la figura 9 puede observarse una comparativa del NDVI entre el mes de enero y el mes de marzo para la laguna de Velilla. En la imagen, los valores obtenidos en el interior del vaso lagunar para marzo, han resultado todos positivos indicando por tanto eutrofización en el agua.

5. CONCLUSIONES

El análisis correlativo de este estudio confirma que la región espectral correspondiente a la banda 4 (640-670 nm) es la que mejor relaciona los valores de turbidez medidos con el área de estudio.

De la comparación entre el logaritmo de la turbidez medida *in situ* y el logaritmo de la turbidez estimada mediante el algoritmo de Bustamante et al. se desprende que este algoritmo sobrevalora los valores de turbidez medidos en las campañas en el PRSE, con un RMSE de 1,32 en la fecha de 28 de enero, (2015) y un RMSE mínimo de 1,18 el 26 de marzo (2015); los cuales son valores significativamente más altos que los obtenidos con el nuevo algoritmo, 0,17 para el 28 de enero, (2015) y 0,16 para el 26 de marzo (2015).

Las características de la zona de estudio implican que la relación entre los valores de la reflectancia y la turbidez no siguen los mismos patrones de conducta a lo largo del tiempo (río Jarama) lo que justifica la necesidad de utilizar algoritmos de carácter local. Estas expresiones locales varían para cada día de estudio, con las limitaciones que ello supone. Tales expresiones reproducen satisfactoriamente la turbidez medida con valores de RMSE mucho más bajos que los que corresponden a las estimaciones realizadas utilizando el algoritmo de Bustamante et al., (2009).

La utilización de las expresiones propuestas ha permitido obtener mapas de turbidez en toda el área de estudio en las fechas de las imágenes y en las áreas con turbidez observada.

El uso de expresiones empíricas locales para generar mapas de turbidez a escala diaria requiere el análisis de factores (hidrodinámicos, fluviales, meteorológicos y otros) que determinan la variación de los parámetros de la ecuación 5 con el objeto de seleccionar sus valores. Sin embargo, en áreas en las que la turbidez es alta y variable, se necesita una mayor red de medidas para obtener mapas de turbidez fiables.

Los resultados subrayan la incertidumbre asociada al uso de algoritmos no específicos para estimar la turbidez de masas de agua utilizando datos de sensores remotos. Puesto que la turbidez es una propiedad óptica, su valor es el resultado de conjunto de la presencia en el agua de varios componentes que pueden diferir ampliamente de un lugar a otro, con una reflectancia final extremadamente variable en las aguas superficiales. La calibración y verificación del uso de este tipo de expresiones utilizando una red de medidas *in situ* es necesario para asegurar la calidad de los resultados deseados.

6. RECOMENDACIONES

Se considera que la teledetección es un medio apropiado para monitorizar el estado ecológico de los cuerpos de agua como apoyo para la gestión del agua. Esta metodología permite estimar y monitorizar la transparencia con los sistemas de información geográfica con mayor rapidez, siendo esto muy útil para el control de pequeños cuerpos de agua. También proporciona información útil para la aplicación de la Directiva Marco de Agua (DMA).

El sensor OLI del Landsat es útil para la determinación de variables indicadoras del estado trófico del agua, como la transparencia. En este trabajo se utilizó la turbidez como alternativa, aunque ésta no permite determinar el estado trófico de un cuerpo de agua. Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar, en ningún caso, a las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de



1 NTU (RDL 140/2003, de 7 de febrero). En los lagos del PRSM se ha obtenido una relación empírica para la turbidez con la reflectividad de la banda 4 del OLI. La validación en la zona muestra unos errores relativos inferiores al 1% para la estimación de la turbidez, a partir de los modelos obtenidos. La ventaja de obtener esta relación empírica sería que el estudio de la calidad de aguas se realizaría más fácilmente, sin tener que realizar muestreos simultáneos a la adquisición de las imágenes.

Sin embargo; para futuras campañas en el PRSM, cuyos estados tróficos van de oligotrófico a hipertrofico (Dominguez et al, 2009), se recomienda medir la transparencia (disco de Secchi), ya que se encuentra entre las variables que, según la OECD, determinan la clasificación del estado trófico de las masas de agua. La determinación de la transparencia medida con el disco de Secchi permitiría diferenciar entre los distintos estados tróficos. De esta manera, se validaría la aplicación para la determinación de variables indicadoras del estado trófico en todo tipo de sistemas eutróficos mediante teledetección, utilizándola como una herramienta para el seguimiento del estado ecológico de las masas de agua, según la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE (DOCE, 2000), sin la necesidad de realizar medidas *in situ*.

7. BIBLIOGRAFÍA

Adler-Golden, S. M., Matthew, M. W., Bernstein, L. S., Levine, R. Y., Berk, A., Richtsmeier, S. C., Acharya, P. K., Anderson, G. P., Felde, G., Gardner, J., Hike, M., Jeong, L. S., Pukall, B., Mello, J., Ratkowski, A., and Burke, H. 1999. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. *SPIE Proc. Imaging Spectrometry*. 3753: 61-69.

Allee, R. J. y Johnson, J. E. 1999. Use of satellite imagery to estimate surface chlorophyll-*a* and Secchi disc depth of Bull Shoals Reservoir, Arkansas, USA. *International Journal of Remote Sensing*. 20: 1057-1072.

Alexandridis, T. K., Lazaridou, E., Tsirika, A., & Zalidis, G. C. 2009. Using Earth observation to update Natura 2000 habitat map for a wetland in Greece. *Journal of Environmental Management*. 90(7): 2243-2251.

Álvarez Cobelas, M., Rubio, A., Arauzo, M., Alarcón, P., Alario, V. 1987. Morfometría y composición química de una laguna de gravera. *Limnética*. 3: 91-95.

Baban, S.M.J. 1993. Detecting water quality parameters in the Norfolk Broads U.K., using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 21: 1057-1072.

Brivio, P.A., Giardino, C. y Zilioli, E. 2001. Determination of Chlorophyll concentration changes in Lake Garda using an image-based radiative transfer code for Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*. 22: 487-502.

Bustamente, J., Pacios, F., Díaz-Delgado, R., Aragonés, D. 2009. "predictive models of turbidity and water depth in the Doñana marshes using Landsat TM and ETM+ images", *J. Environ. Manage.* 90: 2219-2225.

Carlson, R.E., 1977. A trophic state index for lakes: *Limnology and Oceanography*. 22: 361-369.

Carpintero, M., Contreras, E., Millares, A., Polo, J.M., 2013. Estimation of turbidity along the Guadalquivir estuary using Landsat TM and ETM+ images. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XV*. 8887: 105-120

Chao Rodríguez, Y., el Anjoumi, A., Domínguez Gómez, J.A., Rodríguez Pérez, D. y Rico, R. 2014. Using Landsat image time series to study a small water body in Northern Spain. *Environ Monit Assess (2014)*. 186: 3511-3522.

Dekker, A.G. y Peters, S.W.M. 1993. The use of a Thematic Mapper for the analysis of eutrophic lakes: a case of study in the Netherlands. *International Journal of Remote Sensing*. 14: 799-821.

Domínguez Gómez, J. A. (2002). Estudio de la calidad del agua de las lagunas de gravera mediante teledetección. *PhD thesis*, Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, Spain.

Domínguez, J. A., Chuvieco, E. y Sastre, A. 2009. Monitoring transparency in inland water bodies using multispectral images. *International Journal of Remote Sensing*. 30: 1567-1586.

Doña, C., Domínguez, J. A. y Caselles, V. 2009. Hacia una relación única para el estudio del estado trófico de lagos y embalses con Thematic Mapper. *Revista de Teledetección*. 32: 25-39.

Duan, H. T., Zhang, Y. Z., Zhan, B., Song, K. S. y Wang, Z. M. 2007. Assessment of Chlorophyll-*a* concentration and trophic state for Lake Chagan using Landsat TM and field spectral data. *Environmental Monitoring and Assessment*. 129: 295-308.

España. Real Decreto-ley 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *Boletín Oficial del Estado*, 22 de febrero de 2003, núm. 45.

Fuller, L.M., Aichele, S.S., and Minnerick, R.J., 2004. Predicting water quality by relating secchi-disk transparency and chlorophyll *a* measurements to satellite imagery for Michigan inland lakes, August 2002: U.S. *Geological Survey Scientific Investigations Report*. 25: 2004-5086.

Girgin, S.; Kazanci, N.; Dügel, M. 2010. Relationship between aquatic insects and heavy metals in an urban stream using multivariate techniques. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 7(4): 653-664.

Kloiver, S. M., Brezonik, P. L., Olmanson, L. G. y Bauer, M. E. 2002. A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. 82: 38-47.

Lathrop, R. G., Lillesand, T. M. y Yandell, B. S. 1991. Testing the utility of simple multi-date Thematic Mapper calibration algorithms for monitoring turbid inland waters. *International Journal of Remote Sensing*. 12: 2045-2064.

Lavery, P., Paattiaratchi, C., Wyllie, A. y Hick, P. 1993. Water quality monitoring in estuarine water using the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*. 46: 268-280.

López-García, M. J. y Caselles, V. 1987. Use of Thematic Mapper data to assess water quality in Albufera lagoon of Valencia (Spain). *13th Annual Conference of the Remote Sensing Society*. Nottingham, September. 22: 7-11.

López-García, M. J. y Caselles, V. 1990. A multitemporal study of chlorophyll-*a* concentration in the Albufera lagoon of Valencia, Spain, using Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*. 11: 301-311.



Mayo, M., Gitelson, A., Yazobi, Y. Z. y Ben-Avraham, Z. 1995. Chlorophyll distribution in Lake Kinneret determined from Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*. 16: 175-182.

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). *Wetlands*. New York: Wiley.

OECD, 1982. *Eutrophisation des Eaux. Methodes de surveillance, d'évaluation et de lutte Eutrophication of water, monitoring, assessment and control*. Paris: OECD

Strickland, J.D.H., Parsons, T.P. 1968. *A practical handbook for seawater analysis*. (Ottawa: Fisheries Research Board).

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA: CARTOGRAFÍA DIGITAL EN LA RED

IGME (Instituto Geológico y Minero). MAPAS GEOLÓGICOS y otros datos
<http://www.igme.es/internet/default.asp>

IGN (Instituto Geográfico Nacional): MAPAS TOPOGRÁFICOS, MODELOS DIGITALES DEL TERRENO.
<http://www.ign.es/ign/main/index.do>

Confederaciones Hidrográficas (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).
<http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/funciones-estructura/organizacion-organismos/organismos-publicos/confederaciones-hidrograficas/>

USGS (The United States Geological Survey): IMÁGENES DE SATÉLITE
<http://earthexplorer.usgs.gov/>

8. ANEXO 1.1

Tabla 13. Análisis físico-químico de las aguas superficiales en las cuatro campañas realizadas

CAMPAÑA 28/01/2015

Ubicación	TU	pH	T (°C)	Conductividad (uS/cm)	TSD (ppm)	Salinidad	ORP	DO (%)	DO (mg/L)	Fecha	Observaciones
Titulcia. Orilla Río Jarama	10,6	-	-	-	-	-	-	-	-	31/01/2015	No se pudo medir con la sonda multiparamétrica.
Laguna de las Madres	5	9,12	8,02	1672	836	0,85	-23,8	71,8	7,82	02/02/2015	
Laguna Complejo La Cigüeña	5	9,53	7,24	2360	1177	1,21	-28,3	69,6	7,75	02/02/2015	
Laguna Velilla de San Antonio	30	9,2	8,34	12,37	4183	7,1	-17	85	8,88	28/01/2015	
Mejorada del Campo. Orilla Río Jarama	8,13	8,55	7,94	1113	555	0	-18,9	58	6,53	28/01/2015	
Laguna Campillo	18,64	8,6	6,9	1805	898	0,94	-23	60,6	6,71	02/02/2015	
Río Jarama (cercano a Laguna del Campillo)	9,068	9,3	6,53	513	257	0,25	-28,9	60,9	6,86	02/02/2015	
San Martín de la Vega. Orilla del Río Jarama	11,58	-	-	-	-	-	-	-	-	31/01/2015	No se pudo medir con la sonda multiparamétrica.

CAMPAÑA 26/03/2015

Ubicación	TU	pH	T (°C)	Conductividad (uS/cm)	TSD (ppm)	Salinidad	ORP	DO (%)	DO (mg/L)	Fecha	Observaciones
Titulcia. Orilla Río Jarama	10	8,23	16,69	798	396	0,39	-0,6	40,1	3,68	10/03/2015	
Laguna de las Madres	5	8,27	13,15	1548	776	0,79	9,2	58	5,73	10/03/2015	
Laguna Complejo La Cigüeña	5	8,11	12,92	2158	1078	1,11	7,3	69,1	6,86	10/03/2015	
Laguna Velilla de San Antonio	100	9,48	11,91	1024	5119	5,82	15,1	-	18,49	10/03/2015	DO% valores anómalos
Mejorada del Campo. Orilla Río Jarama	6,2	8,8	10,82	720	355	0,33	-1,3	56,4	5,86	10/03/2015	
Laguna Campillo	76,2	9,54	13,6	1462	731	0,74	6,5	-	15,2	10/03/2015	DO% valores anómalos
Río Jarama (cercano a Laguna del Campillo)	12	8,5	14,29	645	322	0,31	4,9	51,2	4,91	10/03/2015	
San Martín de la Vega. Orilla del Río Jarama	12,6	8,5	12,92	715	357	0,35	-0,3	59,1	5,87	10/03/2015	

CAMPAÑA 02/04/2015

Ubicación	TU	pH	T (°C)	Conductividad (uS/cm)	TSD (ppm)	Salinidad	ORP	DO (%)	DO (mg/L)	Fecha	Observaciones
Titulcia. Orilla Río Jarama	22,75	8,31	12,32	719	359	0,35	-	57,2	5,58	26/03/2015	ORP% valores anómalos
Laguna de las Madres	5	8,24	13,54	1446	723	0,73	26,8	58,9	5,7	26/03/2015	
Laguna Complejo La Cigüeña	5	8,17	13,14	1917	959	0,98	28,1	70,8	6,93	26/03/2015	
Laguna Velilla de San Antonio	30	8,3	11,27	1470	5123	5,82	72	68,5	6,68	26/03/2015	
Mejorada del Campo. Orilla Río Jarama	30	7,38	9,77	833	414	0,42	81,3	51,8	5,43	26/03/2015	
Laguna Campillo	32,1	8,59	12,41	1470	782	0,79	28,7	84,2	8,35	26/03/2015	
Río Jarama (cercano a Laguna del Campillo)	20	8,45	10,25	687	344	0,34	21,2	57,1	5,9	26/03/2015	
San Martín de la Vega. Orilla del Río Jarama	22,5	7,8	12,19	718	359	0,35	19,9	55,4	5,61	26/03/2015	



CAMPAÑA 22/04/2015

Ubicación	TU	pH	T (°C)	Conductividad (uS/cm)	TSD (ppm)	Salinidad	ORP	DO (%)	DO (mg/L)	Fecha	Observaciones
Titulcia. Orilla Río Jarama	30	6,83	19,63	1360	678	0,68	115	46,2	3,88	22/04/2015	
Laguna de las Madres	5	6,65	20,2	1673	837	0,85	266,5	71,2	5,72	22/04/2015	
Laguna Complejo La Cigüeña	5	6,85	21,58	2519	1253	1,29	136,2	67,5	5,59	22/04/2015	
Laguna Velilla de San Antonio	75	8,95	18,42	1193	5962	6,84	33,1	116,5	9,81	22/04/2015	
Mejorada del Campo. Orilla Río Jarama	6,3	9	15,82	1010	500	0,5	23,2	37,5	3,45	22/04/2015	
Laguna Campillo	50	6,55	21,91	1052	926	0,94	265,4	146,6	12,68	22/04/2015	
Río Jarama (cercano a Laguna del Campillo)	6,4	5,33	18,33	1046	524	0,52	243,8	62,5	5,45	22/04/2015	Valores anómalos de Ph
San Martín de la Vega. Orilla del Río Jarama	10	4,81	19,69	1056	528	0,52	238,2	58,6	5,2	22/04/2015	

9. ANEXO 1.2

Tabla 14. Desviación standard máxima, mínima y media para una celda de 3 x 3 pixeles para el veintiséis de Marzo

		Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
P1	Min	0.058000	0.050200	0.059800	0.063300	0.057900	0.068200	0.058700
	Max	0.063800	0.057400	0.069900	0.073300	0.109400	0.114700	0.086800
	Mean	0.060367	0.052733	0.063700	0.066767	0.077867	0.088133	0.070367
P2	Min	0.081900	0.070000	0.088900	0.079700	0.097900	0.092500	0.078200
	Max	0.085000	0.073200	0.093100	0.087900	0.121300	0.108000	0.088900
	Mean	0.083300	0.071500	0.090433	0.082900	0.106733	0.100633	0.083900
P3	Min	0.070800	0.057600	0.068100	0.067600	0.094800	0.098300	0.081000
	Max	0.081500	0.068200	0.078800	0.083700	0.133800	0.133600	0.108000
	Mean	0.075200	0.061767	0.071900	0.073233	0.108933	0.110100	0.090100
P4	Min	0.100700	0.085300	0.092400	0.089600	0.124100	0.113200	0.096000
	Max	0.104200	0.086100	0.093900	0.091900	0.127500	0.116500	0.097600
	Mean	0.102100	0.085600	0.093300	0.090900	0.126167	0.115067	0.096900
P5	Min	0.079500	0.069900	0.084200	0.090500	0.161200	0.154200	0.115400
	Max	0.084400	0.075400	0.089500	0.101200	0.180600	0.178400	0.130400
	Mean	0.081267	0.072400	0.086200	0.095800	0.173733	0.164200	0.121167
P6	Min	0.094000	0.083700	0.095900	0.092600	0.113200	0.102000	0.086500
	Max	0.097500	0.086600	0.100100	0.099300	0.127800	0.114600	0.094800
	Mean	0.096233	0.085167	0.097933	0.096033	0.121633	0.109933	0.091433
P7	Min	0.105700	0.092800	0.105000	0.106200	0.168500	0.146300	0.113300
	Max	0.119400	0.105000	0.115300	0.120600	0.192800	0.173700	0.134900
	Mean	0.110467	0.097167	0.108867	0.113067	0.179600	0.160033	0.125900
P8	Min	0.075200	0.066700	0.080200	0.085700	0.125900	0.104800	0.084700
	Max	0.075900	0.068200	0.082800	0.088500	0.141400	0.141000	0.101700
	Mean	0.075533	0.067367	0.081067	0.086700	0.134100	0.121167	0.093433

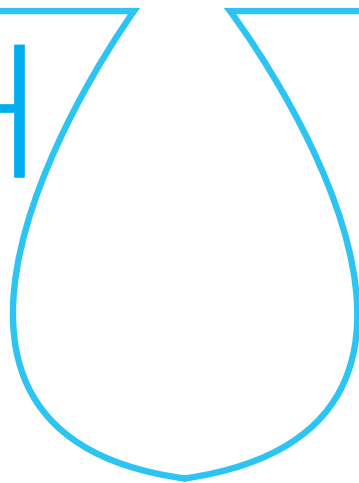


Tabla 15. Desviación standard máxima, mínima y media para una celda de 3 x 3 pixeles para el dos de Abril

		Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
P1	Min	0.044400	0.036200	0.053000	0.049400	0.142900	0.079800	0.057400
	Max	0.047400	0.038400	0.055600	0.051200	0.150900	0.092100	0.065000
	Mean	0.045900	0.037300	0.054300	0.050300	0.146900	0.085950	0.061200
P2	Min	0.054500	0.042500	0.051700	0.047400	0.081700	0.078200	0.064300
	Max	0.057500	0.047000	0.056200	0.053600	0.095200	0.084600	0.069800
	Mean	0.055867	0.045167	0.054333	0.051500	0.088333	0.082300	0.067933
P3	Min	0.057100	0.048000	0.054200	0.053100	0.092200	0.081300	0.069900
	Max	0.073900	0.064100	0.078900	0.077700	0.173400	0.132100	0.105900
	Mean	0.063133	0.053433	0.062700	0.061667	0.121033	0.101100	0.083233
P4	Min	0.081500	0.070700	0.085300	0.078900	0.117500	0.095000	0.080100
	Max	0.084900	0.073800	0.087600	0.081500	0.120400	0.097200	0.082400
	Mean	0.082967	0.072000	0.086500	0.080100	0.119000	0.096133	0.081633
P5	Min	0.056900	0.052000	0.073300	0.070200	0.164100	0.114200	0.086600
	Max	0.060200	0.055500	0.077900	0.079000	0.222500	0.154300	0.107400
	Mean	0.058825	0.054100	0.075700	0.074750	0.194525	0.136950	0.097100
P6	Min	0.113600	0.102800	0.125200	0.1111	0.157300	0.115800	0.096200
	Max	0.116000	0.104800	0.130800	0.1176	0.169800	0.123500	0.102400
	Mean	0.114950	0.103650	0.128175	0.11435	0.164450	0.119525	0.099500
P7	Min	0.117700	0.105400	0.123800	0.120600	0.211300	0.161900	0.125800
	Max	0.127200	0.113900	0.132600	0.129500	0.254900	0.178500	0.136000
	Mean	0.122967	0.110233	0.128233	0.125900	0.229067	0.168700	0.131100
P8	Min	0.075000	0.066600	0.088500	0.087300	0.177000	0.159400	0.116000
	Max	0.077200	0.067300	0.090100	0.091000	0.222600	0.161400	0.121000
	Mean	0.076033	0.066900	0.089333	0.089367	0.193467	0.160167	0.118667

escuela de posgrado
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS DE POSGRADO EN **HIDROLOGÍA**

UAH URJC



máster universitario

en hidrología y gestión de recursos hídricos

proyectos
2015

Análisis de las crecidas del río Mocotíes hasta Tovar y Santa Cruz de Mora. Andes venezolanos

autor

Alejandro Delgadillo Santander

directores

Juan Antonio Pascual (CIDE)

Dra. Irene de Bustamante (UAH)

Alcalá de Henares, 8 de junio de 2015



AGRADECIMIENTOS

Debo expresar mi especial agradecimiento al Prof. Juan Antonio Pascual por sus oportunas recomendaciones las cuales ayudaron a mejorar este trabajo en gran medida. También a la Profesora Irene de Bustamante por la colaboración brindada.

A los Profesores Carlos Ferrer Oropeza y Roberto Duque de la Universidad de los Andes en Mérida - Venezuela, porque muchas de las ideas plasmadas en este trabajo, obedecen a múltiples discusiones hechas con ambos.

También a Ada Moreno, por todo el apoyo recibido.



ÍNDICE

1. Resumen	80
2. Introducción	80
3. Capítulo I. El problema	80
3.1. Planteamiento del problema y justificación	80
3.2. Objetivos	81
4. Capítulo II. Marco teórico	81
4.1. Antecedentes relacionados con la temática de la investigación	82
4.2. Antecedentes elaborados en el área de estudio	83
4.3. Bases teóricas y definición de términos básicos	85
5. Capítulo III. Marco Metodológico	87
5.1. Recopilación y revisión de la información hidroclimática	87
5.2. Revisión documental - histórica, relacionada con la ocurrencia de crecidas y procesos geomorfológicos en el fondo del valle del río Mocotíes	88
5.3. Búsqueda y adquisición del material cartográfico	88
5.4. Fotointerpretación y trabajo de campo	88
5.5. Aspectos geológicos - geomorfológicos	88
5.6. Análisis de tormentas	89
5.7. Simulación hidrológica de crecidas, mediante el programa HEC - HMS versión 3.5	89
5.8. Cálculos hidráulicos	90
5.9. Cartografía de las manchas de crecidas, en los sectores de interés seleccionados	91
6. Capítulo IV. Localización y breve descripción de las condiciones físicas del área de estudio	92
6.1. Geología	92
6.2. Geomorfología	93
6.3. Precipitación	93
6.4. Hidrografía	94
6.5. Suelos	95
6.6. Cobertura de la Tierra	95
7. Capítulo V. Resultados y análisis	96
7.1. Comentarios sobre eventos históricos y recientes de ocurrencia de crecidas y diferentes tipos de movimientos de masa. Un intento de inventario	96
7.2. Evento de febrero de 2005	97
7.3. Análisis de la Tormenta de febrero del 2005 en la cuenca experimental de San José de Galipán	100
7.4. Sectores más afectados desde el punto de vista geomorfológico con énfasis en el evento del 11/02/2005	104

7.5. Generación de hidrogramas para diferentes periodos de retorno	106
7.6. Distribución y análisis de los niveles de amenazas por crecidas en los sitios de interés	108
8. Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones	112
8.1. Conclusiones	112
8.2. Recomendaciones	113
9. Referencias citadas	114
10. Anexo I	118
11. Anexo II	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones pluviográficas localizadas dentro de la cuenca del Mocotíes y en su área de influencia	87
Tabla 2. Estaciones localizadas dentro de la cuenca experimental de San José de Galipán y en su área de influencia	88
Tabla 3. Condiciones iniciales de humedad del suelo	89
Tabla 4. Conversión de las clases texturales de suelo a los grupos de suelos del método del Número de Curva del SCS	89
Tabla 5. Criterios para cartografiar las manchas de crecidas del río Mocotíes en los sectores de interés seleccionados, partir del nivel de peligrosidad	91
Tabla 6. Porcentaje de ocupación de los grupos hidrológicos de suelos en la cuenca del río Mocotíes	95
Tabla 7. Tipos y categorías de cobertura de la tierra y superficie de ocupación. Cuenca del río Mocotíes	96
Tabla 8. Datos de precipitación en mm y en incrementos de 6 horas del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela	101
Tabla 9. Área, en km ² , encerrada por cada una de las isoyetas consideradas	101
Tabla 10. Áreas de Influencia, en km ² , de cada estación de medición de precipitación hasta la isoyeta 180 mm	102
Tabla 11. Resultados del análisis de la tormenta ocurrida entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela	102
Tabla 12. Valores del factor de reducción por efecto de área, para el evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela	102
Tabla 13. Hietogramas de lluvia en mm para diferentes frecuencias generados a partir del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán y transpuestos hacia la cuenca del río Mocotíes hasta Tovar	103



Tabla 14. Hietogramas de lluvia en mm para diferentes frecuencias generados a partir del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán y transpuestos hacia la cuenca del río Mocotíes hasta Santa Cruz de Mora..... 103

Tabla 15. Cuadro síntesis de estimación de caudales modelados con el HEC - HMS 3.5 para el río Mocotíes en Santa Cruz de Mora y Tovar..... 108

Tabla 16. Niveles de peligrosidad o amenaza por crecidas del río Mocotíes, para la sección de Tovar..... 109

Tabla 17. Niveles de peligrosidad o amenaza por crecidas del río Mocotíes, para la sección de Santa Cruz de Mora 111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio..... 92

Figura 2. Distribución temporal de las precipitaciones, en la cuenca del Mocotíes..... 94

Figura 3. Red de drenaje de la cuenca del Mocotíes y principales centros poblados 94

Figura 4. Uso actual de la tierra de la cuenca del río Mocotíes 95

Figura 5. Imágenes de satélite GOES-Este, correspondientes a los días 07 al 12/02/2005 99

Figura 6. Precipitaciones diarias registradas para las estaciones de medición administradas por PEQUIVEN, durante el evento de febrero del 2005, en la cuenca del río Sanchón (estado Carabobo)..... 100

Figura 7. Imagen de satélite GOES, capturada a las 6:15 a.m (hora local) de la página <http://weather.msfc.nasa.gov>, el día 12 de febrero de 2005 y tomada de Roa (2007). Al analizar con detalle esta imagen se observa que a pesar de las condiciones de mal tiempo atmosférico que cubrían una gran proporción del occidente Venezolano; en el área de estudio ya se habían producido los mayores volúmenes de lluvia, horas antes. En esta imagen la presión atmosférica más baja se localiza en el límite del Sur del Lago de Maracaibo 100

Figura 8. Curvas máxicas del evento de febrero del 2005, sobre la cuenca experimental de San José de Galipán y en su área de influencia. En este caso se seleccionó el evento con las mayores magnitudes de lluvia; desde las 37 a las 85 horas, contadas a partir del inicio de la tormenta..... 100

Figura 9. Hietograma de precipitación del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, para la estación Macuto donde se centró La Tormenta. Cada intervalo de tiempo equivale a 6 horas 101

Figura 10. Isoyetas y Polígonos de Thiessen del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela 101

Figura 11. Curvas APD para el evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela 102

Figura 12. Curvas de factor de reducción por efecto de área para diferentes duraciones y para el evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán..... 103

Figura 13. Curvas IDF ajustadas a una distribución Log-Gumbel en papel logarítmico para la estación Macuto (serial 0508)..... 103

Figura 14. Hietograma porcentual para el evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela. Cada intervalo de tiempo equivale a 6 horas 103

Figura 15. La elipse segmentada en color amarillo muestra una de los tramos impactados por el río Mocotíes durante el evento de febrero de 2005, en parte del sector la Vega. Nótese además los daños sobre la vialidad (en flechas color negro). Imagen cortesía de la Guardia Nacional Bolivariana y la Aviación Militar Bolivariana, pertenecientes al vuelo en helicóptero del 16/02/2005) 104

Figura 18. (a y b) Detalles sobre los daños generados por el río Mocotíes en el evento del 11/02/2005, tanto en el sector Loma de la Virgen, como (c y d) en la avenida perimetral de Tovar, metros abajo del Gimnasio Monseñor Pulido Méndez. Fuente: Imágenes cortesía de Ovalles (2005) 104

Figura 16. Estas imágenes tomadas de Dugarte et al. (2014) y cortesía de la Guardia Nacional Bolivariana y la Aviación Militar Bolivariana, pertenecientes al vuelo en helicóptero del 16/02/2005, muestran: (a) una parte del sector la Vega de Tovar; donde se indica con flechas amarillas los fuertes procesos de erosión lateral, del río Mocotíes en una sección que fue ampliamente afectada por el evento del 11 de febrero del 2005. (b) en la elipse de color blanco se observa la estrecha garganta con el consecuente depósito demarcado con líneas segmentadas de color amarillo y cuyos efectos geomorfológicos se traducen en una retención de materiales, posibles represamientos, posterior reducción de la pendiente y explayamiento de los materiales aguas abajo..... 105

Figura 17. (a) En este sitio se concentraron la mayor cantidad de víctimas fatales, especialmente en el Terminal de Pasajeros; se debe recordar que la mayoría de los autobuses y vehículos se encontraban allí refugiándose ya que se había suspendido el paso vehicular y (b) según testigos presenciales y tal como indicaban las evidencias geomorfológicas en su momento, la quebrada Los Cedros obtuvo parcialmente al río Mocotíes, lo que a su vez contribuyó con su desbordamiento. Imágenes tomadas de Dugarte et al. (2014). 105

Figura 19. Se muestran en este par de fotografías áreas de los años 1967 misión 010423 (a) y 1996 (b), como el cauce del río Mocotíes fue modificado de su curso original, a fin de poder construir la avenida



perimetral de Santa Cruz y el antiguo Terminal de Pasajeros. En color azul se representa el trazado del río Mocotíes para el año 67, sobre la fotografía área del año 1996 correspondiente con la misión 010488, a escala 1:5.000 106

Figura 20. Modelado de la cuenca del río Mocotíes hasta Tovar, en el HEC - HMS..... 107

Figura 21. Hidrograma de crecida para 100 años de periodo de retorno, obtenido a partir de la transposición de la tormenta de Vargas, de febrero de 2005, para el río Mocotíes hasta Tovar..... 107

Figura 22. Modelado de la cuenca del río Mocotíes hasta Santa Cruz de Mora, en el HEC - HMS. 107

Figura 23. Hidrograma de crecida para 100 años de periodo de retorno, obtenido a partir de la transposición de la tormenta de Vargas, de febrero de 2005, para el río Mocotíes hasta Santa Cruz de Mora 108

Figura 24. Patrones anastomosados del río Mocotíes en Tovar. En ambas fotografías aéreas demarcadas con la elipse de color amarillo: (a) misión 010411 a escala 1:7.800 del año 1964, y (b) misión 010429 a escala 1:5.000 del año 1967; se muestra un patrón de drenaje con alta tendencia a generar meandros, incluso al anastomosamiento; lo que indica que existen condiciones importantes de desequilibrio en esta sección de la perimetral de Tovar.....110

Figura 25. Niveles de peligrosidad o amenaza por crecidas del río Mocotíes en Tovar, expresados en términos cualitativos: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto110

Figura 26. Niveles de peligrosidad o amenaza por crecidas del río Mocotíes en Santa Cruz de Mora, expresados en términos cualitativos: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto 112



1. RESUMEN

Destacan en la cuenca del río Mocotíes dos marcadas asimetrías: La primera de ellas de carácter topográfico, ya que los macizos orientados al noreste y noroeste de su margen izquierda con alturas menores y una superficie de 32,58% del total del área se distinguen de su contraparte; y la segunda relacionada con una alta disimilaridad de los macizos rocosos. Estas características conforman dos aspectos claves en la conducta mostrada por esta cuenca de drenaje y su respuesta hidrológica - geomorfológica, al evento de lluvias del 11/02/2005; el cual adquiere una especial connotación en este trabajo. Este fenómeno afectó a la parte occidental de los Andes venezolanos, el Sur del Lago de Maracaibo, a los estados Falcón, Aragua, Carabobo y Vargas, además de varios municipios del departamento de Santander en Colombia. A partir de una compilación de fuentes y de datos de procedencia diversa, se elabora entre otros aspectos: (i) un interesante inventario de eventos de crecidas históricas y antiguos movimientos de masa que han afectado al área hasta el presente, y (ii) una transposición de tormenta modelo o tipo hacia la cuenca del río Mocotíes y ocurridas en sitios diferentes; a fin de compensar la falta de información hidrometeorológica de la zona de estudio. Los hietogramas obtenidos, aunado al uso de las capas con información temática de cobertura de la tierra, grupos hidrológicos de suelos y número de curva de escorrentía (CN), fueron utilizados como datos de entrada al modelo de simulación hidrológica HEC - HMS 3.5, a fin de estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en los sectores de interés seleccionados; donde además se elaboró una síntesis de las particularidades geomorfológicas del río Mocotíes. Por considerarlo especialmente importante se empleó igualmente el modelo hidráulico HEC - RAS 4.1, en conjunto con el HEC - GeoRAS 4.2.93 y el ArcGIS 9.3, todo lo cual permitió definir los niveles de amenazas o peligrosidad por crecidas en los casos específicos de las localidades de Tovar y Santa Cruz de Mora. Por último se formulan una serie de conclusiones - recomendaciones con fines eminentemente preventivos, en estas secciones del fondo del valle altamente vulnerables.

Palabras clave: Andes venezolanos, río Mocotíes, transposición de tormentas, crecidas, movimientos de masa, fondo del valle, niveles de amenazas.

2. INTRODUCCIÓN

Los ríos conforman sistemas naturales extremadamente dinámicos y complejos, dada su capacidad para transportar agua, sedimentos y organismos; así como por su valor socioeconómico, paisajístico, ecológico y territorial (González *et al.*, 2007), por lo tanto su equilibrio, resulta de vital importancia en cuanto a la oferta del recurso hídrico, y en la generación o no de crecidas excepcionales. Desafortunadamente los cambios ocurridos a nivel global, regional y local, en cuanto la creciente presión demográfica, las demandas de servicios que degradan los ecosistemas y la variabilidad del clima, entre muchos otros aspectos están incrementando la ocurrencia de eventos de crecidas en todo el planeta (OMM, 2009).

En este contexto y bajo la concepción del desarrollo sostenible, es de vital importancia integrar la dimensión económica, social

y cultural a la preservación de los sistemas fluviales; de allí que los nuevos enfoques de manejo y gestión de cuencas hidrográficas y de los recursos hídricos, promueven una visión sistémica donde confluyen componentes de carácter físico-natural, socioeconómico político-administrativo y cultural en la que se establecen diferentes alcances tales como: (i) la protección de obras de infraestructura contra procesos geomorfológicos, (ii) el control de torrentes, y (iii) la planificación de los usos de la tierra (Dourojeanni *et al.*, 2002), además de la aplicación de prácticas de manejo sostenible de suelos y aguas (Ovalles y Méndez, 2011).

Adicionalmente se incluye en estos enfoques: la prevención y mitigación de desastres causados por lluvias máximas y crecidas; lo que se puede lograr a través de la aplicación de obras estructurales y de aquellas medidas basadas en el ordenamiento territorial, en la zonificación de procesos geodinámicos, así como en la creación e instalación de sistemas de alerta temprana y utilización de planes educativos de emergencia, entre otros.

Si se analizan con detenimiento los párrafos precedentes, es posible entender que uno de los campos de acción del manejo y gestión de cuencas hidrográficas, se dirige a analizar, prevenir y reducir los daños ocasionados por eventos naturales. Constituye parte importante de estos fenómenos las crecidas y los movimientos de masa en las laderas que rodean los sistemas de drenaje. Esta preocupación configura el tema central del presente trabajo; dirigido en este caso particular hacia el estudio del río Mocotíes en los municipios Antonio Pinto Salinas y Tovar del estado Mérida - Venezuela, específicamente en los sectores de Santa Cruz de Mora y en la avenida perimetral de Tovar. Al seleccionar estas localidades se pretende: analizar varias de las crecidas de dicho sistema fluvial, realizar estimaciones de carácter hidráulico para definir áreas con diferentes probabilidades de desbordes y localizar aquellos sitios especialmente sensibles a la ocurrencia de procesos geomorfológicos. Todo lo anterior con especial énfasis en la tormenta ocurrida el 11 de febrero de 2005 (en la denominada tragedia del Mocotíes), dentro de una visión integral del antes, durante y después de este importante evento. Es oportuno señalar que este fenómeno hidrometeorológico con fuertes impactos geomorfológicos e hidrológicos, ha sido registrado tanto por la magnitud, cantidad de fatalidades y pérdidas socioeconómicas, como uno de los peores desastres de origen natural que hayan afectado a los Andes venezolanos.

3. CAPITULO I. EL PROBLEMA

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Las crecidas e inundaciones ocasionadas por lluvias máximas se constituyen en la amenaza natural más común, prevalente y generalizada del planeta (Baker, 1994; Camarasa, 2002; Durga *et al.*, 2011), por presentar una gran frecuencia de ocurrencia y ser las que han generado las mayores pérdidas de vidas y daños; de hecho en el periodo comprendido entre 1900-1999, se produjeron aproximadamente unas 103.870 víctimas fatales y afectaron a más de 1.500 millones de personas a nivel global (McGuire *et al.*, 2004). Dentro de este contexto y a partir de datos suministrados por la Organización Meteorológica Mundial, Gupta *et al.* (2009) señalan que entre 1993 y 2002, un



37% de las amenazas naturales globales se corresponden con crecidas - inundaciones, mientras que las tormentas ocupan un 28% del total.

Como complemento de los anterior, Hulp e Inbar (2002) mencionan que en el intervalo de años que van de 1963 a 1992, los mayores desastres naturales en términos de población afectada, número de víctimas y costos económicos por cada país en función de las pérdidas anuales del producto interno bruto (PIB), fueron causados precisamente por avenidas. Estos procesos hidrológicos de transferencia y su poder de socavación lateral en los fondos de los valles incrementan el efecto desestabilizador de las precipitaciones concentradas en laderas, desencadenando mecanismos asociados con movimientos de masa que impactan las actividades humanas.

América Latina no escapa a esta realidad, los desbordes de los ríos a menudo afectan a grandes zonas, ciudades y centros poblados, causando desastres que se ven magnificados entre otros aspectos por: el crecimiento de la población y su ubicación en áreas críticas e inestables, la falta de decisión política para hacer respetar las normas de construcción, la carencia de una cultura de prevención adecuada, el déficit de medidas estructurales y no estructurales, además de la falta aún previsible de trabajos relacionados con el estudio de las amenazas, susceptibilidad, vulnerabilidad y al más alto nivel la posibilidad de establecer escenarios de riesgos siconaturales.

En Venezuela, eventos importantes de crecidas y ocurrencia de movimientos de masa del tipo flujos de detritos/lodo y flujos hiperconcentrados inducidos por precipitaciones máximas se han presentado cada vez más con mayor frecuencia, tal es el caso de los desastres ocurridos en: el río Limón en Maracay el 6 de Septiembre de 1987; en el estado Vargas el 15 - 16 de Diciembre de 1999, y en Pueblo Llano el 3 de Junio de 2003 (Brandes, 2000; Basabe *et al.*, 2001; Audemard y Singer, 2002; Takahashi *et al.*, 2001; Aguirre *et al.*, 2003; López, 2010; por nombrar sólo algunos). Asimismo vale la pena mencionar el periodo de lluvias de noviembre - diciembre de 2010 que dejó al menos 130.000 damnificados y unos 38 fallecidos en el país (El Universal, 2010; Europa Press, 2010; Agencia EFE, 2011).

En todo este contexto resulta de obligada tarea, el análisis de lo ocurrido en la denominada tragedia del Mocotíes del día 11 de febrero de 2005, como parte del objeto de estudio del presente trabajo. Este evento y sus efectos, han sido ampliamente analizados por Ferrer (2005), Laffaille *et al.* (2005a; b; 2005), Ferrer *et al.* (2007), Dugarte y Ferrer (2007a y b), Ayala *et al.* (2007), Roa (2007), Dugarte *et al.* (2014) entre otros, y que dejó aproximadamente unos: 3170 damnificados, 2262 refugiados, 63 desaparecidos, 41 fallecidos, aunado a 536 viviendas destruidas (Lamas, 2005); con unas pérdidas por superficie agrícola afectada de 562 millones de bolívares (Rojas, 2010) que equivalían a unos 292.708 US\$ para aquel momento.

Es oportuno señalar que debido al desmantelamiento de las estaciones pluviográficas, en la cuenca del río Mocotíes (algunas de ellas, con datos de lluvias sólo hasta el año 2001), se desconocen las láminas de precipitación caídas durante el fenómeno hidrometeorológico de febrero de 2005, igualmente y como consecuencia de la falta de estaciones pluviográficas en el área, no se cuenta con los registros de caudales máximos (en

m³/s) de tan importante evento ni se conoce la magnitud de otras crecidas históricas. Así mismo se cuenta con muy pocas estimaciones de profundidades máximas de precipitación para diferentes duraciones y frecuencias de ocurrencia, y no se han realizado análisis de tormentas para transponer eventos modelo de lluvias máximas.

En virtud de lo señalado con anterioridad, el presente trabajo se justifica básicamente porque se propone analizar algunas de las crecidas del río Mocotíes en los sectores ubicados en la perimetral de Tovar y en Santa Cruz de Mora. Para ello se hace hincapié en el evento ocurrido entre el 07 y el 12 de febrero de 2005 y sin dejar de considerar el análisis de algunas avenidas históricas (ocurridas en los años 1610, 1910 y 1951). Todo ello a partir de la aplicación de métodos hidrológicos - hidráulicos y geológico - geomorfológicos, así como de la búsqueda de información documental, con el propósito de: (i) cartografiar las manchas de crecidas para diferentes periodos de retorno, (ii) analizar y localizar aquellos sitios especialmente críticos desde el punto de vista geomorfológico, (iii) generar información aplicada que pueda ser utilizada con fines preventivos en la toma de decisiones a nivel local, además de (iv) incentivar futuras investigaciones para los interesados en esta temática y por último llamar la atención sobre los altos niveles de riesgos presentes en toda el área de estudio.

3.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Analizar las crecidas del río Mocotíes en Tovar y Santa Cruz de Mora, con especial énfasis en el evento hidrometeorológico de febrero de 2005.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información histórica - documental, relacionada con crecidas y algunos movimientos de masa, que han ocurrido en el área de estudio.
- Analizar la tormenta ocurrida del 07 al 10 de febrero del 2005, en el Litoral Central de Venezuela, con el propósito de transponer este evento hacia la cuenca del río Mocotíes, en los Andes merideños.
- Estimar los valores de los caudales máximos para distintos periodos de retorno del río Mocotíes, a la altura de la perimetral de Tovar y en Santa Cruz de Mora.
- Cartografiar las manchas de crecidas y los sitios afectados por procesos geomorfológicos en los sectores objeto de análisis.

4. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

En el siguiente Marco Teórico se presentan de forma resumida algunos trabajos previos vinculados con la temática de la investigación y aquellos realizados dentro del área objeto de



estudio, siguiendo un orden cronológico desde los documentos más recientes a los más antiguos. Adicionalmente se recopilan y desarrollan diferentes conceptos, definiciones y posturas de autores en forma de bases teóricas que permiten sustentar el problema planteado.

4.1. ANTECEDENTES RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el establecimiento de los antecedentes vinculados con el tema de investigación se realizó una indagación bibliográfica de trabajos similares elaborados tanto en el ámbito internacional como de Venezuela, a partir de revistas especializadas y proyectos particulares; brindando especial interés a aquellos estudios o investigaciones en los que aplican: el modelo de simulación HEC - HMS (Hydrologic Engineering Center's - Hydrologic Modeling System) desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (US Army Corps), para la generación de caudales máximos (aunque también se mencionan algunos otros modelos), análisis de tormentas y de frecuencias de lluvias extremas, así como de aspectos geomorfológicos relacionados con la evaluación de las amenazas por crecidas.

El Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2013) a través del Viceministerio de Agua, elabora un diagnóstico preliminar de la Zona Sur del Lago de Maracaibo en Venezuela, en el que se proporciona un enfoque integral de los riesgos asociados a inundaciones en el área, incluida una amplia búsqueda de información existente en la definición de estrategias e identificación de medidas estructurales y no estructurales para reducir los daños causados por avenidas, mapeo de usos de la tierra para diferentes años, recopilación, análisis y procesamiento de la información hidroclimática entre otros. Dentro de las inundaciones significativas ocurridas en la zona se hace énfasis en: el evento del 24 al 26 de abril de 1969 en el cual se desbordaron los ríos Escalante, Zulia y Catatumbo, incluida una figura con las respectivas manchas de crecidas; además del evento de abril - mayo de 1972 con las inundaciones de los ríos Chama, Escalante, Mucujepé y Onia en los que se muestra la cartografía de las áreas inundables y los hidrogramas de crecida de los mencionados sistemas fluviales. Adicionalmente se ofrece una descripción de las inundaciones del río Escalante que afectaron la zona Sur del Lago en diciembre de 1975 y enero de 1976, incluyendo dos figuras con las isóneas de precipitación acumulada de ambos meses, sin perder de vista el evento ocurrido en los meses de noviembre y diciembre de 2010, donde los desbordes de los ríos Chama, Escalante y Catatumbo dejaron gran cantidad de damnificados en el área y cuantiosas pérdidas materiales. Para estos últimos eventos comentados, igualmente se muestran sendas figuras con los límites de las inundaciones, hecho este especialmente significativo a los efectos del presente trabajo, donde igualmente se elaboró la cartografía de las manchas de crecida en los sectores de interés seleccionados.

Ballesteros *et al.* (2013) estudian la efectividad de distintas medidas estructurales, frente al establecimiento de varios escenarios de inundación, en la cuenca del río Alberche en la localidad de Navalunga, al oeste Madrid. Los autores toman en consideración varias técnicas y métodos entre los que destacan: análisis

geomorfológicos de árboles ribereños en las zonas inundables, aplicación del número de curva de escorrentía (CN), y del modelo HEC - HMS. Adicionalmente se aplican criterios hidráulicos basados en los niveles o profundidades del agua, mediante el uso de secciones transversales, levantadas a partir de planos 1:500 y 1:1000, además estiman el "n" de Manning y aplican procedimientos costo - beneficio. Los resultados del artículo muestran que las grandes soluciones ingenieriles, no son económicamente viables si se compara con otras medidas estructurales más pequeñas en el área objeto de análisis.

Los dos proyectos elaborados por la Asociación Cooperativa de Ingeniería para Estudios y Proyectos en Agua y Ambiente (CIEPA, 2013 a y b) en los terrenos denominados "La Guaiquera" y "Don Pepe Rojas" en los municipios Libertador y Alberto Adriani en Venezuela, pertenecientes a las ciudades de Mérida y El Vigía respectivamente; ofrecen una visión - evaluación hidrológica - hidráulica de las quebradas El Lirio y Caño Raicero como los dos principales drenes ubicados en dichos sitios, incluido además un diagnóstico de sus características físicas (geología, geomorfología, suelos, clima, vegetación, hidrografía), visitas de campo, revisión de estudios previos y el análisis de las coberturas de la tierra.

Debido a la importancia de considerar las lluvias extremas se tomó, para el caso "La Guaiquera", el análisis de la tormenta del 28/04/1972, mientras que en las lluvias de entrada del Caño Raicero se trabajó con la tormenta del 15/12/1975 incluidas las curvas Área - Profundidad - Duración (APD) y las de Profundidad - Duración - Frecuencia (PDF) ajustadas a distribución Extrema Tipo I o distribución de Gumbel, para las estaciones con los máximos valores de precipitación. En la estimación de los caudales máximos con diferentes frecuencias de ocurrencia se empleó el software HEC - HMS 3.5 y en lo referente a los aspectos hidráulicos se utilizó el programa HEC - RAS versión 4.1; con el fin de analizar a través de secciones transversales, los niveles máximos que podrían alcanzar las aguas y sus posibilidades de desborde a los terrenos bajo estudio.

Son dos los trabajos realizados por la firma Salomón López Zerpá (SLZ) en los años 2011 y 2012, primero en las quebradas Agua Gorda, La Ruiza y Las Margaritas afluentes del río Torbes, al norte de San Cristóbal (en las cercanías de Táriba) y el segundo en la quebrada Aza al norte de la población de San Josecito o al sur - oeste de la misma ciudad de San Cristóbal en el estado Táchira - Venezuela. En ambos trabajos se utiliza el modelo lluvia - escorrentía HEC - HMS para estimar los hidrogramas producidos por las cuencas en estudio en los sitios de interés; a partir de condiciones extremas de precipitación basadas en hietogramas porcentuales de las estaciones pluviográficas seleccionadas en intervalos de recurrencia de 2,33 y hasta 100 años y para duraciones de 3, 6 y 9 horas.

Durga *et al.* (2011) estiman las descargas pico de 128 subcuencas ubicadas en la cuenca del río Godavari en la India, a través del uso del software HEC - HMS el cual ofrece igualmente la posibilidad de trabajar con el hidrograma unitario triangular del S.C.S, seleccionado en este artículo como uno de los métodos para transformar la lluvia en escorrentía. Las simulaciones muestran que los hidrogramas generados coinciden con los hidrogramas observados para operaciones en tiempo real (tanto en los picos de crecida, como en los tiempos de retardo), de allí que



los gráficos caudal vs tiempo, fueron calibrados más tarde con el propósito de ser empleados como modelo de pronóstico de inundaciones del sistema hidrológico mencionado.

Onuñuel *et al.* (2010) estudia el potencial servicio, del proyecto de presa Bostanli en la cuenca del río homónimo cerca de la ciudad de Izmir al oeste de Turquía, ante la amenaza por crecidas. Utilizan el HEC - HMS y las herramientas de modelados del HEC - RAS ambos integrados en funciones SIG; para observar que la construcción de la presa como estaba previsto tendría un impacto positivo como posible medida del control de inundaciones, ya que parece disminuir las descargas pico de $68,9 \text{ m}^3/\text{s}$ y $158,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (que potencialmente se generarían por tormentas de 100 y 500 años) a $65,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $150,7 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente cuando la presa se encuentra en operación. Estos resultados parecen contribuir poco a la mitigación de las crecientes en esta área de estudio.

Chen *et al.* (2009) estudian los impactos que se generan en los procesos hidrológicos relacionados con crecientes, a partir de los cambios en el uso de la tierra en la cuenca Xitiaoxi en China, aguas arriba del Lago Taibu al este de dicho país. En una primera parte, los investigadores utilizan el programa precipitación - escorrentía HEC - HMS calibrado y validado para 7 eventos de tormentas con una muy buena concordancia entre los hidrogramas simulados y medidos a la salida de la cuenca.

En una segunda parte, establecen dos escenarios de cambios de uso de la tierra a partir de un mapa de cobertura del año 2002, y para los años 2020 y 2050 con: (1) un escenario "A" con un incremento del área urbana de 9,2% (que representa la totalidad de este uso en la cuenca) al 17%, y (2) un escenario "B" con un aumento del 9,2% al 14% en los que se prevé un aumento de la escorrentía total y de los caudales máximos; demostrándose la alta sensibilidad de las respuestas hidrológicas a los cambios de la cobertura de la tierra. Así y para tormentas con recurrencia de 10, 50 y 100 años, las descargas máximas alcanzan los $1143,7 \text{ m}^3/\text{s}$; $1936,3 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2284,8 \text{ m}^3/\text{s}$ en el escenario "A" y los $1132,3 \text{ m}^3/\text{s}$; $1923,0 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2271,1 \text{ m}^3/\text{s}$ en el escenario "B", ambos para el año 2050 y en un área de drenaje de 727 km^2 .

El objetivo principal del artículo de Lastra *et al.* (2008) es cartografiar las amenazas por crecidas en combinación e integración de métodos geomorfológicos e hidrológicos - hidráulicos en la zona montañosa localizada en el noreste de España, en la provincia de Asturias, con una superficie de más de 232 km^2 de llanuras de inundación. Por un lado se utilizan datos de inundaciones históricas, además de análisis relacionados con: canales abandonados, cambios morfológicos producto de procesos de erosión y depositación, niveles de terrazas, junto a otras evidencias geomórficas y por el otro, el uso del HEC - HMS (aplicando el método de Clark y el tránsito de Muskingum) para simular los caudales máximos; así como el programa HEC - RAS para el modelo hidráulico unidimensional en 4 km de tramo de cauce. Finalmente y mediante la combinación de ambos métodos se delinean las extensiones de inundación para 10, 50, 100 y 500 años a fin de obtener un mapa síntesis de especial interés y aplicación para planificadores y proyectistas, dentro del manejo y gestión de cuencas hidrográficas y llanuras inundables.

En el mes de febrero del año 2005, se presentó un evento extraordinario de precipitación que produjo una crecida de

gran magnitud y que sobrepasó la capacidad del cauce del río Sanchón, inundando una parte de la refinería El Palito (vale destacar que dichas lluvias ocurridas en febrero de 2005, no sólo afectaron al estado Carabobo, sino a Mérida, Vargas y Zulia). Es así como Petróleos de Venezuela (PDVSA) El Palito y el Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) en el año 2006, realizan el Proyecto intitulado "Estudio Hidrológico - Hidráulico del río Sanchón"; sistema fluvial ubicado en el estado Carabobo - Venezuela, específicamente en el municipio Juan José Mora a unos 4 - 4,5 km del aeropuerto Bartolomé Salom.

En este proyecto se recoge información cartográfica, análisis granulométricos y de tormentas a partir de los datos de precipitación administrados por PEQUIVEN (estaciones ubicadas dentro de la cuenca del río Sanchón y en su área de influencia) durante los días 8, 9, 10, 11, 12 y 13 de febrero del 2005, con láminas de lluvia que alcanzaron valores totales de 183,5 mm en La Pedrosa y 169 mm en Casa de Teja para el día de mayor precipitación (09/02/2005), y con un caudal de $222,6 \text{ m}^3/\text{s}$ estimado mediante el programa EVENTO para la misma fecha. Los gastos generados para el río Sanchón con el mencionado modelo de simulación hasta el puente de la carretera resultaron ser: $Q_5 = 168,0 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{10} = 215,6 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{25} = 280,9 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{50} = 327,1 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{100} = 390,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Como el evento de febrero de 2005 también afectó obviamente a la cuenca del Mocoties, los registros de lluvia presentados en este proyecto, serán retomados y mostrados más adelante en los resultados y análisis.

Baker (1994) señala que las crecidas son la amenaza natural más frecuente y generalizada del planeta, y el creciente impacto en cuanto a la cantidad de víctimas - daños que causan en el mundo, llevan al autor a cuestionar los enfoques empleados en los análisis y predicción de las inundaciones, basados en esencia en análisis estadístico - hidrológicos de los registros históricos y en la utilización de generalizaciones matemáticas teóricas (modelos de simulación) que se supone: pueden ser aplicados a toda clase de eventos de crecidas; incluidas allí las limitaciones derivadas de las manipulaciones idealizadas de aquellos parámetros que tienen teóricamente propiedades similares a las inundaciones, de allí la necesidad de incorporar estudios geomorfológicos y paleohidrológicos como complemento a los enfoques hidrológicos convencionales.

4.2. ANTECEDENTES ELABORADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Luego del evento de febrero del año 2005, en el valle del Mocoties, se generaron gran cantidad de trabajos de grado, proyectos, artículos de revistas y conferencias en foros, de los cuales se ofrece una breve síntesis a continuación. De igual forma se elaboró una revisión de las investigaciones referentes al área objeto de análisis, realizadas antes de la tragedia del Mocoties y relacionadas lógicamente con el estudio de los aspectos hidrológicos, climáticos, geológicos - geomorfológicos y de amenazas por crecidas causadas en esencia por lluvias extremas. A continuación se resumen algunos trabajos siguiendo para ello



un orden cronológico desde los estudios más recientes a los más antiguos.

Sánchez (2012) reporta los principales efectos dejados por las fuertes lluvias ocurridas los días sábado 21 y domingo 22 de abril del año 2012 en el valle del Mocotíes, con más de 300 familias damnificadas, de las cuales 70 se encontraban totalmente incomunicadas - aisladas para aquel momento. Entre los sitios más afectados por dichas lluvias se hace mención a la avenida Perimetral de Tovar (a la altura de la estación de Bomberos en la serie de casas ubicadas en la margen izquierda del río Mocotíes) así como los sectores de: Buscatera, El Carrizal, El Peñón, El Guayabal, San Isidro, Quebrada El Barro, por nombrar solo algunos.

El trabajo elaborado por Superlano (2010) tiene la dualidad de poseer aspectos relacionados con la temática de la presente investigación y de ser realizado dentro de una parte del área de estudio; así el autor emplea el modelo HEC - HMS para estimar los hidrogramas de crecidas, de la subcuenca San Francisco en el Municipio Tovar específicamente en la margen izquierda del río Mocotíes. En una primera parte se utilizan los programas Gvsig, ArcView y AJUSTEV3 y se aplica el método del bloque alterno (Chow *et al.*, 1994) para obtener los hietogramas de lluvias máximas de la estación Tovar. En la segunda se realiza la conceptualización hidrológica de la subcuenca (con 42 vertientes o segmentos de escurrimiento y 21 cauces o segmentos de escorrentía) incluido el uso de tres mapas con la distribución espacial del: número de curva de escorrentía (CN), n de Manning, y grupos hidrológicos de suelos, para finalmente generar los caudales máximos con frecuencias de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años. En líneas generales se observa como una crecida centenaria en la subcuenca San Francisco puede alcanzar los 420 m^3/s y los 613 m^3/s en condiciones de humedad antecedente normales (CNII) y húmedas (CNIII) respectivamente.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) elabora en el año 2008, un amplio documento basado en la caracterización y análisis integral de la cuenca del río Mocotíes y del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de la gestión del riesgo, en el que se incluyen además interesantes mapas a escala 1:50.000 relacionados con: aspectos demográficos, geología, geomorfología (formas, procesos y unidades geomorfológicas), estabilidad relativa de los terrenos, epicentros de eventos sísmicos (1610 - 1967) niveles de susceptibilidad a movimientos de masa, susceptibilidad a crecidas de las principales subcuencas entre muchos otros. Adicionalmente se establecen interesantes escenarios de riesgo por movimientos de masa, sísmicos y crecidas (Ferrer y Dugarte, 2008).

Resulta interesante señalar a los efectos de la planificación de los usos de la tierra, que el Postgrado en Ordenación del Territorio y Ambiente del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales de la Universidad de Los Andes, formuló las propuestas de los planes de ordenación del territorio para los municipios Antonio Pinto Salinas (2006) y Tovar (2008). Ya en el caso del municipio Rivas Dávila, la Alcaldía de dicha entidad administrativa con la asesoría clave de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la ULA elaboró su plan de ordenación del territorio en el año 2007.

Dugarte y Ferrer (2007 a y b), citan para aquel momento algunas cifras extraoficiales del evento del 11/02/2005 en la cuenca

del Mocotíes entre las que destacan: 3922 personas evacuadas; 4944 damnificados; 588 viviendas destruidas; 1453 viviendas afectadas; 175 comercios destruidos y 308 afectados; infraestructura de servicios destruidos 5, afectadas 24; vialidad destruida 3 km, dañadas gravemente 8 km. Personas desaparecidas 57; cadáveres identificados 35 y no identificados 7 (cifras que varían dependiendo de la fuente).

Dos años después de la ocurrencia de las lluvias intensas caídas sobre el Mocotíes en febrero del 2005, y como una parte de la publicación número 5 del Programa Multinacional Andino PMA: GCA (Ferrer *et al.*, 2007) realiza un conjunto de observaciones - recomendaciones entre las que resaltan: la importancia que constituye evaluar la vulnerabilidad con énfasis en la distribución, uso, tipología constructiva y ubicación de líneas vitales en el valle del Mocotíes, además de la implementación de campañas educativas ante la ocurrencia de desastres, el análisis detallado de las torrentes locales orientados a su jerarquización, además de insistir en la importancia que tiene la cultura preventiva en la población a fin de evitar potenciales daños materiales y pérdidas de vidas humanas.

Ferrer (2005) explica de manera clara y precisa el impacto geomorfológico del evento ocurrido el 11/02/2005 en el valle del Mocotíes, brindando especial consideración a: (i) la distribución y caracterización de los macizos montañosos en cuanto a su extensión y unidades rocosas, (ii) el estrecho control estructural de la falla de Boconó, (iii) los desbordes y la socavación del río Mocotíes, así como la destrucción de viviendas en el sector ocupado por la avenida perimetral de Tovar, (iv) el desarrollo de extensos flujos de detritos entre Tovar y Santa Cruz de Mora, y (v) los impactos de la quebrada "La Cascada", la cual posiblemente represó al río Mocotíes colaborando con su desborde y posterior destrucción de gran parte de las instalaciones del Terminal de Pasajeros. Además se comentan las conductas particulares reflejadas por las quebradas El Barro y El Diamante, y los daños ocurridos en el caserío El Guayabal producidos por la quebrada del mismo nombre; sin dejar de un lado los efectos ocasionados sobre la vía Mérida - Panamericana, los cuales se circunscribieron a daños muy puntuales.

Ovalles (2005) explica que las lluvias que afectaron a la región de los Andes venezolanos, especialmente al suroeste de la ciudad de Mérida en Tovar y Santa Cruz de Mora, en fecha 11 de febrero de 2005, comenzaron con una gran intensidad a altas horas de esa noche y hasta el día sábado 12/02/05 en la mañana. Adicionalmente señala que producto de estas fuertes precipitaciones, aproximadamente nueve municipios del estado Mérida resultaron afectados; en su mayoría incomunicados por problemas en la vialidad, y muestra a través de fotografías los principales efectos de las crecidas y movimientos de masa sobre las viviendas, infraestructura y vialidad en los sectores de Tovar, El Peñón, Puerto Rico, Quebrada El Barro y Bijagual, La Victoria, entre otros, dentro de la cuenca del Mocotíes.

Son tres los trabajos de Laffaille (2005), Laffaille *et al.* (2005a y 2005b) en los que se recogen, analizan y presentan los resultados obtenidos de reconocimientos de campo y entrevistas a testigos presenciales y personas afectadas luego de las lluvias reportadas en la cuenca del río Mocotíes durante la semana del 07 al 12 de febrero de 2005, de esta manera se realizan comentarios sobre: el inadecuado sitio de emplazamiento del Terminal



de Pasajeros de Santa Cruz de Mora y más específicamente el lugar donde se estacionaban los autobuses (el cual resultó prácticamente destruido) y sobre la reactivación de las quebradas transversales al valle y provenientes de las laderas ubicadas al norte donde se evidenciaban importantes movimientos de masa. Del mismo modo, se ofrece una visión general acerca de los fuertes daños que sufrió el caserío Romero en la salida de Santa Cruz de Mora hacia Tovar, debido a la acción directa del río Mocotíes, el cual se salió de su cauce habitual e inundó gran parte del sector. A propósito de lo anterior, los autores reportan dos crecidas en este sitio, una el año 1991 y otra en 1995 según información aportada por los vecinos del lugar, e igualmente se describe, por un lado la situación ocurrida en el caserío Armenia el cual quedó aislado cuando el río Mocotíes afectó los puentes y la vialidad de acceso a este sitio, y por el otro los efectos de la gran cantidad de materiales depositados por la quebrada San Rafael.

Por último y no por ello menos importante, se comparan las fotografías aéreas del año 1967 y 1996 en el área de Santa Cruz de Mora y la modificación evidente que sufrió el cauce del río Mocotíes para la construcción de la avenida perimetral Antonio Pinto Salinas y los urbanismos actuales.

Andressen (2001) llama la atención sobre la inadecuada utilización de algunas cuencas hidrográficas del estado Mérida, en los que se presentan graves procesos de intervención de sus vertientes relacionadas con cambios de uso del suelo (de bosques protectores, a usos agrícolas y pecuarios, o afectación por poblamiento). Según el autor "los casos más críticos se han detectado en la zona de Santa Cruz de Mora. Allí está aumentando la amenaza, porque las cuencas están siendo muy deforestadas y (se) está incrementando también el riesgo, porque los conos de deyección están siendo invadidos y utilizados para la construcción de viviendas en sitios de alto riesgo"... (en este mismo sentido)... "hacia los lados de Tovar el observador se dará cuenta que se está produciendo un proceso grande de deforestación como consecuencia del poblamiento" (pág. 35).

Ferrer y Laffaille (1998) recogen, analizan y evalúan los principales aspectos relacionados con el Alud sísmico de La Playa, en la sección media alta de la cuenca del Mocotíes. Si bien este trabajo está dedicado a este importante movimiento de masa ocurrido en los Andes venezolanos el 3 de febrero del año 1610; los autores explican adicionalmente sus efectos cosísmicos relacionados con el represamiento del río Mocotíes, formación de un embalse natural y posterior ruptura. Aspecto este, que resulta de interés a los efectos del presente trabajo, pues se señala que la ola de descarga que se generó como consecuencia de la mencionada ruptura, desencadenó una crecida de considerable magnitud con una distancia de recorrido del primer impacto, de unos 7 km hasta el sector La Cucuchica, de allí que gran parte de esta creciente debió canalizarse por el sitio ocupado hoy en día por la avenida perimetral de Tovar y cuyos efectos se fueron disipando aguas abajo.

Duque y Barrios (1987) elaboran un estudio hidrológico de la Zona Sur del Lago de Maracaibo - Venezuela, colocando el énfasis en: la simulación hidrológica de caudales máximos para diferentes frecuencias en los sitios con mayor escasez de información, mediante el uso del modelo EVENTO desarrollado por los mismos autores, y en la estimación de la producción

de sedimentos aplicando la ecuación modificada de pérdida de suelo MUSLE. En la elaboración del análisis de tormentas, que permitió la generación de los gastos máximos, los autores seleccionan el evento de Lluvia ocurrido el 15 de diciembre de 1975, con una duración de 6 horas y un valor máximo de 53,7 mm en la estación El Vigía (serial 3035), donde se centró la tormenta. En este trabajo se ofrecen además interesantes estimaciones de caudales pico del río Mocotíes hasta su confluencia con el Chama, con valores de 401,9 m³/s y 451 m³/s para periodos de retorno de 50 y 100 años, y unas estimaciones de producción de sedimentos de aproximadamente 1,0 millones de toneladas por año, con una producción media de 1952,40 ton/km².

Castillo y Castillo (1970) y Castillo *et al.* (1972) presentan una clasificación interpretativa de los suelos de la cuenca del río Mocotíes, empleando aspectos relacionados con la litología, posiciones geomorfológicas, zonas bioclimáticas y climodiagramas. Adicionalmente los autores elaboran mapas de cobertura de la tierra y de capacidad de uso, incluidos aquellos factores limitantes y la identificación de diversos grados para mejorar la capacidad de las tierras del área. Lo importante de estos dos trabajos, a los efectos de la presente investigación, es que en las mencionadas clasificaciones interpretativas se incluye un mapa de levantamiento de suelos a escala 1:50.000 donde se muestran las clases texturales de los mismos; información que resulta clave a fin de simular los caudales máximos del río Mocotíes en los sitios de interés seleccionados y para diferentes periodos de retorno.

4.3. BASES TEÓRICAS Y DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Análisis de Altura - Duración - Área (Depth - Area - Duration Analysis): El propósito de los análisis altura - duración - área (ADA), también denominado: análisis de la relación área - profundidad - duración (APD) o precipitación - área - duración (hp - A - d) según Guevara y Cartaya, (1991), Duque (2010a) y Aparicio, (2011) respectivamente; consiste en estimar la profundidad máxima en milímetros de una tormenta que ha precipitado sobre diferentes tamaños de área y durante intervalos de tiempo estándares (horas o días) y cuyos valores se expresan de forma tabulada o de forma gráfica (Guevara y Cartaya, 1991). Precisamente es a nivel gráfico donde los resultados se plasman en forma de curvas área - profundidad - duración, las "cuales sirven para determinar el potencial de precipitación en una zona dada, y además, constituyen uno de los métodos más simples que existen para trasponer tormentas de un sitio a otro" (Aparicio, 2011: 153).

Es importante señalar que en este tipo de análisis de tormentas, igualmente llamado análisis de altura - superficie - duración o profundidad - área - duración por sus siglas en inglés "depth - area - duration analysis of storm precipitation" según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1994); la distribución de la precipitación en el tiempo, puede hacerse a través de los registros disponibles en forma de curvas de masa para las estaciones involucradas en el evento de lluvia, mientras que la distribución espacial de la precipitación se consigue a través del mapa isoyético de la tormenta (Duque, 2010a).



En síntesis en estos análisis se busca establecer o definir las cantidades máximas de lluvia en mm, que se producen en diferentes áreas, siendo consideradas sólo aquellas encerradas por las isoyetas, es decir, el análisis se realiza hasta la isoyeta más externa que se cierra (Duque, 2010a) y para diferentes duraciones, partiendo lógicamente de una red de estaciones que registren simultáneamente la precipitación durante una tormenta dada (Aparicio, 2011).

Amenaza natural (Natural hazard) o Peligrosidad: Se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica potencialmente a ser afectada por dicho proceso (Varnes, 1984).

Según Keller y Devecchio (2012) la amenaza natural es cualquier proceso que representa un potencial daño para la vida humana y sus propiedades, fenómeno o suceso éste que se transforma en riesgo cuando afecta de forma directa o indirecta (exposición) a una población determinada y sus bienes materiales (vulnerabilidad) en términos sociales, estructurales y económicos. "Para su evaluación es necesario conocer: (i) dónde y cuándo ocurrieron los procesos en el pasado, (ii) la intensidad y magnitud que tuvieron, (iii) las zonas donde pueden ocurrir procesos en el futuro y su frecuencia de ocurrencia" (González de Vallejo *et al.*, 2002: 609).

Por otra parte la amenaza natural o peligrosidad como es denominada en España y algunos países de Latinoamérica, se puede expresar bien en función de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en un lapso de tiempo considerado o a través de los periodos de retorno.

Al analizar con detenimiento los párrafos precedentes, es posible entender que las amenazas naturales se definen procesos o fenómenos de carácter natural que pueden ocasionar daños a los bienes materiales y/o a la población en un área específica. Del mismo modo se observa que este concepto se encuentra afectado ampliamente por la probabilidad de ocurrencia, por lo que resulta ineludible contar con registros históricos medidos del fenómeno objeto de análisis, para posteriormente estimar los respectivos periodos de retorno a través de análisis de frecuencias.

Eventos normales y extremos (Extreme and normal events): Los eventos extremos son originados como consecuencia de erupciones volcánicas, movimientos sísmicos de gran magnitud, o bien pueden ser causados por fenómenos meteorológicos. Ya desde el punto de vista hidrológico las cuencas hidrográficas pueden verse afectadas por eventos extremos tales como tormentas severas, crecientes y sequías (Chow *et al.*, 1994).

Starkel (1976) define y discute de una manera clara y precisa la diferencia entre eventos normales y extremos (desde el punto de vista meteorológico - geomorfológico y en términos de lluvias concentradas) en los cuales se deben tener ciertas consideraciones, por ejemplo los eventos normales ocurren: (i) cada año y por lo general no presentan grandes intensidades de precipitación, aunque es lógico pensar que ello va a depender de las condiciones climáticas de cada zona, (ii) el evento se adapta a las condiciones de equilibrio del sistema (clímax), (iii) su incidencia local es tal, que hasta en los años con precipitaciones mínimas pueden dejar evidencias de los efectos de las

tormentas, y (iv) pocas veces las lluvias torrenciales cubren toda la superficie de la cuenca afectada.

Por su parte los eventos extremos a los que Starkel (1976) también llamó catastróficos son el resultado; en primer lugar de unas intensidades - profundidades de precipitación rara vez experimentadas, segundo, pueden considerarse en términos de sus causas meteorológicas o por sus efectos geomorfológicos, los cuales pueden ser estudiados y comparados con otros eventos mediante análisis de frecuencias; y tercero, en este tipo de eventos se produce la formación - creación de nuevos relieves y la aceleración de los procesos erosivos. Para planificadores y proyectistas acostumbrados a trabajar con escalas de tiempo menor a la centuria y de magnitud moderada, les puede parecer muy difícil entender el concepto de eventos catastróficos (Ferrer y Dugarte, 2009); se trata entonces de fenómenos naturales de muy baja frecuencia y gran magnitud que ciertamente pueden causar desastres en una zona determinada, en términos de fatalidades e importantes pérdidas materiales y de infraestructura.

Los dos términos esbozados hacen referencia a dos conceptos disímiles y contrastantes, así en los eventos normales la frecuencia es anual y donde los procesos de sucesión ecológica tienden a lograr o alcanzar la madurez de los ecosistemas sin que se produzcan alteraciones importantes; mientras que los eventos extremos efectivamente si pueden perturbar el equilibrio de las vertientes y generar alteraciones considerables en una comunidad clímax.

Es importante recordar que existen eventos meteorológicos con una frecuencia de ocurrencia que no es anual pero que tampoco alcanzan periodos de retorno superiores a los 100, 200, 500 años o más (como para que sean denominados catastróficos), que pueden aparecer fácilmente en los registros históricos de pluviómetros - pluviógrafos, y cuyos efectos hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos pueden verse potenciados o intensificados por: (a) la localización de estructuras en las cercanías de ríos y quebradas, (b) la ocurrencia de represamientos en sistemas fluviales y la posterior ruptura de diques naturales con la consecuente ola de descarga (equivalente a crecidas extraordinarias); y (c) el incremento de los niveles de vulnerabilidad (falta de una cultura preventiva, ausencia de sistemas de alerta temprana, deficiencias de las tipologías constructivas, entre otros).

A lo anterior, debe añadirse: la consolidación de escenarios de exposición (bienes, personas, infraestructura, actividades socioeconómicas) que pueden verse afectadas de forma directa o indirecta por un fenómeno natural, intervención antropogénica en términos de cambios en la cobertura de la tierra que incrementan lógicamente la inestabilidad de las laderas y generar profundas modificaciones en los paisajes, lo que aunado a los altos valores de pendiente, características morfométricas susceptibles a crecidas en cuencas hidrográficas y la inestabilidad de los macizos rocosos, pueden generar ciertamente pérdidas de vidas humanas y daños socioeconómicos.

Estos eventos (como los descritos en los dos párrafos precedentes) pueden ser considerados como 'moderados'. Como complemento de lo anterior (Keller y Devecchio, 2012: 18) señalan que "gran parte del trabajo que supone formar la superficie de la tierra, se realiza a través de eventos de magnitud y frecuen-



cias moderadas, en lugar de sucesos comunes de baja magnitud y alta frecuencia o eventos de elevada magnitud y baja frecuencia”...“En síntesis los fenómenos o sucesos naturales con un gasto moderado de energía y tiempo (frecuencia moderada) son a menudo los más importantes para dar forma al paisaje”.

Resulta clave señalar que estas definiciones de eventos normales, extremos y moderados respectivamente, fueron empleadas como apoyo para el establecimiento de los niveles de amenaza por crecidas (punto que será tratado más adelante, en el marco metodológico).

Crecidas (Floods): Las crecidas “constituyen un caso extraordinario de escorrentía caracterizado por una gran cantidad de flujo que se genera y evacúa con relativa rapidez. En este proceso cuando el flujo supera la capacidad de evacuación del cauce, el agua pasa a ocupar la llanura de inundación” (Camara, 2002: 859).

También denominadas crecientes o avenidas, se constituyen en la amenaza natural más destructiva del planeta con consecuencias ambientales y socioeconómicas perjudiciales para el hombre y sus bienes. Su característica esencial es el aumento repentino del caudal de un sistema fluvial y cuyos factores desencadenantes pueden estar asociados con: precipitaciones orográficas, convectivas, frontales o por convergencia, fusión de masa de nieve o hielo, rotura de presas y de diques naturales, entre otros.

En muchos países no se diferencia el concepto crecida de inundación, de hecho el término en inglés “flood” aplica para ambos casos; por ejemplo la definición de Chow (1956) indica que la crecida o la inundación es un flujo relativamente alto que sobrepasa el canal natural por el que discurre la escorrentía. En el caso de los Andes venezolanos normalmente suelen diferenciarse ambos términos, aplicando la definición de crecida para los valles intercordilleros o intramontanos, e inundaciones para las llanuras aluviales de desborde.

Por último, vale la pena mencionar un caso particular de los incrementos en el caudal pico en un corto lapso de tiempo: las crecidas súbitas o crecidas repentinas (flash floods) se producen en cuencas pequeñas con una rápida respuesta, con tiempos de concentración de menos de seis horas y una lluvia muy intensa (OMM, 1994), y en las que los sistemas de alerta temprana no pueden llevarse a cabo lo suficientemente rápido como para poder suministrar una predicción con adecuado tiempo de antelación.

5. CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

A continuación se detallan los métodos, técnicas, materiales y procedimientos empleados en la elaboración del presente Trabajo de Máster y que permitieron alcanzar los objetivos propuestos.

5.1. RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROCLIMÁTICA

Los registros climáticos referidos a las lluvias de las diferentes estaciones de medición ubicadas dentro de la cuenca del río Mocotíes y en su área de influencia, fueron suministrados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA) de Venezuela.

En la tabla 1, se presenta el listado de las 15 estaciones pluviográficas que fueron seleccionadas, pertenecientes al estado Mérida y a una parte del estado Táchira.

Adicionalmente y como es sabido, se desconocen las profundidades de lluvia caídas durante la tormenta del 11 de febrero de 2005 en el área objeto de estudio debido al desmantelamiento de la red de pluviógrafos; de allí que surge la idea de transportar hacia la cuenca del río Mocotíes el evento importante de lluvia ocurrido: entre el 7 y el 10 de febrero de 2005 en el Litoral Central de Venezuela (el cual se registró en su totalidad, especialmente en la cuenca de la quebrada San José de Galipán). Lo anterior con el propósito fundamental de simular más tarde, los caudales máximos del sistema fluvial en estudio (río Mocotíes en los sitios de interés).

Tabla 1. Estaciones pluviográficas localizadas dentro de la cuenca del Mocotíes y en su área de influencia

Nombre de la Estación	Serial	Altitud (m.s.n.m)	Latitud	Longitud
Tovar	3141	952	8° 20' 30"	71° 44' 01"
El Mesón	3108	1264	8° 24' 45"	71° 35' 00"
Las Tapias	3132	1920	8° 13' 41"	71° 50' 41"
Mesa Bolívar	3052	1000	8° 28' 42"	71° 35' 05"
Zea la Florida	3142	900	8° 23' 22"	71° 46' 42"
Páramo el Quemado	3005	2212	8° 14' 45"	71° 44' 01"
Páramo El Molino	3070	2750	8° 18' 31"	71° 34' 24"
Capurí	3001	1620	8° 08' 00"	71° 36' 13"
El Molino	3023	1877	8° 12' 15"	71° 33' 00"
Guaraque la Quinta	3030	1710	8° 08' 55"	71° 42' 38"
Pueblo Hondo	3074	2100	8° 16' 00"	71° 55' 00"
Sabana Grande	3073	2000	8° 12' 00"	71° 56' 43"
Hacienda Valle Negro	8067	2500	8° 03' 00"	71° 50' 00"
Páramo el Batallón	8066	3165	8° 14' 45"	71° 44' 01"
Pregonero	3097	1260	8° 01' 22"	71° 45' 53"

El mencionado fenómeno hidrometeorológico se trató de los mismos relictos o restos de frentes fríos que afectaron no sólo al estado Vargas, sino además a los estados Carabobo, Zulia y obviamente al estado Mérida, especialmente a la cuenca del Mocotíes en el mes de febrero de 2005.



Tabla 2. Estaciones localizadas dentro de la cuenca experimental de San José de Galipán y en su área de influencia

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Longitud	Latitud	Tipo
Humboldt*	2149	66°52'40,5"	10°32'29,4"	Climatológica
UCV	885	66°53'12"	10°29'41"	Climatológica
Los Venados*	1504	66°53'48,3"	10°32'07"	Climatológica
Picacho*	1994	66°54'31,0"	10°33'46,1"	Pluviométrica
San Isidro*	1860	66°53'32,8"	10°33'01,1"	Pluviométrica
Macuto*	116	66°53'55,6"	10°35'47,0"	Pluvio/Hidro
San Francisco*	1782	66°52'33,7"	10°33'08,9"	Pluviométrica
Mariposa	1040	66°55'34"	10°23'47"	Pluviométrica
San José*	908	66°54'04,4"	10°34'34,1"	Climatológica
Naiguata	49	66°44'06"	10°37'25"	Pluviométrica
Manzanares*	1495	66°53'23,7"	10°33'31,9"	Pluviométrica

*Estaciones pertenecientes al Proyecto de la Cuenca Experimental de San José de Galipán (PROCEDA).

Dentro de este contexto, se buscaron los registros de precipitación horaria correspondientes con las estaciones ubicadas dentro de la cuenca de San José de Galipán (tabla 2) y en su área de influencia, los cuales se obtuvieron de la información mostrada en Flores *et al.* (2010) y de los datos horarios suministrados gentilmente por el Instituto de Mecánica de Fluidos y el Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

5.2. REVISIÓN DOCUMENTAL - HISTÓRICA, RELACIONADA CON LA OCURRENCIA DE CRECIDAS Y PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS EN EL FONDO DEL VALLE DEL RÍO MOCOTÍES

Una de las fuentes de información claves para caracterizar la ocurrencia de crecidas históricas, procesos geomórficos y desbordes recientes del río Mocotíes a la altura de la avenida perimetral de Tovar y en Santa Cruz de Mora, así como en la cuenca completa, se basó en la búsqueda de documentos históricos recopilados a partir de periódicos locales, artículos de revistas, trabajos de grado y capítulos de libros. De especial relevancia fueron los trabajos elaborados por Ferrer y Laffaille (1998) y Laffaille *et al.* (2005), Singer (1998; 2010), así como aquella información extraída de los periódicos El Universal, El Nacional, El Vigilante, Frontera y Pico Bolívar, incluido El Diario de Los Andes. Un video consultado en internet y que contiene una buena cantidad de tomas hechas con cámaras de video a nivel de superficie, durante los días posteriores al 11/02/2005, resultó ser de gran utilidad; el mismo acompaña este trabajo en formato digital (ver CD anexo en el trabajo original).

5.3. BÚSQUEDA Y ADQUISICIÓN DEL MATERIAL CARTOGRÁFICO

La cartografía básica de detalle que fue empleada (a escala 1:5.000, con curvas de nivel cada 5 metros) se corresponde con las hojas número: TO5C_06 y TO5D_06 para el caso de Tovar, SC5C_03, SC5C_04 y SC5D_03, para Santa Cruz de Mora, las cuales fueron suministradas por el Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del Estado Mérida (INPRADEM). También se utilizaron los mapas de cartografía nacional escala 1:100.000, hojas número 5841 (El Vigía) y 5840 (La Grita), mientras que los mapas 1:25.000 empleados se corresponden con las hojas 5840: I (NE, NO, SO); III (NE, NO) y IV (NE, NO, SO, SE), y 5841 II (NO, SO) y III (SE).

5.4. FOTOINTERPRETACIÓN Y TRABAJO DE CAMPO

Esta etapa se basó en la interpretación de los ortofotos (TO5C_06, y TO5D_06, SC5C_03, SC5C_04 y SC5D_03) y de las fotografías áreas del año 1996, correspondientes con la misión 010492 números: 001 - 008; 028 - 040; 172 - 184, además de la 010488 números 001 - 016; 017 - 032; y 033 - 043, a escala 1:5.000 suministradas por INPRADEM. Igualmente se usaron las fotografías aéreas facilitadas por la mapoteca del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales (IGCRN) de la Universidad de los Andes (ULA), correspondientes con las misiones 010411, 010429, 010446, de los años 1964, 1967 y 1972, a escalas 1:7.800, 1:5.000 y 1:8.000 respectivamente.

Del mismo modo se realizaron distintas salidas al campo (previo al inicio de este trabajo) para tomar fotografías, seleccionar muestras y analizar las particularidades geomórficas e hidrológicas del río Mocotíes en los sectores de interés seleccionados.

5.5. ASPECTOS GEOLÓGICOS - GEOMORFOLÓGICOS

Para el análisis de las condiciones geológicas del área se utilizó el mapa a escala 1:50.000 de la región de Tovar - Guaraque - Bailadores elaborado por García *et al.* (s/f). Particularmente útil resultó el uso de los mapas geológicos y geomorfológicos, a 1:100.000 y 1:50.000 elaborados por Dugarte (2002) y el PNUD (2008), así como la evaluación geomorfológica de aquellas áreas más afectadas por la tormenta de febrero de 2005, mostradas en Ferrer (2005), Dugarte y Ferrer (2007 b) y Dugarte *et al.* (2014).

Para analizar los aspectos geomorfológicos en los sectores de interés se emplearon los criterios establecidos por el Programa Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA: GCA) del año 2007, mientras que en la geocronología relativa de las unidades sedimentarias del fondo del valle, se usaron las clasificaciones empleadas por Schubert y Vivas (1993), así como las utilizadas por Ferrer y Laffaille (1998) en el sector de la Playa - Tovar.

Múltiples salidas de campo fueron efectuadas antes de iniciar este trabajo (en el 2005, 2010 y 2011), así como en el 2012 y el 2013, donde se detectaron problemas puntuales vinculados con socavación lateral del río Mocotíes, sitios de posibles cambios



de curso y de potencial represamiento; así como aquellos sectores con altas probabilidades de desbordes del sistema fluvial en estudio.

5.6. ANÁLISIS DE TORMENTAS

Para elaborar el análisis de la tormenta ocurrida sobre la cuenca de la quebrada San José de Galipán en el estado Vargas en febrero de 2005, se seleccionaron los registros de las estaciones previamente nombradas en la tabla 2 a fin de cartografiar la distribución espacial de este evento de precipitación, en un mapa de isoyetas mediante el uso del software SURFER 9.8.669, los cuales fueron exportados más tarde al programa ArcGis 9.3 para abordar los respectivos análisis espaciales. Igualmente se procedió a realizar un análisis meteorológico descriptivo de las situaciones sinópticas a escala regional - local para el momento en que ocurrió dicho fenómeno y se elaborará un análisis de las cantidades de lluvias caídas en milímetros y los periodos de retorno de este evento.

La precipitación media caída durante estas tormentas se estimó mediante los métodos clásicos: isoyético y los polígonos de Thiessen, para luego elaborar las curvas Área - Profundidad - Duración y calcular más tarde el factor de reducción por efecto de área, siguiendo los pasos sugeridos por Duque (2010a). Finalmente se procedió a transponer el mencionado evento hacia la cuenca del río Mocotíes, a fin de compensar la falta de información vinculada con las láminas de lluvias caídas en el área objeto de estudio, durante el evento del 11 de febrero de 2005.

5.7. SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CRECIDAS, MEDIANTE EL PROGRAMA HEC - HMS VERSIÓN 3.5

Con el objetivo de estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en los sitios de interés seleccionados se utilizó el software HEC - HMS 3.5 (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System). Este modelo desarrollado en los E.E.U.U, utiliza diferentes componentes para simular los caudales 'picos': (1) los modelos de las cuencas, (2) modelos meteorológicos, (3) las especificaciones de control y (4) los datos de las series de tiempo.

A los efectos de simular los caudales máximos en este trabajo, se seleccionaron dentro del modelo, los métodos del número de curva de escorrentía (CN) para estimar la lluvia efectiva y el método de la Onda Cinemática para elaborar el tránsito de los caudales.

Método del Número de Curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (S.C.S.)

El método del S.C.S., permite estimar la precipitación efectiva basándose en el complejo suelo - cobertura - humedad antecedente de las cuencas (Guevara y Cartaya, 1991; Chow *et al.*, 1994; Duque, 2010b). A continuación se presentan las diferentes condiciones necesarias para la estimación de la precipitación efectiva:

a) *Humedad antecedente de las subcuencas:* Se refiere al estado de humedad del suelo previo a la tormenta en estudio, con-

siderando la precipitación acumulada en los cinco días anteriores al evento. De esta manera la humedad antecedente se reduce a las tres condiciones mostradas en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones iniciales de humedad del suelo

Condición de Humedad Antecedente (CHA)	Precipitación acumulada en los 5 días previos al evento en consideración
I	0,0 a 33,0 mm
II	33,0 a 52,5 mm
III	más de 52,5 mm

Fuente: Duque (2010b).

- b) *Grupos hidrológicos de suelos:* Desde el punto de vista hidrológico los suelos se clasifican en cuatro grupos, de acuerdo a su potencial de escorrentía (tabla 4), tal como se muestra a continuación: (i) Grupo A ó suelos con bajo potencial de escorrentía, (ii) Grupo B de moderadamente bajo potencial de escorrentía, (iii) Grupo C de moderadamente alto potencial de escorrentía, y por último el (iv) Grupo D con un alto potencial de escorrentía. En este caso se dispuso de los mapas de suelos elaborados por Castillo y Castillo (1970) y Castillo *et al.* (1972), para obtener las diferentes texturas de los suelos de la cuenca del Mocotíes y su relación con los procesos de escorrentía e infiltración.
- c) *Condición hidrológica:* Referida al tipo de cobertura vegetal, la condición hidrológica se clasifica en tres clases: (i) Buena, con una cobertura vegetal de más del 75%, (ii) Regular para una cobertura entre 50 y 75%, y (iii) Mala, menos del 50% de cobertura. Para definir la condición hidrológica de la cuenca del río Mocotíes se emplearon los mapas de cobertura vegetal y uso actual de la tierra elaborados por el PNUD en el 2008.

Tabla 4. Conversión de las clases texturales de suelo a los grupos de suelos del método del Número de Curva del SCS

Término General	Clase Textural	Grupo de Suelo
Suelos de textura gruesa	Arenoso	A
	Areno-francoso	A
Suelos de textura moderadamente gruesa	Franco-arenoso	B
	Franco	B
Suelos de textura media	Franco-limoso	C
	Limoso	C
	Franco-arcilloso-arenoso	C
Suelos de textura moderadamente fina	Franco-arcilloso	D
	Franco-arcillo-limoso	D
	Arcillo-arenoso	D
Suelos de textura fina	Arcillo-limoso	D
	Arcilloso	D
	Arcilloso	D

Fuente: Madeira y Carmona (s/f).

d) *Precipitación efectiva:* Para la estimación de la lluvia efectiva, se empleó la ecuación (3.1) en la que se necesita calcular la infiltración potencial (3.2) a partir la utilización del método



del número de curva de escurrimiento (CN) el cual se estima, a su vez mediante el uso de las tablas del S.C.S. (Chow *et al.*, 1994; Monsalve, 2006; Duque, 2010b).

$$P_e = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S} \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 25 \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde:

P_e : es la precipitación efectiva, en mm.
 P : es la precipitación total, en mm.
 S : es la infiltración potencial, en mm.
 CN : es el número de curva de escurrimiento.

Es importante señalar que en la estimación del Número de Curva de Escurrimiento, no se consideró la corrección por el factor pendiente, tal y como lo recomiendan Guevara y Cartaya (1991) y Monsalve (2006).

• **Tránsito de caudales:** Dentro del modelo HEC - HMS 3.5, se seleccionó el método cinemático simplificado el cual está basado en las ecuaciones fundamentales del flujo: continuidad y conservación de la cantidad de movimiento (Ecuaciones 3.3 y 3.4).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$Q = \frac{1}{n} S_o^{1/2} R^{2/3} A \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

A = es el área mojada en la sección transversal.
 t = es el tiempo.
 Q = es el caudal instantáneo.
 X = es la distancia horizontal, en el sentido del flujo.
 q_L = es el caudal lateral.
 n = es el coeficiente de rugosidad de Manning.
 S = es la pendiente media del fondo del canal.
 R = es el radio hidráulico de la sección (área de la sección entre el perímetro mojado)

Segmentos de escurrimiento: Para los distintos segmentos de escurrimiento (flujos que van a través de un cauce) se estimó su longitud, pendiente media y se les asignó un valor de rugosidad n de Manning.

- Longitud y pendiente: La longitud medida en metros para los diferentes segmentos de escurrimiento, se estimó en formato digital mediante el uso del programa ArcGis 9.3 y en lo referente a la pendiente media se calculó en grados y en m/m, empleando criterios universalmente aceptados basados en la división de la diferencia de cotas ubicadas en los extremos de cada segmento, entre la distancia horizontal de dicho segmento de escurrimiento.
- n de Manning: se utilizó un valor de 0,05 representativo de cauces de montaña (Sala y Batalla, 1999).

Segmentos de escurrimiento: Para los diferentes segmentos de escurrimiento (flujos superficiales que van a través de las

vertientes) se estimaron: sus áreas, longitud, pendiente media, número de curva de escurrimiento (CN) y la rugosidad de Manning.

- Área y longitud: las áreas se calcularon directamente mediante el programa ArcGIS 9.3, sobre el mapa base donde se estableció la conceptualización de la cuenca; y en lo que respecta a la longitud de las vertientes se obtuvo al dividir el área de los segmentos de escurrimiento, entre la longitud de los segmentos de escurrimiento.
- Número de curva de escurrimiento (CN): se asignaron los valores del CN, a partir de las tablas del S.C.S. y de los mapas de cobertura vegetal y uso de la tierra elaborados por el PNUD (2008) para la cuenca del Mocotíes, así como del mapa de suelos de Castillo y Castillo (1970) y Castillo *et al.* (1972) tal y como se había mencionado en páginas precedentes. Cada uno de los valores de los CN promedio, de los segmentos de escurrimiento fueron obtenidos de forma automatizada, con el uso del software ArcGIS 9.3.
- **Humedad antecedente:** Para la humedad antecedente se seleccionó la condición II (33 a 52,5 mm); para detalles ver la tabla 3.
- **Pendiente media** y n de Manning: En el caso de la pendiente media de los segmentos de escurrimiento, se aplicó el método de Alvord e igualmente se utilizó el ArcGis 9.3; mientras que en la rugosidad de Manning según los diferentes tipos de uso de la tierra se emplearon los valores tabulados del USDA - SCS (1986).

5.8. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Para realizar las estimaciones hidráulicas correspondientes a profundidades o tirantes de agua, asociados a los caudales máximos de 10, 25, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, se empleó el modelo HEC - RAS 4.1 (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), el cual requiere como información de entrada las secciones transversales, características de rugosidad del material del fondo del cauce, así como los caudales generados previamente con el HEC - HMS.

En este sentido, se empleó el programa ArcGis 9.3 en compañía de la aplicación HEC - GeoRAS 4.2.93, para generar los perfiles transversales y donde será necesario construir un "TIN" a partir de las curvas de nivel con equidistancias a cada 5 metros; luego de ello se trazaron diferentes secciones cada 100 metros para el tramo específico de la simulación del río Mocotíes hasta Tovar, mientras que en el caso de Santa Cruz de Mora se trabajó con intervalos de 200 metros, por ocupar un área más extensa.

Seguidamente, las secciones fueron exportadas desde el ArcGis 9.3 en un archivo RAS - GIS, hacia el programa HEC - RAS; con toda la información relacionada con diferentes cotas y progresivas de los perfiles transversales, lo que permitirá más tarde generar las profundidades de agua asociadas a cada uno de los niveles de amenaza.

Finalmente y una vez realizado el análisis hidráulico en el HEC - RAS, los resultados de las estimaciones fueron exportados a un formato GIS Data, para ser leídos nuevamente en el ArcGis 9.3,



y proceder a cartografiar las manchas de crecidas para las diferentes frecuencias trabajadas. Cabe destacar que los resultados del ArcGis fueron analizados exhaustivamente desde el punto de vista hidrológico - hidráulico y geológico - geomorfológico, para corregir los polígonos correspondientes a cada uno de los niveles de amenaza en donde fuese necesario, para obtener de esta manera una zonificación de la amenaza hidrológica del río Mocotíes en los sectores de interés.

5.9. CARTOGRAFÍA DE LAS MANCHAS DE CRECIDAS, EN LOS SECTORES DE INTERÉS SELECCIONADOS

Para cartografiar las manchas de crecidas en los sectores seleccionados del río Mocotíes: (1) Perimetral de Tovar y (2) en la avenida principal Antonio Pinto Salinas de Santa Cruz de Mora, resultó clave estimar la magnitud y probabilidades de ocurrencia - periodos de retorno de dichas crecientes, además de considerar criterios geológico - geomorfológicos y llevar a su expresión cartográfica los resultados, como elementos indispensables en esta última etapa.

Como punto de partida, Fattorelli y Fernández (2007), Ayala y Olcina (2002), Díez y Pujadas (2002) sugieren contar con la siguiente información básica:

- Mapas topográficos a 1:100.000, 1:50.000 y 1:25.000.
- Fotografías aéreas e imágenes de satélite.
- Registros hidrometeorológicos y de caudal.
- Información de crecidas históricas.
- Información geológica y geomorfológica.
- Perfiles longitudinales y secciones transversales de los drenes en estudio.
- Información sobre la cobertura/usos de la tierra.
- Estudios morfométricos.
- Simulación hidrológica de crecidas (en caso de no tener registros hidrométricos).
- Resultados de la modelización hidráulica.
- Fotografías de las localidades afectadas durante los eventos de crecidas.
- Mapas/planos a escala de detalle.
- Todo lo anterior contando con visitas de campo y el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Tabla 5. Criterios para cartografiar las manchas de crecidas del río Mocotíes en los sectores de interés seleccionados, partir del nivel de peligrosidad

Nivel de Peligrosidad	Periodo de retorno	Criterios
Muy Bajo	200 años	Se corresponde con zonas donde sólo se producen desbordes con un carácter extraordinario iguales o mayores a 200 años. Geomorfológicamente los espacios afectados por las crecidas pueden ocupar el cauce mayor del río Mocotíes en el fondo del valle. Problemas relacionados con la formación y posterior ruptura de embalses naturales atribuidas a un origen sísmico. Distancia al cauce del río Mocotíes variable. Zona de Sensibilización
Bajo	100 años	Corresponde a las zonas con una frecuencia de desborde de 100 años de periodo de retorno. Evidencias geomorfológicas de antiguos patrones anastomosados del río Mocotíes y de paleocauces. Distancia al cauce del río Mocotíes variable. Zona de Sensibilización.
Moderado	50 años	Áreas con una frecuencia de ocurrencia de las crecidas de 50 años. Posibilidades de represamientos causados por lluvias concentradas, obstrucciones artificiales y naturales. Distancia al cauce del río Mocotíes variable. Zona de Reglamentación. Generación y reactivación de crecidas y movimientos de masa (en estado latente), que pueden incrementar las posibilidades de desbordes del río Mocotíes.
Alto	25 años	Sectores con desbordes que poseen un periodo de retorno de 25 años. Distancia al cauce del río Mocotíes variable. Ocurrencia de crecidas de quebradas locales que afectan el comportamiento del río Mocotíes. Zona de Prohibición.
Muy Alto	10 años	Áreas de desborde iguales a 10 años, incluso menores. Secciones sometidas a fuertes procesos de socavación lateral. Fuertes limitaciones asociadas con una dinámica muy activa del río Mocotíes. Áreas con evidencias de mantos freáticos altos. Distancia al cauce del río Mocotíes variable. Zona de Prohibición y de Alerta. Viviendas expuestas.

Nota: (i) Criterios aplicables para los sectores objeto de estudio en las cotas más bajas del fondo del valle del río Mocotíes y (ii) las distancias al cauce del río Mocotíes variarán de acuerdo con los resultados de la modelización hidráulica y con los análisis geomorfológicos empleados.



En páginas precedentes se habían adelantado y explicado las diferentes técnicas, métodos y procedimientos para llevar a cabo este trabajo y en los que precisamente se detallan cada uno de estos ítems correspondientes con la información básica requerida para poder cartografiar la peligrosidad o amenaza por crecidas, en este sentido se hace necesario especificar, para el área de estudio, los diferentes criterios hidrológicos - hidráulicos y geológico - geomorfológicos empleados (tabla 6).

Para alcanzar esta meta se consideraron lógicamente las condiciones locales - particulares de los sectores objeto de análisis y se utilizó una gran cantidad de literatura, sin dejar de un lado la consulta a expertos. Entre los documentos revisados destacan: el proyecto Aporte a la Prevención de Desastres "Naturales" en Venezuela (PREVENE) Basabe *et al.* (2001), el Proyecto Multinacional Andino - Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), Diez y Pujadas (2002), Ayala y Olcina (2002), Diez (2002), López (2010), Chow *et al.* (1994), Ferrer y Laffaille (2004), por nombrar sólo algunos, así como también se revisaron los criterios empleados por el Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino de España (2010) para el establecimiento de zonas de desborde partiendo de los periodos de retorno y de elementos de carácter geomorfológico e hidrológico.

6. CAPÍTULO IV. LOCALIZACIÓN Y BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área objeto de estudio se encuentra ubicada en la cuenca del río Mocotíes (figura 1) del estado Mérida, específicamente en el fondo del valle, de este importante afluente del río Chama en

los Andes venezolanos, en los sectores ocupados por la avenida perimetral de Tovar y en el sitio de Santa Cruz de Mora.

Lógicamente y de acuerdo con los objetivos planteados y aspectos metodológicos de este trabajo, se debe tener una visión integral sobre la configuración geológica - geomorfológica e hidrológica de la cuenca completa del río Mocotíes y aguas arriba de los sitios de interés, donde se brinde especial consideración a la influencia de las precipitaciones locales, litología de las fuentes de suministro, movimientos de masa, redes de drenaje, caudales extremos, cobertura y usos de la tierra, texturas de suelos, entre otros; elementos clave para comprender la realidad del área objeto de análisis desde el punto de vista de las amenazas por crecidas.

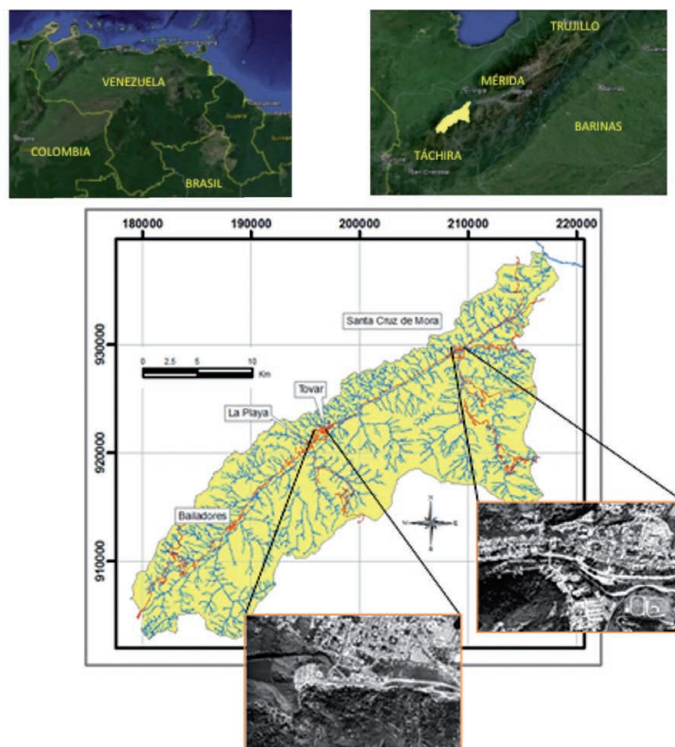
A continuación se describen brevemente algunas de las características antes mencionadas:

6.1. GEOLOGÍA

Geología Local:

La cuenca del río Mocotíes está constituida por rocas del basamento andino de la asociación Sierra Nevada (Precámbrico), además de las asociaciones Mucuchachí y Tostós (ambas del Paleozoico Superior) y las rocas de la formación Sabaneta (Carbonífero - Pérmico). Unidades menores Cretácicas con algunos cuerpos intrusivos muy localizados completan los conjuntos rocosos del área.

Figura 1. Localización del área de estudio





En los mapas geológicos de la cuenca de García *et al.* (s/f), Dugarte (2002) y PNUD (2008) se observa claramente que los gneises graníticos y bandeados (presentes en una proporción del 90%) y esquistosos (10%) de la asociación Sierra Nevada afloran en: (i) un amplio sector del Páramo de Mariño en las fuentes de suministro de las quebradas Guaimaral al noroeste de Tovar, y Las Delicias al norte del poblado de La Playa, y (ii) en menor extensión en las subcuencas de las quebradas Guarapao y San Pablo - Bodoque (al noreste de Bailadores). Igualmente, los mencionados materiales, se extienden en gran parte de la margen izquierda del río Mocotíes desde las quebradas El Peñoncito, San Rafael, Cacaguaito, San Diego, El Silencio hasta las cabeceras de los drenes de Villa Socorro, entre Tovar y Santa Cruz de Mora. Dugarte *et al.* (2014) señalan que en esta asociación, se desarrollan profundos perfiles de meteorización (suelos residuales) lo que le confiere una conducta muy particular a la serie de quebradas y torrentes que caracterizan estas vertientes.

Por su parte, las rocas de la asociación Mucuchachí (Paleozoico Superior - Carbonífero) ocupan casi la totalidad de las vertientes ubicadas al sureste del área (Ferrer, 2005), especialmente en la margen derecha del río Mocotíes y en la que predominan filitas negras en gran proporción, con intercalaciones de cuarcitas (Ferrer y Laffaille, 1998). Esta unidad rocosa se extiende ampliamente desde los Páramos de Los Chorros, Los Carreros y Guaraque, hasta los Páramos Molino, Monte Frio y Las Porqueras, éstos últimos ubicados en la margen derecha de la quebrada Mejía. La disposición estructural favorable (discontinuidades con un alto grado de fracturamiento) hacen que las rocas de esta Asociación tiendan a comportarse de forma inestable (Dugarte *et al.*, 2014). “Las filitas de la asociación Mucuchachí evolucionan a texturas de tipo arcillosas en los perfiles de meteorización, dado su contenido mineralógico y por las condiciones climático - tectónicas que predominan en la zona” (Ayala *et al.*, 2007: 72) lo que favorece los procesos de escorrentía y la ocurrencia de movimientos de masa en la zona.

En menor cuantía se presentan las areniscas cuarzosas de la formación Aguardiente (Mesozoico) en las partes altas de la quebrada Los Cedros; además de las lutitas oscuras de la formación Capacho (Mesozoico) y las calizas gris oscuro a negras intercaladas con lutitas de la formación La Luna (Mesozoico) localizadas en las cabeceras de las quebradas El Diamante y El Barro al noreste de Santa Cruz de Mora. Ya hacia el final del río Mocotíes en la desembocadura de este sistema fluvial con el río Chama afloran, en superficies muy reducidas, las rocas de las formaciones Cretácicas, Río Negro, Apón, Colón - Mito Juan.

6.2. GEOMORFOLOGÍA

Vertientes y fondo de valle:

Una de las características más resaltantes del área se basa en la marcada asimetría de los macizos montañosos que rodean el valle; así las laderas situadas a la derecha (sureste) ocupan una superficie aproximada del 67%, con pendientes pronunciadas y una mayor altura; mientras que aquéllas localizadas al noroeste en la margen izquierda del Mocotíes se extienden en sólo 33% de la superficie total, con relieves mucho más modestos y de menor altura. Este hecho particular define en buena medida

el comportamiento geomórfico e hidrológico de los drenes del área.

En cuanto a las acumulaciones aluviales y volúmenes detríticos, el valle del Mocotíes es igualmente asimétrico siempre a favor de su margen izquierda, donde se localizan los centros poblados más importantes y la mayoría de los cultivos del área. En general, existe un predominio de rellenos aluvio-torrenciales del Pleistoceno Tardío y del Holoceno que se han depositado sobre terrazas bajas construidas por el propio Mocotíes (Schubert y Vivas, 1993).

En este contexto el centro poblado de Santa Cruz de Mora se encuentra emplazado en parte sobre un abanico - terraza del Pleistoceno Tardío en su casco histórico y adicionalmente sobre una terraza muy reciente depositada por el río Mocotíes (en el sector ocupado hoy en día por la vía perimetral Antonio Pinto Salinas de Santa Cruz de Mora, el cual se constituye en uno de los lugares de interés de este trabajo). Tovar por su parte se localiza sobre una secuencia de abanicos coalescentes también del Pleistoceno Tardío y el sitio conocido como “La Galera”, al sur de dicho poblado (con una morfología por demás interesante y bien preservada) se corresponde con un relicto de abanico - terraza del Pleistoceno Medio y “cuyos controles sedimentológicos, principalmente cantos y gravas imbricados; estratificación cruda; estructuras del tipo corte/relleno; (que) localmente varían de clast - supported a matrix - supported, sugieren un papel preponderante del río Mocotíes en el transcurso de su proceso de acumulación” (Ferrer y Laffaille, 1998: 49)

En lo referente al sector ocupado por la Avenida Perimetral de Tovar, en la zona más deprimida del fondo del valle, el mismo se emplaza sobre los depósitos longitudinales holocenos del río Mocotíes.

Un análisis más detallado de las grandes unidades geomorfológicas y ambiente morfogenético de la cuenca, se pueden encontrar en Ferrer *et al.* (1970).

6.3. PRECIPITACIÓN

Tal y como se puede apreciar en la figura 2, la distribución temporal de las precipitaciones en el área, presentan en general dos periodos húmedos (abril - mayo y octubre - noviembre), y dos periodos secos (diciembre - marzo y junio - septiembre).

Los promedios de los valores de lluvia para las antiguas estaciones que se ubicaban dentro de la cuenca del río Mocotíes, se asocian con valores de: 782,6 mm para la estación Las Tapias (serial 3132, periodo 1969 - 1996); 677,4 mm en Bailadores (serial 3167 periodo 1970 - 1982); 718,5 mm en La Playa (serial 3066, periodo 1949 - 1970); 1077,0 mm y 890,9 mm, para las estaciones Tovar (serial 3141 periodo 1968 - 1994) y Tovar (serial 3069 periodo 1950 - 1973) respectivamente. Además de 1029,2 mm en Santa Cruz de Mora (serial 3065 1949 - 1972), y 1392,6 mm en la estación El Mesón (serial 3108, 1968 - 1996), lo que permite afirmar entre otros aspectos, que existe un aumento de los valores de precipitación a medida que disminuye la altitud de las estaciones ubicadas en el fondo del valle: Bailadores (serial



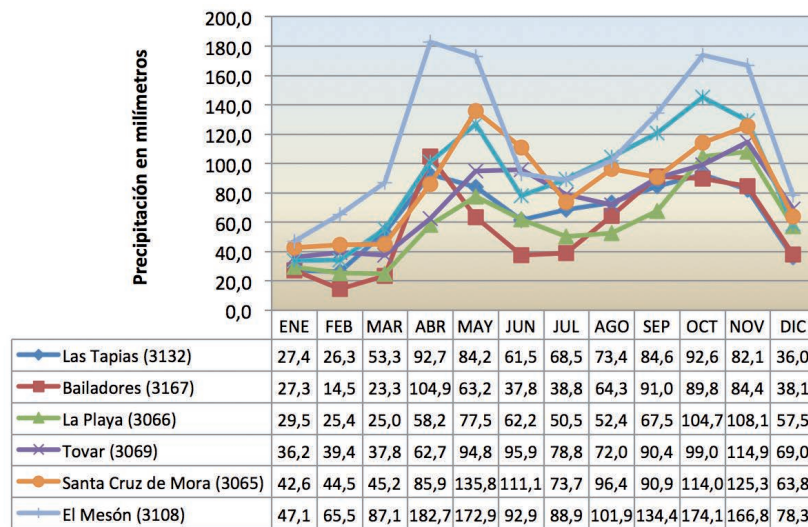
3167), La Playa (serial 3066), Tovar (serial 3069), Tovar (serial 3141) y Santa Cruz de Mora (3065).

6.4. HIDROGRAFÍA

La cuenca del río Mocotíes hasta su desembocadura con el río Chama (figura 3), ocupa una extensión de 517,6 km²; mien-

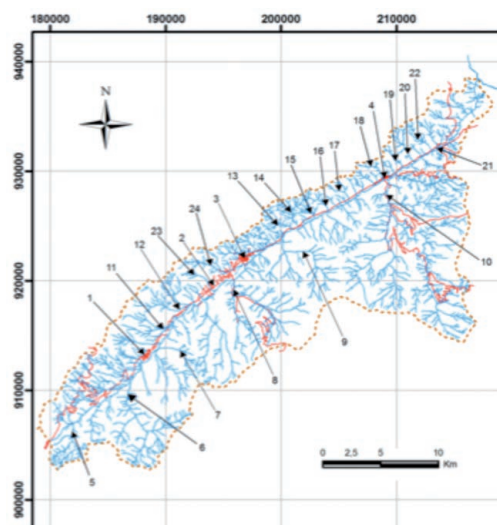
tras que hasta Santa Cruz de Mora en el sitio del puente que conduce al sector de Puerto Rico (antes de la confluencia con la quebrada Mejía) posee una superficie de 334,8 km² y hasta Tovar en el sector La Vega (al inicio de la avenida perimetral) presenta un área de 234,2 km². Las características esenciales de la cuenca están definidas por su marcada asimetría y el valle principal por donde fluyen las aguas del Mocotíes, se encuentra estrechamente controlado por la zona de fallas de Boconó.

Figura 2. Distribución temporal de las precipitaciones, en la cuenca del Mocotíes



Fuente: Datos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

Figura 3. Red de drenaje de la cuenca del Mocotíes y principales centros poblados



1. Bailadores; 2. La Playa; 3. Tovar; 4. Santa Cruz de Mora. Otras localidades: 5. río Zarzales; 6. qda. Las Tapias; 7. qda. Nieto; 8. qdas. San Francisco - Carrizal; 9. qda. Cucuchica; 10. qdas. Mejía - El Guayabal - San Isidro; 11. qdas. San Pablo - Bodoque; 12. qda. Guarapao; 13. qda. San Rafael; 14. qda. Cacaguito; 15. qda. San Diego; 16. qda. El Silencio; 17. qda. El Tabacal; 18. qda. Los Cedros; 19. qda. El Diamante; 20. qda. El Barro; 21. Puente Victoria; 22. qda. Mocotíes; 23. qda. Las Delicias; 24. qda. Guaimaral.



El río Mocotíes nace entre los páramos del Batallón, Rosario y Viriguaca, específicamente en las cercanías del sector el Portachuelo en las nacientes de la quebrada El Oso (afluente del río Zarzales). Se trata de un curso de sexto orden que tiene un recorrido aproximado de unos 60 kilómetros y una orientación clara al noreste. Los únicos registros fluvioigráficos disponibles del Mocotíes, se corresponden con la antigua estación "Puente Victoria" (periodo 1968 - 1969), con un caudal medio para ambos años de 7,31 m³/s y gastos máximos instantáneos de 299 m³/s (en el año 1968) y 80,5 m³/s (en 1969). Los patrones de drenaje predominantes en la cuenca se asocian con aquellos de tipo dendríticos, reticulares o geométricos, con drenes de muy poca extensión en la margen izquierda, en contraste con las quebradas localizadas en la margen derecha (figura 3)

6.5. SUELOS

De acuerdo con el potencial de escorrentía, Delgadillo y Páez (2008), identificaron los cuatro grupos hidrológicos de suelos A, B, C y D para la cuenca del Mocotíes (tabla 6). Así los suelos que poseen una alta infiltración aun estando húmedos (suelos A) ocupan un 5,11% del área, mientras que aquéllos con moderadamente bajo y moderadamente alto potencial de escorrentía (categorías B y C) poseen un porcentaje de la superficie total de la cuenca de 17,82 y 12,69% respectivamente. Finalmente los suelos con infiltración muy lenta aun estando húmedos ocupan el 64,37% restante del área de la cuenca, hasta su desembocadura con el río Chama.

Tabla 6. Porcentaje de ocupación de los grupos hidrológicos de suelos en la cuenca del río Mocotíes

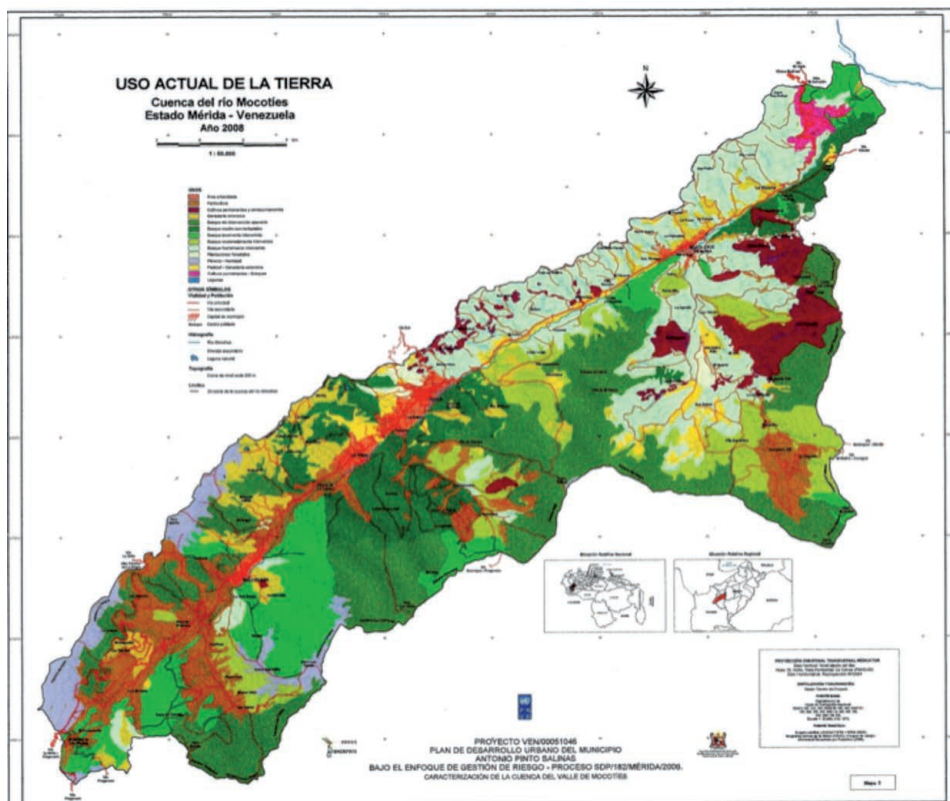
Grupo de Suelo	Clase Textural	Área en Km ²	Porcentaje de ocupación (%)
A	Areno - francoso a Arenoso	26,28	5,08
B	Franco - arenoso	81,40	15,73
B	Franco	13,97	2,70
C	Franco - limoso	53,54	10,34
C	Franco - arcilloso - arenoso	11,66	2,25
D	Franco - arcillo - limoso	137,08	26,48
D	Arcillo - arenoso	16,79	3,24
D	Arcillo - limoso	176,88	34,17
		$\Sigma = 517,6 \text{ Km}^2$	$\Sigma = 100\%$

Fuente: Delgadillo y Páez (2008).

6.6. COBERTURA DE LA TIERRA

De acuerdo con el mapa de la figura 4 PNUD (2008), llama la atención, que en la superficie ocupada por los diferentes usos de la tierra (tabla 7), se muestren considerables extensiones de bosques fuertemente y moderadamente intervenidos, que abarcan más del 25% del total del área.

Figura 4. Uso actual de la tierra de la cuenca del río Mocotíes



Fuente: PNUD (2008).



Tabla 7. Tipos y categorías de cobertura de la tierra y superficie de ocupación. Cuenca del río Mocoties.

Tipo de uso	Categoría de uso	Área en Km ²	Porcentaje de ocupación (%)
Área urbanizada	Urbano	15,97	3,09
Horticultura	Agrícola	52,46	10,14
Cultivos Permanentes y Semipermanentes	Agrícola	24,17	4,67
Ganadería Extensiva	Agrícola	29,59	5,72
Bosque sin intervención aparente	Forestal	115,40	22,30
Bosque medio con herbazales	Forestal	46,70	9,02
Bosque levemente intervenido	Forestal	52,82	10,20
Bosque moderadamente intervenido	Forestal	40,84	7,89
Bosque fuertemente intervenido	Forestal	98,12	18,96
Plantaciones Forestales	Forestal	3,31	0,64
Páramo-Herbazal	Forestal	19,86	3,84
Pastizal-Ganadería Extensiva	Mixto	14,51	2,80
Cultivo permanente-Bosques	Mixto	3,79	0,73
Lagunas	Cuerpos de Agua	0,07	0,01
		$\Sigma = 517,6 \text{ Km}^2$	$\Sigma = 100\%$

Fuente: Modificado de PNUD (2008).

Estos sectores considerados críticos desde el punto de vista de la cobertura, se ubican específicamente en las subcuencas ubicadas en la margen izquierda del Mocoties entre Tovar y la Victoria, así como en el subsistema hidrológico de la quebrada Mejía. En relación con el área urbanizada ocupa tan sólo el 3,1% de la superficie, donde Bailadores, la Playa, Tovar y Santa Cruz de Mora tienen una especial relevancia.

El área de estudio posee una gran importancia económica en cuanto a la producción agrícola y pecuaria, con énfasis en las plantaciones de café, ganadería extensiva, producción florística y horticultura especialmente al suroeste de Bailadores, que abastecen tanto necesidades locales como a la región occidental y centro norte del territorio nacional; de allí que los usos agrícolas y pecuarios ocupan un 24,1%. Vale la pena mencionar que el bosque sin intervención aparente y los bosques levemente intervenidos, poseen una superficie para el año 2008 del 32,5%, y se localizan especialmente en las cabeceras de la quebrada el Rincón de la Laguna.

7. CAPITULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se pretende a continuación presentar una ordenada cronología de eventos históricos de crecidas y movimiento de masa, exponer los resultados obtenidos y proceder al análisis crítico del material; todo ello orientado a una revisión retrospectiva, así como de un tímido intento de visualizar aquellas amenazas potenciales que puedan afectar el sistema fluvial del río Mocoties.

De esta manera, el capítulo se desglosa mediante el siguiente esquema: (i) una evaluación de la información recopilada en referencia a eventos históricos y recientes de crecidas y ocurrencias de movimientos de masa que han afectado el área de estudio; (ii) a partir de la información hidroclimática se seleccionaron y elaboraron los correspondientes análisis de tormentas y

de frecuencias de lluvias extremas; y (iii) finalmente se aplicó el modelo de simulación HEC - HMS en conjunto con el HEC - RAS 4.1 y la herramienta HEC - GeoRAS 4.2.93 dentro del ArcGIS 9.3.

Como corolario a todo este esfuerzo de recopilación y análisis, se presenta una síntesis de las particularidades hidrológicas - geomorfológicas del río Mocoties, en los casos específicos de las localidades de Tovar y Santa Cruz de Mora; lo que facilitó el hecho de definir las manchas de crecidas y de esta forma establecer niveles de peligrosidad o amenazas e impactos hidrogeomorfológicos en estas secciones del fondo del valle altamente vulnerables.

7.1. COMENTARIOS SOBRE EVENTOS HISTÓRICOS Y RECIENTES DE OCURRENCIA DE CRECIDAS Y DIFERENTES TIPOS DE MOVIMIENTOS DE MASA. UN INTENTO DE INVENTARIO

Se documentaron un total de treinta y nueve (39) eventos de origen natural (tabla A; anexo I en el trabajo original), los cuales fueron separados por el carácter del elemento o factor detonante y tipos de mecanismo que les dieron origen. Así se tienen cuatro grandes categorías: Hidrometeorológica (Hm), sísmica (S), hidrológica (H) y geomorfológica (G). Del total de casos, un número de treinta y uno (31) obedecen a causas hidrometeorológicas lo que representa el 79,49%; de ellos 11 eventos pueden ser considerados como lluvias extraordinarias o inusuales por presentarse fuera de temporada (precipitaciones ocurridas en épocas históricamente secas). El 20,51% restante obedecen bien a causas sísmicas o poseen un origen geomorfológico, que han tenido influencia en la conducta de los sistemas de drenaje de la cuenca del río Mocoties.

Tal y como se desprende del inventario detallado en la tabla A (Anexo 1 en el trabajo original), resalta una falta de tradición, tanto oral como escrita, en lo referente a reportes relacionados



con fenómenos naturales que han afectado a la cuenca y sus respectivos drenes. Se trata de una realidad que dificulta mucho este campo de investigación, y que se observa a nivel de Venezuela en general, lo que sin duda se relaciona con el conocido concepto de “curva del olvido”. La mayoría de los casos citados se corresponden con el siglo XX; donde se observa gradualmente un incremento de la frecuencia de los eventos, que tiene sus raíces en: el obvio crecimiento poblacional y el aumento de los niveles de vulnerabilidad, además del acelerado desarrollo de la tecnología de las comunicaciones, lo cual influye obviamente en la generación y difusión de la información.

Este listado o inventario es de carácter preliminar, ya que a medida en que se cuente con recursos para continuar evaluando los cambios en el paisaje debido a causas naturales, los ejemplos de caso aumentarán. De allí que puedan revelarse nuevas inquietudes sobre un sistema de drenaje que geomorfológicamente puede ser considerado “latente” o en estado de “pseudoequilibrio”. Dentro de este contexto, surgen las siguientes reflexiones: (1) se debe incrementar los esfuerzos e investigaciones hacia el campo de la definición y evaluación de las causas y efectos de fenómenos naturales, especialmente aquellos relacionados con crecidas y movimientos de masa que han afectado a la cuenca, y (2) llamar la atención sobre los altos niveles de vulnerabilidad y riesgo presentes en toda esta área, especialmente en el fondo del valle; donde la construcción de viviendas y obras de infraestructura se han venido incrementando de forma acelerada.

Como un ejemplo paradigmático de un evento extraordinario ocurrido en la cuenca del río Mocotíes, destaca en este caso el “Alud Sísmico de La Playa” donde las evidencias históricas (crónicas de Fray Pedro Simón) se enlazan con investigaciones posteriores (Singer, 1998; Ferrer y Laffaille, 1998). Al detonante sísmico de este evento (magnitud estimada macrosísmicamente entre 7,2 y 7,3 M_L), con una posible ruptura de la traza norte de la falla de Boconó en esta sección del valle, le siguió como efecto cosísmico un alud (avalancha de detritos y rocas), que represó al río Mocotíes, generó una extensa laguna de obturación, y que posteriormente colapsó en forma de ola de descarga. Este caudal alcanzó un volumen extraordinario, que terminó impactando en forma directa tanto a área hoy ocupada, por la vía perimetral de Tovar, como al sector de La Cucuchica, para ir perdiendo energía aguas abajo. La magnitud del fenómeno pudo haber tenido efectos al sur del Lago de Maracaibo a lo largo del río Chama. Esta situación es una clara demostración, que en paisajes montañosos, como los Andes Venezolanos, los sistemas de drenaje pueden producir grandes crecidas independientemente de influencias hidroclimáticas y meteorológicas.

Otro hecho significativo que se desprende del inventario de la tabla A (Anexo 1 en el trabajo original) no obstante que la información es bastante escasa y muy difusa, lo constituye el evento de lluvias ocurridas en el año 1910. Esta tormenta parece haber afectado con mayor intensidad a la localidad de La Playa. Laffaille *et al.* (2005) reportan cierta similitud de estas lluvias con el evento del 11/02/2005, no obstante no aportan suficientes evidencias que soporten dicha hipótesis (tabla A).

Otro conjunto de eventos de origen hidrometeorológico y con efectos hidrológicos y geomorfológicos, los cuales adquieren una connotación muy especial en este trabajo lo constituyen:

las tormentas de los años 1950 y 1951. La primera de ellas ocurrió en enero del año 1950 (20/01/1950), seguida en el año 1951 por unas precipitaciones altamente destructivas caídas en febrero (16 al 25/02/1951) mostradas en la tabla A. Dos aspectos resaltan a simple vista: (a) ambas tormentas entran en la clasificación de “lluvias inusuales”, ya que las precipitaciones ocurrieron en meses tradicionalmente secos; (b) los alcances regionales: Singer *et al.* (1983; p. 26) reportaron lluvias que ocasionaron daños considerables en diferentes localidades del Litoral Central (hoy en día Estado Vargas - Venezuela), acaecidas los días 16, 17, 18 al 25 de febrero del año 1951. El fenómeno hidrometeorológico tuvo una extensión geográfica y temporal muy semejante al evento ‘sobvenido’ de febrero del año 2005. La frecuencia 1950/51 y 2005, si se incluye el poco estudiado lapso del año 1910, permitió que Dugarte *et al.* (2014) postulasen muy tentativamente un periodo de retorno de 50 - 60 años para eventos de magnitudes y situaciones meteorológicas - climáticas semejantes. Escenario éste que habría que revisar a medida que el cambio climático y las fluctuaciones climáticas se hagan más evidentes sobre estas regiones montañosas tropicales.

Sin duda, especial consideración tiene el evento del 11 de febrero de 2005; tanto por el número de víctimas como por la extensión de los daños en viviendas e infraestructura. El mismo puede ser catalogado como una de las peores tragedias que han impactado a la cuenca del río Mocotíes a lo largo de su historia documentada (tabla A; Anexo I en el trabajo original).

Las lluvias “inusuales” del 11/02/2005, por estar fuera del periodo normal del régimen de precipitaciones en la zona, no parecen haber configurado un “evento extremo”, de acuerdo a las categorías propuestas por Starkel (1976; ver bases teóricas y definición de términos básicos del capítulo II), a pesar de que el río Mocotíes ocupó parcialmente, en algunas secciones, su cauce excepcional (Dugarte y Ferrer, 2007b). Las numerosas obturaciones, cambios de cauces (avulsión), ocupación de amplias planicies, tienen su origen en los violentos y voluminosos aportes de drenes menores localizados a lo largo de las laderas que bordean el cauce del río Mocotíes.

Por último y ante las frágiles condiciones de la cuenca, el alto nivel de vulnerabilidad y la experiencia obtenida con el impacto dejado por la tormenta de febrero de 2005 (labor ésta que está pendiente de evaluación), en especial el diseño de obras y la concientización de la población; habría que agregar que existe entre los pobladores de la zona, y más específicamente entre los actores sociales institucionales, académicos y productores del área, una corta memoria histórica sobre la ocurrencia de eventos naturales que han afectado a diversos sectores de la cuenca; más allá de lo planteado por Laffaille *et al.* (2005) y Rojas (2010), en cuanto a la percepción del riesgo, entrevistas a particulares y a la cultura de prevención de algunas comunidades el área.

7.2. EVENTO DE FEBRERO DE 2005

Análisis meteorológico del evento

Desde el punto de vista meteorológico las lluvias ocurridas entre el 07 y el 12 de febrero del año 2005, fueron causadas en esencia por la llegada de tres restos de frentes fríos prove-



nientes del hemisferio norte, los cuales se presentaron en una especie de franja delgada de nubosidad o línea de inestabilidad (ver imágenes de satélite correspondientes a la figura 5) con orientación noreste - suroeste sobre el océano atlántico, el cual tenía para aquel momento una temperatura de 2 °C por encima del promedio normal, respecto al periodo (1952 - 1990). Se tiene información de que precisamente los frentes fríos de origen extratropical de febrero del 2005, a su paso por E.E.U.U, se convirtieron en unos de los más lluviosos y más fuertes de la historia tanto de Texas como de California ocurridos en temporada de invierno en América del Norte (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga C.D.M.B. y Geotecnología LTDA 2005b). Todo lo anterior permite tener una idea preliminar de las repercusiones regionales, incluso hemisféricas del fenómeno hidrometeorológico de febrero del 2005.

La intensidad del fenómeno meteorológico se vio potenciado, por el choque de los mencionados relictos de frentes fríos contra grandes cantidades de 'clusters' de nubes tropicales de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI) ó 'Intertropical Convergence Zone' por sus siglas en inglés (ITCZ), los cuales son poco comunes que se presenten en época seca y que en este caso particular se trasladaron en sentido noreste, desde el sureste y sur de Venezuela; ocasionando adicionalmente fenómenos de tipo estacionario. El resultado: importantes volúmenes de precipitación afectaron a amplias zonas de Venezuela y Colombia.

Para el territorio venezolano los mayores daños se reportaron en los estados Aragua, Carabobo, Miranda, Táchira, Zulia y obviamente Mérida, mientras que en el caso de Colombia las lluvias de febrero del 2005, causaron el desbordamiento del río de Oro en los municipios Bucaramanga y Girón, y afectaron a otros 21 municipios del departamento de Santander con un saldo total de: 6000 viviendas destruidas, 54.000 personas afectadas, y 61 víctimas (53 de ellas en el mencionado departamento).

En lo referente a la cuenca del río Mocotíes, según la información obtenida de testigos presenciales, la tormenta alcanzó una mayor concentración de 4 a 5 horas durante la noche del 11/02/2005, ya que desafortunadamente y como consecuencia del sistemático dismantelamiento de la red de estaciones pluviográficas de la Tabla 3.1, no fue posible registrar este importante evento de lluvia (Ferrer, 2005; Laffaille *et al.* 2005; Dugarte y Ferrer 2007; Flores *et al.* 2010; Dugarte *et al.*, 2014). Se perdió entonces una magnífica oportunidad de contar con información sobre una tormenta de tal magnitud (Ferrer, 2005).

La únicos datos inferidos para el mencionado evento, fueron descritos de forma resumida por Rojas (2010) a partir de la información suministrada por un modelo de pronóstico numérico de alta resolución regional, con todas las restricciones que implica el hecho de no tener información directa de registros pluviográficos en la cuenca del Mocotíes, y en la que se estima una magnitud de 95 mm de precipitación en el área para el momento del evento, el día 11 de febrero y sin considerar las lluvias antecedentes.

Precisamente en este mes de febrero del año 2005, se presentó paralelamente otro evento extraordinario de precipitación (causado por los mismos fenómenos meteorológicos previamente mencionados) que produjo una crecida de gran magnitud del

río Sanchón en el estado Carabobo - Venezuela, municipio Juan José Mora, trayendo como consecuencia la inundación de ciertas áreas de la refinera El Palito. Los registros de la figura 6 y bien documentados en el estudio elaborado por PDVSA y el CIDIAT (2006) muestran láminas de precipitación de considerable magnitud concentradas en cuatro días (del 08/02 al 11/02/2005) que alcanzando incluso los 444,9 mm para la estación La Pedrosa y 412,9 mm para la estación Casa de Teja.

Vista la falta de registros pluviográficos para la cuenca del río Mocotíes que permitieran conocer el comportamiento espacial de la tormenta del 11/02/2005, y de acuerdo con las evidencias geomorfológicas existentes para aquel momento, es posible inferir que la tormenta pudo haberse desplazado a baja altura, siguiendo un patrón desde el sureste - suroeste al noreste (Dugarte *et al.*, 2014) ya que los daños se localizaron en: (1) los sectores cercanos a la población de La Playa, en las subcuencas Guarapao y San Pablo - Bodoque, (2) la subcuenca San Francisco y en la avenida perimetral de Tovar, (3) en las subcuencas ubicadas en la ladera izquierda entre Tovar y Santa Cruz, y (4) en el sector comprendido entre de Santa Cruz particularmente en la avenida Antonio Pinto Salinas y el sitio ocupado por el antiguo terminal de pasajeros hasta Puente Victoria.

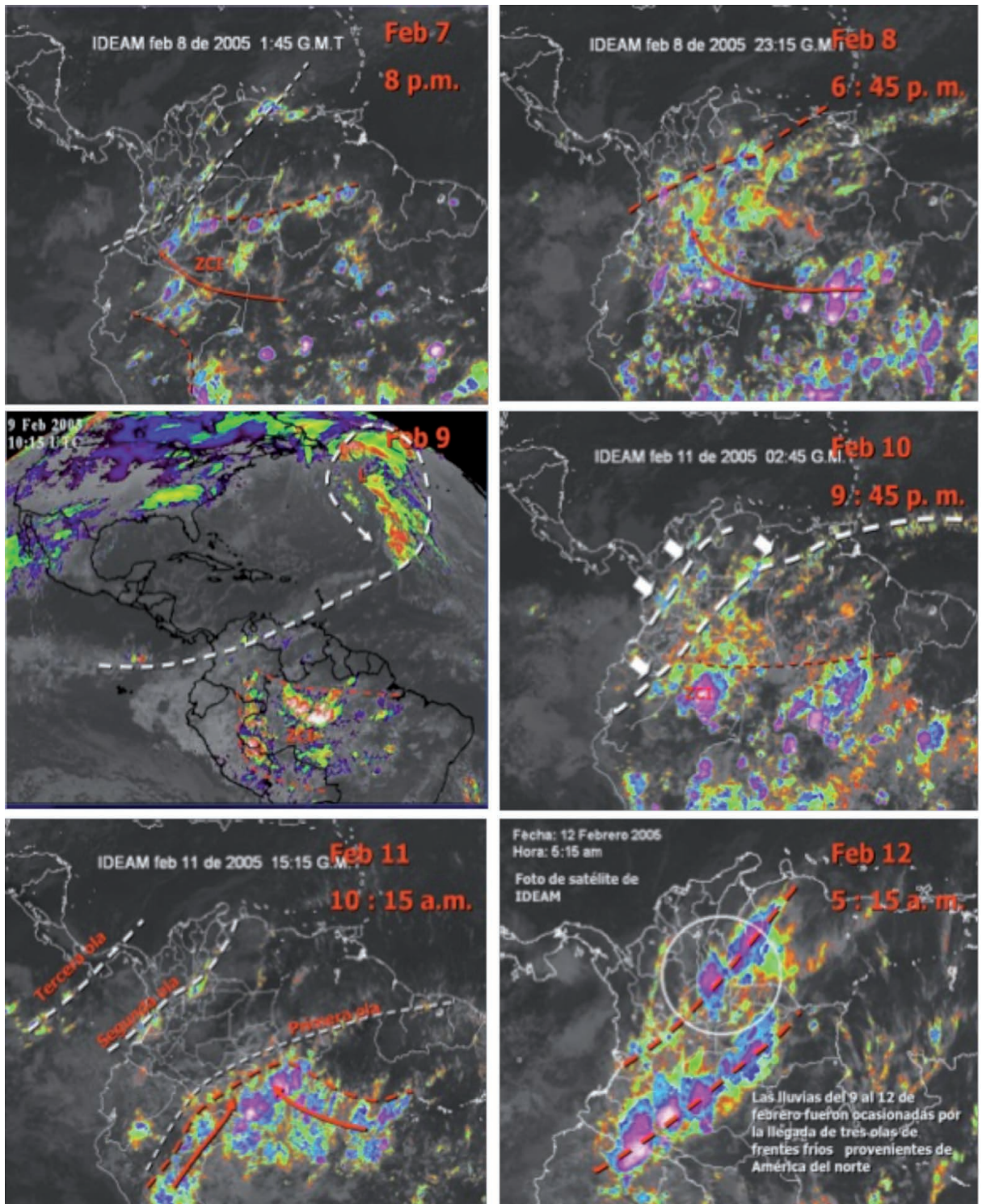
"El día 11 de febrero llovía desde temprano en el valle del Mocotíes"... "en las primeras horas de la tarde ocurrieron varios derrumbes en la autopista Rafael Caldera, motivo por el cual se había suspendido el paso vehicular, de allí que el tráfico se desvió hacia Santa Cruz de Mora y de allí a Zea para lograr alcanzar la carretera panamericana. Como no paraba de llover, muchos de los vehículos que habían tomado esta vía, entre ellos los autobuses, utilizaron el terminal de pasajeros de Santa Cruz de Mora como refugio" MPPA (2013: 36). Cuando la crecida llegó al terminal en horas de la noche del 11/02/2005, ocasionó por un lado la destrucción del mismo, incluidos la gran cantidad de vehículos allí refugiados, y por el otro causó la mayor cantidad de víctimas fatales. Hay que resaltar que el terminal y parte de la avenida Antonio Pinto Salinas, estaba construidos sobre un antiguo meandro del río Mocotíes el cual fue desviado para emplazar estas obras (Laffaille *et al.* 2005 a y b). Finalmente las precipitaciones continuaron, pero ya de forma menos concentrada hasta el día sábado 12 de febrero en la mañana (figura 7).

Tal y como se había señalado en páginas precedentes las fuertes precipitaciones que afectaron a todo el Litoral Central, entre el 15 y el 17 de febrero de 1951 con graves daños y pérdidas de vidas, fueron causadas igualmente por la llegada de restos de frentes fríos, además el fenómeno impactó, al igual que la tormenta de 2005, extensas áreas en la cuenca del río Mocotíes. Según Guevara (2004) las lluvias del año 1951 causaron problemas de crecidas desde Puerto Cabello hasta Los Caracas; con unas precipitaciones que duraron aproximadamente 60 horas y que se concentraron primordialmente en la vertiente norte de la cordillera de la Costa, con el centro de tormenta en la estación El Infiernito, donde se midió la cantidad acumulada de 529 mm, con un máximo de 518,3 mm para el día 16/02/1951 (Courtel *et al.*, 2010).

Las fechas de estos eventos les permitieron a Dugarte *et al.* (2014) establecer el ya comentado periodo de retorno cada 250 - 60 años?, para analizar eventos meteorológicos con comportamientos semejantes.



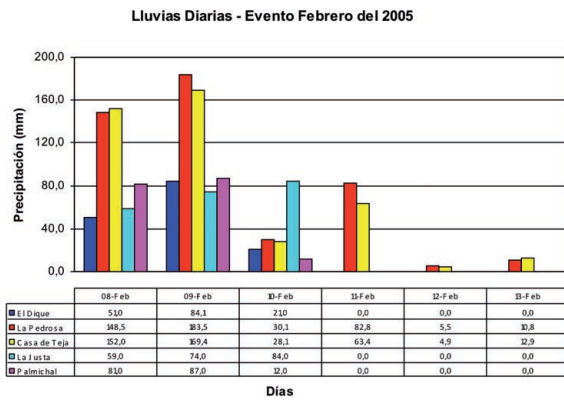
Figura 5. Imágenes de satélite GOES-Este, correspondientes a los días 07 al 12/02/2005



Se aprecia a nivel regional que las lluvias de febrero del 2005, fueron causadas por la llegada de tres restos de frentes fríos de origen extratropical provenientes del hemisferio norte (que se encontraba obviamente en época de invierno astronómico). Estos relictos de frentes fríos colisionaron a su vez con la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), la cual no debería estar activa en la época seca; lo que desencadenó fuertes precipitaciones que afectaron a grandes zonas de Venezuela y Colombia. Fuente: Earth Science Office de la Nasa (www.gfcc.msfc.nasa.gov), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), Suarez (2012).

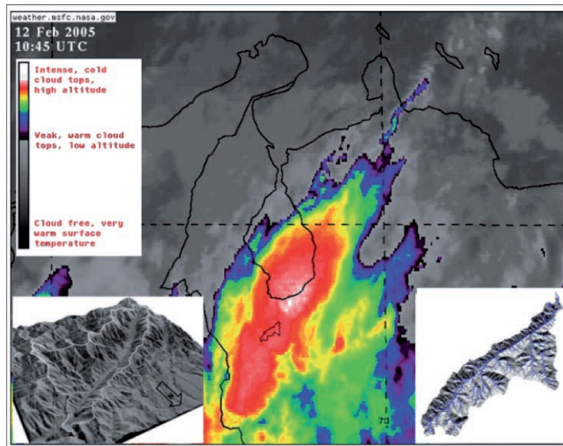


Figura 6. Precipitaciones diarias registradas para las estaciones de medición administradas por PEQUIVEN, durante el evento de febrero del 2005, en la cuenca del río Sanchón (estado Carabobo)



Fuente: PDVSA y CIDIAT (2006).

Figura 7. Imagen de satélite GOES, capturada a las 6:15 a.m (hora local) de la página <http://weather.msfc.nasa.gov>, el día 12 de febrero de 2005 y tomada de Roa (2007). Al analizar con detalle esta imagen se observa que a pesar de las condiciones de mal tiempo atmosférico que cubrían una gran proporción del occidente venezolano; en el área de estudio ya se habían producido los mayores volúmenes de lluvia, horas antes. En esta imagen la presión atmosférica más baja se localiza en el límite del Sur del Lago de Maracaibo



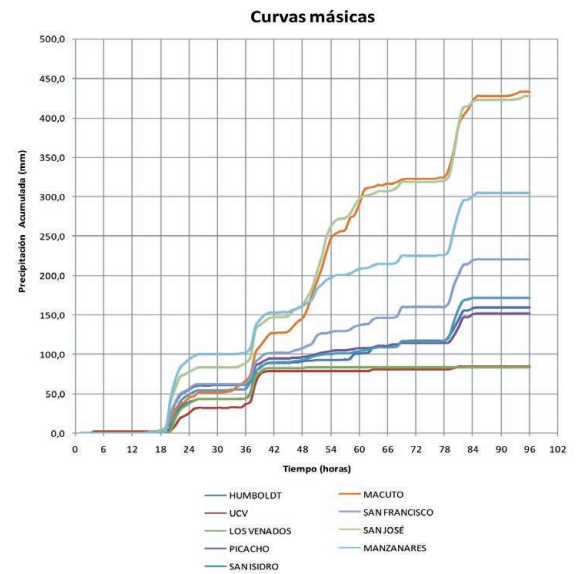
7.3. ANÁLISIS DE LA TORMENTA DE FEBRERO DEL 2005 EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DE SAN JOSÉ DE GALIPÁN

En contraste con lo ocurrido en la cuenca del Mocotíes en los Andes venezolanos, en el estado Vargas - Venezuela, si se logró registrar el fenómeno de febrero del 2005, a través de todo un sistema de estaciones automatizadas, incluidas las pertenecientes al programa de investigación PROCEDA (Proyecto Cuenca Experimental del San José de Galipán, liderado por la Universidad Central de Venezuela) y en las que se registraron

entre el 07 al 10 de febrero láminas de lluvias acumuladas para las estaciones Manzanares, San José y Macuto de 304,9 mm; 426,9 mm y 431,0 mm respectivamente (Flores *et al.*, 2010; Dugarte *et al.*, 2014). Estos valores representan profundidades notables al compararlos con la precipitación media anual del área estimada en 532 mm aproximadamente (López *et al.* 2010).

En este sentido se decidió igualmente analizar el mencionado evento meteorológico que afectó a diferentes cuencas del Litoral Central, así como a varios estados del occidente venezolano, incluido el Distrito Capital "con un saldo total de 220.340 personas afectadas, 6.036 familias damnificadas, 64 muertos, 37.354 viviendas dañadas y 6.012 viviendas destruidas" (Flores *et al.*, 2010: 164), en todo el territorio venezolano. Para el caso del estado Vargas el evento monitoreado por la red de estaciones de la cuenca de San José de Galipán, se desarrolló entre la noche del 07/02/2005 y la mañana del 10/02/2005 sobre un periodo aproximado de 66 horas, tal y como se puede apreciar en las curvas másicas del evento (figura 8).

Figura 8. Curvas másicas del evento de febrero del 2005, sobre la cuenca experimental de San José de Galipán y en su área de influencia. En este caso se seleccionó el evento con las mayores magnitudes de lluvia; desde las 37 a las 85 horas, contadas a partir del inicio de la tormenta



Los registros existentes muestran que las precipitaciones se presentaron con mayor intensidad en la parte baja de la cuenca de Galipán, específicamente en las estaciones Macuto y San José, a diferencia de la situación presentada en la cuenca de alta en las estaciones San Isidro, San Francisco, y Humboldt. Los momentos culminantes del evento fueron alcanzados en el valle de Caracas con el desborde del río Guaire (08-02) y luego los problemas ocurridos en la zona de Macuto el día 10/02/2005 (Courtel *et al.*, 2010).



Tabla 8. Datos de precipitación en mm y en incrementos de 6 horas del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela

Estación	08/02/2005			09/02/2005			10/02/2005			Total
	12 a 18 h	18 a 24 h	24 a 6 h	6 a 12 h	12 a 18 h	18 a 24 h	24 a 6 h	6 a 12 h		
Macuto	53,5	29,2	96,6	55,0	8,4	5,7	13,2	91,9	353,5	
San Francisco	31,1	8,4	18,8	8,8	8,7	13,2	5,8	55,1	149,9	
San José	50,5	23,9	98,3	31,0	8,1	10,2	7,4	96,3	325,6	
Manzanares	44,2	11,9	35,1	9,1	5,8	10,2	7,5	72,2	196,0	
Picacho	28,2	2,9	7,2	2,8	4,7	1,8	1,0	36,60	85,2	
San Isidro	24,6	5,3	5,8	4,0	4,5	7,3	4,9	49,9	106,3	
Humboldt	37,3	2,3	1,6	8,2	8,1	7,4	5,7	36,9	107,5	
Los Venados	33,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,6	
UCV	38,1	0,1	0,0	0,2	1,7	0,10	0,20	3,70	44,1	

Luego de analizar las curvas másicas se procedió a: seleccionar el intervalo de duración de las lluvias para estudiar la tormenta, en este caso igual a 48 horas, en intervalos de 6 horas (tabla 8) comprendidos entre la 12:00 p.m del 08/02, hasta las 12:00 p.m del día 10/02/2005 y se graficó el hietograma de lluvia para la estación Macuto donde se centró la tormenta (figura 9). Seguidamente se llevaron a cabo los siguientes pasos: (i) elaboración el mapa isoyético del evento (figura 10) a partir de la duración considerada, y (ii) estimación de las superficies de aquellas estaciones pluviométricas, ubicadas en las isoyetas cerradas (tabla 9) y sus áreas de influencia a partir de una red de Thiessen (tabla 10; y figura 10). Para luego: (a) realizar el análisis área - profundidad - duración (A-P-D) cuyos resultados se muestran en la tabla 11 y figura 11, (b) transponer esta tormenta ocurrida en el estado Vargas hacia la cuenca del Mocotíes, mediante el uso del factor de reducción por efecto de área (tabla 12 y figura 12), y finalmente (c) obtener de las curvas IDF (figura 13), el hietograma porcentual (figura 14) y los histogramas de lluvias respectivos para frecuencias de 10, 25, 50, 100 y 200 años (tabla 13 y 14) a ser utilizados en el área objeto de estudio.

Figura 9. Hietograma de precipitación del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, para la estación Macuto donde se centró La Tormenta. Cada intervalo de tiempo equivale a 6 horas

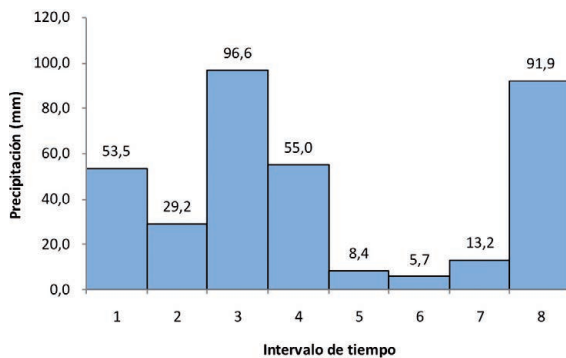


Figura 10. Isoyetas y Polígonos de Thiessen del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela

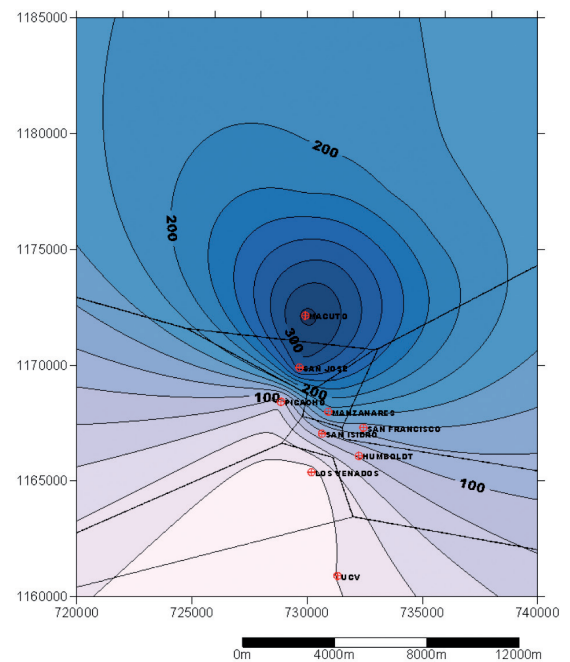


Tabla 9. Área, en km², encerrada por cada una de las isoyetas consideradas

Isoyeta (mm)	Area (km ²)
320,0	0,38
300,0	5,79
280,0	14,16
260,0	25,05
240,0	40,19
220,0	62,53
200,0	104,64
180,0	317,31



Tabla 10. Áreas de Influencia, en km², de cada estación de medición de precipitación hasta la isoyeta 180 mm

Isoyeta (mm)	Macuto	San José	Manzanares	San Francisco
320,0	0,38	-	-	-
300,0	5,22	0,57	-	-
280,0	12,01	2,15	-	-
260,0	21,19	3,85	-	-
240,0	34,05	5,20	0,75	0,17
220,0	52,60	6,22	1,64	2,05
200,0	88,48	7,45	2,40	6,29
180,0	290,31	9,13	3,11	14,74

Figura 11. Curvas APD para el evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela

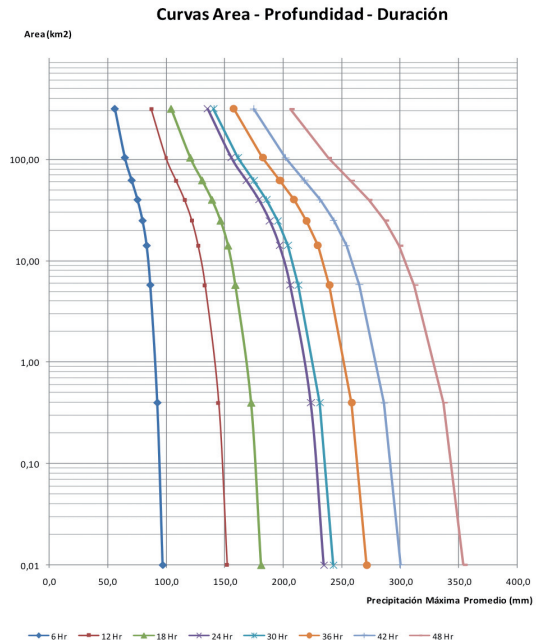


Tabla 11. Resultados del análisis de la tormenta ocurrida entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela

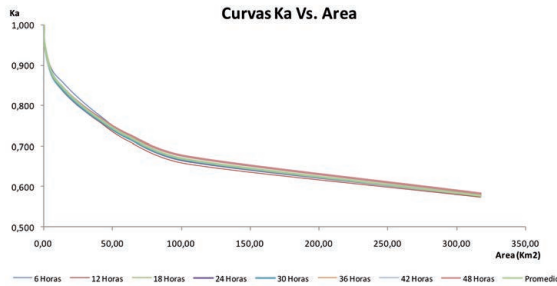
Area (Km ²)	Duración (horas) y precipitación máxima promedio (mm).							
	6 Hr	12 Hr	18 Hr	24 Hr	30 Hr	36 Hr	42 Hr	48 Hr
0,01	96,6	151,6	180,8	234,3	242,7	270,8	300,0	353,5
0,40	92,0	144,4	172,3	223,2	231,2	258,0	285,8	336,8
5,80	86,0	132,8	158,8	205,6	213,0	239,0	264,5	311,8
14,20	82,9	126,8	152,6	196,5	203,7	229,2	253,5	298,9
25,00	79,4	121,5	146,2	188,2	195,1	219,5	242,8	286,3
40,20	75,1	115,2	138,9	179,0	185,5	208,9	231,1	272,7
62,50	70,1	107,9	130,5	168,3	174,6	197,0	217,9	257,4
104,60	64,3	99,5	120,4	155,5	161,4	182,3	201,6	238,2
317,30	55,7	86,9	104,0	135,2	140,2	157,6	174,4	205,9

Tabla 12. Valores del factor de reducción por efecto de área, para el evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela

Area (Km ²)	Valores de Ka cada 6 horas para la tormenta del 09/02 - 10/02/2005								
	Duración (Horas)								
	6 Hr	12 Hr	18 Hr	24 Hr	30 Hr	36 Hr	42 Hr	48 Hr	Promedio
0,01	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,40	0,952	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953
5,80	0,890	0,876	0,878	0,878	0,878	0,883	0,882	0,882	0,881
14,20	0,858	0,836	0,844	0,839	0,839	0,846	0,845	0,846	0,844
25,00	0,822	0,801	0,809	0,803	0,804	0,811	0,809	0,810	0,809
40,20	0,777	0,760	0,768	0,764	0,764	0,771	0,770	0,771	0,768
62,50	0,726	0,712	0,722	0,718	0,719	0,727	0,726	0,728	0,722
104,60	0,666	0,656	0,666	0,664	0,665	0,673	0,672	0,674	0,667
317,30	0,577	0,573	0,575	0,577	0,578	0,582	0,581	0,582	0,578



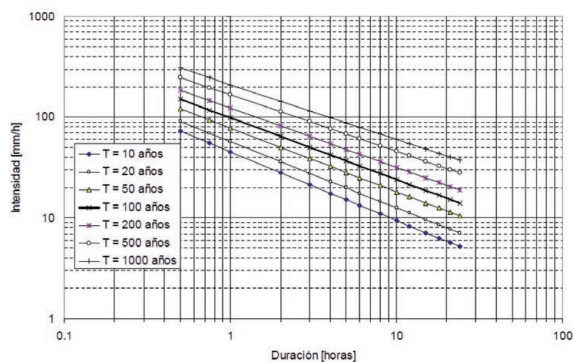
Figura 12. Curvas de factor de reducción por efecto de área para diferentes duraciones y para el evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán



A partir de las siguientes curvas IDF, elaboradas en papel logarítmico por Basabe *et al.* (2001) para el conocido proyecto 'PREVENE', se extrapolaron las intensidades de lluvia en mm/h para una duración de 48 horas y frecuencias de 10, 25, 50, 100 y 200 años, de la estación Macuto (serial 0508), muy cercana a la estación igualmente denominada Macuto (de la reciente red PROCEDA) donde se centró la tormenta en estudio. Luego estas intensidades fueron llevadas a valores de láminas de precipitación y afectadas por los respectivos 'Ka', en la duración considerada.

Con respecto a los periodos de retorno, de este evento en estudio diversos autores, entre los cuales destacan Courtel *et al.* (2010) y López *et al.* 2010, sugieren que la tormenta de febrero del 2005 que afectó a varias zonas del litoral central (durante 4 días con un máximo acumulado de 427 mm en la estación Macuto) estuvo en el orden de los 100 años de periodo de retorno.

Figura 13. Curvas IDF ajustadas a una distribución Log-Gumbel en papel logarítmico para la estación Macuto (serial 0508)



Fuente: Basabe *et al.* (2001).

Figura 14. Hietograma porcentual para el evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán. Litoral Central de Venezuela. Cada intervalo de tiempo equivale a 6 horas

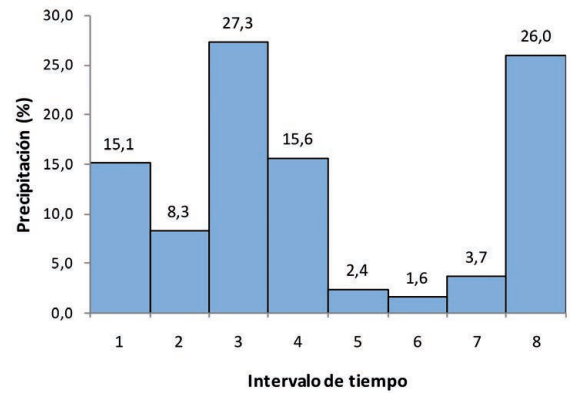


Tabla 13. Hietogramas de lluvia en mm para diferentes frecuencias generados a partir del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán y transpuestos hacia la cuenca del río Mocoties hasta Tovar

Hietograma 10 años (mm)	Hietograma 25 años (mm)	Hietograma 50 años (mm)	Hietograma 100 años (mm)	Hietograma 200 años (mm)
13,8	19,5	29,8	40,4	57,8
7,6	10,7	16,4	22,2	31,7
24,9	35,3	53,8	73,1	104,4
14,2	20,2	30,8	41,8	59,7
2,2	3,1	4,7	6,4	9,2
1,5	2,1	3,2	4,3	6,1
3,4	4,8	7,3	9,9	14,2
23,7	33,7	51,3	69,6	99,5

Tabla 14. Hietogramas de lluvia en mm para diferentes frecuencias generados a partir del evento ocurrido entre el 08/02 - 10/02/2005, en la cuenca de San José de Galipán y transpuestos hacia la cuenca del río Mocoties hasta Santa Cruz de Mora

Hietograma 10 años (mm)	Hietograma 25 años (mm)	Hietograma 50 años (mm)	Hietograma 100 años (mm)	Hietograma 200 años (mm)
12,9	18,2	27,8	37,7	53,9
7,1	10,0	15,3	20,7	29,6
23,2	33,0	50,2	68,2	97,4
13,3	18,8	28,7	39,0	55,7
2,0	2,9	4,4	6,0	8,6
1,4	1,9	2,9	4,0	5,7
3,1	4,5	6,8	9,2	13,2
22,1	31,4	47,8	65,0	92,8



7.4. SECTORES MÁS AFECTADOS DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOMORFOLÓGICO CON ÉNFASIS EN EL EVENTO DEL 11/02/2005.

(i) Avenida perimetral de Tovar:

El comportamiento geomorfológico seguido por el río Mocotíes en la avenida perimetral de Tovar, donde se concentraron los mayores niveles de daños sobre las viviendas y la vialidad (figuras 15 y 16), es ampliamente discutido por Ferrer (2005) Dugarte y Ferrer (2007 a y b); Dugarte *et al.*, (2014); lo cuales señalan que luego de su bifurcación con la quebrada San Francisco, el Mocotíes entalla profundamente los sedimentos del Cuaternario específicamente en el sector la Galera y logra cortar las rocas del basamento (en este caso filitas de la asociación Mucuchachí) en las cercanías del sector La Vega. Esta situación produce una estrecha garganta, con la consecuente acumulación de sedimentos, lo que facilita el explayamiento de los materiales aguas abajo (figura 16). “Se puede pensar que el curso del río Mocotíes tendió a comportarse localmente, bajo una conducta muy semejante a la dinámica de un abanico de detritos. Esta hipótesis podría explicar, parcialmente, los niveles de destrucción en el sitio. Los daños generados se debieron tanto a la socavación lateral como a la salida parcial del agua, sedimentos y escombros del cauce del río” (Dugarte *et al.*, 2014.

En Prensa). Es importante señalar que precisamente en este sector de La Vega, se simularon en este trabajo una parte de los caudales máximos del río Mocotíes.

Figura 15. La elipse segmentada en color amarillo muestra una de los tramos impactados por el río Mocotíes durante el evento de febrero de 2005, en parte del sector la Vega. Nótese además los daños sobre la vialidad (en flechas color negro). Imagen cortesía de la Guardia Nacional Bolivariana y la Aviación Militar Bolivariana, pertenecientes al vuelo en helicóptero del 16/02/2005)



Figura 18. (a y b) Detalles sobre los daños generados por el río Mocotíes en el evento del 11/02/2005, tanto en el sector Loma de la Virgen, como (c y d) en la avenida perimetral de Tovar, metros abajo del Gimnasio Monseñor Pulido Méndez. Fuente: Imágenes cortesía de Ovalles (2005)



(a)



(b)



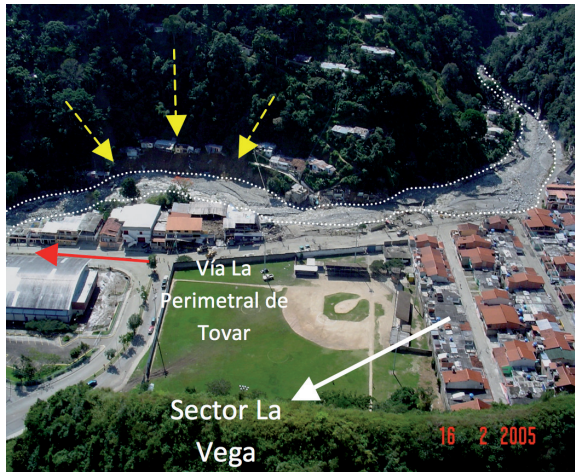
(c)



(d)



Figura 16. Estas imágenes tomadas de Dugarte et al. (2014) y cortesía de la Guardia Nacional Bolivariana y la Aviación Militar Bolivariana, pertenecientes al vuelo en helicóptero del 16/02/2005, muestran: (a) una parte del sector la Vega de Tovar; donde se indica con flechas amarillas los fuertes procesos de erosión lateral, del río Mocotíes en una sección que fue ampliamente afectada por el evento del 11 de febrero del 2005. (b) en la elipse de color blanco se observa la estrecha garganta con el consecuente depósito demarcado con líneas segmentadas de color amarillo y cuyos efectos geomorfológicos se traducen en una retención de materiales, posibles represamientos, posterior reducción de la pendiente y explayamiento de los materiales aguas abajo.



(a)

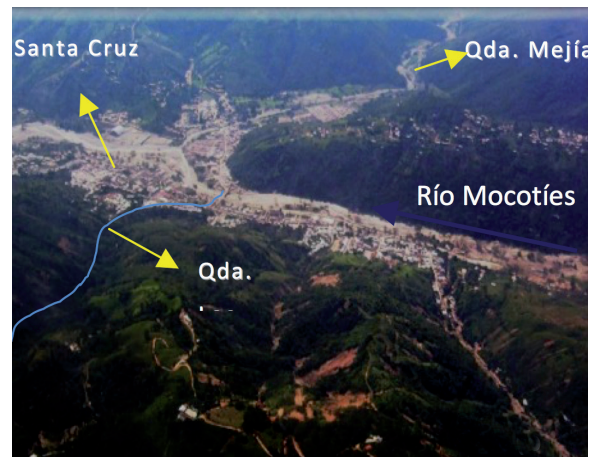


(b)

Figura 17. (a) En este sitio se concentraron la mayor cantidad de víctimas fatales, especialmente en el Terminal de Pasajeros; se debe recordar que la mayoría de los autobuses y vehículos se encontraban allí refugiándose ya que se había suspendido el paso vehicular y (b) según testigos presenciales y tal como indicaban las evidencias geomorfológicas en su momento, la quebrada Los Cedros obtuvo parcialmente al río Mocotíes, lo que a su vez contribuyó con su desbordamiento. Imágenes tomadas de Dugarte et al. (2014).



(a)



(b)

(ii) Sector comprendido entre Santa Cruz de Mora y Puente Victoria

Tal y como se había adelantado en páginas precedentes, una de las secciones más afectadas durante el evento del 11/02/2005, fue sin duda alguna el sector ocupado por el fondo del valle del Mocotíes en Santa Cruz de Mora. Precisamente en este sector en la desembocadura de la quebrada Los Cedros con el río Mocotíes se generó, en el evento de febrero de 2005, un represamiento y desvío del curso en dirección al sector El Aserradero, al Termi-

nal de Pasajeros”...(figura 17)... “y hacia la quebrada Mejía. Esta dramática situación produjo la mayor cantidad de fatalidades durante la tormenta” (Dugarte et al., 2014). Se debe recordar que el cauce del río Mocotíes fue desviado de su curso original (Laffaille et al., 2005 a y b) para la construcción tanto del Terminal como de la vía perimetral Antonio Pinto Salinas (figura 18). Vale la pena subrayar el hecho de que los caudales máximos del río Mocotíes hasta Santa Cruz, se generaron justamente hasta el puente que conduce al sector Puerto Rico, al lado del sector el Aserradero (punto que será tratado más adelante).



Figura 19. Se muestran en este par de fotografías áreas de los años 1967 misión 010423 (a) y 1996 (b), como el cauce del río Mocotíes fue modificado de su curso original, a fin de poder construir la avenida perimetral de Santa Cruz y el antiguo Terminal de Pasajeros. En color azul se representa el trazado del río Mocotíes para el año 67, sobre la fotografía área del año 1996 correspondiente con la misión 010488, a escala 1:5.000



(a)



(b)

Fuente: Laffaille et al. (2005 a y b).

Según Páez (2010: 122), “hacia su margen izquierda, (la quebrada) Los Cedros se desbordó y afectó a un edificio de cuatro pisos de altura y a varios locales comerciales ubicados en los alrededores. Este drenaje tuvo la particularidad que justo donde se encuentra el sector Carmania parte baja”... “afectó por ambos flancos al mismo y a parte de la avenida Bolívar, acumulando en parte de la arteria vial, más de 2 m de sedimentos que permitían literalmente caminar sobre los techos de algunas casas”.

Por otra parte, no se puede dejar de un lado lo ocurrido en el sector Romero (en la vía que conduce hacia Tovar, en las afueras de Santa Cruz de Mora) donde el río Mocotíes se desbordó afectando a la mitad del sector tal, con el resultado de varias casas afectadas y completamente llenas de barro y otras destruidas (Lamas, 2005). Finalmente es importante resaltar la presencia de las formaciones Capacho (Mesozoico) y La Luna (Mesozoico) localizadas en las fuentes de suministro de las quebradas La Parada, El Diamante y El Barro al noreste de Santa Cruz de Mora, así como los esquistos de la asociación Tostós, los cuales definen el comportamiento de estos drenajes hasta Puente Victoria.

Los efectos reportados aguas abajo del río Mocotíes después de su confluencia con el Chama en la Zona Sur del Lago de Maracaibo (para el 11/02/2005) obviamente escapan a los objetivos planteados en este trabajo; en tanto que la cartografía de las manchas de inundación para los eventos de abril de 1969, abril - mayo de 1972, diciembre de 1975 - enero de 1976 y noviembre - diciembre de 2010, pueden ser consultadas en el trabajo del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2013).

7.5. GENERACIÓN DE HIDROGRAMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

La generación de hidrogramas para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 200 años se llevó a cabo a través del modelo de simulación hidrológica HEC - HMS, tomando en consideración los siguientes puntos de estimación de caudales: (i) río Mocotíes hasta Tovar a la altura del sector La Vega, y (ii) río Mocotíes hasta Santa Cruz de Mora (antes de la confluencia con la quebrada Mejía). La conceptualización para el primer punto de generación se muestra en la figura A (Anexo II en el trabajo original).

El sistema hidrológico del río Mocotíes hasta Tovar, modelado en el HEC - HMS se muestra en la figura 20, donde cada una de las subcuencas engloba los dos segmentos de escurrimiento, en este sentido y a manera de ejemplo, la subcuenca de la quebrada Las Tapias contiene los segmentos 101 y 102.

Los parámetros y características físicas relacionados a los segmentos de escurrimiento (vertientes) y escorrentía (cauces) del sistema perteneciente al río Mocotíes hasta Tovar, se muestran en la tabla A (Anexo II en el trabajo original).

Seguidamente se procedió a introducir dentro del modelo de simulación HEC - HMS, la información de cada elemento hidrológico, así como los hietogramas de diseño generados a través de la transposición de tormenta ocurrida en el Estado Vargas, mostrados en páginas precedentes. Estas transposiciones permitieron obtener finalmente los hidrogramas de crecidas correspondientes a diferentes periodos de retorno, en cada uno de los dos puntos de generación seleccionados. Se muestra a continuación (figura 21) el resultado para 100 años de periodo de retorno



Figura 20. Modelado de la cuenca del río Mocoties hasta Tovar, en el HEC - HMS.

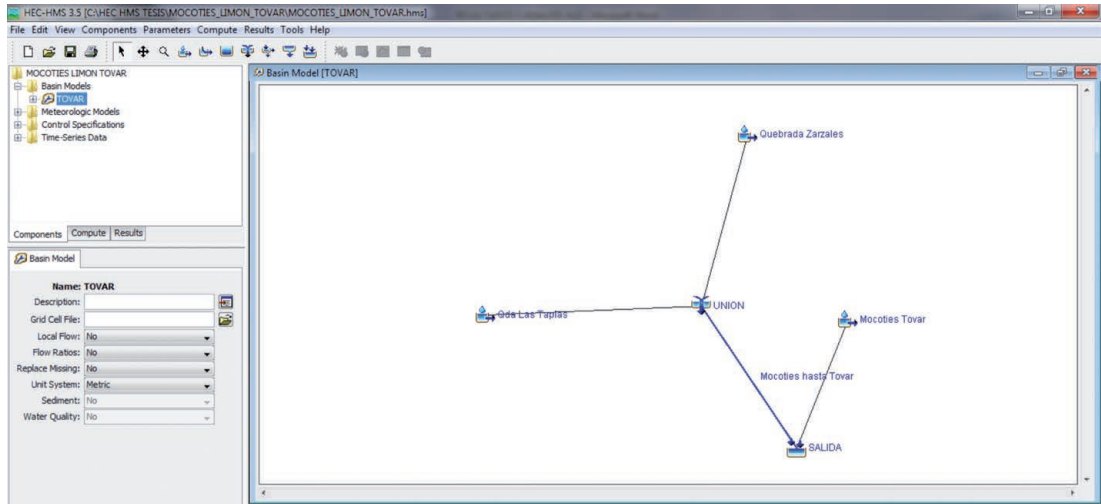


Figura 21. Hidrograma de crecida para 100 años de periodo de retorno, obtenido a partir de la transposición de la tormenta de Vargas, de febrero de 2005, para el río Mocoties hasta Tovar.

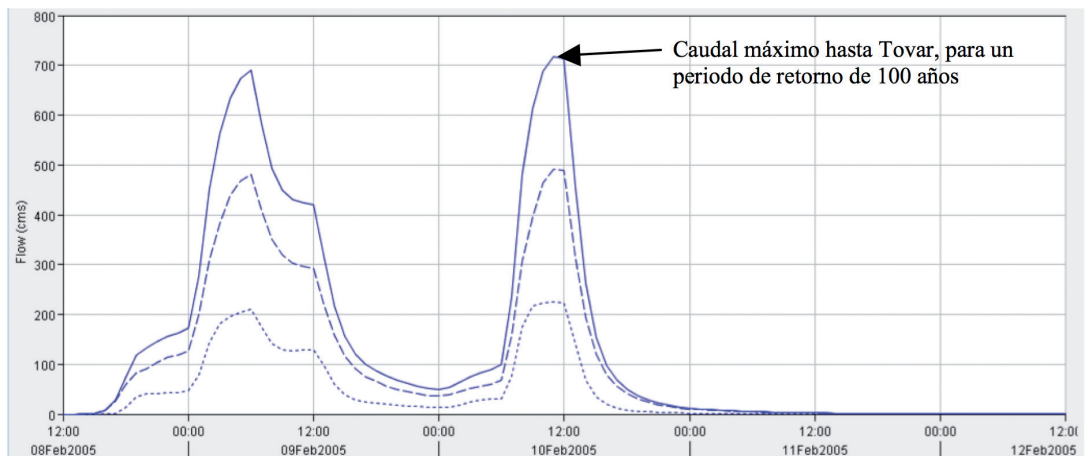


Figura 22. Modelado de la cuenca del río Mocoties hasta Santa Cruz de Mora, en el HEC - HMS.

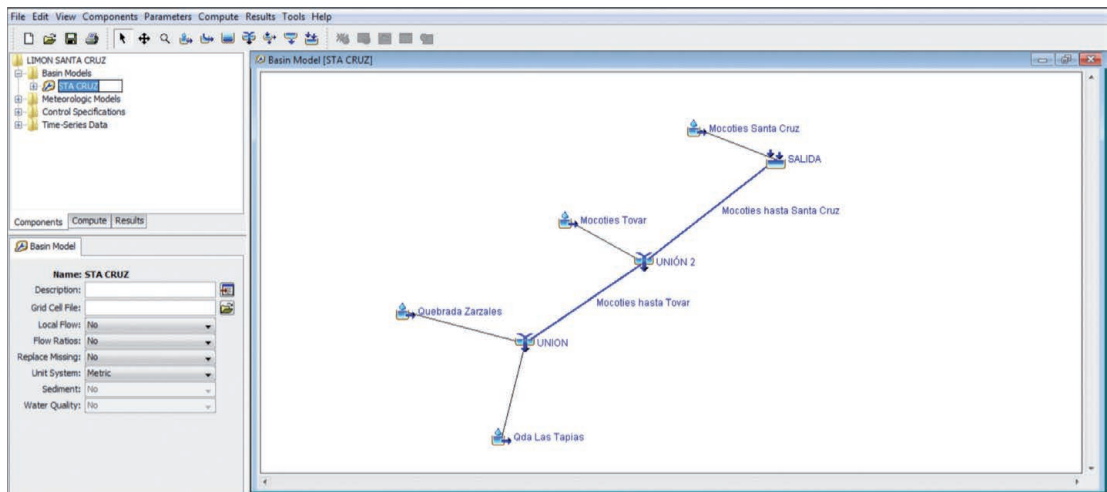




Figura 23. Hidrograma de crecida para 100 años de periodo de retorno, obtenido a partir de la transposición de la tormenta de Vargas, de febrero de 2005, para el río Mocotíes hasta Santa Cruz de Mora

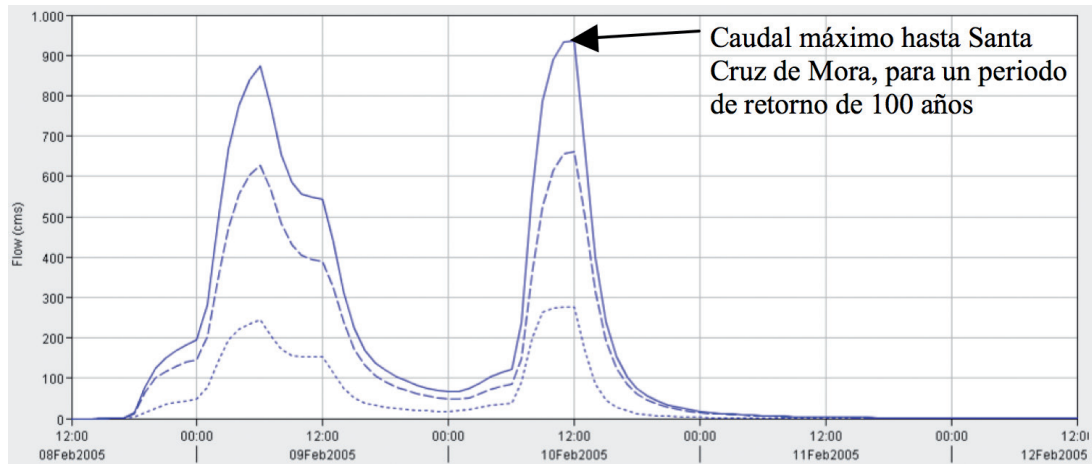


Tabla 15. Cuadro síntesis de estimación de caudales modelados con el HEC - HMS 3,5 para el río Mocotíes en Santa Cruz de Mora y Tovar

Punto de Generación	Caudales máximos (m ³ /s) para diferentes periodos de retorno obtenidos a partir de la transposición de la tormenta de Vargas				
	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años
Río Mocotíes hasta Tovar	189,6	309,5	512,3	716,5	1051,8
Río Mocotíes hasta Santa Cruz de Mora	226,6	387,3	659,8	937,0	1384,0

Nota: La cuenca del río Mocotíes hasta Santa Cruz de Mora en el sitio del puente que conduce al sector de Puerto Rico (antes de la confluencia con la quebrada Mejía) posee una superficie de 334,8 km² y hasta Tovar en el sector La Vega (al inicio de la avenida perimetral) presenta un área de 234,2 km². En ambos sitios fueron estimados los caudales picos del cuadro 5.29.

En este mismo orden de ideas y manteniendo el orden lógico del procedimiento expuesto para la subcuenca del río Mocotíes hasta Tovar, se presentan en la figura 22, así como en la figura B y la tabla B del Anexo II en el trabajo original, la información relacionada con el sistema hidrológico del río Mocotíes hasta Santa Cruz de Mora, así como los resultados obtenidos de la simulación para 100 años de periodo de retorno (figura 23 y tabla 15).

Es importante señalar, que en la simulación aquí elaborada, no se disponen de registros históricos de caudal que permitan una calibración del modelo. Un buen ejemplo de estudios hidrológicos realizados de la misma manera pueden encontrarse en: CIEPA (2013 a y b), SLZ (2011, 2012) y Onuñuel *et al.* (2010).

7.6. DISTRIBUCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE AMENAZAS POR CRECIDAS EN LOS SITIOS DE INTERÉS

Aspectos hidráulicos

Luego de estimar los caudales máximos en los sitios de interés ubicados en la perimetral de Tovar y en la avenida Antonio Pinto Salinas de Santa Cruz de Mora, se procedió a cartografiar las diferentes manchas de crecidas para periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 200 años en ambas localidades, a través del uso del modelo hidráulico HEC - RAS 4.1, en conjunto con el HEC - GeoRAS 4.2.93 y el ArcGis 9.3.

Manchas de crecidas y niveles de peligrosidad o amenaza para la sección de Tovar

Cada una de las crecientes generadas para los distintos periodos de retorno, fueron cuidadosamente llevadas a su expresión cartográfica, tomando en cuenta además las particularidades geomorfológicas de cada sección en estudio; todo lo cual permitió definir los niveles de amenazas o peligrosidad por crecidas, que se explican a continuación en la tabla 16, y figuras 24 y 25. Ejemplos de cartografías elaboradas mediante criterios hidrogeomorfológicos se encuentran en López (2010), Ferrer y Laffaille (2004), y Basabe *et al.* (2001).



Tabla 16. Niveles de peligrosidad o amenaza por crecidas del río Mocotíes, para la sección de Tovar

Nivel de Peligrosidad o Amenaza	Comentarios - Observaciones
Muy bajo	<p>El nivel de amenaza o peligrosidad muy bajo (color verde de la figura 25), se asocia con manchas de crecidas que ocupan prácticamente todo el cauce excepcional del río Mocotíes en el fondo del valle, y cuya probabilidad de desbordes es de tan sólo 0,5% equivalente a un periodo de retorno de 200 años, dicho nivel presenta una extensión de 33,5 Ha.</p> <p>Las áreas que se encuentran dentro de este grado o nivel de peligrosidad se corresponden con: 1) buena parte del sector la Vega con distancias que varían entre 50 y 130 metros, medidos desde el eje del río, 2) unos 400 metros aguas abajo del Gimnasio Monseñor Pulido Méndez y hasta la cota 905 aproximadamente, donde el río podría desbordarse a una distancia de 70 - 140 metros desde el cauce de Mocotíes y hacia su margen izquierda, 3) a partir de la sede de los Bomberos de Tovar (estación de Bomberos N° 3, General Francisco Picón González, cota 879 m.s.n.m) el río Mocotíes se puede explayar en tal medida que incluso alcanzaría el límite de los abanicos aluviales coalescentes del Pleistoceno Tardío, sobre los cuales se asienta la ciudad de Tovar. Un análisis de las fotografías áreas correspondientes con las misiones 010411, 010429 de los años 1964, 1967 a escalas 1:7.800 y 1:5.000 respectivamente (figura 24), permiten observar en estas áreas, procesos variados y complejos de 'meandrización', incluso con morfologías o patrones anastomosados de antiguos cauces del río Mocotíes, lo que indica importantes condiciones de desequilibrio. Este nivel se corresponde con una zona de sensibilización, orientada a proveer de información a las comunidades del área, en relación con las posibilidades de desbordes del río Mocotíes.</p>
Bajo	<p>De acuerdo con los resultados del modelado hidráulico y los criterios geomorfológicos utilizados, el nivel muy bajo de peligrosidad por crecidas, denotado con el color amarillo de la figura 25, ocupa distancias máximas de 130 metros medidas desde el cauce del río Mocotíes hacia su margen izquierda, con una superficie total de la mancha de 26,1 Ha. Igualmente existen en esta categoría evidencias geomorfológicas de antiguos patrones anastomosados del río Mocotíes y de paleocauces (entre las cotas 865 - 895 m.s.n.m), aunque en menor proporción, en relación con las amenazas muy bajas.</p> <p>Los desbordes de este nivel se corresponden con periodos de retorno de 100 años (0 1% de probabilidades de sufrir una crecida en cualquier año), los cuales pueden afectar al sector la Vega en las cotas 920 - 934 m.s.n.m y entre 35 - 95 metros de distancia al cauce; así como un tramo de longitud igual a 400 metros correspondiente a los dos canales de la avenida perimetral de Tovar desde las cotas 899 - 918 m.s.n.m. Al igual que en el nivel muy bajo, las áreas localizadas dentro de este grado de amenaza, se pueden categorizar como zonas de sensibilización.</p>
Moderado	<p>Al representar las estimaciones de caudales máximos en la figura 25, se observa que, para periodos de retorno de 50 años (los cuales se asocian con esta categoría) la mancha de crecida en color naranja, se extiende a partir del eje del río entre unos 10 y 123 metros hacia su margen izquierda.</p> <p>Este grado de amenaza se ubica igualmente en el sector La Vega y sobre la vía perimetral de Tovar desde la cota 900 y 915 m.s.n.m en una progresiva continua de unos 280 metros desde este punto. Este último sector coincide en gran medida con las áreas de desborde del evento de febrero de 2005 y ocupa una extensión de 20,8 hectáreas. Las áreas que se encuentran en el nivel moderado se pueden categorizar dentro de una zona de reglamentación, donde se deben establecer criterios y políticas que permitan regular los procesos de ocupación del territorio.</p>
Alto	<p>Las condiciones geomorfológicas e hidrológicas de estas áreas ofrecen un alto grado o nivel de amenaza relacionado con desbordes, que poseen un periodo de retorno de 25 años (franja delineada en color rojo, en la figura 25) en una superficie de 14,7 Ha. La distancia desde el cauce del Mocotíes hasta el límite de este nivel, va desde 5 hasta 75 metros aproximadamente, y ocupa las cotas 919 y 930 m.s.n.m en parte del sector la Vega de Tovar, mientras que en su margen derecha involucra las cotas comprendidas entre los 860 y 926 m.s.n.m en el sector de Loma de la Virgen. Se trata de unidades caracterizadas también por condiciones físicas restrictivas, con una alta susceptibilidad a la generación de procesos de socavación lateral. No se recomienda la construcción de ningún tipo de infraestructura en este nivel, considerado de prohibición.</p>
Muy Alto	<p>Las áreas de muy alto nivel de amenaza en color morado presentan una extensión de 11,2 Ha y se caracterizan por poseer condiciones altamente restrictivas en cuanto a la ocupación y uso, tanto desde el punto geológico - geomorfológico como hidrológico. Los desbordes del río Mocotíes se asocian en este caso con un intervalo de recurrencia de 10 años, ocupando áreas con distancias al cauce menores a 10 metros. A partir de la cota 880 m.s.n.m., metros abajo de la sede de PDVAL, este nivel de amenaza se amplía notablemente, pudiendo ocasionar desbordes frecuentes del Mocotíes hacia su margen izquierda y afectando toda la base de la denominada Loma de la Virgen ubicada hacia su margen derecha. Se trata entonces de unidades territoriales cuya intervención para actividades de ocupación deberían quedar absolutamente prohibidas.</p>



Figura 24. Patrones anastomosados del río Mocotíes en Tovar. En ambas fotografías aéreas demarcadas con la elipse de color amarillo: (a) misión 010411 a escala 1:7.800 del año 1964, y (b) misión 010429 a escala 1:5.000 del año 1967; se muestra un patrón de drenaje con alta tendencia a generar meandros, incluso al anastomosamiento; lo que indica que existen condiciones importantes de desequilibrio en esta sección de la perimetral de Tovar

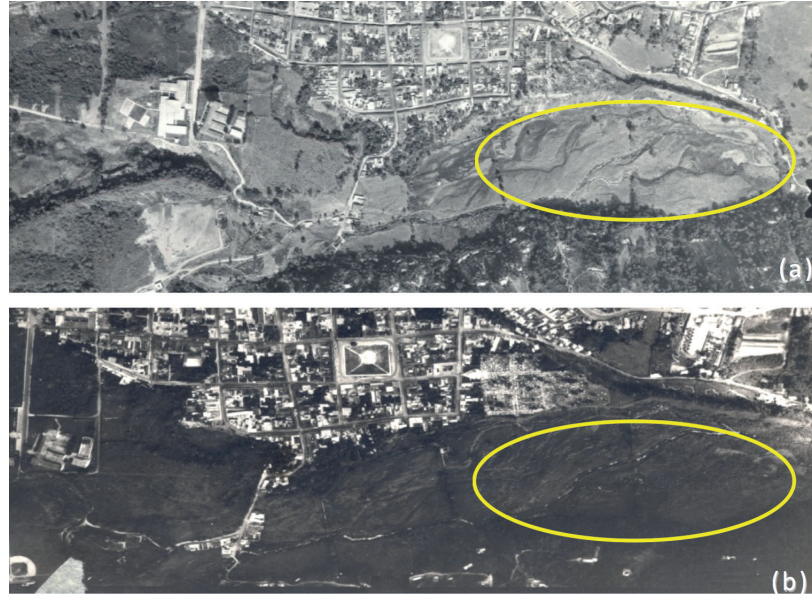
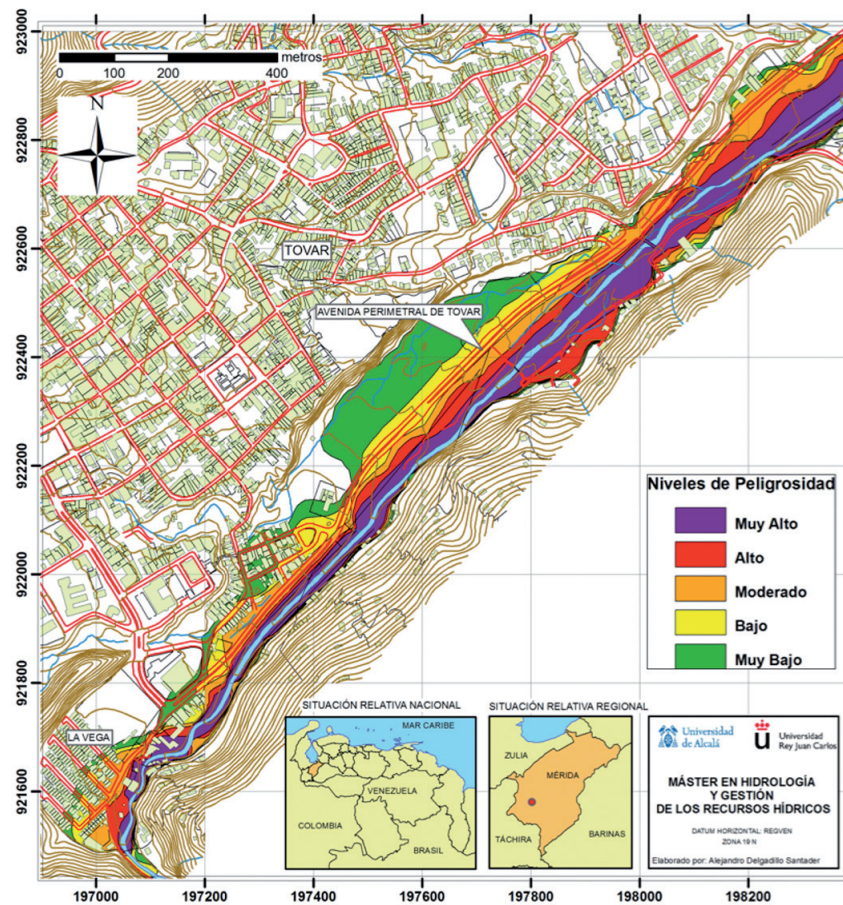


Figura 25. Niveles de peligrosidad o amenaza por crecidas del río Mocotíes en Tovar, expresados en términos cualitativos: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto





Manchas de crecidas y niveles de peligrosidad o amenaza para la sección de Santa Cruz de Mora

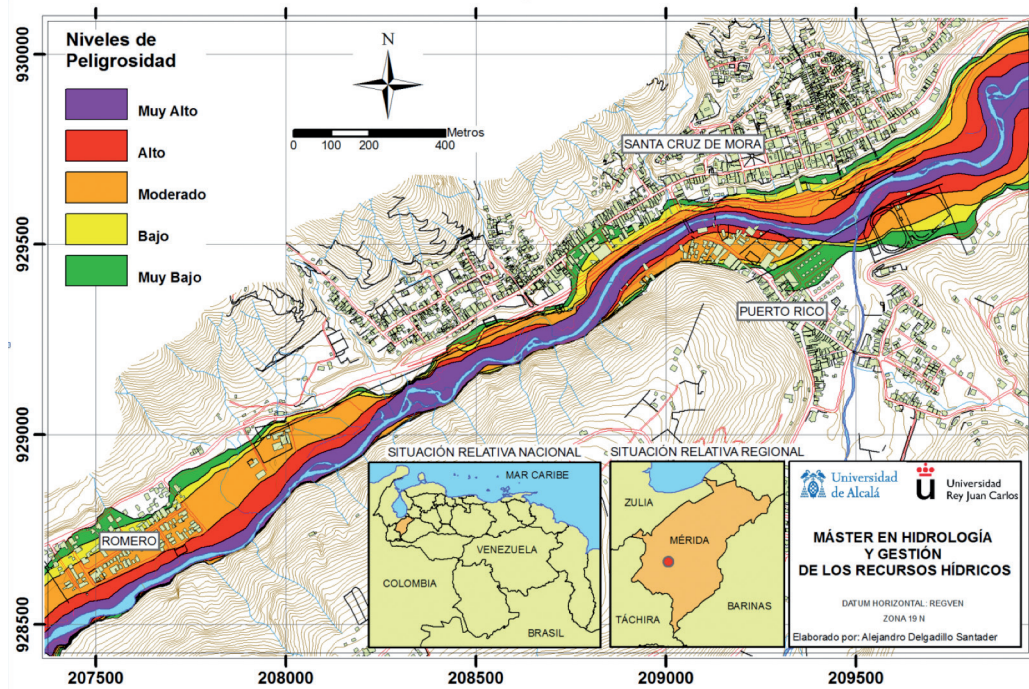
Para el caso de Santa Cruz de Mora, los resultados se muestran en la tabla 17 y la figura 26.

Tabla 17. Niveles de peligrosidad o amenaza por crecidas del río Mocotíes, para la sección de Santa Cruz de Mora

Nivel de Peligrosidad o Amenaza	Comentarios - observaciones
Muy bajo	<p>Las zonas calificadas dentro de este nivel de amenaza presentan un 0,5% de posibilidades de sufrir una crecida en cualquier año ($T_r = 200$ años, figura 26), y ocupan un área de 61,5 Ha. Desde el punto de vista geomorfológico, los espacios inundables corresponden a unidades de lecho mayor y pudieran ocupar más de un 90% de la superficie del sector Romero, así como una parte considerable del sector Puerto Rico (con distancias al cauce de incluso 135 metros), en la conocida Urbanización Santa María. Dicho urbanismo también es altamente susceptible a ser afectado por los desbordes de la quebrada Mejía, (se debe señalar que las manchas de crecidas del mencionado dren no fueron modeladas con el HEC - HMS, debido a que tal objetivo quedaba fuera de los alcances de este trabajo; de allí que fueron empleados los caudales estimados por Delgadillo y Páez (2008) para esta quebrada a los efectos de cartografiar los niveles de amenazas por crecidas en toda esta sección del fondo del valle)</p> <p>Buena parte de los sectores San José y El Arenal (antes del puente que conduce al sector Puerto Rico) pueden resultar seriamente afectados con crecientes de 200 años de retorno. Problemas relacionados con la formación y posterior ruptura de embalses naturales atribuidas a un origen sísmico, bien pueden ocurrir dentro de la frecuencia de ocurrencia de las crecidas correspondientes a este nivel.</p>
Bajo	<p>Los resultados de la modelización hidráulica llevados a su expresión cartográfica y sustentados con los análisis geomorfológicos, indican que las áreas ubicadas dentro de un nivel de amenaza ó peligrosidad bajo (demarcadas con color amarillo en la figura 26), son sensibles de ser afectadas por una probabilidad de ocurrencia de crecidas de 0,01 en una extensión de 53,5 Ha. Las distancias medidas desde el cauce del río Mocotíes a los límites de esta categoría alcanzan como máximo los 215 metros aproximadamente.</p> <p>Al igual que en el nivel anterior, los sectores Romero, San José y el Arenal pueden verse amenazados por desbordes del Mocotíes con intervalos de recurrencia de 100 años, sin dejar de un lado la afectación que alcanzarían las crecidas centenarias, sobre gran parte de la avenida Antonio Pinto Salinas, desde la confluencia de la quebrada Los Cedros con el Mocotíes y hasta 1 kilómetro aguas abajo.</p>
Moderado	<p>Los problemas aquí parecen menores, sin embargo las crecidas cincuentenarias representativas de este grado y mapeadas con un color naranja en la figura 26, pudieran afectar por completo a las últimas dos calles de la urbanización Romero, y a todo el sitio ocupado por el antiguo terminal de pasajeros de Santa Cruz de Mora (tal y como sucedió en el evento del 11/02/2005), así como a una gran parte de los estadios pertenecientes al Polideportivo "Simón Bolívar".</p> <p>Las posibilidades de represamientos causados por lluvias concentradas, obstrucciones artificiales y naturales son capaces de intensificar los efectos de las crecientes que se ubican en este grado. La distancia al cauce donde pudieran haber daños a la infraestructura del sector, varía entre 15 - 160 metros y el nivel ocupa una superficie de 46,2 Ha. Toda la franja asociada con este nivel se corresponde con una zona de reglamentación, donde se hace necesario regular la asignación de usos de la tierra que conlleven a la dotación de infraestructura conforme a los lineamientos que establece la Ley de Aguas (2007) de la República Bolivariana de Venezuela.</p>
Alto	<p>Las áreas de bajo nivel de amenaza o peligrosidad cartografiadas en color rojo (figura 26), están conformadas fundamentalmente por unidades sensibles de ser afectadas por crecientes con un periodo de retorno de 25 años. El río Mocotíes, al desbordarse puede abarcar una superficie total de 27,8 Ha; con longitudes de incluso 40 y 50 metros en los sectores Romero y Puerto Rico respectivamente. Otros sectores propensos a ser impactados por avenidas de 25 años se corresponden igualmente con los estadios de beisbol y futbol del Polideportivo "Simón Bolívar" de Santa Cruz de Mora. La ocurrencia de crecidas en las quebradas locales pueden afectar el comportamiento del río Mocotíes dentro de estas zonas consideradas de prohibición para la localización de nuevas infraestructuras. Una buena proporción del sector El Aserradero, ubicado en la margen derecha del Mocotíes y fuertemente afectado por el evento del 2005, se ubica dentro de este nivel de amenaza.</p>
Muy Alto	<p>El carácter altamente torrencial del río Mocotíes y sus probabilidades de ocurrencia de crecidas para periodos de retorno de 10 años, encuentran en este nivel, unidades cuya prohibición y alerta son evidentes. Se definen aquí las siguientes limitantes: (i) restricciones por fuertes procesos de socavación lateral y una dinámica muy activa del río Mocotíes, (ii) limitantes asociadas con evidencias de mantos freáticos altos y cercanías al cauce en distancias de no superan los 55 metros, y (iii) una dinámica geomorfológica extremadamente activa, expresada por un transporte de sólidos de volúmenes apreciables en todo este sector, además de los peligros relacionados con represamientos naturales aguas arriba, especialmente en el tramo comprendido entre la confluencia de las quebradas San Rafael, Tabacal, Romero y Los Cedros, con el Mocotíes. Las zonas calificadas dentro de este nivel, ocupan una extensión de 17,2 Ha, y se identifican con color morado en la figura 26.</p>



Figura 26. Niveles de peligrosidad o amenaza por crecidas del río Mocotíes en Santa Cruz de Mora, expresados en términos cualitativos: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto



8. CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

En la revisión documental elaborada en este trabajo a manera de inventario, se reportan un total de 39 eventos en el área de estudio, los cuales fueron clasificados según el tipo de amenaza: Hidrometeorológica (Hm), sísmica (S), hidrológica (H) y geomorfológica (G). Del total de casos un 79,5% poseen un origen relacionado con lluvias inusuales que a su vez generaron consecuencias hidrológicas y geomorfológicas, mientras que el otro 20,5% restante obedecen bien a causas sísmicas o poseen un origen geomorfológico.

A manera de síntesis y en relación con los eventos más importantes recopilados en el inventario de crecidas históricas y antiguos movimientos de masa, resulta interesante destacar: la obstrucción del río Mocotíes, formación de una laguna como consecuencia del alud producido por el sismo de 1610 y su posterior ola descarga; cuyo caudal debió haber sido canalizado a lo largo del cauce del río, en el sitio ocupado hoy en día por la vía perimetral de Tovar. Del mismo modo destacan: la crecida del año 1910 cuyos efectos, si bien se circunscribieron más a Tovar y La Playa, guardaron cierta similitud con evento del 11/02/2005 (aunque la información relacionada con este ejemplo de caso, es bastante escasa y dispersa); además de las lluvias del 16 al 25/02/1951, las cuales afectaron al igual que en febrero de 2005 a gran parte del área de estudio, desencadenando avenidas y procesos geomorfológicos que causaron serias pérdidas a la población y sus bienes en diferentes sectores de la cuenca.

El fenómeno meteorológico ocurrido en febrero de 2005, obedeció en esencia a la llegada a Venezuela de tres olas de restos de frentes fríos provenientes del hemisferio norte, los cuales al colisionar con la Zona de Convergencia Intertropical, generaron una gran inestabilidad atmosférica relacionada con lluvias de gran magnitud, que afectaron no sólo a los Andes occidentales venezolanos, sino también a los estados Zulia, Falcón, Aragua, Carabobo y Vargas, además de varios municipios del Departamento de Santander en Colombia.

Para el caso de la cuenca del Mocotíes el fenómeno natural del 11/02/2005, puede ser catalogado tanto por la magnitud, número de víctimas (según cifras oficiales 41 fallecidos con 63 desaparecidos) y consecuencias socioeconómicas como una de las peores tragedias documentadas que han ocurrido en el área; sin embargo y a partir de los resultados expuestos en este trabajo, incluida la compilación de ideas y posturas de diferentes autores, se puede señalar que la ocurrencia de los procesos hidrológicos de transferencia relacionados con crecientes y movimientos de masa que afectaron a la cuenca en febrero de 2005, tienen un periodo de retorno mucho menor a los 100 años y se presentan más bien con una magnitud moderada.

Se pudo trasponer el evento de lluvias ocurrido en la cuenca de San José de Galipán, en el estado Vargas - Venezuela, entre los días 08/12/2005 al 10/02/2005, hacia la cuenca del Mocotíes debido a que este fenómeno meteorológico a escala regional, fue el mismo que afectó al área de estudio.

Los mayores impactos para el 11/02/2005 derivados del comportamiento del río Mocotíes, se concentraron precisamente en dos secciones específicas, las cuales se constituyeron en el



numen de este trabajo: (i) avenida perimetral de Tovar con la destrucción de numerosas viviendas y efectos sobre la vía, y (ii) avenida Antonio Pinto Salinas, particularmente en el sitio ocupado por el antiguo terminal de pasajeros, donde desafortunadamente ocurrieron la mayor cantidad de fatalidades y de daños materiales.

Al aplicar el modelo de simulación hidrológica HEC - HMS 3.5 (a través de la onda cinemática para el tránsito de los caudales y del 'CN' para el cálculo de la lluvia efectiva) se estimaron distintos valores de gastos máximos para frecuencias de 10, 25, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, en los sitios de interés seleccionados: (1) río Mocotíes al inicio de la vía Perimetral de Tovar a la altura del sector La Vega, y (2) río Mocotíes en Santa Cruz de Mora (antes de la confluencia con la quebrada Mejía). Los caudales punta, aplicando la transposición de la tormenta ocurrida en San José de Galipán muestran valores de: $Q_{10} = 189,6 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{25} = 309,5 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{50} = 512,3 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{100} = 716,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{200} = 1051,8 \text{ m}^3/\text{s}$, para el caso de Tovar, mientras que las estimaciones del río Mocotíes hasta Santa Cruz de Mora reflejan unas descargas pico de: $Q_{10} = 226,6 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{25} = 387,3 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{50} = 659,8 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{100} = 937,0 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{200} = 1384,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Luego de estimar los caudales picos en los sitios de interés seleccionados se procedió a cartografiar las diferentes manchas de crecidas para frecuencias de 10, 25, 50, 100 y 200 años, mediante el uso del modelo hidráulico HEC - RAS 4.1, en conjunto con el HEC - GeoRAS 4.2.93 y el ArcGis 9.3.

En el 'mapeo' de las crecientes para diferentes frecuencias se emplearon además criterios geomorfológicos, todo lo cual permitió establecer los niveles diferentes grados o niveles de amenazas o peligrosidad por crecidas: bajo, muy bajo, moderado, alto y muy alto, tanto en la vía perimetral de Tovar como en Santa Cruz de Mora, cuyos análisis se encuentran bien explícitos en el capítulo V.

A partir del análisis y discusión de los diferentes resultados obtenidos en este Trabajo de Fin de Máster, se establecieron las siguientes recomendaciones:

8.2. RECOMENDACIONES

Instalación de Estaciones

- Se recomienda realizar todas las gestiones posibles ante el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) de Venezuela, para instalar una nueva estación hidrométrica automática sobre el río Mocotíes a la altura de la Hacienda La Victoria, la cual debe ir acompañada de la curva altura - caudal y de su respectiva evaluación hidrológica a nivel de factibilidad. Se debe recordar que la antigua estación pluviográfica "Puente Victoria", sólo registró niveles de caudales medios diarios para los años 1968 y 1969.
- Se hace necesario continuar con las mediciones de la antigua red de pluviógrafos, a través de la instalación de nuevas estaciones hidrometeorológicas automáticas, equipadas con pluviómetros digitales.

Elaboración de trabajos y estudios específicos

- En base a la dinámica fluvial compleja del río Mocotíes en los casos específicos de las localidades de Tovar y Santa Cruz de Mora, luce prudente sugerir la elaboración de un estudio geomorfológico de detalle, en el que se evalúen: (i) las formas, procesos y problemas de estabilidad de estas secciones del río a escala de detalle, con su respectiva representación cartográfica, (ii) los posibles cambios en la dirección del cauce, (iii) definir sitios especialmente críticos desde el punto de vista geomorfológico, en cuanto a desbordes y procesos de socavación lateral, así como (iv) elaborar un sistema de zonificación que racionalice la ocupación de estas delicadas áreas del fondo del valle.
- Programar y llevar a cabo la toma de muestras para futuros análisis granulométricos de los sedimentos que transporta el río Mocotíes, esta información permitirá llevar a cabo: estimaciones de caudal sólido, así como estudios de socavación y análisis de estabilidad de cauces desde el punto de vista hidráulico.
- Elaborar un trabajo específico donde se estime la erosión media de la cuenca del Mocotíes usando la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE), y se calcule la producción de sedimentos para eventos individuales de lluvia empleando la MUSLE (ó USLE modificada) en los sitios de interés.
- Realizar estudios dirigidos a evaluar los niveles de vulnerabilidad, con énfasis en: las tipologías constructivas, ubicación de líneas vitales, percepción del riesgo, densidad de población, planes de emergencia, entre otros.

Medidas estructurales

- Se sugiere realizar el diseño de obras de protección de márgenes en los tramos del cauce donde el flujo de los caudales máximos producen erosión y arrastre de sedimentos, ocasionando la afectación de los terrenos que sirven de fundación a numerosas viviendas y algunos sectores de vialidad, que se encuentran ubicadas en zonas muy cercanas al lecho del río.
- En este contexto se recomienda la colocación de diques longitudinales (o marginales, según sea el caso), para proteger las siguientes zonas consideradas especialmente críticas: (i) el sector Romero (en la salida de Santa Cruz, hacia Tovar), (ii) el sector ocupado por el antiguo terminal de pasajeros de Santa Cruz de Mora, y (iii) el sector La Vega de Tovar.

Medidas no estructurales

- *Apoyo a los planes existentes:* Se requiere que los lineamientos de los planes de ordenación del territorio para los municipios Antonio Pinto Salinas y Tovar respectivamente elaborados en los años 2006 y 2008, sean retomados, mejorados y sancionados, para llevar a cabo muchas de las interesantes propuestas allí contenidas y basadas en la planificación adecuada de los usos de la tierra de estos municipios.
- *Componente Educación Ambiental:* La educación ambiental a nivel comunitario, puede incluir las más diversas y múlti-



ples aristas, en este caso particular se recomienda: proveer de información a la población acerca de las amenazas por crecidas y movimientos de masa que pueden continuar afectando el área e insistir en la importancia que tiene la cultura preventiva, como parte indisoluble de la preparación y organización de las comunidades a los fines de su propia protección.

- **Limpieza de cauces:** Extraer los materiales depositados bajo el puente que conduce al sector Puerto Rico en la localidad de Santa Cruz de Mora, a fin de mantener libre el área de la sección.

9. REFERENCIAS CITADAS

- AGUIRRE-PE, J., BONGIORNO, F., MONCADA, A., ODREMAN, O., OLIVERO, M.L., RAMIREZ, M. 2003. *Desastres Causados por Aluviones de Barros y Escombros en los Sectores Santo Domingo y Pueblo Llano, el 3 de Junio de 2003*. Universidad de los Andes, Mérida - Venezuela, 58 p. Informe Técnico. (Inédito).
- AGENCIA EFE, 2011, 05 de agosto. *Cerca de 4.000 afectados dejan las lluvias en Venezuela*. Agencia EFE S.A. [On line] <http://www.google.com/hostednews/epa/article/AleqM5gNg6mAp5BDP8bVxGKtOybxMEWnug?docId=1582847>
- ALCALDÍA DEL MUNICIPIO RIVAS DÁVILA 2007. *Plan de ordenación del territorio del municipio Rivas Dávila 2007 - 2021*. En: Montes, R. (coord.). *Bailadores, estado Mérida-Venezuela*. 239 p. (Inédito).
- ANDRESSEN, R. 2001. Amenazas, riegos y vulnerabilidad de la ciudad de Mérida. *Foro: Vulnerabilidad y riesgos de la ciudad de Mérida*. 33 - 37. CORPOANDES. Mérida-Venezuela (15-16 de noviembre). Academia de Mérida. Publicación realizada en diciembre de 2006, por el Fondo Editorial "El Cobijo".
- APARICIO, F. 2011. **Fundamentos de hidrología de superficie**. Editorial Limusa S.A. Grupo Noriega Editores. México, D.F. 303 p.
- AUDEMARD, F. y SINGER, A. 2002. El alud torrencial del 6 de septiembre de 1987 en la cuenca del río Limón, el norte de Maracay, Venezuela septentrional. En: HULP, J y INBAR, M. (comp.). 385 - 408. **Desastres naturales en América Latina**. Fondo de Cultura Económica. Mexico, D.F
- AYALA-CARCEDO, F. y OLCINA, J. (eds.). 2002. **Riesgos naturales**. Ediciones Ariel Ciencia, S. A. Barcelona - España. 1512 p.
- AYALA, R.; PÁEZ, G. y ARAQUE, F. 2007. *Análisis geomorfológico de la microcuenca El Guayabal, a propósito de la ocurrencia de las lluvias excepcionales de febrero 2005. Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida Venezuela*. **Revista Geográfica Venezolana**. 48: (1) 59-82.
- BAKER, V. 1994. *Geomorphological understanding of floods*. **Geomorphology**. 10 (1): 139 - 156.
- BALLESTEROS, J.; SANCHES, M.; BODOQUE, J. y DIEZ, A. 2013. *An Integrated Approach to Flood Risk Management: A Case Study of Navaluenga (Central Spain)*. **Water Resources Management**. 27: 3051-3069.
- BASABE, P., NEUMANN, A., y SINGER, A. 2001. *Proyecto PREVENE (aporte a la prevención de desastres "naturales" en Venezuela)*. Cooperación: Venezuela-Suiza-PNUD (Proyecto VEN/00/005). Caracas - Venezuela. Informe final, 320 p. + Anexos.
- BONGIORNO, F.; GONZÁLEZ, L.; BELANDRÍA, N. y PÉREZ, R. 2010. *Análisis de vulnerabilidad y aspectos geológicos influyentes en los sucesos del año 2005 en el Valle del Mocotíes Estado Mérida*. **Revista Ciencias e Ingeniería**. 31 (2): 69-76.
- BRANDES, H. 2000. *The Venezuela flash floods and debris flows of 15 - 16 december 1999*. **Landslides News**. 13: 5 - 7.
- BRICEÑO, H. y FERRER, C. 1992. *El conflicto agrominero de Bailadores: Un intento de evaluar los impactos ambientales en una comunidad agrícola de los Andes venezolanos*. **Revista Geográfica Venezolana**. 33 (2): 189-228.
- CARRERO, J. 2012, 24 de abril. Otra vez el río Mocotíes en Tovar. *Diario Los Andes*. p. 6.
- CASTILLO, M. y CASTILLO, J. 1970. *Clasificación interpretativa de los suelos y condiciones del clima en la cuenca del Mocotíes, estado Mérida*. **Revista Geográfica Venezolana**. XI: (24 - 25) 55 - 67. (Publicada en 1974).
- CASTILLO, J.; SALAS, F.; TRUCIC, M. y MARANTE, R. 1972. *Estudio integral de la cuenca de los ríos Chama y Capazón - Subproyecto N°1 Suelos - Oficina de Publicaciones Geográficas*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. U.L.A. - Mérida. 130 p. (Inédito).
- CAMARASA, A. 2002. Crecidas e Inundaciones. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). *Riesgos naturales 859 - 877*. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- CHEN, Y.; XU, Y. y YIN, Y. 2009. *Impacts of land use change scenarios on storm - runoff generation in Xitiaoxi basin, China*. **Quaternary International**. Vol xxx. (1-8).
- CHOW, V.T 1956. *Hydrologic studies of flood in the United States*. **International Association Science Hydrological**. 42. 134 - 170.
- CHOW, V.T, MAIDMENT, D., y MAYS, L. 1994. **Hidrología aplicada**. McGraw Hill. Santa Fé de Bogotá. 584 p.
- CIIPA 2013a. *Estudio hidrológico - hidráulico terreno la Guaiquera*. Municipio Libertador del Estado Mérida. Asociación Cooperativa de Ingeniería para Estudios y Proyectos en Agua y Ambiente. Mérida - Venezuela. Informe final. 53 p. (Inédito).
- CIIPA 2013b. *Estudio hidrológico - hidráulico terreno Don Pepe Rojas*. El Vigía. Municipio Alberto Adriani del Estado Mérida. Asociación Cooperativa de Ingeniería para Estudios y Proyectos en Agua y Ambiente. Mérida - Venezuela. Informe final. 45 p. (Inédito).
- CORONA, V. y JAIMES, P. 2007. *Características hidrológicas y morfodinámicas de las microcuencas San Francisco y La Palma, afluentes del río Mocotíes*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 100 p. (Inédito).
- CORPORACIÓN DE LOS ANDES (CORPOANDES) 2008. *Plan de manejo y conservación de la subcuenca del río Mocotíes*. Ministerio del Poder Popular para la Planificación y Desarrollo. Mérida - Venezuela.
- CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (C.D.M.B.) y GEOTECNOLOGÍA LTDA 2005a. *Documento de diagnóstico amenazas de inundación y erosión en el río Oro*. Volumen 0: Introducción. En: Suárez J. (coord.). 32 p. [On line] <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/18-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html?download=220:219-tomoo-riodeoro-introduccion-resumen-ejecutivo>



- CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (C.D.M.B.) y GEOTECNOLOGÍA LTDA 2005b. *Documento de diagnóstico amenazas de inundación y erosión en el río Oro*. Volumen 2: Meteorología e información hidrológica. En: Suárez J. (coord.). 75p. [Online] <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/18-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html?download=224:223-tomo2-riodeoro-meteorologiaehidrologia>
- COURTEL, F.; LÓPEZ J.; GASCÓN, T. y FALCÓN, M. 2010. Umbrales críticos de lluvia para la generación de aludes torrenciales en Catia La Mar. En: López J. (ed.). **Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes Científico - tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos**. 325-343. Editorial Gráficas Lauki. Caracas-Venezuela.
- COURTEL, F.; LÓPEZ J. y GARCÍA, R. 2010. Mapeo de amenazas por inundaciones y aludes torrenciales: aplicación en el estado Vargas y en el Valle de Caracas. En: López J. (ed.). **Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes Científico - tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos**. 555-569. Editorial Gráficas Lauki. Caracas-Venezuela.
- DELGADILLO, A. y PAEZ, G. 2008. *Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo por crecidas*. En: Ferrer, C. y Dugarte, M. (coord.). Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocotíes. Mérida. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) - Fundación para la Prevención de los Riesgos del Estado Mérida (FUNDAPRIS). 73 p. (Inédito).
- DIEZ, H. 2002. Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados. En: Ayala - Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). **Riesgos naturales**. 921 - 952. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- DIEZ, A y PUJADAS, J. 2002. Mapas de riesgos de inundaciones. En: Ayala-Carcedo, F. y Olcina, J. (eds.). **Riesgos naturales**. 997 - 1012. Ediciones Ariel Ciencia. Barcelona - España.
- DOUROJEANNI, A; JOURALEV, A y CHÁVEZ, G. 2002. Gestión del Agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Serie recursos naturales e infraestructura. Publicaciones de las Naciones Unidas - Comunidad Económica para América Latina. Santiago de Chile 83 p.
- DUGARTE, M. 2002. *Evaluación de áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa en la cuenca del río Mocotíes del estado Mérida*. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Tesis de Magister Scientiae en Manejo de Cuencas Hidrográficas, 111 p.
- DUGARTE, M. y FERRER, C. 2007a. Tormenta de febrero 2005 en la cuenca del río Mocotíes (Andes merideños). Escenario de contrastes: El antes, durante y después. *Memorias del XI Encuentro de Geógrafos de América Latina*. 1-21. Bogotá-Colombia. (26 al 30 de marzo) (CD-ROM; Mesa 3. Los Retos Ambientales Hemisféricos, el Desarrollo Económico y la Sostenibilidad Ambiental).
- DUGARTE, M. y FERRER, C. 2007b. La geomorfología y su potencial como herramienta prospectiva ante los desastres naturales: Caso de la tormenta de febrero de 2005 en la cuenca del río Mocotíes. *IX Congreso Geológico Venezolano*, Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela (21-25 de octubre) (CD - ROM).
- DUGARTE, M., FERRER, C. y DELGADILLO, A. 2014. *Respuesta Hidrogeomórfica de una cuenca altamente asimétrica. La tormenta del año 2005 y su impacto en el río Mocotíes*. Mérida - Venezuela. **Revista Geográfica Venezolana**. (En Prensa).
- DURGA, K., RAO, V., DADHWAL, V., BEHERA, G. y SHARMA, J. 2011. *A Distributed Model for Real-Time Flood Forecasting in the Godavari Basin Using Space Inputs*. **International Journal of Disaster Risk Science**. Vol. 2, Issue 3. 31-40.
- DUQUE, R. 2006. Programa AJUSTEV3. Centro Interamericano de Investigación Ambiental
- DUQUE, R. 2010a. *Análisis de tormenta. Curvas Área-Profundidad-Duración. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. Curvas ka vs Área*. (Material de Enseñanza de Simulación Paramétrica). Maestría en Desarrollo de los Recursos Aguas y Tierras. Mención: Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 20 p.
- DUQUE, R. 2010b. *Relación precipitación - escorrentía*. (Material de Enseñanza de Simulación Paramétrica). Maestría en Desarrollo de los Recursos de Aguas y Tierras. Mención: Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. 12 p.
- DUQUE, R. y BARRIOS, A. 1987. *Actualización del estudio de las crecidas de la zona sur del Lago de Maracaibo, estado Zulia*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) y Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Tomos 1 y 2. Proyecto. 132 p. + Anexos. (Inédito).
- EL UNIVERSAL. 2010, 29 de diciembre. *Entregan viviendas a 280 familias damnificadas*. Secciones Nacional y Política.
- EUROPA PRESS, 2010, 29 de diciembre. En el norte de Venezuela el desbordamiento de dos ríos provocan la evacuación preventiva de 2.200 personas. Secciones Política de Venezuela. [On line] <http://www.europapress.es>
- FATTORELLI, S. y FERNÁNDEZ, P. (2007). *Diseño Hidrológico*. Zeta Editores. Mendoza, Argentina. 604 p. + Apéndices.
- FERRER, C. 2005. Impacto geomorfológico del evento ocurrido el 11 de febrero en el valle del Mocotíes y en la vía Mérida - Panamericana. *Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos*. Publicaciones de la Corporación de los Andes. 9 - 16. Mérida-Venezuela (4 de marzo).
- FERRER, C.; ARISMENDI, V.; MENDEZ, O.; CARRERO, J.; GUITIERREZ, C. y SULBARAN, P. 1970. Geomorfología de la cuenca del Mocotíes. Seminario de Geomorfología. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 42 p.
- FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 1998. *El alud sísmico de La Playa: Causas y efectos. El terremoto de Bailadores (1610)*. **Revista Geográfica Venezolana**. 39 (1 y 2): 23-86.
- FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2004. *Una aproximación al estudio de niveles de susceptibilidad en un barrio ubicado en la ciudad de Mérida - Venezuela*. **Revista Geográfica Venezolana**. 45 (1): 11-34.
- FERRER, C.; DUGARTE, M. y ROA, G. 2007. Fenómeno hidrometeorológico e impacto geomorfológico dejado por la tormenta del siete al trece de febrero de dos mil cinco, en la cuenca del río Mocotíes, Andes venezolanos. En: J. Muñoz (ed.). **Experiencias andinas**



en mitigación de riesgos geológicos. Publicación Geológica Multinacional, N° 5. 83 - 87. Programa Multinacional Andino (PMA:GCA). Santiago de Chile.

FERRER, C. y DUGARTE, M. 2008. Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocotíes. Mérida. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) - Fundación para la Prevención de los Riesgos del Estado Mérida (FUNDAPRIS). (Inédito).

FERRER, C. y DUGARTE, M. 2009. *Abanicos aluviales y conos de deyección, desde el punto de vista geomorfológico. Flujos de detritos. Represamientos y aludes sísmicos.* (Material de Enseñanza) Curso de actualización: "Zonificación de Riesgos de Inundación por Crecidas en Abanicos y Conos de Deyección de Deposición de Torrentes". Programa de Postgrado de Manejo de Cuencas hidrográficas. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 29 p.

FLORES, H.; GARCÍA, R.; LÓPEZ J.; SALCEDO, A. y NALEZZO, M. 2010. La cuenca experimental de San José de Galipán. En: López J. (ed.). **Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes Científico - tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos.** 161-176. Editorial Gráficas Lauki. Caracas-Venezuela.

GARCÍA, R.; RONDÓN, F. y CANELÓN, G. s/f. Mapa geológico de la región de Tovar - Guaraque - Mesa Bolívar - Bailadores (Esc. 1:50.000). Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología. Caracas.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, FERRER, M.; ORTUÑO, L. y OTEO, C. 2002. **Ingeniería geológica.** Prentice Hall. Madrid - España. 695 p.

GONZÁLEZ, M.; OLLERO, A y ROMEO, R. 2007. **Las alteraciones geomorfológicas de los ríos.** Ministerio del Medio Ambiente y Universidad Politécnica de Madrid 96 p.

GUEVARA, E., y CARTAYA, H. 1991. **Hidrología: una introducción a la ciencia hidrológica aplicada.** Universidad de Carabobo. Valencia-Venezuela. 358 p.

GUEVARA, J. 2004. **Meteorología.** Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas-Venezuela. 377 p.

GUPTA, A.; NAIR, S. y SEHGAL, V. 2009. *Hydro-meteorological disasters and climate change: conceptual issues and data needs for integrating adaptation into environment - development framework.* **E-Journal Earth Science India.** Vol.2 (II), 117 - 132

HERNÁNDEZ, E. 2001, 25 de marzo. ¿Dónde se han localizado los mayores daños por crecidas, entre Bailadores y La Playa? Diario Frontera. p. 8-C.

HULP, J y INBAR, M. 2002. **Desastres naturales en América Latina.** Fondo de Cultura Económica. Mexico, D.F 501 p.

INSTITUTO DE ESTUDIOS REGIONALES Y URBANOS (IERU) 2009. *Diseño de metodología para la inclusión de la variable riesgo ambiental en los planes urbanos. Caso de aplicación: Santa Cruz de Mora, estado Mérida. Universidad Simón Bolívar.* Caracas - Venezuela. Informa síntesis. 24 p. (Inédito).

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES (IGCRN) 2006. *Plan de ordenación del territorio del municipio*

Antonio Pinto Salinas - edo. Mérida: *Respuesta a una vaguada.* En: Méndez, J. y Méndez, E. (coord.). Postgrado en Ordenación del Territorio y Ambiente. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 160 p. (Inédito).

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES (IGCRN) 2008. *Ordenamiento territorial del municipio Tovar: Diagnóstico y propuestas.* Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Postgrado en Ordenación del Territorio y Ambiente. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 152 p. (Inédito).

KELLER, E y DEVECCHIO, D. 2012. **Natural Hazards. Earth's Processes as Hazards, Disasters, and Catastrophes.** Prentice Hall - Pearson. New Jersey-USA. 578 p.

LAFFAILLE, J. 2005. Vulnerabilidad de los asentamientos humanos en el valle del Mocotíes y la importancia de la zonificación. *Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos. Publicaciones de la Corporación de los Andes.* 17 - 21. Mérida-Venezuela (4 de marzo).

LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y DUGARTE, M. 2005a. Evaluación de campo del sector La Victoria - Santa Cruz de Mora - Tovar - San Francisco. Estudio preliminar de algunos de los efectos geomorfológicos del evento meteorológico observado el día 11 de febrero del año 2005. *Boletín de la Historia de las Geociencias en Venezuela.* 28 - 36. Caracas-Venezuela. (Número 97, abril 2005).

LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y DUGARTE, M. 2005b. Efectos geomorfológicos del evento de febrero 2005 en la cuenca del río Mocotíes. En: V. Jiménez (ed.). **Gestión integral de riesgos.** 41-46. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Serie: Conocimiento para el Desarrollo Sustentable.

LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y RINCÓN J. 2005. *Antecedentes históricos de eventos meteorológicos ocurridos en el valle del río Mocotíes y su impacto geomorfológico.* **Revista Geográfica Venezolana.** Número Especial. 297-311 p.

LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y LAFFAILLE, K. 2010. Venezuela: The construction of vulnerability and its relation to the High Seismic Risk. En: E. Latrubesse (ed.). **Natural hazards and human - exacerbated disaster in Latin America.** 99-114. Special Volumes of Geomorphology. Elsevier. Developments in earth surface processes.

LAMAS, J. 2005. Efecto social del evento de Santa Cruz de Mora. *Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos. Publicaciones de la Corporación de los Andes.* 47-53. Mérida - Venezuela (4 de marzo).

LASTRA, J.; FERNÁNDEZ, E.; DIEZ, A. y MARQUÍNEZ, J. 2008. *Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula.* **Natural Hazards.** 45: 277-293.

LINSLEY, R., KOHLER, M. y PAULHUS, J. 1977. **Hidrología para ingenieros.** Mc Graw - Hill. New York. 386 p.

LÓPEZ, J. (ed.). 2010. **Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes Científico - tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos.** Editorial Gráficas Lauki. Caracas-Venezuela. 808 p.

LÓPEZ, J.; HERNÁNDEZ, D.; y COURTEL, F. 2010. Monitoreo y evaluación del comportamiento de las presas de retención de sedimentos en el estado Vargas. En: López J. (ed.). **Lecciones aprendidas**



- del desastre de Vargas. Aportes Científico - tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos.** 459-479. Editorial Gráficas Lauki. Caracas-Venezuela.
- MADEIRA, R. y CARMONA, A. (s/f). Um modelo distribuído de precipitação/escoamento superficial aplicação à ribeira de alportel em condições de cheia. A distributed precipitation/runoff model. Application to the "Ribeira de Alportel" in flood conditions. 13 p. (<http://w3.ualg.pt/~rlanca/artigos/artigo-rh-2000-09.pdf>)
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO 2010. **Sistema nacional de cartografía de zonas inundables en la demarcación hidrográfica del Duero.** Gobierno de España. Confederación hidrográfica del Duero. Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. 89 p.
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE 2013. *Diagnóstico preliminar de la zona Sur del Lago de Maracaibo - estado Zulia, para la elaboración de los términos de referencia del convenio Venezuela - Japón.* Viceministerio del Agua. Dirección General de Equipamiento Ambiental. Dirección de Operación y Mantenimiento de Obras. Caracas-Venezuela. 403 p. + Anexos. (Inédito).
- MCGUIRE, B., BURTON, P., KILBURN C., y WILLETTTS, O. 2004. World Atlas of Natural Hazards. Hodder Arnold. London. 128 p.
- MONSALVE, G. 2006. **Hidrología en la Ingeniería.** Alfaomega - Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 382 p.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) 1994. **Guía de prácticas hidrológicas. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones.** N° 168. 818 p.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) 2009. **Gestión integrada de crecidas. Documento conceptual.** N° 1047 32 p.
- ONUŞLUEL, G.; HARMANCIOĞLU, N. y GÜL, A. (2010). *A combined hydrologic and hydraulic modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures.* **Natural Hazards.** 54: (2) 245-260.
- OVALLÉS, Y. (2005). Inundaciones cuenca río Mocotíes. *Ponencia presentada en el Foro: La Cuenca del río Mocotíes. Hacia un desarrollo armónico y sostenible.* Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida-Venezuela (13 de abril).
- OVALLÉS, Y. y MÉNDEZ, E. 2011. **Ordenación y desarrollo de cuencas hidrográficas.** Talleres gráficos universitarios, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela. 209 p.
- PDVSA y CIDIAT. 2006. *Estudio Hidrológico - Hidráulico del río Sanchón.* Estado Carabobo - Venezuela. Informe final. 22 p. + Anexos. (Inédito).
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD) 2008. *Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocotíes. Mérida.* En: Ferrer, C. y Dugarte, M. (coord.). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) - Fundación para la Prevención de los Riesgos del Estado Mérida (FUNDAPRIS).
- REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2007. *Ley de Aguas.* Gaceta Oficial N° 38.595. Caracas 2 de Enero. 44 p.
- ROA, J. 2007. *Estimaciones de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida - Venezuela.* **Revista Geográfica Venezolana.** 48: (2) 183-219
- ROJAS, M. 2010. Gestión de riesgos de desastres un elemento fundamental en el desarrollo sostenible, caso de estudio: Municipio Antonio Pinto Salinas; Mérida, Venezuela. **GEOMINAS.** 38 (52): 85-88.
- SÁNCHEZ, D. 2012, 24 de abril. Lluvias dejan a otras 300 familias damnificadas en el Mocotíes. *Diario Frontera.* p. 4 - 5.
- SLZ. 2011. *Análisis de las crecidas máximas de las quebradas Agua Gorra, La Ruiza y Las Margaritas.* San Cristóbal, Estado Táchira - Venezuela. Salomón López Zerpa. Ing. Consultor. Informe final. 10 p. (Inédito).
- SLZ. 2012. *Estudio hidrológico e hidráulico de la quebrada Aza, correspondiente a los estudios técnicos de factibilidad para determinar la potencialidad de uso de un lote de terreno, propiedad de Fundatáchira, para desarrollar viviendas de interés social, en el sector la Vega.* San Cristóbal, Estado Táchira - Venezuela. Salomón López Zerpa. Ing. Consultor. Informe final. 22 p. (Inédito).
- SCHUBERT, C., y VIVAS, L. 1993. **El Cuaternario de la cordillera de Mérida. Andes Venezolanos.** Universidad de los Andes - Fundación Polar. Mérida - Venezuela. 345 p.
- SINGER, A., ROJAS, C. y LUGO, M. 1983. Inventario Nacional de Riesgos Geológicos. Estado Preliminar. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Caracas - Venezuela. 128 p.
- SINGER, A. 1998. *Evaluación retrospectiva de los efectos geológicos destructores del terremoto de 1610 en los Andes venezolanos del siglo 17 y de observaciones de campo actuales.* **Revista Geográfica Venezolana.** 39 (1 y 2): 289 - 296.
- SINGER, A. 2010. Los aludes torrenciales en Venezuela: Antecedentes. En: López J. (ed.). **Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes Científico - tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos.** 65-80. Editorial Gráficas Lauki. Caracas-Venezuela.
- SUAREZ, J. 2012. *Principales causas de la catástrofe ocurrida en el río Oro en febrero de 2005.* Sitio web del Ing. Jaime Suárez [On line] <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/18-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html> 200-4-1-ppt-resumen
- SUPERLANO, W. 2010. *Estudio de crecidas máximas usando el modelo de simulación hidrológica HEC-HMS en la subcuenca San Francisco, municipio Tovar, estado Mérida.* Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 97 p. (Inédito).
- STARKE, L. 1976. The role of extreme (catastrophic) meteorological events in contemporary evolution of slopes. En: Derbyshire, E (ed.). **Geomorphology and Climate.** 203 - 246. John Wiley & Sons. London - New York - Sydney - Toronto.
- TAKAHASHI, T., NAKAGAWA, H., MAKI, N., JÁUREGUI, E., CHIGIRA, M., ONDA, Y., y AGUIRRE-PE, J. 2001. *Flood and sediment disaster caused by the heavy rainfall in Venezuela.* Research Report on Natural Disaster, Supported By the Ministry of Education, Science, Sports and Culture.



10. ANEXO I

Tabla A. Eventos de crecidas históricas y movimientos de masa, ocurridos en el río Mocotíes y sus principales afluentes

Localización	Fecha	Tipo de Amenaza	Observaciones - Comentarios
La Playa, Tovar. Quebrada Las Delicias. Fondo del Valle del río Mocotíes trayecto comprendido entre la bifurcación de la quebrada San Francisco con el Mocotíes, hasta La Cucuchica. Incluyó el sector ocupado hoy en día por la avenida perimetral de Tovar.	1610	S/G/H	El denominado Alud Sísmico en la Playa - Tovar, represa el río Mocotíes el día 03/02/1610. Posteriormente genera una ola de descarga cuyos caudales máximos alcanzaron unos 7 km aguas abajo (Ferrer y Lafaille, 1998). Todo el sector ocupado hoy en día por la avenida perimetral de Tovar parece haber acomodado la mayor parte de este caudal (Ferrer y Lafaille, 1998; Laffaille <i>et al.</i> , 2010; Dugarte <i>et al.</i> 2014). “El alud de escombros rocosos y flujos descarga....(dejó) varios muertos y pérdidas de 500 cabezas de ganado” (Singer, 2010: 73). Se generaron a su vez represamientos secundarios de los afluentes de la margen derecha del río Mocotíes, en los sitios de afluencia de las quebradas San Francisco y La Cucuchica, así como violentos procesos de socavación lateral en los márgenes del valle, tal y como sucedió aguas abajo del sector El Peñoncito (Singer, 1998). La ruptura y generación de la ola de descarga se presenta el día de San Juan del mismo año a unos 5 meses (Singer, 1998) de la ocurrencia del Alud Sísmico; específicamente el 29/06/1610 dejando 4 muertos (Singer <i>et al.</i> , 1983).
Confluencia de los ríos Mocotíes y Chama.	28/04/1894	S/G	Rupturas de superficie y desplazamientos laterales y/o verticales a lo largo de fallas activas, con deslizamientos (Singer <i>et al.</i> , 1983).
Santa Cruz de Mora, hasta el caserío “Mocotíes”.	05/11/1894	G	Derrumbes y polvaredas por tres días (Singer <i>et al.</i> , 1983), aunado a ocurrencia de deslizamientos y caídas de rocas.
La Playa, Tovar.	23/07/1910	Hm/H	“Las crecientes del río Mocotíes, provocadas por las lluvias, destruyeron catorce (14) casas y un gran número de cesteras en el centro poblado La Playa, del distrito Tovar. Las inundaciones causadas por las lluvias hicieron estragos considerables en esta región. El gobierno y los particulares contribuyeron con la reparación de los caminos y con el auxilio de las personas que se quedaron sin hogar y sin pan. Los habitantes de La Playa suscribieron y cubrieron una suma para la construcción de un dique, para encausar las aguas del río Mocotíes en un trayecto de 6 cuadras” Periódico El Pueblo, No. 39, Título: Desastres, No. microfilm 1937, Biblioteca Nacional Tulio Febres Cordero, Mérida. Según entrevistas realizadas por Laffaille <i>et al.</i> (2005), en el evento de 1910 (con toda la dificultad de establecer comparaciones objetivas) se observaron efectos parecidos a los del 11/02/2005. Enormes cantidades de escombros, caminos afectados, y repercusiones socioeconómicas, conforman el cuadro de efectos dejados por este evento.
La Playa, Tovar.	Principios del siglo XX (?)	Hm/H	Algunos testimonios de habitantes de la Playa, hacen referencia a un evento extraordinario de lluvias que ocurrió a principios del siglo XX (?), en las cercanías de esta localidad y cuya consecuencia más importante fue la destrucción de una iglesia; hecho este referenciado en Laffaille <i>et al.</i> , (2005), Dugarte y Ferrer (2007a; b), y Dugarte <i>et al.</i> (2014). Las ruinas del mencionado templo se pueden identificar en campo en la actualidad.
Páramo de la Negra.	14/03/1932 y 20/05/1932	S/G	Formación de una laguna de obturación en el Páramo de La Negra. Derrumbes, deslizamientos y caídas de rocas. (Singer <i>et al.</i> , 1983). Rupturas de superficie y desplazamientos laterales y/o verticales a lo largo de fallas activas.
Tovar.	07/05/1932	Hm/S/H	“Debido a las lluvias caídas se produjeron varios derrumbes en la carretera de Tovar. Los temblores ocurridos en el mes de marzo aflojaron el terreno y las lluvias los movieron, nunca se habían registrado tantos daños. Trabajaron casi cien (100) hombres, la situación tardó de normalizarse porque al abrir volvía a caer la tierra” Periódico Patria no. 1971, Título: Derrumbes en Carretera, No. microfilm 1904 -10, Biblioteca Nacional Tulio Febres Cordero Mérida. En la cita anterior no se especifica en que localidad de Tovar se produjeron los mencionados daños.
Cuenca del río Mocotíes. Daños en el fondo del valle, en los puentes que comunican a Tovar con las aldeas San Francisco y Buscatera (a muy poca distancia del sector ocupado en la actualidad por la vía perimetral de Tovar).	16/11/1933	Hm/H	“Creció el río Mocotíes...llevándose el puente que permite la comunicación con la aldea San Francisco y anegándose las vegas de Tacarica. Los puentes sobre el mismo río que conducen hacia Buscatera y El Challotal también fueron arrastrados por la creciente y el canal de la planta eléctrica sufrió algunos desperfectos que imposibilitaron el servicio de alumbrado eléctrico inmediato, el que para anteanoche ya fue restablecido” (Diario Patria. 1933. 17 de noviembre; citado por Laffaille <i>et al.</i> 2005). Según Laffaille <i>et al.</i> , (2005), la crecida del 16 de noviembre de 1933; tuvo efectos que se circunscribieron a las aéreas de influencia de la ciudad de Tovar, pero algunos de los daños se presentaron casi exactamente en los mismos lugares, que en el evento del 11/02/2005.



Localización	Fecha	Tipo de Amenaza	Observaciones - Comentarios
Tovar.	11/10/1934	Hm/H/G	“Las fuertes llluvias acarrearón serios daños a la ciudad de Tovar, en el municipio Tovar del estado Mérida, especialmente en las casas situadas en el Barrio de Quebrada Blanca. Las aguas llevaron barro hasta los patios y los solares de las viviendas”. Periódico Patria no. 2733, Título: El Invierno en Tovar, No. microfilm 1904 -15, Biblioteca Nacional Tulio Febres Cordero Mérida.
Tovar.	15/06/1945	Hm/G	“En Tovar, estado Mérida, las crecientes del Mocotíes, desde el Páramo” ...“provocaron varios deslizamientos que afectaron gravemente siete (7) haciendas y sus sembradíos” (El Nacional, 1945, 16 de Junio).
Sector ubicado entre Tovar y Santa Cruz de Mora.	20/01/1950	Hm/H/G	“El río Mocotíes y otras quebradas que unen a la población de Tovar con Santa Cruz de Mora, como consecuencia de 6 días de lluvia, se desbordaron e interrumpieron el tránsito de vehículos. Hubo afectación de las viviendas y haciendas aledañas a la población de Tovar. También hubo afectación de platanales y cañaverales debido al arrastre de árboles y grandes cantidades de arena” (El Nacional, 1950, 21 de Enero).
Caserío Romero (río Mocotíes, a la salida de Santa Cruz de Mora hacia Tovar). Varios sectores del valle del Mocotíes afectados.	16 al 25/02/1951	Hm/G/H	Ocurrencia de “aludes torrenciales” en varios sectores de la cuenca y también se presentaron “deslaves” y destrucción de viviendas en la quebrada “El Encierro” en Santa Cruz de Mora. (Singer, 2010). Entre el 16 y 25 de febrero del año 1951, llluvias torrenciales azotaron el valle del río Mocotíes, con menor impacto que en el 2005, pero generando inquietud entre la población y daños importantes en algunos sectores (Laffaille <i>et al.</i> , 2005). Según la edición del 22/02/1951, del antiguo diario El Vigilante, se presentaron numerosas pérdidas para los pobladores de Tovar y Santa Cruz de Mora, en sus cosechas y sembradíos de café. Estas llluvias se presentaron al igual que en el año 2005 durante el mes más seco del año: febrero (IERU, 2009).
Loma de la Virgen (Tovar).	13/09/1968	G	Cuatro (4) personas perdieron la vida al quedar sepultadas por un deslizamiento de terreno en Loma de la Virgen en la Aldea Uzcátegui, en el estado Mérida. (El Nacional, 1968, 14 de Septiembre).
Santa Cruz de Mora.	01/11/1969	Hm/H/G	Debido a las fuertes llluvias, se presentaron desbordes del río Mocotíes y de la quebrada Mejía, así como de otras quebradas locales. El diario El Vigilante, en su página 8, al día siguiente de la fecha citada, hace referencia al evento: “Incalculables pérdidas fue el saldo dejado por el torrencial aguacero que azotó a la población de Santa Cruz de Mora. El prefecto del municipio indicó que durante más de 14 horas llovió en forma torrencial, lo que originó el desbordamiento del río Mocotíes, la quebrada Mejías y de algunos riachuelos, entre ellos el desbordamiento del Callejón y El Mamón, cuyas aguas y alud de piedra y de barro arrasaron con una surtidora o bomba de gasolina dejándola casi inservible. El barrio El Mamón, situado al oeste del poblado, fue el sector más afectado. Numerosas viviendas quedaron inundadas por las aguas lo que motivó que sus habitantes buscasen refugio seguro en otra parte. El barrio El Arenal también sufrió la inclemencia del tiempo”
Sector Puerto Rico, en Santa Cruz de Mora.	05/05/1972	Hm/H	Las fuertes llluvias ocurridas en el estado Mérida afectaron a varias viviendas del barrio Puerto Rico, de la población de Santa Cruz de Mora. Este evento también afectó a la localidad San Isidro al sur de Santa Cruz. (El Nacional, 1972, 06 de Mayo).
Santa Cruz de Mora.	8/11/1980	Hm/G	“Deslave y alud torrencial” “cuantiosas pérdidas agrícolas y población incomunicada” (Singer, 2010: 73).
Municipio Antonio Pinto Salinas.	14/10/1987	Hm	“Un fuerte aguacero que se prolongó por varias horas dejó incomunicados a los pueblos de la zona del Mocotíes y varias aldeas del municipio Antonio Pinto Salinas. La lluvia, acompañada de descargas eléctricas, provocó la interrupción del servicio eléctrico. Vecinos de la aldea Romero atemorizados abandonaron sus viviendas porque el río Mocotíes amenazaba con inundar el sector. Los más afectados fueron los habitantes de la aldea Santa Cruz de Mora pues la vialidad agrícola se vió seriamente afectada” (El Vigilante, 1987, 15 de octubre, pág. 22).
Tovar.	21/09/1988	Hm/H	Dos (2) familias quedaron sin viviendas al desbordarse una quebrada llamada Quebradón, en el estado Mérida, municipio Tovar. (El Universal, 1988, 22 de Septiembre).
Sectores Puerto Rico y El Guayabal. Municipio Antonio Pinto Salinas.	06/10/1994	Hm/H/G	“Fuertes precipitaciones causaron estragos en la región merideña. Durante las horas de la noche fue necesario restringir el paso de vehículos, debido al grave peligro que ocasionaban las carreteras cubiertas de barro y piedra deslizada de los terrenos adyacentes a las vías. En la población de El Guayabal, el desbordamiento de la quebrada Puerto Rico obstruyó las vías”. (Diario Frontera, 1994, 8 de octubre, pág 12). En el artículo de prensa citado se hace referencia al desbordamiento de la quebrada “Puerto Rico”, pero quizás pudo haber habido una confusión con el sector homónimo. El Desborde de la quebrada El Guayabal fue evidente, pero se desconoce si el evento afectó los sectores aguas abajo de la quebrada Mejía, en la confluencia con el río Mocotíes, precisamente en el sitio de Puerto Rico.



Localización	Fecha	Tipo de Amenaza	Observaciones - Comentarios
La Playa, Tovar.	14/10/1994	Hm/H	Desborde del río Mocotíes, en el sitio de la Playa debido a intensas lluvias con varias casas inundadas y varios desalojos de viviendas. (Diario Frontera, 1994. 14 de octubre. pág 8-C). Según el reporte de la prensa detallado, el sitio pareciera coincidir con el Rincón de la Laguna?, en La Playa - Tovar.
Bailadores. Quebrada La Cascada.	21/07/1996	Hm/H	“En el municipio (Rivas Dávila) se reportó la muerte de 2 visitantes, que quizás imprudentemente en un espíritu de recreación, el domingo 21 de julio de 1996, se movieron a sitios de riesgo en el Parque Turístico India Carú (La Cascada) y fueron arrastrados por un flujo torrencial que ocurrió en horas de la tarde” (Hernández, 2001. pág 1-C).
Río Zarzales.	Julio de 1997	Hm/H	“Bien arriba, en el Páramo La Negra, nace el río zarzales, que unos pocos km aguas abajo, en el mes de julio del año 1997, produjo daños a la carretera vecinal y al puente en el sector quebrada Arriba, inclusive dañando tuberías de importantes sistemas de riego del área y amenazando la seguridad de algunas viviendas” (Hernández, 2001. pág 1-C).
Tovar.	10/04/1999	G	“Debido a las lluvias caídas en el estado Mérida, en la parte alta de Loma de la Virgen en el sector El Tablazo de la población de Tovar, una (1) vivienda quedó destruida por un deslizamiento. Un talud cedió por las fuertes lluvias que saturaron el terreno. Una pared se derrumbó y cayó sobre una (1) persona, la cual falleció. Al lugar se trasladaron comisiones del Cuerpo de Bomberos del estado Mérida, quienes detectaron a otros dos (2) ciudadanos lesionados con el derrumbe. Los daños en la vivienda fueron de tal magnitud que la declararon inhabitable” (Diario Frontera, 1999. 11 de abril. pág. 8-C).
Tovar.	19/09/2000	Hm/H	“Fuertes lluvias provocaron deslizamientos de tierra e inundaciones en el interior del estado Mérida. En la población de Tovar, del municipio Tovar, las lluvias afectaron a más de diez (10) familias, es decir, a unas cuarenta y cinco (45) personas. No hubo pérdidas humanas” El Universal, 2000. 20 de septiembre.
Tovar.	03/10/2000	G	“En la población de Tovar en el municipio homónimo, del estado Mérida, el tránsito quedó paralizado por deslizamientos de tierra en la carretera que comunica esta población con Santa Cruz de Mora”. (El Universal, 2000. 4 de octubre).
Tovar.	29/05/2004	Hm/G	“Como consecuencia de las fuertes lluvias que cayeron en Tovar un talud de tierra se derrumbó, tapiando entre escombros una niña. Afortunadamente fue rescatada por efectivos del Cuerpo de Bomberos de Tovar. El suceso ocurrió en el sector Loma de la Virgen. Explicó que el talud ocasionó que se desplomaran dos habitaciones de la parte posterior de la vivienda donde reside la niña quien fue tapiada por los escombros y su rescate se logró unas dos horas después, con la suerte que la pequeña solamente presentó heridas leves”. (Diario Frontera, 2004. 30 de Mayo. Pág. 8 - C).
Cuenca del río Mocotíes.	11/02/2005	Hm/H/G	La noche del 11 de febrero del año 2005 se produjo la denominada Tragedia del Valle del Mocotíes. La Tormenta que duro entre 4 - 5 horas según información reportada por testigos presenciales, desencadenó diferentes procesos hidrogeomorfológicos de las quebradas locales y del río Mocotíes, que afectaron a su vez a distintos sectores de la cuenca. Este evento y sus efectos han sido tratados ampliamente por Ferrer (2005), Laffaille <i>et al.</i> (2005a; 2005b), Dugarte y Ferrer (2007a; b) y Ferrer <i>et al.</i> (2007), Rojas (2010), Bongiorno <i>et al.</i> (2010), Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2013), Dugarte <i>et al.</i> (2014), entre muchos otros. El resultado del evento: muertos, heridos, población incomunicada, así como graves daños a la infraestructura ubicada en el fondo del valle; especialmente en la avenida perimetral de Tovar y en Santa Cruz de Mora. Para el 04 de marzo del 2004 se manejaban oficialmente: 41 fallecidos, 63 desaparecidos, 3170 damnificados, 2262 refugiados y 536 viviendas destruidas (Lamas, 2005). Detalles de todo el evento, se presentan en este Trabajo.
Quebradas El Peñon y El Tabacal.	21/05/2005	Hm/G/H	“Santa Cruz de Mora, acechada por las Inclementes lluvias. Los habitantes de la población de Santa Cruz de Mora vivieron momentos de angustia este fin de semana debido al aumento del caudal de las quebradas El Peñon y El Tabacal; situación que activó las labores de resguardo de los organismos de seguridad que cumplen funciones en esta zona” (Diario Frontera, 1994. 24 de Mayo. pág 7). En el citado artículo de prensa, se hace mención además, a la ocurrencia de múltiples deslizamientos entre Tovar y Santa Cruz de Mora.



Localización	Fecha	Tipo de Amenaza	Observaciones - Comentarios
Sector El Peñoncito. Tovar.	17/11/2005	Hm/G/H	El "Desbordamiento del río Mocotíes mantiene en zozobra a la población (y) causó nuevamente alarma entre los pobladores de Tovar y Guaraque al causar derrumbes en varios sectores de la carretera que conduce a la capital del Mocotíes, así como la caída del puente ubicado en el sitio denominado El Bambú que dejó incomunicadas a las poblaciones de San Francisco y zonas adyacentes. El tránsito automotor hacia Tovar se vió parcialmente restringido ante el deslizamiento de tierra sobre la carretera específicamente sobre el sector El Peñoncito, producto del aumento del caudal de las aguas. El director de Seguridad Ciudadana afirmó que hasta los momentos no se cuenta con pérdidas de vidas humanas, y existen hasta el momento unas 30 a 40 familias no damnificadas sino afectadas por las lluvias, lo cual representa unas 150 a 200 personas". (Diario Frontera. 2005. 19 de noviembre. pág. 8-C).
Tovar. Sector Romero.	29/11/2010	Hm/H	"El municipio Tovar del estado Mérida, se vio afectado en varios sectores, por lo que desalojaron a cinco personas de una vivienda que había sido alcanzada por las aguas de una quebrada. En el sector Buscatera se desplomó el talud de tierra, afortunadamente y sin causar daños; no obstante, en la entrada del sector La Cucuchica cayó un cerro con grandes piedras obstaculizando el tránsito automotor a Mérida y Tovar"...."finalmente se conoció que en el sector Romero, un muro de contención estaba presentando socavamiento desde sus bases, desconociéndose al cierre de esta edición si se produjeron daños por esta causa" (Diario Frontera. 2010. 30 de noviembre. pág.12-B); atribuida al incremento del nivel de las aguas del río Mocotíes.
Tovar y zonas aledañas.	01/12/2010	Hm/G/H	"11 viviendas parcialmente dañadas en Tovar. Cinco horas de continuas precipitaciones generaron alarma durante la tarde de ayer en la población de Tovar y zonas circunvecinas. Ocho viviendas resultaron parcialmente dañadas por deslizamientos, producto de la saturación de las aguas en los terrenos aledaños a las viviendas"... "las casas dañadas están ubicadas en Tovar, tres en Loma de La Virgen, una en el Rosal, dos en el Corozo, una en la Lagunita, mientras que en zonas aledañas una vivienda resultó afectada en El Amparo y otras dos en Santa Cruz de Mora, en el sector el Matadero"...."mientras que en la vía entra la Victoria y Santa Cruz, también se produjeron derrumbes".... "igualmente las crecidas de las quebradas ubicadas en El Tabacal, El Peñón, San Diego y La Jabonera, arrojó barro y piedras a la vía, razón por la cual las máquinas debieron intervenir" (Diario Pico Bolívar, 2010. 01 de diciembre. pág. 3).
Tovar. Antonio Pinto Salinas: Sector San Felipe.	05/01/2011	Hm/H/G	"Las precipitaciones que se registraron en el valle del Mocotíes, provocaron el desbordamiento de las quebradas La Malaguera (en el sector Quebrada Arriba) y Las Rojas, que afectaron 6 viviendas en Tovar"... "mientras que en Pinto Salinas se registró un inconveniente, debido a los deslizamientos de tierra en el sector San Felipe" (Diario Pico Bolívar, 2011. 05 de enero. pág 3).
Santa Cruz de Mora y Tovar.	10/04/2011	Hm/H/G	"Debido a las fuertes lluvias caídas en la región Merideña en los últimos días la población de Santa Cruz de Mora, en el municipio Antonio Pinto Salinas, fue afectada. Hubo viviendas y calles afectadas por el agua. Las familias que quedaron damnificadas fueron llevadas al gimnasio del pueblo y a casas de familias solidarias para ser atendidas. Las clases en dicha población y en parte del municipio Tovar tuvieron que ser suspendidas porque algunas plantas físicas educativas corrían riesgo y porque no había servicio de agua potable, esto debido a que la crecida de los afluentes también colapsó los acueductos del valle del Mocotíes". El Universal, 2011. 12 abril. "Desde el pasado domingo (10 de abril) en horas de la tarde diversos puntos del estado Mérida, fueron sacudidos por las fuertes lluvias, lo que generó el desbordamiento de varias quebradas y un sinnúmero de deslaves en las vías de comunicación, elementos que tocaron en mayor proporción al municipio Antonio Pinto Salinas, donde hasta ayer en horas de la noche se habían contabilizado 16 viviendas con pérdida total, 25 casas con pérdidas parciales, más de 12 aldeas incomunicadas y el colapso por más de ocho horas de la avenida principal de esta jurisdicción" (Diario Frontera, 2011. 12 de abril. pág.12-B). "La comunidad de Santa Cruz de Mora, se vio afectada por la crecida del callejón de San José, la tarde y noche de este domingo, que ocasionó el colapso del cajón de paso producto de la gran cantidad de material sedimentario y escombros que fueron arrastrados por el agua, ocasionando el desbordamiento del callejón e incomunicando a las poblaciones de Tovar y Santa Cruz de Mora"... "los trabajos de remoción de escombros y material sedimentario cayeron en 70% sobre la avenida perimetral Antonio Pinto Salinas" (Diario Pico Bolívar, 2010. 01 de diciembre. pág 3). En los reportes de prensa también se documenta la crecida de la quebrada El Barro y los nombres de las aldeas incomunicadas pertenecientes a los municipios Tovar y Antonio Pinto Salinas: Mesa La Vieja, San Pedro, El Portón, El Palmarito, San Isidro, Las Talas, El Páramo de San Isidro, La Lomita, El Guayabal, San Felipe, Quebrada el Barro, Los Pozuelos y Los Amogres.



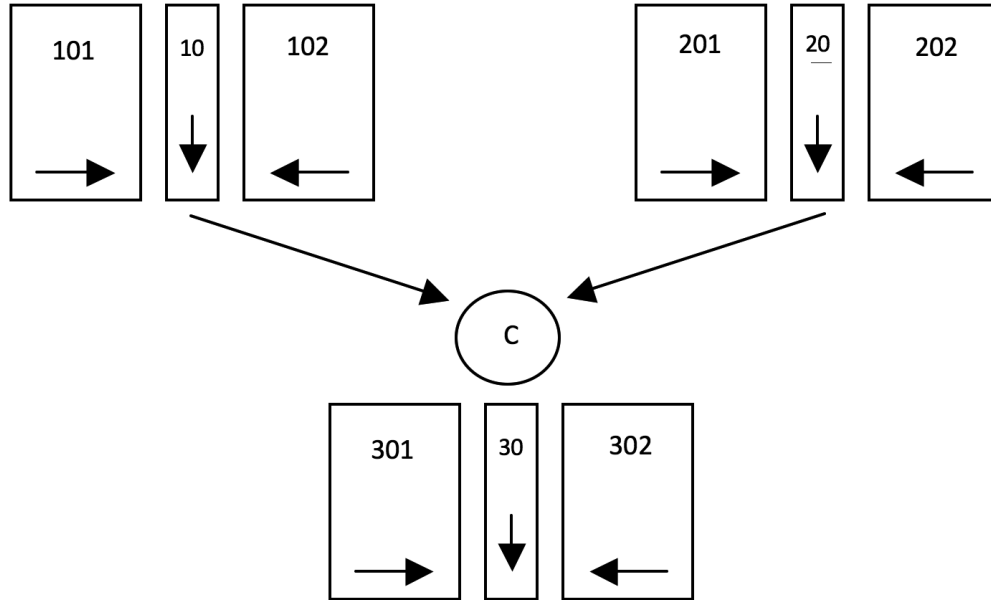
Localización	Fecha	Tipo de Amenaza	Observaciones - Comentarios
Tovar y Santa Cruz de Mora.	27/04/2011	Hm/G/H	“Las lluvias aislaron a varios sectores de Tovar y Santa Cruz de Mora. Las fuertes lluvias caídas anoche en el valle del Mocotíes, provocaron derrumbes y desbordamientos de quebradas, que dejaron aislados varios sectores de los municipios Tovar y Antonio Pinto Salinas. Alrededor de las 8:30 p.m hubo deslizamientos de tierras en las zonas de la Cucuchica, El Cacique y El Tabacal de Tovar. En el sector Quebrada el Barro de Santa Cruz se desbordó la quebrada San Pedro que obstaculizó por completo el paso vehicular. Los organismos de emergencia desalojaron a seis familias que corrían el riesgo de ser arrasados por el agua...” por la emergencia quedó incomunicado el paso hacia Santa Cruz por sus dos entradas” (Diario Pico Bolívar, 2011. 28 de abril. pág 31).
Sector San Felipe.	Primera semana de Mayo de 2011.	Hm/G	“A pesar de los trabajos de limpieza que se realizan se realizan en el sector San Felipe, carretera que conduce a la Victoria, jurisdicción del municipio Antonio Pinto Salinas de esta entidad, con la finalidad de normalizar el tránsito hacia los municipios que conforman el Mocotíes, el peligro persiste y obliga a las autoridades a mantener estrictas medidas de seguridad para evitar cualquier imprevisto”. (Diario Frontera, 2011. 7 de mayo. pág.7-B.
Municipio Antonio Pinto Salinas.	19/05/2011	Hm/H/G	<p>“Impenetrable Santa Cruz de Mora. Todas las vías que comunican al municipio Antonio Pinto Salinas, colapsaron el día de ayer (19/05/2011) en horas de la mañana, luego de que se produjeron desbordamientos de quebradas y deslizamientos en varios sectores que interrumpieron el flujo vehicular hacia el casco central y aldeas de la zona sur y norte de Santa Cruz” (Diario Pico Bolívar. 2011. 20 de mayo. pág 1).</p> <p>“A primeras horas de la tarde de ayer, aguas”... “provenientes de la quebrada El Cacique colapsaron la carretera que comunica a Santa Cruz de Mora con la ciudad de Tovar, imposibilitándose así el tránsito automotor entre ambas poblaciones” (Diario Frontera. 2011. 20 de mayo. pág 1).</p> <p>“La avenida Antonio Pinto Salinas fue afectada por tercera vez, producto de que el callejón de San José colapsara nuevamente y se desbordara sobre el 100% del la vía, impidiendo el paso hacia la población de Tovar”... “asimismo en el sector San Felipe, pocos metros después de la entrada que conduce a Mesa de las Palmas, otro fuerte deslizamiento de más de 600 m³ se vino sobre la carretera” (Diario Pico Bolívar, 2011. 20 de mayo. pág 3).</p>
Las Tapias. Bailadores.	21/04/2012	Hm/G	“Las persistentes lluvias caídas en horas de la noche ocasionaron deslizamientos y la obstrucción de varias vías localizadas dentro del estado Mérida. La vialidad en el sector Las Tapias de la población de Bailadores, perteneciente al municipio Rivas Dávila, en el estado Mérida quedó inhabilitada” (Últimas Noticias, 2012. 21 de abril. Sección Ciudad-Ambiente).
Tovar.	23/04/2012	Hm/H	<p>“Producto de las precipitaciones que afectaron gran parte del estado Mérida, en la ciudad de Tovar del municipio Tovar, aproximadamente más de trescientas (300) familias, es decir, mil trescientas cincuenta (1350) personas quedaron damnificadas. El Ejecutivo Regional señaló que en varias aldeas, más de setenta (70) familias estuvieron incomunicadas. La alcaldía del municipio Tovar declaró el estado de emergencia y habilitó nuevos refugios para acobijar a los damnificados. Por su parte, el gabinete económico agilizó el proceso concerniente a la dotación de colchonetas, alimentos, agua potable y enseres” (El Universal, 2012. 24 de abril).</p> <p>“En horas de la mañana del Lunes 23 de abril, la secretaria general del Gobierno...informó que los fuertes aguaceros de las últimas 48 horas dejaron 300 familias damnificadas en el valle del Mocotíes y alrededor de 70 familias incomunicadas en la cuenca del Mocotíes desde la noche del pasado domingo” (Sánchez, 2012). La crecida del 23 de abril del año 2012, afectó a varias viviendas de la margen izquierda del río Mocotíes a la altura de la estación de los Bomberos de Tovar (Dugarte <i>et al.</i> 2014).</p> <p>Después de seis horas consecutivas de lluvias, se presentó una nueva crecida del río Mocotíes, afectando a varios sectores de Tovar, especialmente la vega del río, en la base de la Loma La Virgen, donde resulta “inaceptable que allí moren damnificados...en viviendas que han sido canceladas por el estado venezolano” Carrero (2012: 6). “Los severos daños ocasionados por las lluvias en varios sectores del municipio Tovar, dejaron incomunicadas a algunas comunidades de esa jurisdicción y otras tantas están siendo afectadas por la falta de suministro de agua, debido a la afectación que sufrieran algunos diques. El Gabinete de infraestructura y Aguas de Mérida, se trasladó al sitio y trabajan para solventar la situación. Ayer nuevamente el río Mocotíes se desvió de su cauce y se desbordó sobre la avenida Perimetral, situación que logró ser controlada a tiempo” (Diario de los Andes, 2012, 24 de abril. Pág 1).</p>

Tipos de amenaza; S: Sísmica, Hm: Hidrometeorológica, H: Hidrológica, G: Geomorfológica.



11. ANEXO II

Figura A. Conceptualización de la cuenca del río Mocoties hasta Tovar



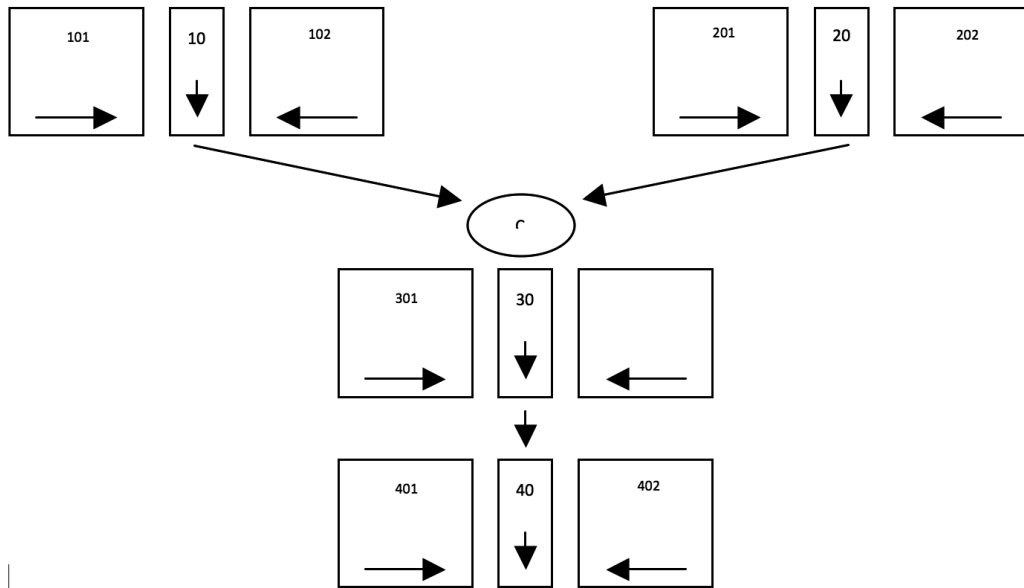
Segmento 10: Quebrada Las Tapias, Segmento 20: Río Zarzales, Segmento 30: Río Mocoties hasta Tovar, C: sitio de confluencia río Zarzales y quebrada las Tapias.

Tabla B. Características de los segmentos de escurrimiento y escorrenría del sistema río Mocoties hasta Tovar

ISEG	Area (km ²)	% Área	Longitud (m)	CN	n Manning	Pendiente (°)	Pendiente (m/m)
101	17,62	55,7	1.849,5	80,4	0,429	37,1	0,756
102	14,00	44,3	1.469,5	76,0	0,430	37,9	0,778
10			9.527,0		0,05	13,1	0,233
201	13,55	31,8	1.103,2	72,6	0,286	34,6	0,690
202	29,05	68,2	2.365,1	80,2	0,136	33,5	0,662
20			12.282,9		0,05	12,6	0,224
301	106,85	66,8	6.462,2	84,5	0,262	30,5	0,589
302	53,1	33,2	3.211,4	82,1	0,148	32,6	0,640
30			16.534,6		0,05	4,1	0,072



Figura B. Conceptualización de la cuenca del río Mocoties hasta Tovar



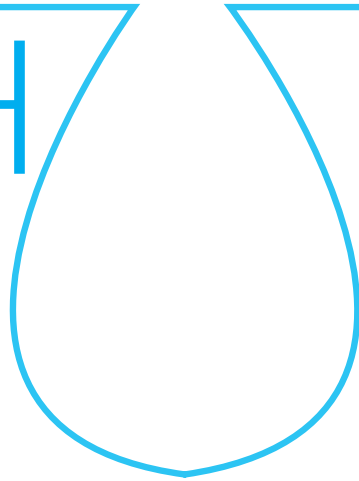
Segmento 10: Quebrada Las Tapias, Segmento 20: Río Zarzales, Segmento 30: Río Mocoties hasta Tovar, C: sitio de confluencia río Zarzales y quebrada las Tapias.

Tabla C. Características de los segmentos de escurrimiento y escorrentía del sistema río Mocoties hasta Tovar

ISEG	Area (km ²)	%Area	Longitud (m)	CN	n Manning	Pendiente (°)	Pendiente (m/m)
101	17,62	55,7	1.849,5	80,4	0,429	37,1	0,756
102	14,00	44,3	1.469,5	76,0	0,430	37,9	0,778
10			9.527,0		0,05	13,1	0,233
201	13,55	31,8	1.103,2	72,6	0,286	34,6	0,690
202	29,05	68,2	2.365,1	80,2	0,136	33,5	0,662
20			12.282,9		0,05	12,6	0,224
301	106,85	66,8	6.462,2	84,5	0,262	30,5	0,589
302	53,1	33,2	3.211,4	82,1	0,148	32,6	0,640
30			16.534,6		0,05	4,1	0,072

escuela de posgrado
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS DE POSGRADO EN **HIDROLOGÍA**

UAH URJC



máster universitario

en hidrología y gestión de recursos hídricos

proyectos
2015

Caracterización hidrogeológica, hidrogeoquímica e isotópica de la Cuenca Quilca-Vitor-Chili, sur de Perú

autora

Jacquelyne del Rosio Chagua Flores

Directores

Dra. Irene de Bustamante Gutiérrez (UAH)
Dra. M.^a del Carmen Cabrera Santana (ULPGC)

Alcalá de Henares, 21 de mayo de 2015



ÍNDICE

1. Resumen	129
2. Introducción	129
2.1. Marco general.....	129
2.2. Antecedentes	131
2.3. Objetivos del estudio.....	133
2.3.1. Objetivo general.....	133
2.3.2. Objetivos Específicos.....	133
3. Marco teórico y metodología	133
3.1. Metodología de Trabajo	133
3.1.1. Recopilación y análisis de la información existente	133
3.1.2. Trabajo en terreno y análisis de laboratorio	133
3.1.3. Análisis de resultados.....	133
3.1.4. Metodología de Muestreo.....	134
3.1.5. Muestras de Aguas Subterráneas y Superficiales.....	134
3.1.6. Procedimiento Analítico.....	134
4. Geología del área de estudio	134
4.1. Marco Geológico Regional	134
4.1.1. Estratigrafía	136
4.1.2. Geología estructural	136
5. Hidrología	137
5.1. Hidrometeorología	138
5.1.1. Precipitación Media Anual de la Cuenca Quilca – Vítor – Chili (132).....	139
5.1.2. Temperatura (T).....	140
5.1.3. Humedad relativa (Hr)	141
5.1.4. Evaporación.....	142
5.1.5. Horas de sol.....	143
5.1.6. Viento.....	143
5.1.7. Evapotranspiración	143
(ET).....	143
5.1.8. Escorrentía superficial (CE)	144
5.1.9. Infiltración (I)	144
5.1.10. Balance hídrico.....	144
6. Hidrogeología de la Cuenca Quilca – Vítor – Chili (132) ..	145
6.1. Unidades Hidrogeológicas.....	145
6.2. Acuíferos de Alta a Media Importancia Hidrogeológica en Depósitos No Consolidados ..	146
6.3. Acuíferos de media a baja importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados ...	148
6.4. Acuíferos de media a baja importancia hidrogeológica por disolución.....	148
6.5. Acuíferos de media a baja importancia hidrogeológica en rocas fisuradas	148
6.6. Acuíferos de media a baja importancia hidrogeológica	149
6.7. Acuíferos y Acuíferos de Nula Importancia Hidrogeológica	149
6.8. Determinación de Parámetros Hidráulicos	149
6.9. Flujo Subterráneo.....	150
7. Hidrogeoquímica de la Cuenca Quilca – Vítor – Chili (132).....	151
7.1. Ubicación de los puntos de muestreo.....	151
7.2. Resultados Químicos.....	151
7.3. Parámetros físico-químicos.....	151
7.3.1. El pH	151
7.3.2. Dureza	152
7.3.3. Conductividad eléctrica (CE).....	154
7.4. Tipo de Aguas	154
7.5. Comparación con los estándares de calidad de aguas (ECA)	154
7.6. Isótopos estables de Hidrógeno y Oxígeno	155
8. Conclusiones y recomendaciones	157
8.1. Conclusiones.....	157
8.2. Recomendaciones	157
9. Bibliografía	157



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Red de estaciones meteorológicas138

Tabla 2. Datos históricos de precipitación media anual desde año 1964 2013139

Tabla 3. Datos temperatura media en los periodos de 1969/1999-2007/2013.....141

Tabla 4. Humedad relativa por estaciones meteorológicas (Senamhi 2009).....142

Tabla 5. Evaporación media anual (Senamhi 2009)142

Tabla 6. Datos de viento (Senamhi 2009)143

Tabla 7. Balance Hídrico en la cuenca del río Quilca-Vítor-Chili (132).....145

Tabla 8. Convencional de permeabilidad, según Benítez (1963).....150

Tabla 9. Valores de permeabilidad de terrenos naturales 150

Tabla 10. Cantidad por tipo de aguas según los mg/l de CaCO₃152

Tabla 11. Determinaciones de $\delta^2\text{H} \text{‰}$ y $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$ en aguas subterráneas de la zona de estudio (vs. VSMOW). Se indica el tipo de punto de muestreo.....155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de situación de la cuenca del río Quilca-Vítor-Chili y sus subcuencas 130

Figura 2. Mapa Geológico a escala 1/175.000 de la cuenca Quilca-Vítor-Chili.....135

Figura 3. Representación de la precipitación media anual con las estaciones meteorológicas 140

Figura 4. Variación histórica de temperatura, en azul la temperatura media 140

Figura 5. Valores comparativo de humedad relativa por estaciones en la cuenca 142

Figura 6. Evaporaciones medias mensuales (mm), Autodema (2001).....143

Figura 7. Valores mensuales de evapotranspiración (Eto) - PENMAN – Monteith (Senamhi 2009)..... 144

Figura 8. Sistema hidrogeológico (relación zonas de recarga y clasificación hidrogeológica) 146

Figura 9. Mapa Hidrogeológico a escala 1/175.000 de la cuenca Quilca-Vítor-Chili147

Figura 10. Simulación de dos dimensiones para analizar el nivel del agua sinusoidal con una pendiente regional afecta a los flujos de aguas subterráneas..... 150

Figura 11. Sistema de flujos de aguas subterráneas en la subcuenca Medio Quilca – Vítor-Chili 151

Figura 12. Variación de la dureza representada de °F, analizadas de las muestras de agua152

Figura 13. Distribución espacial de la conductividad eléctrica en la cuenca del río Quilca – Vítor – Chili (132)....153

Figura 14. Diagrama de Piper de las aguas de la subcuenca Medio Quilca154

Figura 15. Principales elementos que superan los ECA, dentro de ellos resalta el arsénico y boro, donde vemos que de un total de 96 muestras 50 y 45 respectivamente, no son aceptables para las diferentes categorías (DS-002-2008-MINAM).....155

Figura 16. Relación $\delta^{18}\text{O}$ vs D (‰ VSMOW) de las aguas subterráneas colectadas de la cuenca Quilca-Vítor-Chili. Se ha representado la línea meteórica mundial y la línea meteórica local deducida por referencia bibliográfica156

Figura 17. Relación entre los contenidos en ^{18}O y las alturas de obtención de las muestras de agua subterránea en la zona de estudio. Se indican las rectas deducidas por Aravena et al. (1999) para la zona del N de Chile para el verano de 1984 y de 1986.....156



INDICE DE ABREVIATURAS

ANA: Autoridad Nacional Del Agua

AUTODEMA: Autoridad autónoma de Majes

CE: Conductividad Eléctrica

CCHEN: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

ECA: Estándares de calidad del Agua.

SENAMHI: Servicio Nacional De Meteorología E
Hidrología Del Perú

TDS: Solidos Totales en Suspensión

INGEMMET: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Del Perú

1325-001: Codificación para fuentes de agua

ING-16: Codificación de muestras para isotopos

UH 1323: Codificación de unidad hidrografía para sub cuenca



1. RESUMEN

La presente trabajo fin de máster se ha efectuado en el departamento y ciudad de Arequipa (PERU), dentro del marco del proyecto hidrogeológico de la cuenca Quilca – Vitor – Chili (132). El muestreo se realizó en octubre del 2009, 69 puntos pertenecen a la zona de estudio y además se midieron in situ parámetros físicos como pH, T°, CE y TDS.

La geología de la zona debe sus orígenes a una gran cuenca de sedimentación, en la que han tenido diversos eventos geológicos, que han traído como consecuencia la depositación de sedimentos de facies marinas y continentales, así como plutonismo y vulcanismo.

La cadena cenozoica pleistocénica del volcán Misti (5.822 msnm) y las agrestes montañas del Pichu Pichu (5.400 msnm). En la parte oriental de Arequipa afloran principalmente del Grupo Barroso, este yace discordantemente sobre la Formación Capillone, estos a su vez se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos morrenicos, fluvio-glaciares y cenizas volcánicas. El volcán Misti, las montañas del Pichu Pichu y varios centros volcánicos tienen como litología principal a las lavas andesíticas y traquiandesitas del Grupo Barrosos. Estas lavas andesíticas se encuentran totalmente fisuradas.

La geomorfología es muy variada, se diferencian ocho unidades morfoestructurales diferentes empezando por la Cordillera de la costa, Valles transversales, Planicie costanera, Planicie Arequipeña, Cuenca endorreica Salinas, Borde oeste de la Cordillera Occidental, Cordillera Occidental del sur del Perú y por último las Altiplanicies, en su mayoría conformada por rocas volcánicas y sedimentarias. Esta configuración constituye un sistema hidrogeológico muy complejo de origen volcánico y tectónico.

En los sectores de Characato, Sabandia y Chiguata se observa grandes manifestaciones de la presencia de acuíferos, manantiales que afloran en forma natural, muchos de ellos con caudales superiores a 200 l/s. Actualmente el manantial Bedoya de 220 l/s cubre el suministro de agua potable a la zona sureste de la ciudad de Arequipa, las aguas del manantial Yumina (300 l/s), Ojo de Characato (260 l/s), se usan en el desarrollo de extensas aéreas agrícolas y zonas recreativas de los distritos de Characato y Sabandia, otros manantiales con menos caudal pero muy importantes afloran en los alrededores de los distritos de Chiguata, Pocsi, Polobaya, y Yarabamba.

Se ha elaborado el mapa hidrogeológico de la Cuenca Quilca-Vitor-Chili, basado en la caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas, este mapa zonifica las litologías favorables para la exploración de las aguas subterráneas en las unidades de acuíferos por porosidad (material detríticos no consolidados), acuíferos por fisuración (materiales volcánicos) y por último los acuíferos por disolución (karstificación). Se delimitaron diferentes tipos de acuífero en función de sus características litológicas, para las cuales se asociaron sus principales parámetros hidrogeológicos. En total se tienen los siguientes acuíferos: acuíferos porosos no consolidados de Arequipa, acuífero fisurado volcánico (fisurado Pichupichu, Chachani y Misti) y el acuífero fisurado sedimentario del grupo Yura.

La caracterización hidrogeoquímica muestra tres familias, las aguas de tipo bicarbonatada sódica y cálcica corresponden a sistemas de flujos locales y están ubicadas a 3500 a 4000 msnm. Las de tipo sulfatadas cálcicas, provienen del contacto que tiene las aguas con las rocas volcánicas y donde adquieren su predominancia de sulfatos, estas se ubican entre 3.000 y 3.500 msnm, presentan una evolución hidroquímica de recorrido medio y las por último las familia de las aguas de tipo clorurada sódicas ubicadas entre 2.000 a 3.000 msnm.

Presentan una maduración química y se caracterizan por tener un sistema de flujos regionales.

El análisis de los isótopos ambientales muestran las variaciones de los valores en altitud, donde producen empobrecimiento en los isótopos O18 y H2 y la zona de recarga de manantiales y pozos está por encima de los 3500 msnm, los puntos con los valores más ligeros se corresponden con los puntos de muestreo situados a mayor altura, hay que exceptuar algunos puntos de manantiales, que son indicativos de evaporación (ING-18, ING-17 y ING-16).

Dado que las condiciones climáticas pueden ser similares a la zona de estudio, se ha llevado a cabo el gráfico de $\delta^{18}O$ vs. Altura, dando como resultado que la recarga de agua que se explota estarían a cotas muy superiores a las que se encuentran.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. MARCO GENERAL

La cuenca del río Quilca-Vitor-Chili (132) está ubicada en la zona sur occidental del territorio peruano, su ámbito abarca principalmente al departamento de Arequipa. Tiene una superficie de 13.457,01 km², sus ríos y quebradas recorren con dirección este-oeste hasta desembocar en el Pacífico, geográficamente se encuentra dentro de las coordenadas UTM (figura 1).

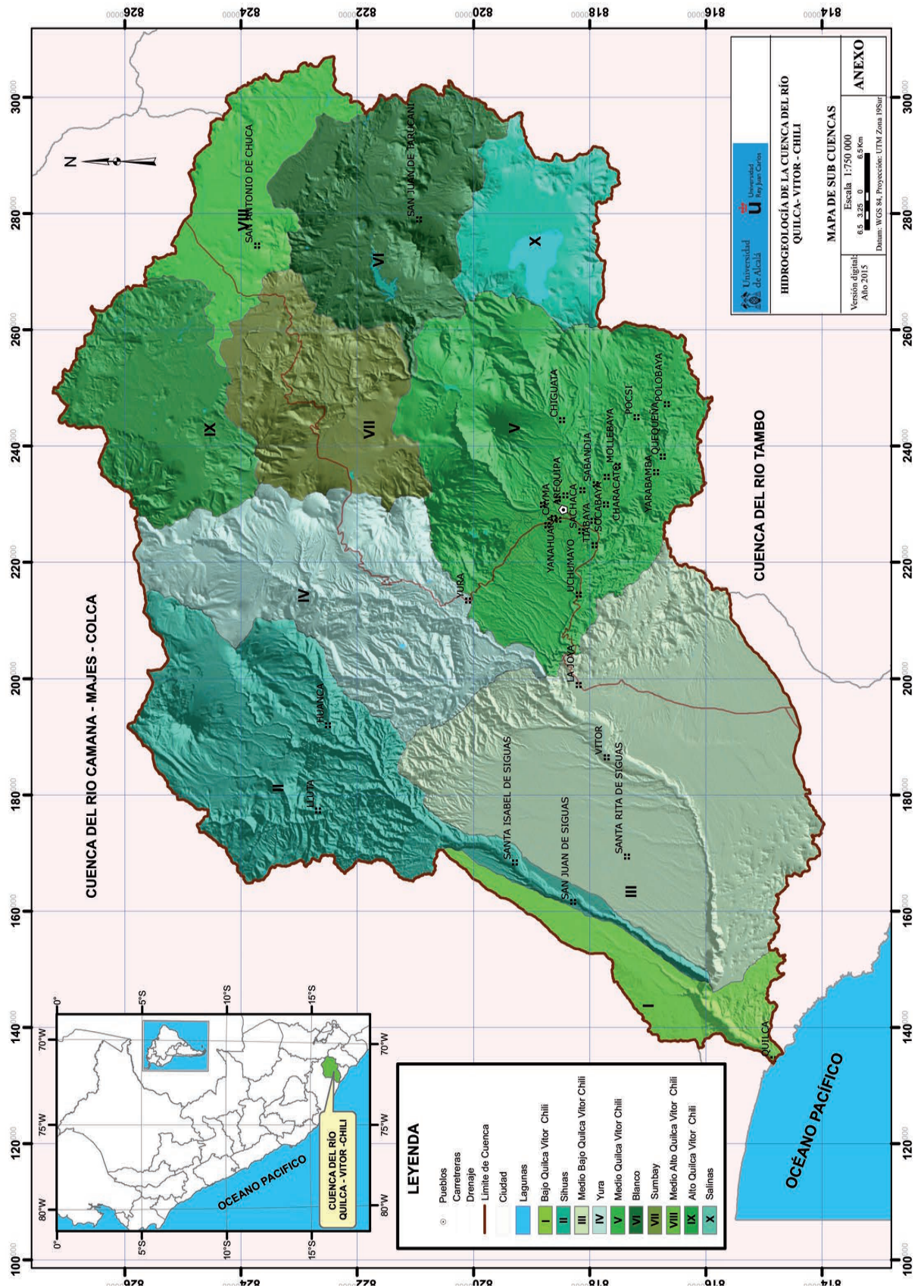
- Norte: 8.260.000 y 310.000
- Sur: 8.135.000 y 130.000

La cuenca (132), está administrada por el organismo desconcentrado Autoridad Administrativa del agua (AAA) Caplina-Ocoña dispuesta en la Ley N° 29338 "Recursos Hídricos" (31 marzo 2009), la delimitación política administrativa de la cuenca es: Por el norte con la cuenca del río Camaná-Majes-Colca, por el Sur limita con la Intercuenca 1319 y la cuenca del río Tambo, por el este con la cuenca del río Tambo, por el Oeste con la Intercuenca 133 y por el Suroeste con el Océano Pacífico.

Es importante destacar que prácticamente todo el ámbito del consejo de recursos hídricos de la cuenca Quilca-Vitor-Chili (99,06%), están dentro del departamento de Arequipa, el cual comprende 41 distritos de la provincia de Arequipa, parte de 4 distritos de la provincia de Caylloma y parte de 1 distrito de la provincia de Camaná, Se estima que la población actual es de 1.287.205 habitantes (INEI. 2015), 9 juntas de usuarios agrarios, así como diversos usuarios industriales, mineros y piscícolas. (PGRH-2013).



Figura 1. Mapa de situación de la cuenca del río Quilca-Vitor-Chili y sus subcuencas





El río Quilca recolecta el escurrimiento superficial y subterráneo de toda la cuenca, que se origina por encima de los 6.000 m s.n.m., producto de los manantiales, escorrentías de quebradas, deshielo de nevados y del aporte de algunas lagunas ubicadas en la parte alta, entre ellas destacan: La Laguna Salinas, Anuquerquecco, Pampa Blanca, Marecota, Tarucani, Quellhuacota, Panacota, Jancocota y Tocsocota.

La cuenca Quilca-Vítor-Chili (132) está configurada en 10 Unidades Hidrográficas de nivel 4, seis de las cuales son tributarias y cuatro conforman el cauce principal.

La UH 1326 Blanco: Se encuentra la obra de mayor regulación El Frayle, pese a sus limitaciones de capacidad. El río Blanco es un tributario por la margen izquierda del río Sumbay y está regulado por el embalse El Frayle en una extensión de 1.049 km². La subcuenca del río Blanco no tiene tributarios importantes, su área es de 1.168 km² hasta la confluencia con el río Sumbay.

La UH 1328 Sumbay: El río Sumbay, tiene tributarios importantes tales como: el río Pausa por la margen izquierda, y por la margen derecha mediante un tramo común los tributarios Caquemayo, Challhualca y Capillune. Casi por los 4.420 m s.n.m. recibe por su margen izquierda al canal Zamacola, que incorpora recursos hídricos del trasvase de la cuenca del Alto Colca. El área de la subcuenca hasta la confluencia con el río Caquemayo es de 725,3 km².

La UH 1329 Alto Quilca-Vítor-Chili: Se encuentran las obras mayores de regulación de Challhuanca y Pillones, también la derivación del río Sumbay a los embalses Pillones. Los ríos que se extienden en este espacio hidrográfico son Challhuanca y Pillones, formando el río Caquemayo hasta la confluencia con el río Sumbay. El área de la subcuenca es de 954,8 km².

La UH 1324 Yura: El río Yura, se forma de los deshielos del Nevado Ananta, parte de los Nevados Chucura y Ananta y de las precipitaciones de verano en la parte alta. Al inicio, los ríos Aycata y Ananta forman el río Acomayo, recibiendo inmediatamente los aportes de la quebrada Chipana. Aguas abajo, el río Acomayo al unirse con el río Ocururo forma el río Yura. Aguas abajo del puente La Calera el río Yura recibe aportes de la quebrada Socosani, por la margen izquierda, y Gramadal o Aguasatada por la margen derecha. La UH Yura tiene una extensión de 1.543 km² hasta la confluencia con el río Chili.

La UH 1322 Siguan: El río Siguan, se forma al confluir los ríos Lluta y Lihualla. Tiene como fuentes de alimentación los deshielos de los nevados Ampato y Sabancaya, asimismo parte del Hualca y Ananta y de las precipitaciones pluviales de las partes altas de la subcuenca. Hasta su confluencia con el río Vítor, tiene un área de 1.772 km².

La UH 1320 Salinas: Se caracteriza por ser una cuenca endorreica y gran parte de su extensión es calificada como área natural protegida denominada Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca. El área de la subcuenca es 659,3 km². El drenaje de todas las aguas procedentes de la cuenca colectora es orientado al reservorio del acuífero que se halla en la parte baja de la llanura, donde se encuentra la laguna de Salinas. Las aguas de escorrentía superficial y subterránea se depositan en la laguna encontrándose cantidades de agua reducidas durante la época

de estiaje y ligeramente mayor en el período de lluvias inundando una superficie mayor.

La UH 1327 Medio Alto Quilca-Vítor-Chili: Su mayor importancia recae en el embalse Aguada Blanca, casi inmediatamente después de la confluencia de los ríos Blanco y Sumbay que forman el río Chili. El embalse Aguada Blanca domina la parte no regulada del río Sumbay y también la parte regulada de las descargas de las represas de Pillones y Challhuanca. El río Sumbay de mayor área de drenaje y mayor precipitación, hasta su confluencia con el río Blanco tiene un área de 939,7 km².

La UH 1325 Medio Quilca-Vítor-Chili: Su principal tributario el río Chili, comprende la zona regulada de la campiña de Arequipa y la zona no regulada que corresponde a la parte oriental de la cuenca, también comprende el sitio donde se encuentra la represa reguladora del sistema Aguada Blanca. Hasta la confluencia del río Chili con el río Yura, el área de la subcuenca es de 2.347 km². El río Tingo Grande descarga sus aguas al río Chili por la margen izquierda, a unos 3 km aguas abajo del Balneario de Tingo sobre la cota 2.130 m s.n.m. Se forma por la confluencia de los ríos Andamayo y Yarabamba. El río Yarabamba se forma por la unión de los ríos Mollebaya y Yarabamba, este último regulado por la represa San José de Uzuña.

La UH 1323 Medio Bajo Quilca-Vítor-Chili: Río Vítor, se forma por la confluencia de los ríos Yura y Chili, al NE de Palca, sobre los 1.437,5 m s.n.m. Desde sus inicios hasta el Boyadero, el río Vítor tiene un cauce abierto y pendiente suave. La Unidad Hidrográfica Vítor tiene una extensión de 2.948 km² hasta la confluencia con el río Siguan.

La UH 1321 Bajo Quilca-Vítor-Chili: Río Quilca, nace de la confluencia de los ríos Siguan y Vítor, son afluentes por la margen derecha e izquierda, en la localidad de Huañamarca, sobre los 150 m s.n.m. Desde su confluencia hasta la hacienda Pampa Blanca su cauce es encañonado y de pendiente suave, para luego tomarse amplio y profundo hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. La UH Bajo Quilca tiene una extensión de 472,3 km² hasta la desembocadura al mar.

No se muestra déficit hídrico en los diferentes usos, si bien la satisfacción de la demanda hidroenergética está condicionada por los usos agrarios. Las aguas subterráneas mediante pozos constituyen un aporte importante en el incremento de la disponibilidad. El aumento de producción agrícola, ha llevado a la sobreexplotación de las aguas subterráneas, esto conlleva a que las principales zonas de explotación de aguas subterráneas se encuentran en la ciudad de Arequipa y alrededores, con un total de 633 pozos a tajo abierto, 9 pozos tubulares, 3 pozos mixtos, 14 manantiales y 9 cochas todo esto en un área de 2.347 km² (Inrena, 2003).

2.2. ANTECEDENTES

Entre los estudios realizados destacan los siguientes:

- Vargas, L. (1970) - "Geología del cuadrángulo de Arequipa, Boletín N° 24". Servicio de Geología y Minería. Correspondiente al levantamiento de la primera base geológica nacional,



donde se hace los primeros reconocimientos de las principales formaciones y eventos geológico.

- Cooperación técnica de Francia (1972) – “El Estudio hidrogeológico de la zona oriental de Arequipa, abastecimiento de agua para mejoramiento de riego”. Junto a la División de obras y explotación de la sub dirección de aguas subterráneas y catedráticos de la Universidad nacional de San Agustín. Realizaron un estudio integral de las vertientes del nevado de Pichu Pichu, en sus estribaciones orientales y occidental, para mejorar el abastecimiento de aguas de regadío a los distritos agrícolas de Chiguata, Paucarpata, Quequeña, Yarabamba, Socabaya y otras de la zona de la campiña de Arequipa. Los trabajos realizados fueron el inventario detallado de las fuentes superficiales y subterráneas, muestreo hidroquímico, nivelación barométrica de los puntos inventariados y un complemento de la geología y geomorfología.
- ONERN (1974) – “Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa, cuenca de los ríos Quilca y Tambo”. Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto denominado “Inventario y Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa”, abocado a los temas de recursos humanos, ecología, agricultura, suelos, geología – minería y recurso hídricos. El Informe incluye diagnósticos económicos en el sector agricultura, transporte, estudio actual del uso de los tierras, y la evaluación del estado actual de las obras hidráulicas, para la captación y distribución de las agua de regadío y se formula un plan tentativo de desarrollo para el mejor uso de los recursos naturales en el valle, el cual incluye obras y acciones en los aspectos hidráulico, vial y agropecuario, concluyendo con la determinación de su prefactibilidad.
- Ingemmet (1996) – “Estudio hidroquímico de la Cuenca del río Quilca-Sihuas-Vítor”. La Dirección de geotecnia del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico publicó el estudio que presenta las características fisicoquímicas de las aguas de la cuenca así como de las concentraciones de minerales pesados y su relación con la presencia de costras salinas sobre los suelos de cultivos en el sector de Vítor y Siguas.

Los principales resultados fueron que las aguas de los ríos Vítor, Siguas y Quilca tienen altos contenidos de cloruros y sulfatos de sodio, donde el pH varía de neutro (7,0) hasta alcalinas (10,0), además en las pampas de Vítor y Siguas hay presencia de costras duras de yeso y carbonatos en los suelos, estos serían procesos de salinización por efecto de lavados de suelos.

- Ingemmet (1997) – “Estudio Geodinámico de la cuenca del río Quilca-Sihuas-Vítor”. La Dirección de geotecnia del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico publicó el estudio que consigna análisis hidrometeorológico, geomorfología, riesgos naturales o geológicos, evaluación geodinámica, prevención y predicción. Todo esto con el propósito fundamental de interpretar el comportamiento hidrológico de los ríos en la cuenca; caracterizados por tener régimen irregular y torrentosos, que crean problemas de inundaciones en áreas de menor pendiente como en sus conos de deyección (cuenca baja).
- Chávez Z. & Jorge A. (1997) – “La Hidrogeología de la Ciudad de Arequipa”. Tesis presentada a la Universidad Nacional de San

Agustín, con el objetivo de determinar la evaluación hidrogeológica de la ciudad de Arequipa, monitoreo de pozos de agua subterránea, interpretación y pruebas de los pozos, prospección y explotación y determinar la conexión hidráulica entre el acuífero y el río Chili, además, presenta una serie de variables hidrogeológicas tales como la conductividad hidráulica, transi-vidad y coeficiente de almacenamiento de los acuíferos, geometría de acuíferos, líneas de equipotenciales, también es importante el inventario de fuentes y su caracterización de los puntos de agua dentro de la ciudad de Arequipa.

- EPS Sedapar & Sigma, (1998) – “Estudio ubicación de nuevas fuentes de agua para el abastecimiento complementario de la ciudad de Arequipa”. El estudio se realizó en toda la ciudad de Arequipa y alrededores de la cuenca del río Chili, con énfasis en la cuenca oriental de la ciudad de Arequipa.
- Se ha definido que en el subsuelo de la laguna de Salinas existe un gran acuífero, en las zonas de las estribaciones occidentales del volcán Pichu Pichu hasta Yumina y Characato existe aguas Subterráneas en el medio fracturado, por lo que es una zona favorable para la exploración y explotación, y en la ciudad de Arequipa existe un acuífero en la zona de Hunter, por lo que es muy favorable para su explotación mediante pozos tubulares profundos.
- Fuentez, G. (1999) – “Estudio Hidrogeológico para el abastecimiento complementario de agua para la ciudad de Arequipa”. Tesis presentada a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Escuela académico profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia, con el objetivo de evaluar nuevos acuíferos dentro de la ciudad, así también propone un anteproyecto de capitación de 5 pozos.

El área de estudio cubre la ciudad, donde realizo 14 SEV con sus columnas litológicas, también presenta columnas estratigráficas de los pozos existentes y un inventario total de pozos y manantiales, además se realizó el análisis físico-químico de las muestras de agua y se determinó su calidad para el consumo humano y riego de cultivos. De la información hidrogeológica se elaboró el plano de isopiezas indicando el flujo y dirección del agua.

- Autodema (2001) – “Diagnóstico de Gestión de la oferta de agua de la Cuenca Quilca – Chili”. El proyecto especial Majes-Siguas del Instituto Nacional de Desarrollo (INADE) a través de la Autoridad Autónoma de Majes presentan el estudio con el propósito de garantizar la oferta hídrica para el uso multiseccional en las diferentes cuencas, optimizar el uso del recurso hídrico disponible, evaluar el estado actual del uso del agua con respecto a la explotación, uso y aprovechamiento de los recursos hídricos, evaluar la institucionalidad relacionada con la gestión del agua en las cuencas y sus recursos humanos, complementar los sistemas de información sobre los recursos hídricos y la difusión de esta información, evaluar los aspectos económicos en la gestión actual del agua, así como la sustentabilidad financiera del sector, analizar y definir los componentes ambientales del uso de agua.
- Inrena (2003) – “Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en la cuenca del río Chili”.



La intendencia de recursos hídricos administración técnica del distrito de riego del Chili-, presenta el estudio que tiene como objetivo evaluar el estado actual de los recursos hídricos del subsuelo, cuyo resultado proporcionará información técnica sobre las fuentes de agua subterránea, la explotación actual y, la reserva total de agua almacenada en el acuífero así como también; las posibilidades futuras de su explotación en el valle.

2.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la hidrogeología regional de la cuenca Quilca-Vítor-Chili (132) que sirva como guía para posteriores estudios.

2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos de este estudio son:

- Definir unidades hidrogeológicas mediante la identificación, delimitación y caracterización de la litología y de sus características hidrogeológicas.
- Determinar la recarga y descarga del sistema subterráneo. Ésta última corresponde al caudal de aporte de la cuenca Quilca-Vítor-Chili.
- Caracterizar la composición y calidad química de las aguas.
- Obtener antecedentes respecto del posible origen de las aguas subterráneas y de los elementos disueltos en éstas.
- Integrar la información anterior en un mapa hidrogeológico

3. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

El objetivo de los estudios hidrogeológicos es conocer el comportamiento de los recursos hídricos existentes en el subsuelo y la posibilidad de su explotación de manera sostenible. Esto incluye el análisis del movimiento del agua, el conocimiento de sus propiedades, su composición química, el estudio de su origen dentro del ciclo hidrológico y la consideración de sus usos potenciales. A continuación, se detallan los distintos aspectos abordados en este estudio, para conocer el comportamiento hidrogeológico de la cuenca Quilca-Vítor-Chili (132), presentando la metodología de trabajo utilizada y marco teórico.

3.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo se divide en las siguientes etapas: recopilación y análisis de información existente; trabajo en terreno y análisis químico en laboratorio; e interpretación de resultados.

3.1.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

- Se revisó la información geológica disponible con énfasis en las unidades de suelos y rocas en situación de experimentar recarga, almacenar y transmitir agua subterránea. Se analizaron imágenes satelitales (Landsat y Google Earth) con el fin de complementar la información anterior.
- Se analizaron los datos hidrometeorológicos históricos recopilados por el SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERU (Senamhi), con el objetivo de estimar la recarga de la cuenca.
- Se realizó un inventario de fuentes de agua: manantiales, bofedales, puntos de control, captaciones de agua subterránea (pozos) disponibles, para su respectivo análisis físico químico.
- Con la ayuda de imágenes satelitales se identificaron vegas, que corresponden a zonas de descarga de los acuíferos. Estos sectores posteriormente fueron visitados en terreno.
- Se recopiló información de la composición isotópica de las precipitaciones en Chile disponible en el sitio web de la Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP).

3.1.2. TRABAJO EN TERRENO Y ANÁLISIS DE LABORATORIO

- Para este estudio se realizaron dos salidas de campo. En cada una de ellas se identificaron los materiales litológicos, mediante imágenes satelitales proporcionados por el Laboratorio de Teledetección (Ingemmet), y se visitaron las captaciones de agua para comprobar el estado de éstas. En las captaciones se midieron niveles de agua subterránea. Se realizó reconocimiento de las diferentes fuentes de agua en la cuenca, se tomaron muestras de agua para análisis químico e isotópico. Se utilizaron muestras de agua tomadas por geólogos del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (Ingemmet).
- Las muestras de agua se analizaron en el laboratorio químico de INSPECTORATE para determinar las concentraciones de iones disueltos. Las determinaciones de isótopos estables ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$) se efectuaron en el laboratorio de isótopos ambientales de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN).

3.1.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Con los datos de terreno e información de pozos se realizaron columnas estratigráficas y perfiles hidrogeológicos esquemáticos, con énfasis en la definición de unidades hidrogeológicas.
- Se estimó la recarga de la cuenca, a partir de la información meteorológica y estudios previos realizados por el Senamhi (2009).



- Para explicar el origen de los distintos elementos en las aguas subterráneas los resultados de los análisis químicos fueron graficados de diversas maneras (entre los que se incluyen diagramas de Piper, de Stiff, y Shouller).
- Se realizó una comparación de la calidad de las aguas con las normas peruanas de agua para uso potable y riego.
- Se utilizó la información isotópica recopilada por Ingemmet (2009) de muestras de precipitaciones en la cuenca Quilca-Vítor-Chili (132). De esta forma, se caracterizó la composición isotópica de las aguas de recarga.
- Se realizó un mapa hidrogeológico en donde se resume la información anterior.

3.1.4. METODOLOGÍA DE MUESTREO

3.1.5. MUESTRAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES

Las muestras para análisis de elementos mayores fueron tomadas en envases de polietileno de alta densidad (HDPE) de 500 mL. Las muestras para análisis de elementos menores y trazas se tomaron en botellas de HDPE de 500 mL, el agua fue filtrada con filtros de 0.45 µm, al momento de tomar la muestra, y acidificadas con 2 mL de HNO₃ al 50%. Las muestras para análisis de isótopos estables de oxígeno e hidrógeno se tomaron en botellas de HDPE de 250 mL, sin filtrar ni acidificar. Previamente, todas las botellas fueron lavadas en el terreno se ambientaron tres veces con el agua a muestrear.

Al momento de tomar la muestra, instrumentalmente se realizaron determinaciones de temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto con un instrumento portátil WTW multi 340i.

Todas las muestras fueron guardadas en una nevera plástica a la espera de ser llevadas al laboratorio. Los parámetros físicos medidos en terreno se incluyen en la tabla de resultados analíticos que se encuentra en el Anexo 1.

Fotografía 1 Mediciones de muestras in situ, obteniendo los parámetros físicos químicos (manantial Tetejon)



Las muestras de manantiales, pozos, aguas superficiales, fueron tomadas directamente en el punto en el que éstas afloran.

3.1.6. PROCEDIMIENTO ANALÍTICO

Los análisis químicos de los cationes y aniones se determinaron en el laboratorio de INSPECTORATE de Chile, los cuales fueron Cloruros, Sulfatos, Nitrógeno Nitrato, Metales por ICP, Carbonatos, Bicarbonatos. Con fecha noviembre 2009.

Las determinaciones de razones isotópicas de oxígeno-18 (18O) e hidrógeno-2 (2H) se realizaron en el laboratorio de isótopos ambientales de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN). El equipo utilizado fue un espectrómetro de masas de razón iónica (IR-MS) Finnigan Mat 252. El estándar utilizado fue el Vienna Standard of Mean Ocean Water (V-SMOW).

4. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El marco geológico de la cuenca de Quilca-Vítor-Chili (132), debe sus orígenes a una gran cuenca de sedimentación, la misma que ha tenido diversos eventos geológicos, que han traído como consecuencia la depositación de sedimentos de facies marinas y continentales, así como plutonismo y vulcanismo. Se presentan las unidades geológicas de superficie y las secciones geológicas correspondientes (figura 2).

Las rocas que se presentan en la cuenca, corresponden a sedimentarias, metamórficas e ígneas intrusivas y extrusivas. Con referencia a las rocas sedimentarias, se tiene principalmente rocas del tipo areniscas, lutitas, calizas y niveles conglomerádicos, los mismos que se hallan estratificados con niveles de materiales volcánicos. En relación a las rocas metamórficas, se presentan rocas del tipo cuarcitas, mármol, gneis y esquistos micáceos. Con relación a las rocas ígneas se tienen intrusivos de composición granitoide del tipo batolítico y otros intrusivos menores como son stocks, diques, etc. y rocas extrusivas volcánicas las mismas que cubren a rocas de edad más antiguas. La edad de las rocas que se encuentran en la cuenca varía desde el Precámbrico hasta el Cuaternario Reciente.

La zona de estudio, tectónicamente ha sufrido esfuerzos de tensión y compresión, produciéndose intrusiones plutónicas del tipo batolítico, generando en este caso el Batolito de la Caldera, que ha producido la disturbación tectónica de formaciones más antiguas y dando como resultado que se produzcan plegamientos como anticlinales y sinclinales, así como fallamientos.

Desde el punto de vista de geodinámica externa reciente, en la cuenca se producen principalmente fenómenos de erosión de laderas con cárcavas y depósitos proluviales de conos deyección, erosión de fondo de cauces de ríos y quebradas con la formación de valles, derrumbes de rocas en zonas de alta pendiente y principalmente en zonas encañonadas de los cauces de los ríos, deslizamientos y reptación de suelos en áreas localizadas por presencia de aguas subterráneas en taludes y por condiciones litológicas. También se tienen los movimientos sísmicos de diversa magnitud, que afectan a la infraestructura hidráulica y el vulcanismo reciente y antiguo que afecta a la ecología y medio ambiente.



Desde el punto de vista hidrogeológico, se tiene el recurso del agua superficial, con la presencia de varios nevados que son fuente de alimentación periódica o permanente, los que son usados para las diferentes actividades humanas. También debemos referirnos al recurso de agua subterránea, que si bien su utilización no está muy desarrollada en esta cuenca, existen acuíferos identificados y otras formaciones geológicas que pueden constituir acuíferos importantes en otras zonas, principalmente en las planicies alto andinas de la parte alta de la cuenca.

Referente a la actividad minera, existen algunas minas de depósitos metálicos y no metálicos, que se encuentran en actividad, que producen residuos de relaves con contaminantes, que de alguna manera influyen en la contaminación de las aguas y por ello afecta a la ecología.

4.1.1. ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía general de la cuenca hidrográfica del río Quilca-Vitor-Chili (132) está controlada por cuatro grandes estructuras que generaron tres cuencas sedimentarias que se desarrollaron a distintas épocas y en algunos casos se desarrollaron de manera paralela. La Cordillera de la Costa en la Cuenca Hidrográfica del río Quilca-Vitor-Chili (132) funcionó como el límite oeste de la cuenca sedimentaria Arequipa, al igual que lo que se observa en el río Camaná. Por lo que se deduce que esta cuenca sedimentaria Arequipa tuvo como límite o borde oeste en el Jurásico a la cadena de cerros que corresponden en la actualidad a la Cordillera de la Costa, desarrollándose una importante acumulación de material detrítico que se extiende hasta la Cordillera Oriental entre Puno y Cusco gracias a una serie de fallas normales que hicieron posible la subsidencia de esta cuenca. Posteriormente, Acosta et al., (2012) menciona la edad de 83 Ma, como el inicio de la inversión tectónica del sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio, que trajo como consecuencia el inicio de la creación de la cordillera Occidental y el cierre o destrucción de la cuenca Arequipa. A partir de esta edad suceden una serie de acontecimientos geológicos trascendentes que generan nuevas cuencas sedimentarias, además de la aparición de numerosos arcos magmáticos que aportaron abundante material volcánico e ígneo a la región, construyendo lo que en la actualidad denominamos como la Cordillera Occidental.

Los estudios estratigráficos sujetos a la elaboración de mapas con contenido hidrogeológico en este caso, deben estar sujetos a límites de cuencas sedimentarias antiguas y recientes; estas cuencas están identificadas y delimitadas, sabiendo que las cuencas Moquegua y Maure, se desarrollaron en áreas antiguamente ocupadas por la cuenca sedimentaria Arequipa (anexo 3).

La Cuenca sedimentaria Moquegua tiene una dirección preferente noroeste-sureste, cuyos límites están ligados a las estructuras o fallas profundas de dirección noroeste-sureste ubicados al borde oeste de la cuenca. En cambio, su límite este corresponde a un conjunto de fallas inversas de dirección promedio noroeste-sureste. Los afloramientos de roca pertenecientes a la cuenca sedimentaria Moquegua se extiende desde Caraveli hasta la zona de Tacna dentro del territorio peruano.

La cuenca sedimentaria Maure está limitando a la Cordillera Occidental en la cuenca hidrográfica Quilca-Vitor-Chili (132) ocupa el extremo noreste en afloramientos aislados. Esta cuenca

sedimentaria Maure posee principalmente rocas sedimentarias lacustrinas invadida o rellenadas por una innumerable sucesión de eventos volcánicos efusivos y explosivos. Una serie de estudios regionales se ocupan de las rocas volcánicas y sedimentarias que afloran en la Cordillera occidental y el altiplano del sur del territorio peruano. Palacios et al. (1993) considera como "Grupo Maure", a una serie de depósitos lacustrinos posterior a la depositación del otro Grupo Tacaza de edad Oligoceno. De esta forma agruparon como Grupo Maure a las secuencias que han sido denominadas anteriormente como formaciones Sencca, Capillone, Quemillone y Pichu por Wilson y García (1962), Mendivil (1965), Marocco & Del Pino (1966) y García (1978).

A continuación hacemos una descripción litológica de las unidades sedimentarias e ígneas presentes en la cuenca hidrográfica del río Quilca-Vitor-Chili (132) (Acosta, 2014).

4.1.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Consideramos que para la zona de estudio existen cuatro grandes estructuras heredadas denominadas como Sistema de Fallas Islay-Ilo, Sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio, Sistema de fallas E-O y el importante sistema de fallas NE-SO o transversal a los andes (Acosta et al., 2012). Lo resaltante de estas estructuras en el aspecto geomorfológico, es que se comportan como límites de las grandes unidades morfoestructurales. En la figura 3 apreciamos una distribución sectorizada de los sistemas de fallas, debido esencialmente a la migración de esfuerzos hacia el NE a la actual Cordillera Occidental, donde se encuentran las fallas más recientes en términos geológicos. Haremos una breve descripción de estos grandes sistemas de fallas tomando en cuenta esencialmente la naturaleza y características que las agrupan y relacionan entre sí.

Sistema de fallas ISLAY-ILO (SFII)

Corresponde al sistema estructural ubicado al extremo suroeste de la cuenca hidrográfica del río Quilca-Vitor-Chili (132). Se trata de antiguas fallas que generalmente son de tipo inversa, con dirección promedio NO-SE ubicados únicamente en afloramientos de roca muy antigua en la Cordillera de la Costa. El límite entre la Cordillera de la Costa y las Pampas Costaneras (figura 3) es una línea discontinua, sin un límite contundente, debido a la presencia de sedimentos recientes que cubren esta zona. La falla que atraviesa muy cerca de los poblados de Huchas y Pampa Blanca pone en contacto dos bloques conformados por rocas metamórficas, provocando en su zona de influencia, abundante fracturamiento, milonitas y brechas tectónicas a lo largo de su recorrido. Este conjunto de fallas tienen formas curvilíneas, donde la parte cóncava apunta hacia el este noreste, que corresponde básicamente a la dirección de esfuerzo de estas fallas inversas.

Sistema de fallas CINCHA-LLUTA-INCAPUQUIO (SFCLI)

Trabajos efectuados por la Comisión de la Carta Geológica Nacional realizados por Barúa el año 1961 en los cuadrángulos de Tarata y Moquegua, específicamente por los alrededores de la mina Toquepala mencionan por primera vez a la falla Incapuquio. En la zona de Yura-Arequipa Vicente (1989) estudia una falla de naturaleza inversa y la denominó Falla Cincha-Lluta. Trabajos más



recientes vieron la relación entre estas fallas y se determinó que pertenecen a un mismo sistema tectónico denominado en esta compilación como “sistema de Fallas Cincha-Lluta-Incapuquio”.

Sistema de fallas NE-SO transversales a la cordillera (NE-SO)

La dirección promedio de las fallas y lineamientos que pertenecen a este sistema, varían desde 40° a 60° o NE-SO. Se aprecia en la figura 3 (líneas de color rojo) que este sistema de fallas atraviesa perpendicularmente a la Cordillera de la Costa, Pampas Costaneras, Vertiente oeste de la Cordillera Occidental y a la Cordillera Occidental, siendo asimismo paralelo a los valles o ríos principales. La figura 3 muestra una serie de líneas de colores rojos, continuos y discontinuos, que en mucho de los casos coincide con la dirección de las principales quebradas. En la Cordillera Occidental se aprecia cierta relación de estas estructuras con los centros de emisión de las rocas volcánicas del Grupo Barroso y de los volcánicos recientes. Estas fallas y lineamientos en las partes altas de la Cordillera Occidental condicionan en muchos casos la surgencias de manantiales.

5. HIDROLOGÍA

El río Quilca-Vítor-Chili tiene una longitud total de 321,62 km, la dirección de su recorrido es de noreste a oeste y corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, y consecuentemente pertenece a la vertiente del Océano Pacífico, los niveles altitudinales van desde los 0 y 6.250 m s.n.m.

El río Chili nace de la confluencia de los ríos Sumbay y Blanco. El río Sumbay surge detrás de la cordillera occidental, de las aguas provenientes de un manto acuífero situado en la formación Capillune, de unos 200 m. de profundidad entre la cordillera occidental y oriental. Aguas abajo aproximadamente a 67 km, se une con el río Yura formando el río Vítor, el cual discurre 69 km aprox. antes de su confluencia con el río Sigüas para formar el río Quilca, que finalmente desemboca en el mar, siendo la longitud aproximada de 21 km. El río Tingo Grande y la Quebrada Añashuayco son otros de los afluentes al río Chili, ubicados en la margen derecha e izquierda respectivamente, antes de la unión con el río Yura.

El río Blanco, tributario por la margen izquierda de la cuenca, se encuentra en gran parte regulada por el embalse El Fraile; hasta su confluencia con el río Sumbay presenta una cuenca de drenaje de 1.200 km². Un tributario importante es la quebrada Pasto Grande, que ingresa al río Blanco por la margen derecha, inmediatamente aguas arriba de la presa El Fraile.

Río Vítor: Se forma por la confluencia de los ríos Yura y Chili, por la derecha e izquierda respectivamente, al noreste de Palca, sobre los 1.437,5 m s.n.m. Desde sus inicios hasta El Boyadero, el río Vítor corre con cauce abierto y pendiente suave. En este tramo, la agricultura del valle se asienta en ambas márgenes, encontrándose una serie de bocatomas entre las principales, La Quebrada, Socabón, Catedral, La Cano, La Valcarcel, Desamparados, Huachipa, Berengel, Punillo, La Palomar, El Majuelo, Santa Rosa, La Cossío, La Ofelan y Boyadero. En este tramo recibe filtraciones de las irrigaciones de La Joya, que están sobre la pampa de La Joya y que degradan la calidad del agua para riego. Las principales fuentes de filtraciones están ubicadas en Mocoro, Candelaria, Pie de Cuesta, San Luis I y II, Santa Rosa, Punillo y

La Cossío. Algunas de ellas han ocasionado problemas geodinámicos importantes como Pie de Cuesta, Punillo y La Cossío. Desde El Boyadero hasta su confluencia con el río Sigüas, en el paraje Huañamarca, sobre los 150 m s.n.m, su cauce se torna profundo y encañonado con pendiente suave. En este tramo no hay agricultura, salvo las pequeñas áreas de riego en los parajes Huccha y Huañamarca. Este valle ha labrado su cauce en las Pampas Costaneras, tipificándose como valle maduro.

El río Sumbay, tributario por la margen derecha, de mayor área de drenaje y mayor precipitación, hasta su confluencia con el río Blanco tiene una cuenca de 2.450 km², sólo se encuentra parcialmente regulada por el embalse Aguada Blanca, no existiendo sobre su cauce obras de regulación. La cuenca del río Sumbay, presenta tributarios importantes tales como el río Pausa por su margen izquierda, y por su margen derecha, mediante un tramo común corto, los tributarios Caquemayo, Challhuanca y Capillune. Casi por los 4.420 m s.n.m recibe por su margen derecha al canal Zamácola, que incorpora recursos de la cuenca del Alto Colca.

El río Sigüas se forma al confluir los ríos Lluta y Lihualla. Tiene como fuentes de alimentación los deshielos de los Nevados Ampato, Sabancaya, parte del Hualca y Ananta, las precipitaciones pluviales de las partes altas de la cuenca. Hasta su confluencia con el río Vítor, tiene una cuenca de 1.774 km²; su cuenca húmeda, hasta la cota 3.000 m s.n.m es de 765 km².

Estas aguas son captadas en la bocatoma de Pitay y conducidas a la Pampa de Majes. A esta altura, y por debajo de la cota 1.800 m s.n.m, se presenta agricultura tradicional de valle en Santa Isabel y San Juan de Sigüas; a la cota 1.300 m s.n.m está la irrigación Santa Rita de Sigüas, que recibe una dotación de agua del Proyecto Majes

El río Yura se forma de los deshielos del Nevado Ananta, parte de los Nevados Chucura y Ananta las precipitaciones de verano en la parte alta. Desde el inicio del río Yura hasta el puente La Calera, el cauce se presenta encañonado y de pendiente fuerte, recibiendo los aportes del manantial de la quebrada Aguas Calientes, por las márgenes derecha e izquierda respectivamente.

Aguas abajo del puente La Calera el río Yura recibe aportes de la quebrada Socosani, por la margen izquierda, y Gramadal, por la margen derecha. Remontando la Quebrada La Calera se llega a La Rinconada, donde se encuentran varias tomas y manantiales, siendo las más importantes Fundo El Fierro, San Román, Zamácola, El Tigre, El Filtro y Socosani. Hasta la Confluencia con el río Vítor tiene una cuenca de 1.618 km².

El río Tingo Grande entrega sus aguas al río Chili por su margen izquierda, a unos 3 km aguas abajo del Balneario de Tingo, sobre la cota 2.130 msnm. Se forma por la confluencia de los ríos Andamayo y Postrero, tributarios por la margen derecha e izquierda. El río Postrero se forma por la unión de los ríos Mollebaya y Yarabamba, tributarios derecho e izquierdo, sobre los 2.300 m s.n.m.

Aguas arriba de la ciudad de Arequipa, se encuentra el embalse Aguada Blanca, casi inmediatamente después de la confluencia de los ríos Blanco y Sumbay que forman el río Chili; hasta Aguada Blanca hay una cuenca de drenaje de 3.895 km². Aguas abajo de la ciudad de Arequipa, el río Chili recibe por la margen izquierda los aportes de río Tingo Grande, que se forma de los ríos Andamayo, Mollebaya y Yarabamba.



El río Quilca nace de la confluencia de los ríos Sigwas y Vítor, afluentes derecho e izquierdo, en la localidad de Huañamarca, sobre los 150 m s.n.m. El río Vítor se forma por la confluencia de los ríos Yura y Chili, por la derecha e izquierda respectivamente, al noreste de Palca, sobre los 1.437,5 m s.n.m.

Desde 1965, los recursos hídricos empleados no se limitan a la sub cuenca Medio Quilca-Vítor-Chili (1325). Desde ese año se incorporan los recursos hídricos de la sub cuenca Alto Colca, que hidrográficamente es la cabecera de la cuenca Camaná-Majes-Colca, mediante obras de regulación y trasvase para su uso en la subcuenca Medio Quilca-Vítor-Chili (1325).

El trasvase de estos recursos hídricos se realiza mediante el canal Pañe Sumbay. Desde mediados de los 70 se hizo evidente que este canal tenía importantes pérdidas por filtraciones, llegando a medirse pérdidas entre el 45% y 50%.

El 2006 se inicia el funcionamiento del embalse Pillones, el 2009 se inaugura la represa Chalhuanca, que almacena 25 hm³ de agua y, el 2010 entro en funcionamiento de la represa Bamputañe, que almacenará hasta 40 hm³ de agua, estos dos últimos incrementaran la capacidad de generación de energía eléctrica de Egasa de 9 MW y 11 MW respectivamente.

5.1. HIDROMETEOROLOGÍA

Medir todos los fenómenos hidrológicos que ocurren en la cuenca es muy complejo, sin embargo, a falta de un registro completo de estaciones meteorológicas, se pueden representar los datos de una manera simplificada, mediante cálculos, que involucren todo un conjunto de partes diversificadas que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico, se considera un sistema, cuyos componentes principales son: precipitación, evaporación, escorren-

tía e infiltración, que además tienen componentes como interceptación, transpiración, escorrentía sub superficial, escorrentía subterránea o percolación, etc. Las características que determinan el comportamiento de estos componentes, en gran medida, está determinada por su configuración fisiográfica.

Los registros ideales, se basan en período continuo de doce meses, seleccionados de manera que, los cambios globales en el almacenamiento sean mínimos, por lo que, la cantidad sobrante de un año, al siguiente se reduce al mínimo. Sin embargo la configuración que tiene el territorio peruano, sobre todo por la presencia de la cordillera de los Andes, involucra tener un año hidrológico diferente, que comienza en el mes de septiembre y termina en agosto, concentrado la mayor parte de la precipitación pluvial entre los meses de diciembre a abril.

Los registros hidrológicos que proveen las estaciones meteorológicas e hidrométricas, permite evaluar, las precipitaciones pluviales, las descargas de los ríos, las variaciones de temperatura, la humedad relativa, la evapotranspiración, etc. La tabla 1 muestra el registro obtenido de diversos parámetros hidrológicos y climáticos de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca y alrededores; sin embargo las estaciones que cuentan con operación y funcionamiento constante son solo veinte (SENAMHI 2012): Climatológica ordinaria (Imata, Pillones, Huanca, Characato, Pampa de Arrieros, Sumbay,

El Frayle, Aguada Blanca, Chiguata y Las Salinas), dos estaciones meteorológicas agrícola principal (La Pampilla y La Joya), dos pluviométricas (Socabaya y Huanca), dos estaciones sinópticas (Vítor y Corpac) y cuatro estaciones hidrométricas del sub tipo limnigráficas (Tingo Grande, Charcani Puente del Diablo y Sumbay) ubicadas en la parte baja, media y alta de la cuenca cuyos datos se usaran para el presente informe (tabla 1).

Tabla 1. Red de estaciones meteorológicas

Nombre	Lat. S.	Long. O	X	Y	Z	Tipo	Cuenca	Dpto.	Prov.	Precipitación anual (mm)	Entidad
Imata	15°50'	71°05'	276,878	8,248,396	4.495	CO	Chili	Arequipa	Caylloma	523.2	SENAMHI
Pillones	15°59'	71°13'	262,762	8,231,647	4.200	PLU	Chili	Arequipa	Caylloma	413.6	SENAMHI
Sumbay	15°59'	71°22'	246,701	8,231,470	4.150	PLU	Chili	Arequipa	Arequipa	438.9	SENAMHI
El Frayle	16°09'	71°11'	266,532	8,213,235	4.015	CO	Chili	Arequipa	Arequipa	318.1	SENAMHI
Aguada Blanca	16°15'	71°20'	250,610	8,201,989	3.725	CO	Chili	Arequipa	Arequipa	256.0	SENAMHI
Chihuata	16°24.5'	71°24.7'	242,435	8,184,367	2.964	PLU	Chili	Arequipa	Arequipa	173.5	SENAMHI
La Pampilla	16°23.8'	71°31.3'	230,665	8,185,510	2.410	CP	Chili	Arequipa	Arequipa	81.7	SENAMHI
Socabaya	16°28'	71°32'	229,521	8,177,745	2.339	PLU	Chili	Arequipa	Arequipa	61.2	SENAMHI
Las Salinas	16°37.3'	71°08'	272,429	8,161,082	4.326	PLU	Salinas	Arequipa	Arequipa	344.8	SENAMHI
Puquina	16°38'	71°11'	267,107	8,159,739	3.109	CO	Tambo	Moquegua	Sánchez	215.8	SENAMHI
Ubinas	16°23'	70°51'	302,418	8,187,765	3.370	CO	Tambo	Moquegua	Sánchez	293.9	SENAMHI
Pampa de Arrieros	16°04'	71°35'	223,620	8,221,962	3.741	PLU	Yura	Arequipa	Arequipa	230.1	SENAMHI
Huanca	16°01.5'	71°52.6'	192,146	8,226,165	3.080	PLU	Siguas	Arequipa	Arequipa	126.4	SENAMHI
Huambo	15°44'	72°06'	810,798	8,258,430	3.352	PLU	Colca	Arequipa	Caylloma	263.1	SENAMHI
Morocaque	15°37'	71°03'	280,214	8,272,404	4.450	PLU	Colca	Arequipa	Caylloma	586.5	SENAMHI
Pulpera	15°37'	71°25'	240,881	8,271,991	4.042	PLU	Colca	Arequipa	Caylloma	364.4	SENAMHI
El Pañe	15°25'	71°04'	278,209	8,294,521	4.524	CO	Colca	Arequipa	Caylloma	713.3	SENAMHI



5.1.1. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE LA CUENCA
QUILCA – VÍTOR – CHILI (132)

Debido a la presencia de la cadena montañosa de los Andes y la corriente fría de Humboldt en el Océano Pacífico, la precipitación en la zona alta, ubicada entre 15° y 17° de latitud sur, es distinta a la que debería esperarse para un clima subtropical, es decir altas temperaturas, sin embargo en la zona de la costa hasta una altitud de 1400 m.s.n.m., la precipitación es nula a esporádica, esto por la corriente de Humboldt (tabla 2).

En la zona media y alta existe una época marcada de lluvias entre Diciembre y Abril, época en la cual se alcanza las mayores temperaturas, mientras que en el resto de año la precipitación es baja, siendo nula en los meses de Junio a Agosto, cuando se alcanza también las menores temperaturas.

La cuenca del río Quilca-Vítor-Chili (132) cuenta con una red hidrometeorológica escasa que en total suman diez (10) estaciones operativas, las que se ubican en la parte baja, media y alta de la cuenca.

Tabla 2. Datos históricos de precipitación media anual desde año 1964 2013

Año	Imata	Pillones	Sumbay	El Frayle	Aguada Blanca	Chiguata	la Pampilla	Socabaya	Las salinas	Puquina	Ubinas	Pampa de arrieros	Huanca	Huambo	Morocaque	Pulpera	El Pañe
1964	492.6	347.0	284.0	224.5	230.0	164.0	45.0	82.0	339.0	353.0	300.0	164.0	171.0	171.2	582.9	522.6	607.6
1965	322.5	328.0	310.7	150.9	203.0	114.0	27.0	98.0	117.0	88.0	186.0	99.0	59.4	377.3	387.0	132.4	666.1
1966	455.8	343.0	175.7	189.5	139.0	60.0	11.0	13.0	189.0	229.0	175.0	105.0	65.2	186.9	722.8	431.7	547.4
1967	582.0	574.0	422.6	323.2	382.0	252.0	185.0	153.0	369.0	242.0	336.0	300.0	198.7	147.5	526.1	209.8	626.5
1968	643.6	581.0	358.5	366.1	345.0	196.0	83.0	117.0	274.0	257.0	386.0	255.0	149.3	521.0	640.2	300.1	693.4
1969	448.5	463.4	243.0	321.7	265.0	62.0	26.0	49.0	292.0	109.0	234.0	140.0	79.9	425.6	352.3	135.8	550.5
1970	456.6	456.0	331.7	260.2	193.0	76.0	32.0	69.0	237.0	141.0	229.0	139.0	58.8	236.2	526.3	193.3	711.0
1971	516.2	566.0	307.6	260.4	125.0	121.0	35.0	76.0	376.0	97.0	297.0	164.0	40.8	270.4	435.8	379.9	716.4
1972	713.5	415.0	681.5	439.3	504.0	470.0	181.0	218.0	655.0	389.0	492.0	400.0	256.1	246.8	601.7	528.6	755.4
1973	737.3	479.0	544.6	271.5	165.0	211.0	112.0	236.0	326.0	471.0	489.0	226.0	197.1	611.2	736.4	538.9	954.6
1974	815.9	201.0	584.2	348.2	292.0	286.0	132.0	149.0	447.0	447.0	366.0	305.0	178.0	355.5	683.6	474.9	730.1
1975	653.7	532.0	800.8	441.6	428.0	284.0	170.0	127.0	385.0	442.0	429.0	327.0	133.5	427.2	615.8	614.9	850.5
1976	536.5	427.0	527.6	498.6	419.0	359.0	99.0	89.0	446.0	168.2	347.0	280.0	109.1	341.2	455.6	230.9	783.6
1977	549.3	513.0	471.5	382.3	299.0	255.0	47.0	70.0	385.0	252.0	349.0	160.0	141.9	384.5	550.1	226.7	640.5
1978	589.0	408.0	316.5	431.5	237.0	48.0	12.0	4.0	416.0	126.0	194.0	95.0	54.7	189.9	627.8	191.2	634.0
1979	431.3	295.0	344.4	204.7	246.0	90.0	24.0	36.0	377.0	115.0	214.0	120.0	45.8	134.2	495.4	216.4	629.6
1980	385.8	361.0	221.8	179.2	178.0	72.0	31.0	16.0	309.0	57.0	162.0	113.0	47.6	175.8	523.5	235.4	468.2
1981	715.7	559.0	425.2	410.5	330.0	175.0	34.0	21.0	702.0	284.0	341.0	246.0	109.9	121.0	580.6	280.9	775.9
1982	458.5	333.0	268.1	288.2	319.0	61.0	27.0	16.0	425.0	130.0	221.0	148.0	46.2	254.1	385.3	335.2	683.7
1983	185.5	159.0	237.5	161.2	111.0	12.0	2.0	0.0	106.0	168.0	65.0	126.0	27.6	145.6	212.7	142.2	323.6
1984	547.8	664.0	532.5	421.3	538.0	207.0	87.0	60.0	686.0	327.0	513.0	436.0	171.8	122.9	790.9	616.8	821.2
1985	715.7	485.0	569.0	334.6	469.0	136.0	75.0	71.0	450.0	249.0	355.0	236.0	67.4	359.1	999.8	508.6	815.9
1986	594.8	485.0	478.3	570.9	507.0	231.0	120.0	90.0	342.0	444.0	405.0	439.0	316.1	205.2	527.8	532.1	882.3
1987	306.4	195.0	249.6	129.1	169.0	82.0	41.0	33.0	220.0	248.0	236.0	186.0	172.6	298.5	566.2	267.9	539.2
1988	466.8	446.0	335.8	263.3	349.0	115.0	38.0	8.0	221.0	57.0	262.0	181.0	142.6	170.7	671.8	419.6	685.2
1989	394.1	316.0	1296.8	275.9	245.0	268.0	127.0	103.0	515.0	127.0	249.0	311.0	133.3	324.5	478.1	268.1	737.3
1990	476.9	494.0	595.4	368.8	413.0	110.0	26.0	53.0	421.0	78.4	279.0	213.0	19.9	283.1	624.1	293.2	561.6
1991	450.8	450.0	464.2	290.0	284.0	82.0	21.0	12.0	342.0	279.0	256.0	181.0	54.6	181.4	534.5	318.3	727.5
1992	239.6	215.0	310.9	118.6	45.0	15.0	5.0	2.0	146.0	91.0	195.0	95.0	10.6	159.4	338.9	180.6	423.1
1993	546.8	369.0	585.7	305.6	196.0	177.0	51.0	35.0	266.0	156.0	256.0	189.0	59.6	36.2	365.1	431.1	785.1
1994	655.7	386.0	983.6	413.6	204.0	303.0	85.0	48.0	475.0	238.3	319.0	260.0	103.0	210.2	745.5	336.3	932.8
1995	359.8	333.0	464.8	240.0	159.0	196.0	96.0	98.0	267.0	96.0	221.0	271.0	23.1	224.3	539.1	326.6	719.7
1996	534.6	345.0	452.9	267.5	153.0	120.0	45.0	16.0	301.0	51.0	253.0	78.0	105.1	192.2	550.9	479.5	871.2
1997	432.2	453.0	586.8	339.4	259.0	326.0	160.0	33.0	506.0	155.0	451.0	347.0	229.3	210.4	610.5	346.1	666.7
1998	388.5	294.0	325.6	261.1	159.0	135.0	35.0	23.0	376.0	149.0	264.0	315.0	133.4	334.3	612.1	339.5	835.9
1999	762.0	577.3	676.0	439.0	323.0	351.0	153.0	52.0	461.0	350.0	438.0	235.0	232.8	255.9	774.7	745.4	913.4
2000	493.9	473.6	513.5	360.0	337.0	314.0	191.0	91.0	224.0	365.0	382.0	339.1	295.5	411.3	665.9	369.9	817.3
2001	579.1	367.6	431.2	291.1	260.6	354.7	181.9	74.3	326.0	147.8	314.7	321.9	185.9	335.3	735.2	595.9	683.6
2002	654.3	556.9	372.9	419.2	221.8	218.9	98.4	62.1	326.3	274.9	342.7	343.7	200.3	322.1	836.8	391.8	810.4
2003	403.0	249.9	210.7	190.9	116.3	49.6	17.3	12.3	194.8	321.0	177.2	178.7	47.4	344.0	722.6	222.8	748.5
2004	466.3	321.5	250.6	270.7	121.4	145.5	54.2	31.8	233.4	267.9	219.3	302.0	107.3	178.9	535.2	212.6	739.1



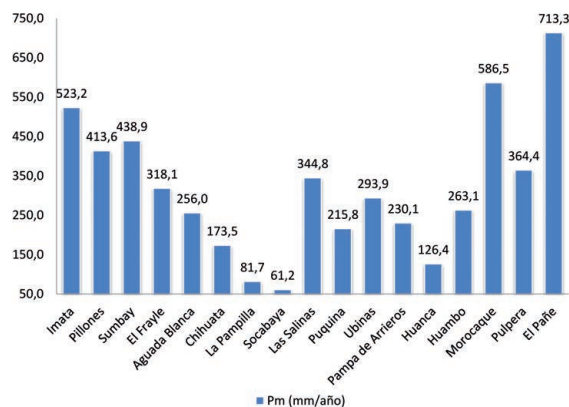
Año	Imata	Pillones	Sumbay	El Frayle	Aguada Blanca	Chiguata	la Pampilla	Socabaya	Las salinas	Puquina	Ubinas	Pampa de arrieros	Huanca	Huambo	Morocaque	Pulpera	El Pañe
2005	484.7	350.9	307.6	282.3	189.0	89.9	33.2	17.9	254.9	162.4	258.7	226.3	103.5	294.6	638.2	562.3	766.9
2006	648.4	413.6	425.5	359.6	202.4	181.6	85.8	44.8	216.9	291.3	279.1	330.0	142.9	226.5	747.1	554.9	865.9
2007	504.0	373.2	312.2	296.4	149.7	133.3	40.8	23.0	247.3	127.3	338.1	223.5	94.9	325.6	670.7	664.7	789.9
2008	375.6	280.3	297.4	335.0	204.3	226.7	136.0	103.4	306.9	249.4	360.5	182.4	111.9	264.6	524.5	221.6	601.3
2009	503.4	437.9	327.9	337.4	185.0	157.1	51.8	30.7	307.3	150.7	221.6	227.1	128.8	249.5	534.6	252.6	655.1
2010	633.5	437.4	411.7	352.2	161.0	63.2	22.2	7.9	253.0	125.7	153.9	102.0	62.3	121.0	582.2	344.8	779.0
2011	667.9	575.5	426.3	137.4	328.6	324.0	172.6										
2012	779.5	609.4	490.8	305.3	508.6	238.0	299.9										
2013	403.0	383.5	302.8	249.3	280.8	221.0											
Prom (mm)	523.2	413.6	438.9	318.1	256.0	173.5	81.7	61.2	344.8	215.8	293.9	230.1	126.4	263.1	586.5	364.4	713.3
	517.2	405.9	438.9	312.5	256.0	173.5	72.2	61.2	341.5	215.8	293.9	226.6	119.7	263.1	586.5	364.4	713.3

En la zona alta, las estaciones Pillones, Imata, Huanta y Pampa de Arrieros registran la variabilidad climática de esta región. En la parte media de la cuenca, las estaciones Aguada Blanca y El Frayle ubicadas cerca de los embalse del mismo nombre, son representativas de la zona.

En la zona del valle, se encuentra la estación La Pampilla y L, que registra la variabilidad climática de esta parte de la cuenca.

En la cuenca existen tres estaciones hidrológicas, la HLG Sumbay ubicada en la parte alta de la cuenca y que registra los aporte del río Sumbay al río Chili y en la cabecera del valle se localiza la estación HLG Charcani y en el valle la estación HLG Puente del Diablo.

Figura 3. Representación de la precipitación media anual con las estaciones meteorológicas



5.1.2. TEMPERATURA (T)

En la cuenca del río Quilca-Vítor-Chili (132) al igual que la precipitación pluvial y tal vez con mayor nitidez, la temperatura es el elemento meteorológico cuya variación espacial está ligada al factor altitudinal. Estudios efectuados por Senamhi en su balance hídrico (2009), dentro de la cuenca del río Quilca-Vítor-Chili (132), han permitido establecer variaciones medias anuales que van desde los 20 °C en la Costa hasta los 6°C en las partes más altas (figura 4 y tabla 3).

En las estaciones ubicadas en zonas de mayor altura sobre los 4.400 m s.n.m, como Pillones e Imata, la temperatura media mensual fluctúa entre 3.1 °C para los meses lluviosos de diciembre a marzo, y -6.4 °C para los meses de estiaje, cuando la nubosidad es menor.

Temperatura Media: el régimen de temperatura media en la cuenca del río Quilca, se caracteriza por presentar valores que fluctúan entre 3.1 °C y 17.7 °C. La temperatura promedio anual en la cuenca es de 10.4 °C.

Temperatura máxima: en la cuenca de estudio, el régimen de temperaturas máximas multianual a nivel espacial fluctúan entre 12.6 °C y 27.1 °C en las estaciones de Imata y La Joya respectivamente. La temperatura máxima promedio en la cuenca es de 19.9 °C.

Temperatura mínima: en la cuenca de estudio, el régimen de temperaturas mínimas multianual a nivel espacial fluctúa entre -6.4 °C y 14.4 °C. La temperatura mínima promedio en la cuenca es de 4 °C.

Figura 4. Variación histórica de temperatura, en azul la temperatura media

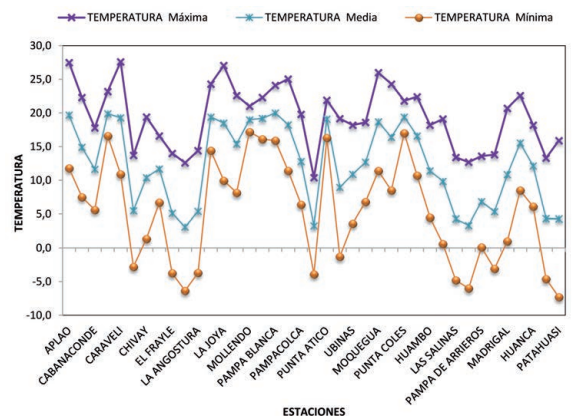




Tabla 3. Datos temperatura media en los periodos de 1969/1999-2007/2013

Estación	Altitud m.s.n.m	Latitud S	Longitud W	Temperatura Media °C (1969/99 -		
				2007/13)	Media	Mínima
APLAO	645	-16.07	-72.49	27.5	19.7	11.8
AREQUIPA	2525	-16.34	-71.57	22.3	14.9	7.5
CABANACONDE	3379	-15.62	-71.97	17.8	11.7	5.6
CAMANA	15	-16.61	-72.7	23.2	19.9	16.6
CARAVELI	1779	-15.77	-73.36	27.6	19.3	10.9
CAYLLOMA	4420	-15.18	-71.77	13.7	5.5	-2.8
CHIVAY	3661	-15.64	-71.6	19.4	10.4	1.4
CHUQUIBAMBA	2832	-15.84	-72.65	16.6	11.7	6.7
EL FRAYLE	4119	-16.08	-71.19	14.0	5.1	-3.8
IMATA	4445	-15.84	-71.09	12.6	3.1	-6.4
LA ANGOSTURA	4150	-15.18	-71.65	14.4	5.4	-3.7
LA HACIENDITA	360	-17.00	-71.59	24.3	19.4	14.4
LA JOYA	1292	-16.59	-71.92	27.1	18.5	10.0
LA PAMPILLA	2400	-16.47	-71.45	22.6	15.4	8.2
MOLLENDO	13	-17.03	-72.02	21.0	19.0	17.2
OCOÑA	58	-16.43	-73.1	22.3	19.2	16.1
PAMPA BLANCA	100	-17.07	-71.72	24.1	20.0	15.9
PAMPA DE MAJES	1434	-16.33	-72.21	25.1	18.3	11.4
PAMPACOLCA	2950	-15.71	-72.57	19.8	12.8	6.4
PAÑE	4707	-15.98	-71.07	10.4	3.3	-3.9
PUNTA ATICO	20	-16.23	-73.69	21.9	19.1	16.3
SIBAYO	3827	-15.49	-71.45	19.2	9.0	-1.3
UBINAS	3370	-16.38	-70.86	18.2	10.9	3.6
CARUMAS	3150	-16.81	-70.69	18.6	12.7	6.8
MOQUEGUA	1420	-17.18	-70.93	26.0	18.7	11.4
OMATE	2130	-16.68	-70.98	24.3	16.4	8.5
PUNTA COLES	30	-17.7	-71.37	21.8	19.4	17.0
YACANGO	2191	-17.09	-70.87	22.4	16.6	10.7
HUAMBO	3500	-72.10	-15.73	18.2	11.4	4.5
ORCOPAMPA	3801	-72.34	-15.26	19.1	9.9	0.6
LAS SALINAS	4322	-71.15	-16.32	13.4	4.3	-4.8
PILLONES	4431	-71.22	-15.98	12.7	3.4	-6.0
PAMPA DE ARRIEROS	3715	-71.59	-16.06	13.6	6.9	0.1
PORPERA	4152	-71.32	-15.35	13.8	5.4	-3.1
MADRIGAL	3262	-71.81	-15.62	20.7	10.9	1.0
HUASACACHE	2242	-71.55	-16.45	22.6	15.6	8.5
HUANCA	3075	-71.88	-16.03	18.2	12.2	6.1
CRUCERO ALTO	4470	-70.92	-15.77	13.3	4.4	-4.6
PATAHUASI	4035	-71.41	-16.06	15.9	4.3	-7.3

5.1.3. HUMEDAD RELATIVA (HR)

La humedad relativa es la medida del contenido de humedad del aire. También, es indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia. No obstante, los valores de humedad relativa tienen la desventaja de que dependen fuertemente de la temperatura del momento.

De la información de humedad relativa seleccionada, procesada y analizada, se ha determinado que el régimen a nivel temporal y espacial; presenta un comportamiento variable en su distribución tal como se puede observar en la figura 5, sin embargo dicha información es representativa y característica de la zona.



Tiende, en líneas generales, a ser mayor en las zonas de menor altitud. En las estaciones de Pampa Majes y La Joya, los mayores valores se presentan entre enero y abril, y los menores entre julio y setiembre, con un rango de 58% y 18 respectivamente. Para sectores más altos, como los representados por La Pampilla y Characato, los rangos son entre 23 y 42% (tabla 4).

Figura 5. Valores comparativo de humedad relativa por estaciones en la cuenca

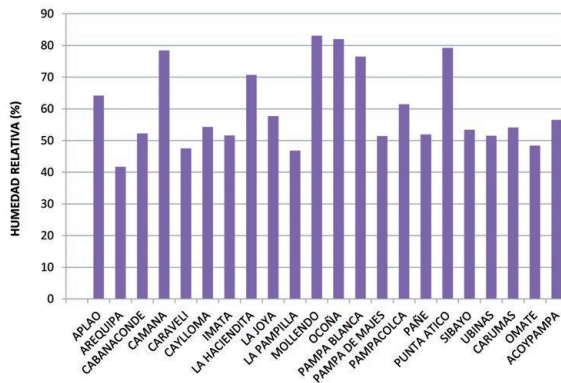


Tabla 4. Humedad relativa por estaciones meteorológicas (Senamhi 2009)

Estación	Altitud m.s.n.m	Latitud S	Longitud W	Humedad Relativa % (1969/99) Media
Aplao	645	-16.07	-72.49	64.2
Arequipa	2525	-16.34	-71.57	41.7
Cabanaconde	3379	-15.62	-71.97	52.2
Camana	15	-16.61	-72.7	78.4
Caraveli	1779	-15.77	-73.36	47.5
Caylloma	4420	-15.18	-71.77	54.3
Imata	4445	-15.84	-71.09	51.6
La haciendita	360	-17.00	-71.59	70.7
La joya	1292	-16.59	-71.92	57.7
La pampilla	2400	-16.47	-71.45	46.8
Mollendo	13	-17.03	-72.02	83.1
Ocoña	58	-16.43	-73.1	82.0
Pampa blanca	100	-17.07	-71.72	76.5
Pampa de majes	1434	-16.33	-72.21	51.4
Pampacolca	2950	-15.71	-72.57	61.4
Pañe	4707	-15.98	-71.07	51.9
Punta Ático	20	-16.23	-73.69	79.2
Sibayo	3827	-15.49	-71.45	53.4
Ubinas	3370	-16.38	-70.86	51.5
Carumas	3150	-16.81	-70.69	54.1
Omate	2130	-16.68	-70.98	48.4
Acocpampa	3950	-15.67	-72.77	56.5

5.1.4. EVAPORACIÓN

Se ha correlacionado la evaporación media anual medida en tanque y la altitud, de la cual se deduce que en la zona la evaporación disminuye al aumentar la altura sobre el nivel del mar. Para altitudes entre 4.000 msnm y 4.600 msnm la evaporación anual en tanque fluctúa entre 1.900 mm y 1.380 mm anuales respectivamente. La evaporación tiende a disminuir al aumentar la altura sobre el nivel del mar, así por ejemplo en La Joya (1.292 msnm) la evaporación es de 2.366 mm anuales, a los 2.400 msnm (La Pampilla) la evaporación anual alcanza 1.810 mm, a los 4.000 msnm la evaporación es de 1.600 mm anuales y a los 4.600 msnm es de 1.300 mm/año. En las pampas de Majes, estos mismos valores son 2.336 mm anuales, 5,5 mm en febrero y 7,7 mm en octubre.

En las zonas intermedias, que están representadas por la estación La Pampilla, la evaporación anual alcanza 1,810 mm, con una mínima media diaria de 3.1 mm en febrero y una máxima media diaria de 6.2 mm en julio. En general, el patrón de variación es más acentuado respecto de las zonas de menor altitud. No obstante, una estación relativamente cercana a La Pampilla y ligeramente ubicada a mayor altitud, como es la estación Characato, muestra mediciones significativamente mayores a toda el área en estudio, 3,055 mm anuales. Debido a que las mediciones de la evaporación se efectúan mediante el método de la balanza, y a que no se muestran coherentes con las observaciones regionales, estos datos deben ser previamente evaluados antes de ser utilizados en los cálculos de demanda agrícola (tabla 5).

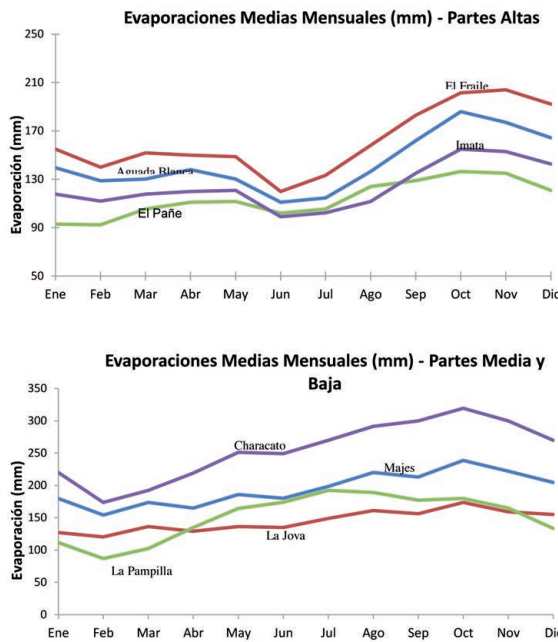
La evaporación en La Joya alcanza un promedio anual de 1,738 mm; la mínima media diaria se registra en abril con 4.3 mm y una máxima media diaria en octubre con 5.6 mm. La variación mensual de la evaporación en la cuenca Quilca-Vitor-Chili, según estaciones ubicadas a distintas altitudes, se muestra en la figura 6.

Tabla 5. Evaporación media anual (Senamhi 2009)

N°	Estación	Altitud m.s.n.m	Evapor. mm
1	El Pañe	4707	1366
2	Imata	4445	1847
3	Pampa Huta	4350	1402
4	Caylloma	4420	1429
5	Lagunillas	4200	1750
6	Angostura	4155	1402
7	El Frayle	4119	1937
8	Sibayo	3827	1583
9	Aguada Blanca	3725	1718
10	Characato	2451	3055
11	La Pampilla	2400	1810
12	Pampa Majes	1434	2335
13	La Joya	1292	1738



Figura 6. Evaporaciones medias mensuales (mm), Autodema (2001)



5.1.5. HORAS DE SOL

Según las mediciones de la estación Imata la zona está expuesta a una duración de horas de sol promedio de 7 horas diarias, con máximas de 9 horas en el estiaje y mínimas de 5 horas en época de lluvias.

En la zona intermedia como La Pampilla y Characato, donde están ubicadas importantes zonas de riego, la cantidad de horas de sol diarias es de 8.7 y 8.9 respectivamente. Los menores valores se registran entre enero y febrero, sobrepasando apenas las 6 horas diarias. En La Pampilla y Characato, los mayores valores se alcanzan entre julio y noviembre, llegando a registros próximos a las 10 horas diarias.

En las pampas de La Jova y Majes la insolación es elevada y está uniformemente distribuida durante el año. La cantidad de horas anuales de sol es de 3,285 y 3,351 respectivamente, con promedios diarios de 9.0 y 9.2 horas. Al igual que la temperatura, se evidencia, en general, que a una mayor altitud le corresponde una menor cantidad de horas de sol anuales. La cantidad promedio de horas de sol en la cuenca es de 276,0 horas/mes (Senamhi 2009).

5.1.6. VIENTO

Según la información recopilada en la estación climatológica de Paño, la velocidad media mensual de viento varía entre 2 y 6 m/s, alcanzando los mayores valores en época de estiaje (tabla 6).

Tabla 6. Datos de viento (Senamhi 2009)

Estación	Altitud M.S.N.M	Latitud Grados	Longitud Grados	Viento m/s
AREQUIPA	2525	-16.34	-71.57	6.0
CABANACONDE	3379	-15.62	-71.97	3.0
CARAVELI	1779	-15.77	-73.36	2.5
CAYLLOMA	4420	-15.18	-71.77	2.7
CHIVAY	3633	-15.64	-71.6	1.9
CHUQUIBAMBA	2879	-15.84	-72.65	1.9
COTAHUASI	2683	-15.37	-72.89	3.7
IMATA	4445	-15.84	-71.09	3.6
LA ANGOSTURA	4150	-15.18	-71.65	3.5
LA JOYA	1292	-16.59	-71.92	2.1
LA PAMPILLA	2400	-16.47	-71.45	4.3
MOLLENDO	13	-17.03	-72.02	3.4
OCOÑA	58	-16.43	-73.1	5.1
PAMPA BLANCA	100	-17.07	-71.72	3.1
PAMPA DE MAJES	1434	-16.33	-72.21	2.6
PAÑO	4707	-15.98	-71.07	2.9
PUNTA ATICO	20	-16.23	-73.69	6.4
SIBAYO	3827	-15.49	-71.45	2.4
UBINAS	3370	-16.38	-70.86	3.0
CARUMAS	3150	-16.81	-70.69	1.7
MOQUEGUA	1420	-17.18	-70.93	2.1
OMATE	2130	-16.68	-70.98	2.1
YACANGO	2191	-17.09	-70.87	6.0

Sobre los 4,000 msnm los vientos dominantes tienen dirección Sur-Oeste, en las partes intermedias, como La Campiña, el viento dominante tiene dirección Oeste. En las Pampas de La Jova el viento dominante tiene dirección Sur-Oeste. En general la fuerza de los vientos es generalmente mayor en las épocas de primavera y verano.

La velocidad de viento promedio en la cuenca es de 3,2 m/s.

5.1.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET)

La evapotranspiración es la suma del agua que se evapora directamente del suelo y la cubierta vegetal (evaporación) y del volumen utilizado por la vegetación (transpiración), estas pérdidas ocurren por transformación del agua en vapor, está gobernada por factores climáticos, estado de humedad del suelo.

La evapotranspiración constituye un importante componente del ciclo y balance del agua, este parámetro se calcula mediante medidas directas, balances de agua en el suelo y métodos empíricos, es un parámetro difícil de estimar con precisión pues depende de factores ligados a la meteorología (precipitación, radiación solar y humedad del aire), de factores ligados a la vegetación (densidad, tipo y grado de desarrollo) y de factores ligados al suelo (textura y estructura), que condicionan su capacidad de almacenamiento de agua (Martínez, 2006).

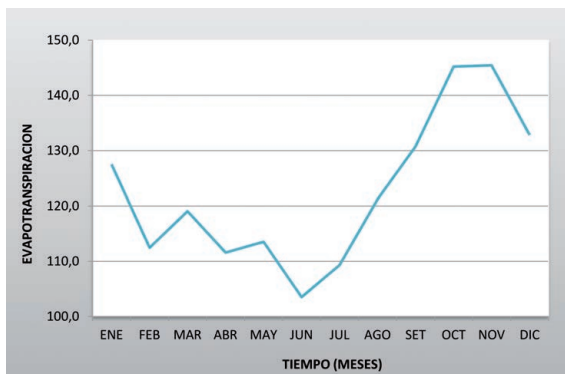


Thornthwaite (1948) distingue entre evapotranspiración potencial (ETP) y evapotranspiración real (ETR).

La evapotranspiración de referencia (Eto), registra sus mayores valores en el período agosto-marzo con un promedio de 168,8 mm y, los menores en el período abril – julio con un valor medio de 127,5 mm (figura 7).

Teniendo una evapotranspiración promedio en toda la cuenca de 148.2 mm (Senamhi 2009)

Figura 7. Valores mensuales de evapotranspiración (Eto) - PENMAN – Monteith (Senamhi 2009)



5.1.8. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (CE)

La porción de lluvia que eventualmente llega a los cauces de los ríos y se registra en la estación hidrométrica, se denomina exceso de precipitación, precipitación efectiva o escorrentía superficial. Entonces se refiere a la cantidad de agua que en el curso de una precipitación escapa a la infiltración y a la evapotranspiración.

La escorrentía superficial es medida en las estaciones hidrométricas que conforman la red hidrológica nacional, por tal motivo, es junto a la precipitación uno de los parámetros medidos con mayor precisión.

Aplicando la relación de JUSTIN se calcula el valor de la escorrentía superficial. Esta relación está en función de factores tales como la pendiente promedio de la cuenca, la precipitación promedio anual y la temperatura media de la cuenca (Apaza, 1990).

$$Ce = \frac{0,183 \cdot S^{0,155} \cdot xP^2}{160 + 9T}$$

Dónde:

Ce = Escorrentía superficial de la cuenca en milímetros.

P = Precipitación de la cuenca (317.9 mm)

T = Temperatura media de la cuenca (10.4 °C)

S = Pendiente de la cuenca (17%)

$$Ce = \frac{0,183 \cdot 0,17^{0,155} \cdot x317,9^2}{160 + 9(10,4)}$$

La escorrentía superficial promedio anual que se produciría en la cuenca del río Quilca-Vítor-Chili (132) es igual a 55.4 mm.

5.1.9. INFILTRACIÓN (I)

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y subsuelo. La infiltración depende de muchos factores, por lo que su estimación confiable es bastante difícil y es imposible obtener una relación única entre todos los parámetros que la condicionan (Guevara & Cartaya, 2002).

En hidrogeología, la infiltración es el factor más importante del ciclo del agua y también el más difícil de evaluar puesto que escapa a las mediciones directas por procedimientos sencillos (Castany, 1975).

La infiltración potencial de la cuenca se puede calcular a partir de la ecuación general de Balance Hidrológico, asumiendo que a largo plazo la variación de reservas es cero, $\Delta W=0$ (Guevara & Cartaya, 2002):

$$P - ETR - CE - I \pm \Delta W = 0$$

$$I = P - ETR - CE$$

$$I = 317,9 - 148,2 - 55,4$$

$$I = 114,3 \text{ mm}$$

Para calcular la infiltración real (Ir) usaremos la fórmula matemática del método S.C.S. (Soil Conservation Service de USA), en el cual, en base al estudio de una gran cantidad de eventos permitió la obtención de una relación empírica entre la Infiltración potencial (I) y la Infiltración real (Ir), cuya expresión matemática es la siguiente (Guevara & Cartaya, 2002):

$$Ir = 0,2I$$

$$Ir = 22,86 \text{ mm.}$$

Por lo tanto se tiene que la Infiltración real en la cuenca es de 22.86 mm al año.

Esta ecuación que relaciona Ir con I, se basa en datos obtenidos experimentalmente en cuencas grandes y pequeñas. Sin embargo, No es necesario obtener dicha ecuación con mayor exactitud, puesto que para poder fragmentar Ir en sus componentes principales, se requiere disponer de datos que normalmente no están disponibles. Por la misma razón se considera una buena aproximación el coeficiente 0,2 de dicha ecuación.

5.1.10. BALANCE HÍDRICO

Para cuantificar los ingresos y egresos naturales de agua que se realizan a lo largo del período hidrológico, en la cuenca del río Quilca-Vítor-Chili (132), se ha establecido el balance hídrico considerado períodos de registros muy variados. Este apartado puede ser uno de los más discutidos debido a la dificultad que existe en los cálculos y estimaciones del balance. A pesar de este problema, intentamos aproximarnos lo más cerca posible a la determinación de los términos del balance hídrico, procesando datos meteorológicos disponibles desde 1964 hasta 1999, y en otros como la temperatura y precipitación un período desde 1969 a 2013.



El balance hídrico de la cuenca tiene por objeto contabilizar los aportes y las pérdidas de agua, sin embargo, los datos existentes en la cuenca, no son muy confiables, se encuentran muy dispersos en cuanto a registros. A falta de estaciones meteorológicas, se ha calculado un balance hídrico preliminar con los datos obtenidos.

Del agua que cae sobre la cuenca (Precipitación = P), una parte vuelve a la atmósfera por evaporación directa sumada a la transpiración vegetación (Evapotranspiración = ETR). Otra parte discurre por la superficie (Escorrentía superficial = Ce), confluendo en las quebradas y ríos hasta alcanzar los ríos Quilca-Vítor-Chili. El resto se introduce en el terreno y se incorpora al sistema acuífero (Infiltración = Ir).

Todo fenómeno cíclico implica una igualdad de pérdidas y ganancias, por lo que el balance del agua lo representamos en la tabla 7.

Para tener un mayor acercamiento a los valores de balance se ha utilizado los hm³/Año.

Tabla 7. Balance Hídrico en la cuenca del río Quilca-Vítor-Chili (132)

Aportes (hm ³ /año)	Pérdidas (hm ³ /año)
Precipitación: 4277.98	Evapotranspiración Real: 1994.33
	Aportación Específica: 702.64
	Infiltración Real: 316.20
Total: 4277.98	Total: 3013.17

De los datos de la tabla anterior se puede encontrar la variación de reservas que existe en la cuenca, usando la siguiente expresión:

$$dS = P - (ETR + \hat{a} + I_R)$$

$$dS = 1264.81 \text{ hMC}$$

Por lo tanto, la variación de reservas total de la cuenca es muy cercana a 1.264.81 hm³ al año, los cuales indican el gran potencial de recarga de acuíferos que posee la cuenca.

6. HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA QUILCA – VÍTOR – CHILI (132)

Las aguas subterráneas en el subsuelo se encuentran ligadas a las condiciones geomorfológicas de la cuenca, la naturaleza de la roca, y condiciones litológicas de las formaciones geológicas (F. Peña, 2001). las diferentes litologías de formaciones geológicas, generados por procesos muy diverso y sometidos a posterioridad a procesos de modificación endógena y exógena, configuran unas características del terreno muy variado, para el almacenamiento y las propiedades de los flujos de las aguas subterráneas que lo atraviesan, así como su composición química e isotópica.

En el Perú en vertiente del Pacífico existen 62 cuencas sobre una extensión de 278.000 km². El escurrimiento superficial es de 34.600 a 38.400 hm³ al año.

Este escurrimiento corresponde a más del 1.7% de agua dulce que discurre en territorio peruano, sin embargo la vertiente del pacífico es fundamental, ya que vive el 70% de la población del país y a su vez se genera el 80% de la actividad económica. El escurrimiento superficial medio anual entre el año 1985 hasta el 2000 fue 33.000 hm³. Y del 2000 en adelante en épocas de sequía no ha superado los 20.000 hm³ (INRENA, 2005).

En las aguas subterráneas, las reservas estimadas se encuentran entre 35 a 40.000 hm³, en los valles costeros (INRENA, 2005). El INRENA ha inventariado 27000 pozos en toda la costa, en 37 cuencas, donde la mayoría son pozo son rústicos a tajo abierto. Solo el 22% (6.167 pozos) son tubulares y un 39% están inutilizables por sobreexplotación. El uso del agua subterránea fluctúa entre 1.267 hm³ y 1.841 hm³, en promedio en extracción es de 1.511 hm³. De ello 995 hm³, son destinados para la agricultura y permite irrigar 60.000 ha. En las zonas de Ica (316 hm³), Villa curí (70 hm³), Nazca (67 hm³), Huaral (100 hm³) y la Yarada (53 hm³). Otros 365 hm³ en uso de agua potable y entre 137 y 550 hm³ al uso industrial y minero (INRENA, 2005).

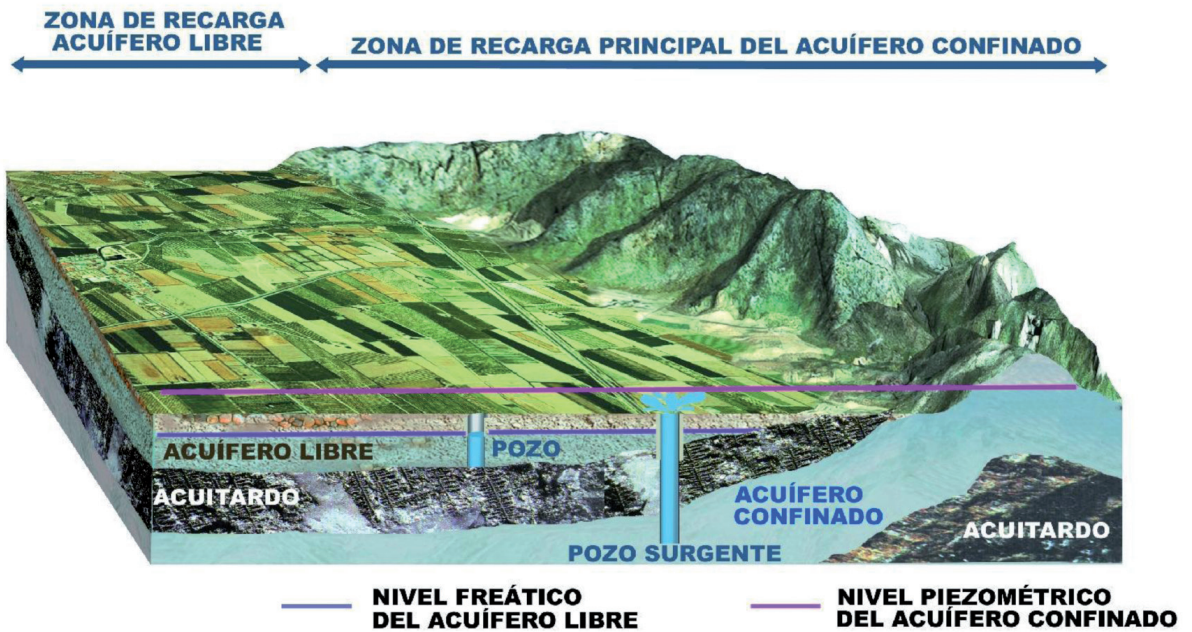
6.1. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

La geología es el factor condicionante del funcionamiento de los acuíferos, en cuanto a la distribución litológica con diferente conductividad hidráulica, presencia de fallas, fracturas, etc. Además del medio geológico en la que circula el agua, depende de la isotropía, anisotropía, Homogeneidad, heterogeneidad y presencia de discontinuidades, esto lleva a una clasificación hidrogeológica en función a la capacidad para almacenar y transmitir agua (figura 8). De esta forma se habla de:

- Acuífero: Es una formación geológica, capaz de almacenar y transmitir caudales económicamente rentables, bajo un gradiente hidráulico. Buenos acuíferos usualmente se desarrollan en formaciones con contenido de arena, grava y rocas fracturadas.
- Acuitado: El término es usado para describir a una formación geológica de baja permeabilidad, que almacena agua pero lo transmite con mucha dificultad, pero es considerable en términos de flujos regionales.
- Acuícludo: Formación geológica saturada de muy baja permeabilidad que es incapaz de transmitir agua en cantidades y sirven de barrea a los flujos regionales de aguas subterráneas.
- Acuícludo: Formación geológica extremadamente impermeable que no almacena agua ni la transmite.

En realidad, no existen formaciones geológicas completamente impermeables y tampoco existen formaciones geológicas con porosidad nula. Por lo tanto en la naturaleza solo existirían acuíferos y acuitados, sin embargo en la hidrogeología es habitual usar esta clasificación.

Figura 8. Sistema hidrogeológico (relación zonas de recarga y clasificación hidrogeológica)



Fuente: IGME.

La clasificación más común de acuíferos está basado en la litología de la porosidad media en la que estos se desarrollan (N. Kresic, 2009). El funcionamiento hidrogeológico de un sistema acuífero es diferente al de otro ambiente. De acuerdo a ello se pueden diferenciar tres grupos (figura 9):

- Acuífero de depósitos inconsolidados (cuaternario):
 - Acuífero poroso no consolidado (alta, mediana y baja productividad).
- Acuífero de rocas sedimentarias.
 - Acuífero fisurado sedimentario (alta, media y baja productividad).
 - Acuífero kárstico (disolución).
 - Acuífero fisurado kárstico.
 - Acuífero sedimentario (alto, mediana y baja productividad).
 - Acuífero vulcano - sedimentario.
- Acuífero de rocas cristalinas:
 - Acuífero fisurado volcánico.
 - Acuífero fisurado de intrusivos (limitaciones).

6.2. ACUÍFEROS DE ALTA A MEDIA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA EN DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Son formaciones detríticas no consolidadas, porosas y permeables. Están compuestas por depósitos cuaternarios recientes. La litología predominante está conformada por las gravas y are-

nas, que facilitan la libre circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas. En estos depósitos también se encuentran sedimentos finos, como horizontes limo arcillosos y esporádicos bancos de arcilla.

Acuífero poroso no consolidado de la margen derecha de la Ciudad de Arequipa

Corresponden a los aluviales que cubren las zonas de los distritos de Yanahuara, Cayma, Sachaca, Tiabaya y parte de Cerro Colorado.

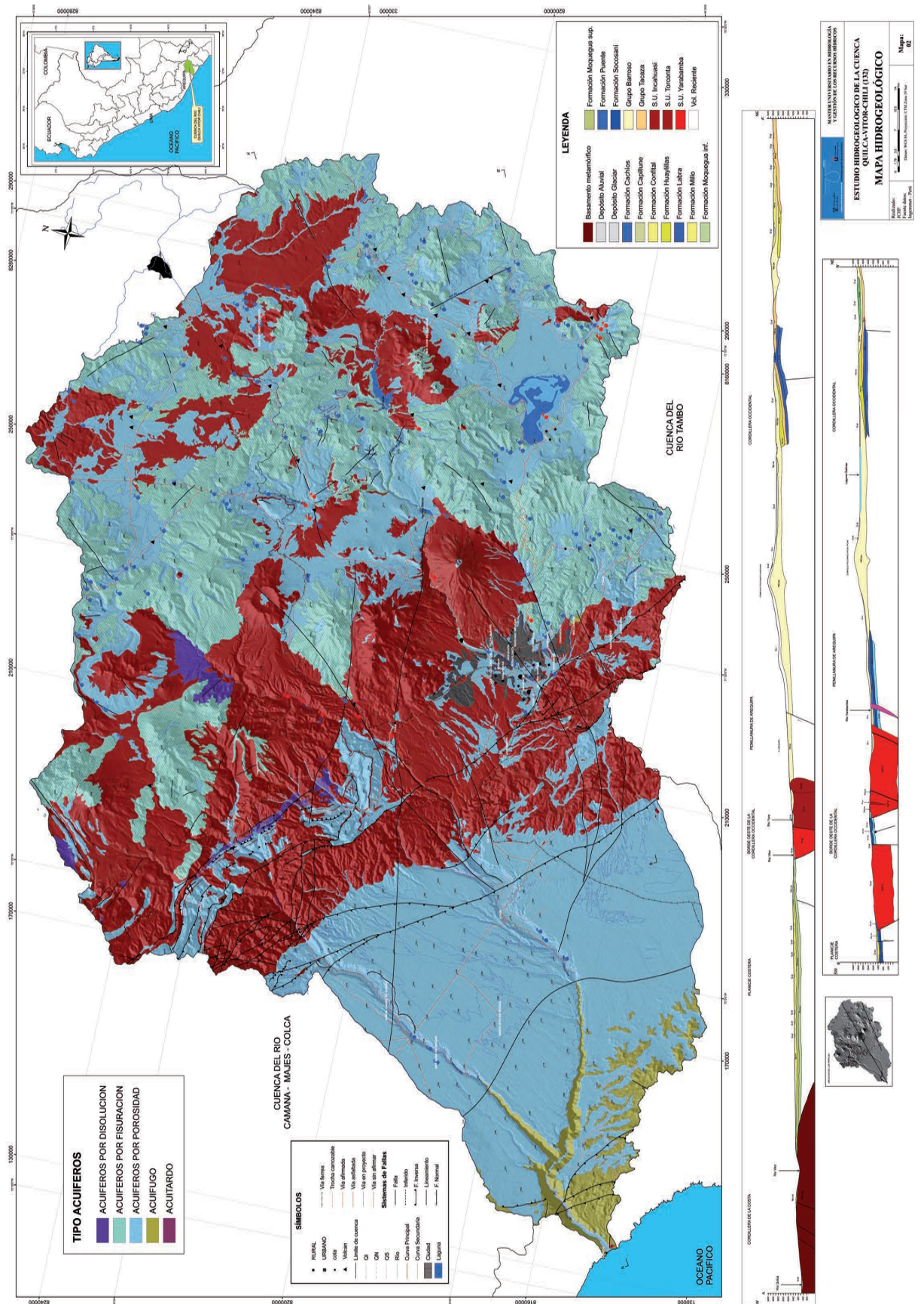
Los aluviales que cubren Cayma y Yanahuara, están compuesta por clastos de origen volcánico, andesita a basálticas en matriz tufacea, estas sobreyacen a los tufos de la formación Añashuayco, la porosidad de estos materiales es de 36,76% y de Conductividad Hidráulica de 1.44. 10⁻² cm/s (Chavez, 1997).

Los depósitos aluviales que se encuentran a inmediaciones del Aeropuerto, están compuestas de material areno gravoso, totalmente deleznable, sueltas con fragmentos sub redondeados, con algunos lentes de limos arenosos, los clastos son de origen volcánico, las estimaciones de su porosidad está en un 35% y una porosidad eficaz de 25% (Chávez, 1997).

Los depósitos ubicados a inmediaciones de Umacollo, constituyen gravas de matriz arenosa a limos, presentan una ligera compactación, ya sea por el peso del material de viviendas y la propia presión litostática interna, las estimaciones de su porosidad están en un orden de 28.98%, con una porosidad eficaz de 27.99% (Chavez, 1997).



Figura 9. Mapa Hidrogeológico a escala 1/175.000 de la cuenca Quilca-Vítor-Chili





6.3. ACUÍFEROS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA EN DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Acuífero de la formación Millo

Conglomerados polimícticos con formas redondeadas a subredondeadas, están intercalados con paquetes de regulares dimensiones de arcosas grano medio a fino y ocasionales lentes de tobas no consolidadas.

Deposito Lacustre

Caracterizado por contener capas de sedimentos muy finos arcillo-limoso, con intercalación de capas de conglomerados, gravas, arenas, arcillas y algunos niveles de tufos, procedentes de la erosión de las rocas volcánicas circundantes.

6.4. ACUÍFEROS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA POR DISOLUCIÓN

Acuífero de la Formación Arcurquina

Conforme se sube estratigráficamente, se tiene intercalaciones de lutitas grises verdosas. Terminando esta se tiene abundantes margas con abundantes fragmentos de conchillas con chert. La parte superior de esta Formación consiste esencialmente de calizas grainstone a mudstone grises claras en paquetes cuyos espesores fluctúan desde 10 cm a 15 cm. Estas calizas como estructuras sedimentarias contienen rizaduras de corriente y también algunas laminaciones horizontales, pasan a tener color beige rojizo, con aumento de conchillas fragmentarias. En el tope de esta parte se tienen algunas intercalaciones de lutitas verdosas con capas delgadas de calizas grainstone. Al tope, se tiene una delgada capa de areniscas calcáreas de grano medio a fino con matriz lutítica.

6.5. ACUÍFEROS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA EN ROCAS FISURADAS

En las rocas fracturadas, las principales características de este tipo de acuíferos es que su permeabilidad es debida fundamentalmente a la porosidad secundaria por fisuración, la permeabilidad varía de acuerdo a la densidad, el tamaño de abertura de las fracturas y diaclasas. La conexión entre estos es un factor determinante en el grado de permeabilidad en sectores, las fracturas predominantes se encuentran siguiendo los sistemas de cristalización de la roca.

En las formaciones rocosas que presentan un grado de fracturación importante, las velocidades del agua a través de estas son extremadamente altas, aunque usualmente ocupan solo una pequeña parte del acuífero, por lo que el promedio del flujo volumétrico podría ser bajo en comparación a acuíferos porosos no consolidados de gran extensión.

Acuífero Fisurado del Pichupichu

Las rocas acuífero, se encuentran formando parte del complejo volcánico Pichupichu, las rocas que presentan este comportamiento son las lavas de composición andesítica principalmente.

Las principales manifestaciones de aguas subterráneas se encuentran en las faldas del es complejo Volcánico, curiosamente alineados, esto se debería que los manantiales surgen en zonas de contactos litológicos de diferentes etapas eruptivas, ya que en la base de ellas se encuentra erupciones más explosivas con flujos piroclásticos, tobas, y posteriormente seguido de secuencias de erupciones efusivas que emplazaron flujos de lava.

Este acuífero Volcánico Fisurado es muy importante desde el punto de vista Económico y social, ya que con el agua de ello se sostiene varios distritos aledaños al Volcán, Además de la precipitación pluvial anual suficiente para recargar este acuífero.

Los sistemas de flujos que prevalecen en este acuífero son de tipo Intermedio y Local (Sulca, et al 2010); los Sistemas de recorrido intermedio se recargan en la en la parte alta de la cumbre del volcán Pichupichu y parte posterior de esta, incluyendo las pampas de la Laguna de Salinas en algún grado. Los sistemas de flujos locales o acuífero superficiales, presentan una zona de recarga puntual, en este caso la cumbre y laderas, según sea el caso, los manantiales ubicados entre los 4200 msnm. A más, provienen de un acuífero local, con un tiempo de recorrido que varía desde su infiltración meses a unos cuantos años.

Acuífero Fisurado del Chachani

Corresponde a los acuíferos que forman este complejo volcánico, litológicamente formado por erupciones de tipo efusivo, de lavas de composición andesítica y textura porfírica.

Este acuífero dentro de la sub cuenca es muy importante desde el punto de vista económico y social para la ciudad de Arequipa. Los flujos de aguas subterráneas que almacena este acuífero recorren a través de las fracturas de esta, llegando al contacto litológico de la formación Añashuayco (antes Tufo Senca), y así llegar a la zona de Cerro Colorado y Cayma, donde existe una numerosa cantidad de pozos.

Desde el punto de vista hidrogeológico el acuífero de Chachani es más importante como zona de recarga, por su extensión regional y altos grado de precipitación, estos flujos han sido considerados como un sistema intermedios (Sulca et al 2010), el tiempo de circulación de este varía en cientos de años.

Acuífero Fisurado del Misti

El acuífero del estrato volcán Misti, no menos importante desde el punto de vista hidrogeológico, presenta en su estrato volcán, flujos de lava de composición andesítica, que favorecen para albergar aguas subterráneas. Las evidencias de este se encuentran en las faldas, hacia el distrito de chiguata, en la quebrada Agua dulce y agua salda, así también para el lado del distrito de Paucarpata y en el sector de



Charcani V (fuente termal), lugares donde existen manantiales que descargan en forma natural.

La zona de recarga de este no es muy amplia lo cual no permite una mayor infiltración de aguas de precipitación pluvial, sin embargo sirve como recarga de los pozos ubicados en los distritos de Alto Selva Alegre, Mariano Melgar, Miraflores, Paucarpata y el Cercado Acuífero Fisurado del Grupo Yura.

En la zona de estudio aflora secuencias de jurásica-cretáceas del Grupo Yura, que estratigráficamente están ubicadas por debajo del Grupo Barroso, por lo tanto estas deberían de almacenar grandes volúmenes de agua por su alto grado de fracturamiento y está relacionado los sistemas de flujos intermedios a regionales.

6.6. ACUÍTARDOS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA

Los acuitardos conforman la mayor cantidad de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de estudio, en general encontramos las rocas intrusivas (acuitardo del batolito de la caldera) y las rocas volcánicas del grupo Barroso, estas con comportamiento de baja permeabilidad, así mismo incluimos a las unidades hidrogeológicas Acuífugo, correspondiente a basamento o rocas metamórficas.

Acuitardo del Barroso

Se encuentran en gran parte de la zona estudio, correspondientes al grupo Barroso, su litología corresponde a los depósitos de piroclastos, depósitos de la formación Añashuayco, los depósitos en avalancha de escombros, lapilli, cenizas, etc. Sus propiedades físicas con porosidad alta, pero de baja permeabilidad, las hacen menos importantes para su exploración. Este tipo de rocas presentan un alto grado de porosidad primaria que almacenaría gran cantidad de agua, sin embargo su permeabilidad es baja, solo se transmite agua a través de fracturas y presión hidrostática.

Acuitardo Confital

Formación Confital se concentró en un valle de edad contemporánea a los volcanes que lo rodean. Un ejemplo más actual con relación a los depósitos de la Formación Confital son los hallados al norte y noreste de los volcanes Misti y Chachani, que corresponde a depósitos volcánicos y sedimentarios, está directamente relacionado y rodeado de aparatos volcánicos como Taucarane, Pucasalla, Concha Misi, Huarancate, Characollo que pertenecen al Grupo Barroso. Por lo que se sugiere que la Formación Confital sería consecuencia de la acumulación de material aluvial y volcánico proveniente de los aparatos que rodean una superficie plana que durante su sedimentación pudo haber sido un lago de dimensiones considerables y poco somera.

6.7. ACUITARDOS Y ACUÍFUGOS DE NULA IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA

Acuitardo Intrusivo

Se ubica en la parte oeste del área de estudio, conocido como el batolito de la caldera, cordillera de rocas intrusivas compuesta por diorita y granodiorita principalmente. Regionalmente esta estructura cumple el rol de una barrera de carácter impermeable, que condiciona la existencia de pozos y manantiales (Sulca et al 2010). La existencia de manantiales en este tipo de rocas se debe a la porosidad secundaria obtenida por fallamiento y alteración de procesos geológicos, sin embargo el potencial hídrico no es económico.

Acuífugo

La clasificación de esta unidad hidrogeológica corresponde a las rocas metamórficas en general, en este caso el Gneis de Charcani o basamento rocoso del cratón arequipeño, presenta este comportamiento por su casi nula permeabilidad, sin embargo podrían transmitir agua a través de la porosidad secundaria (fracturas y fallas).

6.8. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

El parámetro principal de rocas y suelos, que permite la circulación y almacenamiento de aguas subterráneas es la permeabilidad. Se presenta en rocas por el intenso fracturamiento y en suelos por la falta de consolidación de rellenos cuaternarios. En acuíferos fisurados, la dirección de flujo de agua es controlada por el sistema de fracturas, fisuras, diaclasas y fallas. Estas grandes estructuras generan condiciones para aumentar o disminuir las propiedades de percolación que tiene el agua subterránea en rocas. En acuíferos porosos no consolidados, los materiales sueltos, con espacios vacíos entre ellos generan condiciones de percolación aunque por sectores se encuentren limitados por la presencia de bancos de arcilla.

El coeficiente de permeabilidad de Darcy (K), es el volumen de agua libre que circula durante la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie, de una sección total del acuífero.

Para los materiales geológicos se ha considerado la permeabilidad vertical (infiltración) y la permeabilidad horizontal (flujo de agua).

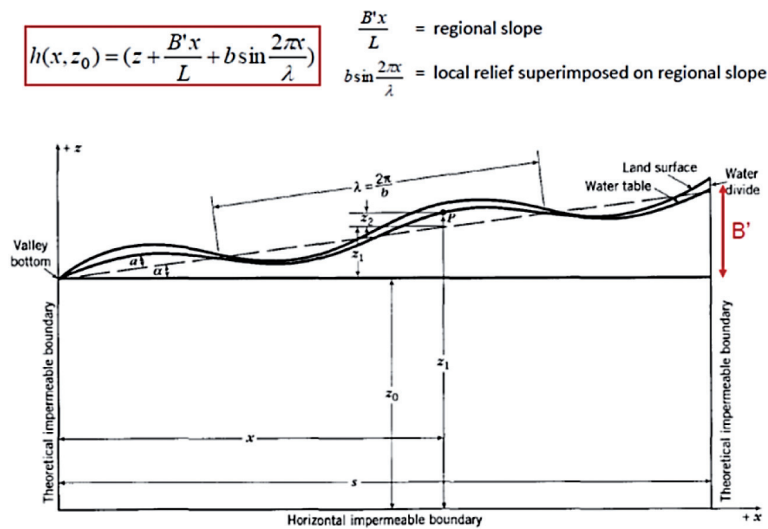
La permeabilidad de la roca puede ser (tabla 8):

- La permeabilidad propia o primaria (de intersticios) en rocas detríticas
- La permeabilidad adquirida o secundaria, por fisuración, fracturamiento y alteración superficial, caso típico de las rocas calcáreas y volcánicas.

Tabla 8. Convencional de permeabilidad, según Benitez (1963)

Valores (m/día)	Permeabilidad										
	10-6	10-5	10-4	10-3	10-2	10-1	1	10	102	103	104
	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
Calificación	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero		
Tipo de Materiales	Arcilla compacta granito		Limo arenoso limo Arcilla limosa		Arena fina arena limosa caliza Fracturado		Arena limpia grava y arena fina		Grava limpia		

Figura 10. Simulación de dos dimensiones para analizar el nivel del agua sinusoidal con una pendiente regional afecta a los flujos de aguas subterráneas



Fuente: Toth, 1963.

Los valores de permeabilidad para terrenos naturales (no consolidados) establecidos, según la clasificación de Silin-bekchurin, se resumen en la tabla 9:

Tabla 9. Valores de permeabilidad de terrenos naturales

Material	K (cm/s)	K (m/día)
Grava limpia	> 1	> 1000
Arena gruesa limpia	1 a 10-2	1000 a 10
Mezcla de arena	10-2 a 5x10-3	10 a 5
Arena fina	5x10-3 a 10-3	5 a 1
Arena limosa	2x10-4 a 10-4	2 a 0,1
Limo	5x10-4 a 10-5	0,5 a 0,001
Arcilla	< 10-6	< 0,001

6.9. FLUJO SUBTERRÁNEO

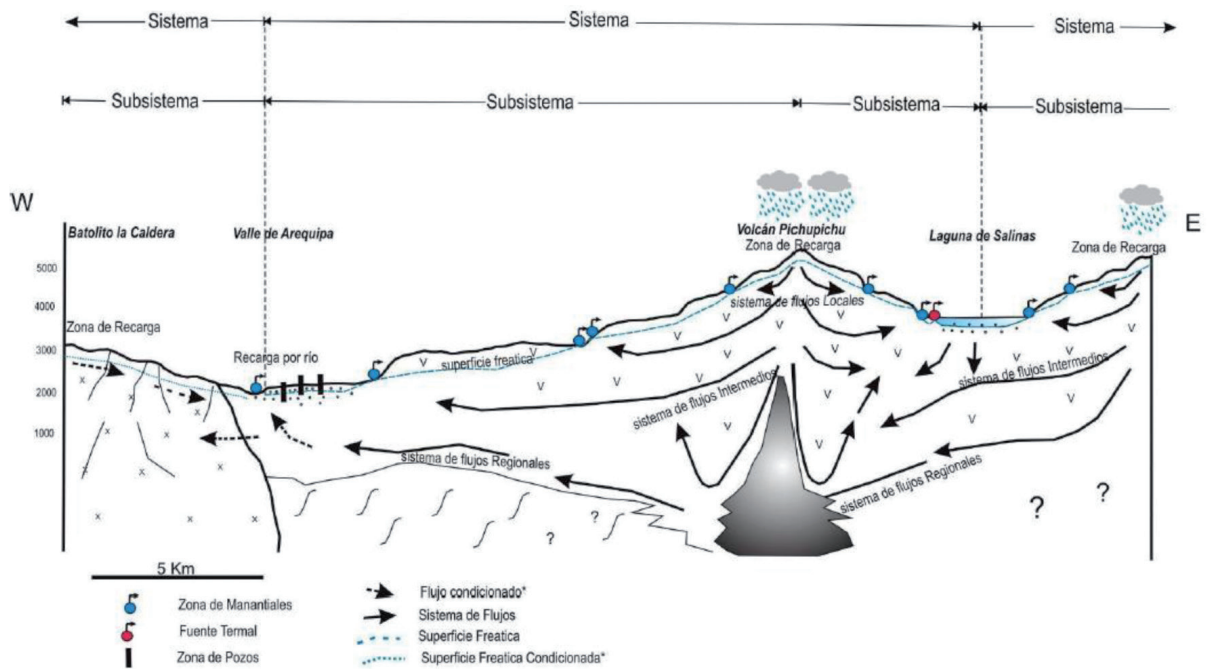
Desde los años 60 del siglo pasado, los sistemas de flujo han formado parte de los estudios hidrogeológicos, por los científicos más renombrados, entre ellos Toth, Freeze, Witherspoon, Cherry, etc.

Es posible determinar y diferenciar sistemas de flujo local, intermedio y regional (Toth, 1963), además se muestra el ratio de la profundidad y la extensión lateral de un sistema. La figura 10, muestra el nivel del agua representado por una línea sinusoidal, conectando la elevación y el valle. Superponiendo a este tenemos a una línea sinusoidal que representa a la variación topográfica. Con las funciones planteadas se puede calcular la pendiente regional y las pendientes locales dentro de un sistema regional.

Las observaciones que Toth identificó, son tres zonas generales en la figura 11 y denota claramente sistemas de flujos locales, sistemas de flujos intermedios y sistemas de flujos regionales. Los sistemas de flujos locales son recargados en la parte alta de una topografía local y esta descarga en los lados adyacentes de esta topografía. Los sistemas de flujos intermedios tienen una área de recarga y descarga en áreas separadas, por una o más elevaciones topográficas y bajas. En los sistemas de flujos regionales, las áreas de recarga abarcan hasta la línea divisoria de una cuenca y el área de descarga abarca hasta los valles más bajos.



Figura 11. Sistema de flujos de aguas subterráneas en la subcuenca Medio Quilca – Vitor-Chili



Fuente: Sulca et al 2010.

Es importante mencionar las conclusiones llegadas por Toth:

- Si los relieves locales son despreciables y exista solo una fotografía general de una pendiente, solo se desarrollaran sistemas de flujo regional.
- Si la pendiente o relieve regional es despreciable, solo se desarrollaran sistemas locales.
- Si tenemos a su vez un relieve local y una pendiente regional, se desarrollaran sistemas de flujos locales, intermedios y regionales.
- Los sistemas de flujos regionales están caracterizados por; por tener largos recorridos, lentos y de circulación profunda. En las zonas de descarga, las aguas presentaran un alto grado de mineralización y elevada temperatura.
- Los Sistemas locales están caracterizados por; presetan flujos recorridos cortos y baja mineralización. La temperatura de descarga estará sujeta a la media anual del medio.

7. HIDROGEOQUÍMICA DE LA CUENCA QUILCA – VÍTOR – CHILI (132)

En el presente capítulo se discutirán las principales ideas planteadas sobre los factores que determinan la composición química de las aguas naturales, para con posterioridad analizar el concepto de composición química de las aguas. Lo anterior debe constituir un basamento teórico importante para dar paso a una posterior discusión teórica sobre conceptos y definiciones

relacionados con las aguas minerales y sobre los métodos de clasificación de las mismas.

7.1. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

En total se tomaron 96 muestras (56 de manantiales, 6 de manantiales captados, 3 de galerías, 24 de pozos, 1 de vertientes y 6 de fuentes termales) distribuidas en toda la superficie de la cuenca Quilca-Vitor-Chili, tomando en consideración caudal, uso, etc. A 23 de estas muestras se les realizó análisis de isótopos estables de 18O y 2H. Las muestras fueron tomadas en 2 campañas de campo, realizadas en los meses de julio, y noviembre de 2009. Los puntos de muestreo se presentan en la figura 11.

7.2. RESULTADOS QUÍMICOS

El análisis, consistió en determinar las concentraciones de cloruros, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, nitritos, calcio, magnesio, sodio, potasio, magnesio, manganeso, hierro, dureza cálcica, alcalinidad (ver anexo 2) y las propiedades físicas como la temperatura, la conductividad eléctrica, total de sales disueltas.

7.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

7.3.1. EL PH

Un agua pura disuelve con facilidad sólo aquellos minerales solubles como los de tipo salino o los sulfatos. En la mayoría de los casos, sin embargo, la solubilidad de un mineral se incre-

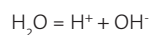


menta considerablemente en presencia de ácidos; por ejemplo, en un litro de agua a 25°C, sólo se disuelven 12 mg de calca. En presencia de un ácido fuerte, sin embargo, la solubilidad aumenta de 25.000 a 30.000 veces.

La medida del grado de acidez del agua es el pH, el cual se define como el logaritmo inverso de la actividad del ion hidrógeno o hidronio (H⁺ o H₃O⁺), que resulta de la ionización de un ácido cualquiera; se expresa en moles por litro, aunque al medirse en equipos electrónicos con electrodos de referencia, la acidez se expresa en unidades de pH, por lo general entre 0 y 14, esta se calcula de la manera siguiente:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

Aunque el agua pura está constituida fundamentalmente por moléculas de H₂O, una pequeña porción de la misma se compone de H⁺ y OH⁻. Esta proporción está controlada por la reacción de disolución:



En el agua pura (H⁺) = (OH⁻) = 10⁻⁷, por lo que teóricamente su pH debe ser 7. En la realidad, a causa de que ésta se encuentra en contacto con la atmósfera, es capaz de disolver CO₂ y adquirir un pH inferior a ese valor.

El valor del pH de muchas aguas naturales que interactúan con los minerales varía en un estrecho intervalo, por lo general entre 6 y 9, lo cual entre otras causas se debe a la gran distribución de las rocas carbonatadas y al carácter ácido-básico de las mismas, a través del sistema de equilibrios químicos que se establecen entre CO₂, HCO₃⁻ y CO₃²⁻.

Algunos manantiales calientes de origen volcánico poseen una elevada acidez, por la presencia de ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H₂SO₄) y dióxido de silice (SO₂). Los ácidos libres también pueden pasar al agua como resultado del vertimiento de aguas residuales.

El agua de las precipitaciones al pasar por la zona del suelo, donde es abundante el CO₂, adquiere un pH relativamente bajo, del orden de 4,5.

Luego por interacción con las rocas carbonatadas éste tiende a elevarse hasta cerca de 7. Cuando esta interacción se produce durante un tiempo prolongado el agua incrementa su contenido de iones HCO₃⁻ y adquiere además iones CO₃²⁻. Las aguas minerales pueden poseer valores de pH ácidos, neutros o básicos de acuerdo a las características hidrogeológicas presentes.

En el área de estudio, el pH fluctúa entre 5 y 9; valores que representan a aguas ligeramente ácidas a alcalinas respectivamente.

7.3.2. DUREZA

La Dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos) y se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua (tabla 10).

Tabla 10. Cantidad por tipo de aguas según los mg/l de CaCO₃

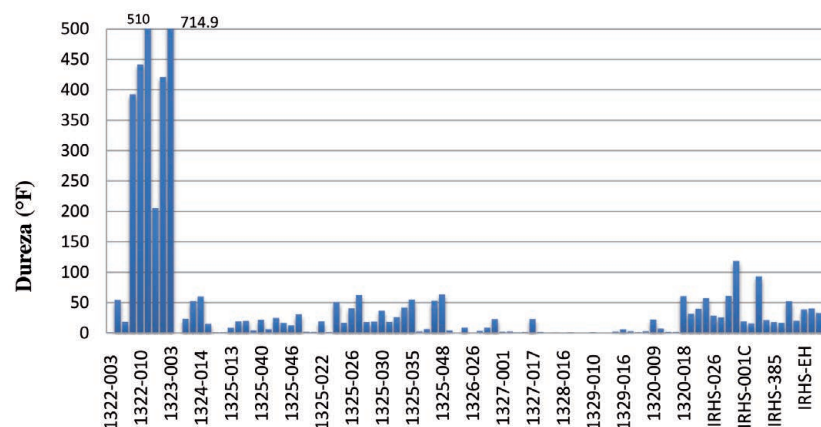
Valoración	Dureza (mg/L CaCO ₃)	Cantidad
Agua blanda	0-50	33
Agua moderadamente dura	50-150	8
Agua dura	150-300	26
Agua muy dura	>300	29

En general las aguas de origen natural contienen cierta contaminación por compuestos en forma de sedimentos en su mayoría.

La Dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos) y se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua.

En general las aguas de origen natural contienen cierta contaminación por compuestos en forma de sedimentos en su mayoría. En la figura 12 aparecen los datos de dureza analizados en la zona de estudio.

Figura 12. Variación de la dureza representada de °F, analizadas de las muestras de agua





7.3.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

La conductividad eléctrica (CE) se define como la capacidad de un agua para conducir electricidad. Es un parámetro importante, pues sus valores son directamente proporcionales a la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua, y por lo tanto es un indicador directo de la salinidad del agua (Custodio & Llamas, 1996).

La distribución espacial muestra que la conductividad de las muestras tiende a aumentar en las partes más bajas de la cuenca (figura 13). En el caso de las muestras de bajo pH, esto no se cumple, ya que se observa que estas aguas presentan conductividades mucho más elevadas que el resto de las muestras. Esto se debe a que las aguas ácidas son capaces de disolver más iones.

7.4. TIPO DE AGUAS

Los diagramas hidrogeoquímicos están hechos para facilitar la interpretación de las tendencias de evolución, en especial en sistemas de aguas subterráneas. Para representar en forma conjunta los datos correspondientes a varios análisis se utilizó los diagramas logarítmicos de Schoeller-Berkaloff y los diagramas

mas triangulares (Piper, 1944), expresados según su concentración en meq/L.

Un primer análisis del diagrama de Piper (figura 14) de las aguas de la subcuenca Medio Quilca (1325), muestra que éstas son principalmente del tipo bicarbonatada sódica y cálcica estos se recargan en laderas y cumbres del volcán Pichupichu, aflorando en contacto con materiales finos (cenizas y tobas), algunos condicionados por fallas y fracturas, las de tipo cloruradas sódicas son por el contacto con los depósitos cuaternarios (depósitos aluviales) y en algunos casos por aguas que hayan atravesado sales (lago salobre).

7.5. COMPARACIÓN CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DE AGUAS (ECA)

Se compararon las concentraciones de elementos disueltos en las muestras de aguas, con las concentraciones permitidas en las normas peruanas estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA) dado por el Decreto Supremo (DS N° 002-2008-MINAM) pudiéndose ver los resultados en la figura 15.

Figura 14. Diagrama de Piper de las aguas de la subcuenca Medio Quilca

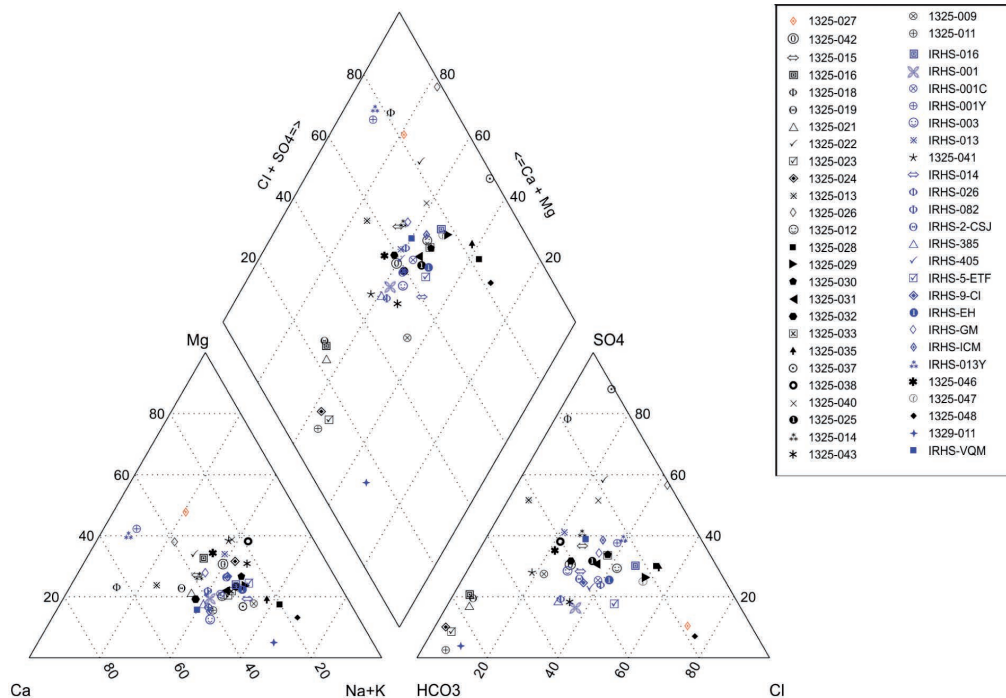




Figura 15. Principales elementos que superan los ECA, dentro de ellos resalta el arsénico y boro, donde vemos que de un total de 96 muestras 50 y 45 respectivamente, no son aceptables para las diferentes categorías (DS-002-2008-MINAM)

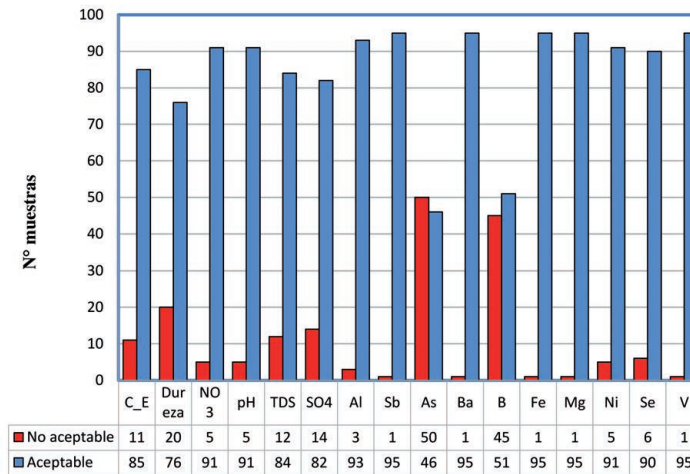


Tabla 11. Determinaciones de δ^2H ‰ y $\delta^{18}O$ ‰ en aguas subterráneas de la zona de estudio (vs. VSMOW). Se indica el tipo de punto de muestreo

Muestra	Fecha Análisis	Z	Nombre	Punto de muestreo	δ^2H ‰	$\delta^{18}O$ ‰
ING-10	10/03/2010	4352	Cap. Chalhuanca	Manantial	-134.9	-18.00
ING-11	10/03/2010	4519	Umajala	Manantial	-118.6	-16.41
ING-12	10/03/2010	4185	Poderosa	Manantial	-123.3	-16.73
ING-15	10/03/2010	2534	Termal Yura	Termal	-98.4	-13.80
ING-16	10/03/2010	1176	La Cano 1	Manantial	-92.6	-10.67
ING-17	10/03/2010	1031	La Cano 3	Manantial	-94.7	-10.72
ING-18	10/03/2010	1178	Alto Siguas	Manantial	-61.3	-6.37
ING-21	10/03/2010	1132	Alto Sihuas 3	Manantial	-97.8	-11.66
ING-22	10/03/2010	2628	Agua de Jesús	Manantial	-75.2	-10.73
ING-24	10/03/2010	2550	Yumina	Manantial	-66.3	-10.17
ING-3	08/03/2010	2897	La bedoya	Manantial	-84.8	-11.83
ING-4	08/03/2010	2222	Tingo	Manantial	-95.4	-12.77
ING-5	08/03/2010	2083	Congata	Manantial	-106.5	-13.47
ING-6	08/03/2010	4482	Ancoyo 2	Manantial	-129.6	-16.00
ING-7	10/03/2010	3399	Totorani	Manantial	-80.0	-11.52
ING-9	10/03/2010	2555	Ojo El Milagro 1	Manantial	-63.1	-9.69
ING-13	10/03/2010	2366	Grifo Td laVida	Pozo	-114.3	-14.66
ING-14	10/03/2010	2285	Parque Industrial	Pozo	-87.7	-11.87
ING-23	10/03/2010	2328	Jacinto L.VV	Pozo	-103.1	-13.28
ING-25	10/03/2010	3335	Mozopuquio	Pozo	-57.2	-9.00
ING-1	08/03/2010	3200	Charcani V	Termal	-61.5	-9.00
ING-2	08/03/2010	3923	Umalso 2	Termal	-122.5	-16.29
ING-8	10/03/2010	4479	PozoTacuni	Termal	-119.1	-16.00

7.6. ISÓTOPOS ESTABLES DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO

Los contenidos isotópicos de las aguas subterráneas de la zona de estudio, según el inventario de puntos de agua llevado a cabo en marzo de 2010, cuya situación se recoge en se muestran en la tabla 11.

La figura 16 muestra la relación entre los δ^2H y los $\delta^{18}O$ expresados en ‰ (VSMOW). En dicha figura se han representado también la recta meteórica mundial y la recta meteórica local (poner referencia bibliográfica). La mayoría de los puntos representativos de aguas subterráneas se ajustan a dichas rectas y como era de esperar, los puntos con los valores más ligeros se



corresponden con los puntos de muestreo situados a mayor altura. Hay que exceptuar algunos puntos de manantiales, que son indicativos de evaporación (indicados por la línea azul en el figura 17).

En Aravena *et al.* (1999), quedó patente que existe un decrecimiento de los contenidos en los contenidos de ^{18}O y D en el agua de precipitación en la zona del Norte de Chile según las siguientes ecuaciones:

- Verano 1984: $\text{Altura} = -98,776 \delta^{18}\text{O} + 2115,8$
- Verano 1986: $\text{Altura} = -139,1 \delta^{18}\text{O} + 1999$

Dado que las condiciones climáticas pueden ser similares a la zona de estudio, se ha llevado a cabo el gráfico de $\delta^{18}\text{O}$ vs. Altura para las aguas subterráneas de la zona de estudio (Figura 17).

De la figura 17, se deduce que ambas rectas deducidas por Aravena *et al.* (1999) son similares y que existen algunos puntos que se sitúan sobre las mismas (incluidos dentro de una elipse), que serían indicativas de una recarga en la misma zona de la captación y otras que se encuentra por debajo. La recarga del agua que se explota en estas últimas captaciones se llevaría a cabo a cotas muy superiores a la que se encuentran.

Figura 16. Relación $\delta^{18}\text{O}$ vs D (‰ VSMOW) de las aguas subterráneas colectadas de la cuenca Quilca-Vitor-Chili. Se ha representado la línea meteórica mundial y la línea meteórica local deducida por referencia bibliográfica

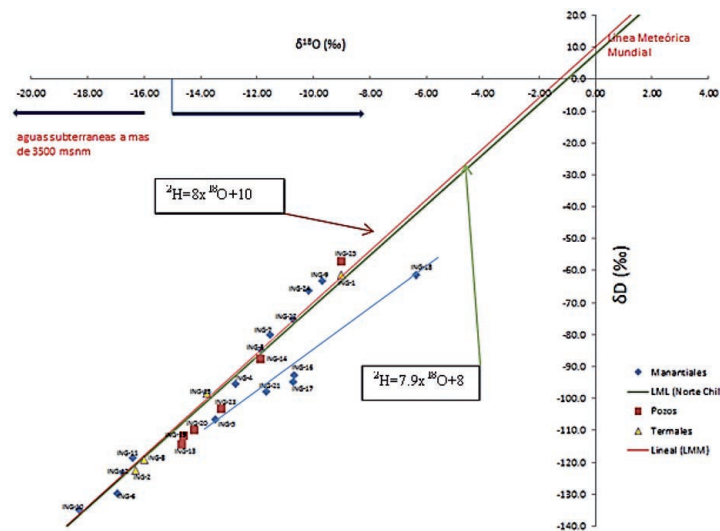
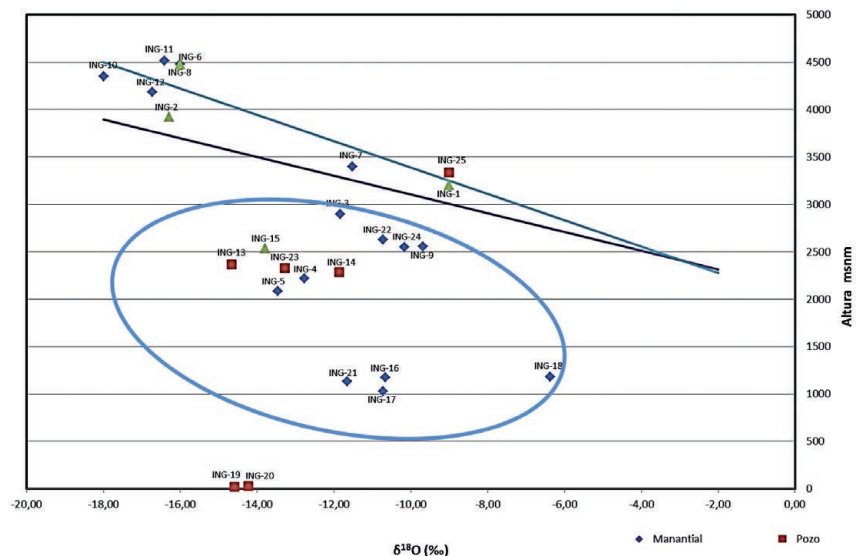


Figura 17. Relación entre los contenidos en ^{18}O y las alturas de obtención de las muestras de agua subterránea en la zona de estudio. Se indican las rectas deducidas por Aravena *et al.* (1999) para la zona del N de Chile para el verano de 1984 y de 1986





8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

- Se delimitaron diferentes tipos de acuífero en función de sus características litológicas, para las cuales se asociaron sus principales parámetros hidrogeológicos. En total se tienen los siguientes acuíferos; acuíferos poros no consolidado de Arequipa (margen derecha, margen izquierda y acuíferos locales), Acuífero fisurado volcánico (Fisurado Pichupichu, Chachani y Misti) y el acuífero fisurado sedimentario del grupo Yura.
- Se elaboró el mapa hidrogeológico de la cuenca Quilca-Vitor-Chili, basado en la caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas, este mapa zonifica las litologías favorables para la exploración de las aguas subterráneas en las unidades de acuíferos de porosos no consolidados (acuífero de Arequipa).
- Las unidades acuíferos fisurados volcánicos, son el principal acuífero con presencia de numerosas surgencias de gran caudal, además a su vez funciona como la zona de mayor recarga de aguas pluviales (complejo volcánico de Pichupichu). Las unidades de comportamiento acuitardo son poco importantes desde el punto de vista hidrogeológico o de almacenamiento de agua, sin embargo estas unidades son muchas veces condicionantes de la surgencias de diversos manantiales y pozos, tales como el batolito de la caldera o las rocas volcánicas tobáceas.
- Los resultados isotópicos interpretados, muestran claramente que corresponden a aguas de origen pluvial y están alineados a la línea meteorológica mundial, donde la zona de recarga está por encima de la cota 3500 msnm (cabecera de cuencas).

8.2. RECOMENDACIONES

- Definir una red hidroquímica de los principales pozos y manantiales en la sub cuenca del río Chili, con el fin conocer e investigar la variación química e fisicoquímica de las aguas subterráneas. Al existir una variación química se podrá interpretar mejor los sistemas de flujos y conocer el funcionamiento de los diferentes acuíferos, porosos no consolidados y acuíferos fisurados volcánicos.
- Se recomienda elaborar estudios hidrogeológicos de detalle, donde pueda existir pozos exploratorio y pruebas hidráulicas, que permitan conocer sus parámetros hidrogeológicos e hidrogeoquímicos, así también incluir las zonas de recarga de estas.

9. BIBLIOGRAFIA

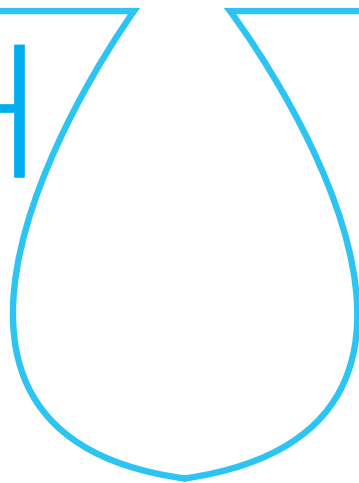
- BENÍTEZ, A. (1963). Captación de aguas subterráneas, Nuevos Métodos de Prospección y de Cálculo de Caudales. Madrid: Dossat, 157 p.
- CHAVEZ, Z. Jorge (1997). La Hidrogeología de la Ciudad de Arequipa. Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín. 90 p.
- CASTANY, G. (1975). Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Barcelona: Omega, 738 p.
- CASTANY, G. (1971). Tratado práctico de las aguas subterráneas. Barcelona: Omega, 672p.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. (1996) - Hidrología subterránea. 2a. ed. Barcelona: Omega, 2 t.
- COOK, G. Peter (2003). A guide to regional groundwater flow in fractured rock aquifers, csiro, cm digital, Australia, 115 p.
- DGAI, Cooperación Técnica de Francia & Universidad Nacional de San Agustín (1972). Estudio hidrogeológico de la Zona Oriental de Arequipa, Abastecimiento de Agua para Mejoramiento de Riego, p. 46.
- EPS SEDAPAR & SIGMA (1998). Estudio de ubicación de nuevas fuentes de agua para el abastecimiento complementario de la ciudad de Arequipa. Informe Final, SEDAPAR –Arequipa.
- FUENTES, Z. German (1999). Estudio Hidrogeológico para el Abastecimiento Complementario de Agua en la Ciudad de Arequipa. Tesis de Grado, Universidad Nacional Jorge Basadre.
- GUEVARA, C., (1969). Geología del cuadrángulo de Characato del servicio Geología y Minería N° 223, p. 11-17 Lima.
- FCIHS. (2009). Hidrogeología, Fundación Centro Internacional de Hidrogeología Subterránea, Barcelona, 768 p.
- HOEFS, JOCHEN (2009). Stable Isotope Geochemistry. Springer, 281 p.
- INADE – AUTODEMA (2001). Diagnóstico de gestión de la oferta de agua de la Cuenca Quilca – Chili, Informe Final, AUTODEMA.
- INRENA, (2003). Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Chili, en ANA.
- KEVIN, M. HISCOCK (2005). Hydrogeology, principles and practice. Blackwell Publishing 377 p.
- KRESIC, N. & STEVANOVIC, Z. (2010). Groundwater Hydrology of springs, 565 p.
- LAURA, S. & GATTINONI, P. (2009). Water circulation in rocks. Springer, 163 p.
- LAJO, A. & GAMARRA A. (2010). Investigaciones Hidrogeológicas en la Cuenca del río Yarabamba: Margen Sur Oriental de Arequipa. Sociedad Geológica del Perú, Resúmenes_XV_CPG, 109-1012 P.
- MASIAS, A. Pablo (2007). Estudios geoquímicos de las fuentes termales y frías asociadas al Volcán Misti. Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín.
- MANCHEGO, S. Mario (2000). Consideraciones geoambientales de la cuenca del río Yarabamba. Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín.



- NEVEN, K. & ZORAN S. (2010). Groundwater Hydrogeology of Springs. Elsevier - USA, 565 p.
- MARTÍNEZ, E.; MARTÍNEZ, P. & CASTAÑO, S. (2006). Fundamentos de hidrogeología. Madrid, España. Mundi-Prensa, 284 p.
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PAUCARPATA, (2009). Estudio Hidrogeológico del Manantial La Bedoya, Informe Final - Consorcio Saneamiento de Paucarpata.
- MAZOR, Mazor (2004). Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology. 453p.
- PEÑA, L Fluquer (2001). Estudio hidrogeológico del Acuífero Poroso no Consolidado entre Saylla y Choquepata. Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad.
- PEÑA, Boris (2000). Caracterización de Sistemas Hidrotermales en el Distrito Físico Geográfico Pinar del Rio. Tesis de Maestría, Universidad la Habana –Cuba, 89p.
- PRADEEP, K. & JOEL, R. & KLAUS F. (2005). Isotopes en the water cycle. Springer, 373 p.
- SENAMHI (2009). Balance Hídrico Superficial del Rio Chili – Quilca, Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos – SENAMHI.
- STRUCKMEIER, W. F. & MARGAT, J. (1995). Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. Hannover: International Association of Hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology, 17, 193 p.
- TOTH, J. (2009). Gravitational Systems of Groundwater Flow, 297 p.
- VILANOVA, T. & Mas-Pla, J. & Mencia, A (2008). Determinación de Sistemas de Flujo Regionales y Locales de las Depresiones Tectónicas del Baix Emporda y la Selva (NE e España) en Base a Datos Hidroquímicos y Isotópicos. Boletín Geológico y Minero, 119 (núm. esp.): 51-62.
- VARGAS, L., (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa. Boletín del servicio Geología y Minería N° 24, p. 64 Lima.

escuela de posgrado
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS DE POSGRADO EN **HIDROLOGÍA**

UAH URJC



máster universitario

en hidrología y gestión de recursos hídricos

proyectos
2015

Análisis de las relaciones de intensidades máximas de lluvias en función de la duración y frecuencia, para la cuenca endorreica del lago de Valencia, Venezuela

autor

Ada Celina Moreno Barrios

Directores

Dr. Juan Antonio Pascual (CIDE)

Dra. Irene de Bustamante Gutiérrez (UAH)

Alcalá de Henares, 21 de mayo de 2015



AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar un especial agradecimiento al profesor Juan Antonio Pascual, por sus valiosas sugerencias durante la elaboración de este trabajo, así como a la profesora Irene de Bustamante, por su paciencia.

Del mismo modo, vale un reconocimiento al profesor Roberto Duque del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), de la Universidad de Los Andes, Venezuela, por facilitar copia de los registros de precipitaciones máximas que fueron usados en el presente estudio.



ÍNDICE

1. Resumen	163
2. Introducción	163
2.1. Ecuaciones para las relaciones intensidad, duración y frecuencia	163
2.2. Antecedentes en el área de estudio	165
2.3. Objetivos	166
2.4. Zona de Estudio	166
3. Métodos	168
3.1. Intensidad de precipitación	168
3.2. Frecuencia o probabilidad de ocurrencia	168
3.3. Análisis de frecuencias	168
3.4. Obtención de modelos matemáticos	169
3.4.1. Ecuación de Sherman	169
3.4.2. Ecuación de Koutsoyiannis y colaboradores	169
3.4.3. Comparación de las ecuaciones obtenidas	170
3.5. Estaciones seleccionadas	171
4. Resultados y discusión	174
4.1. Análisis de frecuencias	174
4.2. Ecuaciones o modelos matemáticos ajustados a las relaciones IDF	177
4.3. Comparación de las ecuaciones obtenidas	181
5. Conclusiones y recomendaciones	185
6. Bibliografía	185

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones pluviográficas ubicadas dentro del Lago de Valencia y en su área de influencia	171
Tabla 2. Estaciones pluviográficas definitivas para el Lago de Valencia y su área de influencia	173
Tabla 3. Error cuadrático de las distribuciones ajustadas a los datos de intensidades máximas de lluvia de 9, 12 y 24 horas de duración	175
Tabla 4. Error cuadrático de las distribuciones ajustadas a los datos de intensidades máximas de lluvia de 1, 3 y 6 horas de duración	176
Tabla 5. Intensidades máximas para distintas duraciones, estación Rancho Grande, serial 0426	177
Tabla 6. Parámetros ecuación de Sherman, obtenidos para las estaciones pluviográficas	178
Tabla 7. Parámetros ecuación de Koutsoyiannis y colaboradores, obtenidos para las estaciones pluviográficas	179
Tabla 8. Coeficiente de correlación r, error medio normalizado MNE, factor medio de predicción MPF e índice de dispersión ID para las estaciones pluviográficas ..	181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	167
Figura 2. Curvas de intensidad - duración - frecuencia	169
Figura 3. Determinación del parámetro θ	169
Figura 4. Estaciones pluviográficas del Lago de Valencia y su área de influencia	171
Figura 5. Estaciones pluviográficas definitivas para el Lago de Valencia y su área de influencia	173
Figura 6. Intensidades máximas contra duración para 2 años de periodo de retorno, en la estación Rancho Grande, serial 0426	177
Figura 7. Transformación de curva en línea recta para las intensidades máximas en contra de la duración, estación Rancho Grande, serial 0426	177
Figura 8. Gráfico de C contra T para la ecuación de Sherman, estación Rancho Grande serial 0426	177
Figura 9. Gráfico de C contra D para la ecuación de Koutsoyiannis, estación Rancho Grande, serial 0426	179
Figura 10. Isolíneas de máxima profundidad de precipitación para 1 hora de duración y 25 años de periodo de retorno	182
Figura 11. Isolíneas de máxima profundidad de precipitación para 1 hora de duración y 50 años de periodo de retorno	183
Figura 12. Isolíneas de máxima profundidad de precipitación para 1 hora de duración y 50 años de periodo de retorno	183
Figura 13. Localidades afectadas por eventos hidrometeorológicos entre los años 1933 y 2012, con su consecuente desborde de ríos y quebradas, o inundaciones de viviendas y carreteras	184



INDICE DE ABREVIATURAS

r: Coeficiente de correlación

C₁: Coeficiente de variación

A, b y c: Coeficientes a determinar, constantes para la estación de medición

λ, ψ, η y θ: Coeficientes que dependen de la localización de la estación y periodo de retorno

A: Constante para cada estación pluviográfica

C₂: Constante regional

B y L: Constantes zonales

S_{xy}: Covarianza de X e Y

x_i: Dato i de la estación pluviográfica x

y_i: Dato i de la estación pluviográfica y

X_{mi}: Dato medido

d: Duración de la lluvia

MNE: Error medio normalizado

K[T,n]: Factor de ajuste

R: Factor de reducción adimensional

MPF: Factor medio de predicción

dP: Incremento de precipitación

dt: Incremento de tiempo

ID: Índice de dispersión

r₁¹⁰: Intensidad de lluvia para 1 hora de duración y 10 años de periodo de retorno

r_d^T: Intensidad de lluvia para d horas de duración y T años de periodo de retorno

I_d^T: Intensidad de lluvia para d horas y T años de periodo de retorno

i: Intensidad de precipitación

X_d: Magnitud de diseño

m: Número de orden

k: Número de periodos de retorno analizados

Tr, T: Periodo de retorno en años

P₁₀⁶⁰: Precipitación máxima para 1 hora de duración y 10 años de periodo de retorno

P_T^d: Precipitación máxima para d horas de duración y T años de periodo de retorno

T_{X_{d,T}}: Precipitación para un intervalo de tiempo d, y periodo de retorno

R₂₄²: Profundidad de lluvia para 24 horas de duración y 2 años de periodo de retorno

x: Relación entre la intensidad de 1 hora de duración y 100 años de periodo de retorno, con la de 1 hora y 10 años

n: Tamaño de la muestra

X_{ci}: Valor estimado

D, C: Variables sustitutas, mediante un cambio de variable

S_{xx}: Varianza de X

S_{yy}: Varianza de Y



1. RESUMEN

El presente trabajo fin de máster tuvo como objetivo principal establecer modelos matemáticos para describir las relaciones intensidad - duración - frecuencia en la cuenca endorreica del Lago de Valencia, Venezuela. Metodológicamente se realizaron análisis de frecuencia para los datos de intensidades máximas de lluvia, en una longitud de registro de 24 años comprendidos entre 1970 y 1993, utilizando para ello la información de las estaciones adscritas al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. En este sentido, las duraciones utilizadas fueron de 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas. Luego, con los resultados arrojados por los análisis de frecuencia para periodos de retorno de 2, 25, 50, 100 y 200 años, se ajustaron los modelos matemáticos propuestos por Sherman y Koutsoyiannis *et al.*, pudiendo compararse los resultados obtenidos entre ambas ecuaciones, a través del coeficiente de correlación (r), del error medio normalizado (MNE), del factor medio de predicción (MFP) y del índice de dispersión (ID); obteniéndose que la ecuación más apropiada para el Lago de Valencia fue la de Sherman, debido a que presentó, en todos los casos estudiados, mayor r , menores MNE e ID, y arrojó un MFP más cercano a la unidad, en comparación con la ecuación de Koutsoyiannis *et al.* A continuación, y para finalizar, se construyeron las isolíneas de máxima profundidad de precipitación para 1 hora y 25, 50 y 100 años de periodos de retorno.

Palabras clave: Precipitaciones máximas, intensidades máximas de lluvia, isolíneas de máxima precipitación, análisis de frecuencia.

2. INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de lluvias extremas origina el aumento de caudales en los ríos, con posibles inundaciones, así como el desarrollo de procesos erosivos, y de socavación debidos al aumento de la capacidad de arrastre de los cursos de agua, y movimientos de masa, por nombrar solo algunas de sus consecuencias negativas. En este sentido, se puede afirmar que las inundaciones (que pueden ser desencadenadas por lluvias intensas o prolongadas, derretimiento brusco de nieve o huracanes) representan el fenómeno de mayor envergadura que afecta grandes zonas y poblaciones, y más específicamente en América Latina son el primer factor de riesgo, seguidas por los terremotos y los huracanes (Lugo e Inbar, 2002).

En el caso de Venezuela, los desastres más frecuentes son aquellos ocasionados por las crecidas e inundaciones y en segundo lugar por los deslizamientos, los cuales tienen como factor desencadenante las lluvias extremas (Aranguren, 2008). De tal manera que, para la planificación del uso de tierras, el diseño de obras hidráulicas orientadas a la protección contra inundaciones, y en general, para el diseño y construcción de obras de infraestructura que sean seguras frente a la acción de los caudales máximos, se hace necesario el estudio de las alturas (o profundidades) e intensidades máximas de precipitación, puesto que ellas representan la principal causa de crecidas e inundaciones que pudieran tener lugar en los diferentes cursos de agua.

En particular, el estudio de las precipitaciones máximas en el Lago de Valencia (ubicado en el centro de Venezuela) reviste especial importancia, debido a que el nivel de sus aguas ha experimentado una sorprendente variación desde mediados del siglo XX, específicamente a partir del año 1980, momento en el cual comenzó un ascenso vertiginoso de la cota del espejo de agua, provocando las inundaciones de las riberas del Lago. El mencionado aumento parece deberse a múltiples factores, entre los que destacan las decisiones tomadas por entes gubernamentales y técnicos en cuanto a la planificación y manejo de sus aguas. Sin embargo, cabe destacar que las inundaciones en las riberas del Lago, no solo son debidas al aumento del nivel de sus aguas, sino también al desborde de los ríos que en él desembocan, razón por la cual se hace necesario realizar estudios de las precipitaciones máximas que pudieran generar crecidas en los ríos más importantes de la cuenca.

En lo que respecta a información hidroclimática disponible en el país, se cuentan con datos de profundidad e intensidad de lluvia recolectados por las distintas estaciones ubicadas en todo el territorio nacional; específicamente las que pertenecen al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente tienen un periodo de registro que se extiende desde principios de la década de los 60 del siglo XX hasta mediados de los 90, aunque algunas de ellas midieron desde los años 40. Adicionalmente se dispone de algunas publicaciones tales como la del Instituto Nacional de Obras Sanitarias INOS (1969), el atlas de profundidad - duración - frecuencia de lluvias en Venezuela de la llamada División de Hidrología del antiguo Ministerio de Obras Públicas MOP (1963), vinculadas con la representación gráfica de las curvas IDF para diferentes duraciones y periodos de retorno, y en algunos casos, regionalizadas en zonas de extensa área superficial del espacio geográfico venezolano, que brindan una información útil, pero muy generalizada de las características de las lluvias extremas del país.

Por las razones expuestas, es propósito del trabajo fin de máster aquí presentado, realizar el análisis de las intensidades máximas de lluvia que provocan los caudales picos en la red fluvial del sistema perteneciente a la cuenca endorreica del Lago de Valencia.

2.1. ECUACIONES PARA LAS RELACIONES INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA

A nivel mundial, los estudios relacionados con las precipitaciones e intensidades máximas de lluvia han sido muy variados y numerosos; a continuación se intentan resumir, en orden cronológico, algunos de los trabajos más relevantes para la investigación aquí desarrollada.

Así pues, en París, en la década de los 40 del pasado siglo se estudiaron 900 tormentas registradas en el parque Mon - Souris para los 50 años del periodo 1897 - 1946, llegando a determinarse las intensidades medias máximas correspondientes a intervalos de referencia o a distintas duraciones entre 1 minuto y 30 horas para periodos de retorno de 5, 10, 20 y 50 años. Luego, se realizaron los ajustes de los resultados obtenidos, para llegar a una fórmula que describía la relación entre la intensidad en mm/h y la duración en minutos (Crisollet, 1948).



Fue Sherman (1931) quién presentó la primera ecuación, para representar las relaciones intensidad - duración - frecuencia (IDF); en su caso, el autor trabajó en Boston, Massachusetts, obteniendo la ecuación 1:

$$i = \frac{\lambda T^{\psi}}{(d + \theta)^{\eta}} \quad [1]$$

Donde i es la intensidad máxima de precipitación en mm/h; λ , ψ , θ y η son coeficientes que varían con el lugar y el periodo de retorno; d es la duración de la lluvia en horas o minutos; y T es el periodo de retorno de la lluvia en años.

Luego, Bernard (1932) obtuvo una serie de mapas en Estados Unidos, con el objetivo de estimar los parámetros de las curvas intensidad - duración - frecuencia para intervalos de tiempo iguales o mayores de 2 horas, llegando a desarrollar la siguiente relación IDF, similar a la que presentara Sherman 1 año antes, pero con un coeficiente θ nulo:

$$i = \frac{\lambda T^{\psi}}{d^{\eta}} \quad [2]$$

La dificultad de conseguir información de precipitaciones máximas para duraciones menores a una hora y la escasez de dichos datos conllevó a que algunos autores desarrollaran metodologías para relacionar las lluvias de corta duración con precipitación horaria e incluso diaria. Dentro de estos estudios se encuentran los realizados por Bell (1969), quien utilizó los datos de series parciales para varias estaciones de Estados Unidos a fin de encontrar una relación entre las precipitaciones de duraciones d (comprendidas entre 5 y 120 minutos) con las lluvias de una hora, para periodos de retorno entre 2 y 100 años. Bell comparó sus resultados con los obtenidos por otros autores en Alaska, Sudáfrica, Hawái, Puerto Rico y Australia, y concluyó que las relaciones profundidad - duración y frecuencia en todas las regiones eran muy similares. La ecuación deducida por Bell se muestra a continuación:

$$P_T^d = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54d^{0.25} - 0.50)P_{10}^{60} \quad [3]$$

Donde P_T^d es la precipitación máxima para d horas de duración y T años de periodo de retorno, P_{10}^{60} es la precipitación máxima para 1 hora de duración y 10 años de periodo de retorno.

Posteriormente, Castillo y Ruíz (1979), establecieron en España, un par de fórmulas que relacionaban altura - duración - frecuencia para estimar precipitaciones máximas en un total de 20 estaciones, para duraciones menores a 2 horas (Ecuación 4) y entre 2 y 72 horas (Ecuación 5). Las ecuaciones presentadas por los autores estimaban la precipitación ($x_{d,T}$) para diferentes intervalos de tiempo d , referidas a distintos periodos de retorno T en función de una constante (A) definida para cada estación, un factor de ajuste ($K[T,n]$), dos constantes zonales (B y L) y el coeficiente de variación (C_1), como se detalla en las siguientes ecuaciones:

$$X_{d,T} = A \cdot d \cdot (d + L)^B (1 + K[T,n] \cdot C_1) \quad [4]$$

Duraciones menores a 2 horas

$$X_{d,T} = A \cdot d^B (1 + K[T,n] \cdot C_1) \quad [5]$$

Duraciones entre 2 y 72 horas

Wenzel (1982) presenta una ecuación donde relaciona la intensidad de precipitación con la duración de la lluvia, incluyendo tres coeficientes, tal y como se muestra en la Ecuación 6. Dicha fórmula buscaba evitar la lectura de la intensidad de diseño en gráficos o curvas, y fue desarrollada para 10 ciudades de Estados Unidos.

$$i = \frac{\lambda}{d^{\eta} + \theta} \quad [6]$$

Chen presenta una fórmula en el año 1983 (Ecuación 7) que relaciona la intensidad - duración - frecuencia en cualquier localidad de Estados Unidos, cuya deducción involucró profundidades de lluvia para dos periodos de retorno de 10 y 100 años como información básica necesaria, de manera que se emplearon en este método las precipitaciones para periodos de retorno de 10 años con 1 hora de duración (R_1^{10}), 10 años y 24 horas (R_{24}^{10}), y 100 años con 1 hora (R_1^{100}). El autor estimó las relaciones entre profundidades de lluvia de 1 hora con las de 24 horas para cualquier periodo de retorno; así como también relacionó las precipitaciones de 100 y 10 años considerando cualquier duración. A continuación se presenta la fórmula desarrollada por el autor:

$$r_d^T = \frac{A_1 r_1^{10} \log(10^{1-x} T_p^{x-1})}{(d + b)^c} \quad [7]$$

Donde r_d^T es la intensidad de lluvia para d horas de duración y T años de periodo de retorno, A_1 , b y c son los coeficientes a determinar para cada estación de medición, r_1^{10} es la intensidad de lluvia para 1 hora de duración y 10 años de periodo de retorno, $x = (R_1^{100}/R_1^{10})$ y T_p es el periodo de retorno en años para series de duración parcial.

Por su parte, Froehlich (1995) dio continuidad a los trabajos de Chen, presentando una variación simplificada de su ecuación en Alaska, Hawái, Puerto Rico y las Islas Vírgenes, que permitía estimar la intensidad máxima de precipitación, en función de 1, 2, 3, 6 y 24 horas de duración, tanto para series anuales como de duración parcial.

Por otra parte, y ya en el año 1992, Kothyari y Garde analizaron los datos de 80 estaciones pluviográficas de la India, bajo la suposición de que las lluvias de duraciones menores a 24 horas son similares en regiones geográficas diferentes, esto debido a las propiedades generales de las celdas convectivas que las originan. Después de las consideraciones anteriores, los autores desarrollaron una ecuación general (Ecuación 8), que se presenta a continuación:

$$I_d^T = C_2 \frac{T^{0.20}}{d^{0.71}} (R_{24}^2)^{0.33} \quad [8]$$

Donde I_d^T es la intensidad de lluvia en mm/h para una duración de d horas y T años de periodo de retorno, C_2 es una constante regional igual a 8.31 para la India, R_{24}^2 es la profundidad de lluvia en mm para 24 horas y 2 años de periodo de retorno. Dicha ecuación arrojó errores de $\pm 30\%$ en el 95% de los casos, para estaciones distribuidas en toda India. Los autores dividieron el país en 5 subregiones con constantes C diferentes para cada



una y consiguieron que el error disminuyó a $\pm 18\%$, pudiendo concluirse que la regionalización optimizó las ecuaciones obtenidas. Posteriormente, los resultados fueron validados con los datos de 2 estaciones que no fueron incluidas en la deducción de la fórmula, llegando a estimar errores de $\pm 20\%$.

Chow *et al.* (1994) proporcionan la siguiente relación IDF, basada en la incorporación del periodo de retorno a la ecuación presentada por Wenzel, en el año 1982. Puede observarse en la Ecuación 9, que aparecen 4 coeficientes que dependen de la región en estudio.

$$i = \frac{\lambda T^{\theta}}{d^{\eta} + \theta} \quad [9]$$

Otro modelo sugerido por Koutsoyiannis *et al.* (1998) fue desarrollado para Grecia, y tiene la particularidad de considerar que la intensidad presenta una distribución doble exponencial o de Gumbel:

$$i = \lambda \left\{ \frac{\psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{(d + \theta)^{\eta}} \right\} \quad [10]$$

Las ecuaciones presentadas en páginas precedentes, continuaron siendo utilizadas en el siglo XXI, lo cual es una clara evidencia de su aplicabilidad. En este sentido, en publicaciones recientes, Pizarro *et al.* (2001) elaboraron “tablas de uso práctico” en la región del Maule ubicada en la zona del valle central y de la Cordillera de los Andes de Chile, donde presentaron 6 ecuaciones similares a la desarrollada por Bernard (1932), para la obtención de las curvas IDF, que permitían calcular intensidades máximas en función del periodo de retorno y de la duración de la lluvia.

Ulteriormente, Pereyra-Díaz *et al.* (2004) construyeron algunos modelos matemáticos no lineales basados en las ecuaciones de Sherman (1931), Bernard (1932), Wenzel (1982), Chow *et al.* (1994) y Koutsoyiannis *et al.* (1998), para la ciudad de Xalapa, Veracruz, utilizando datos de precipitaciones máximas de un periodo de registro de 75 años, obteniendo finalmente, como resultado, que los modelos más adecuados fueron Koutsoyiannis *et al.* (1998), Chow *et al.* (1994) y Sherman (1931).

En un estudio realizado en el río del Oro en territorio colombiano, sobre amenazas de inundación y erosión realizado en el año 2005, se hace mención de las ecuaciones obtenidas por Duarte (2002), las cuales relacionan la intensidad, duración y el periodo de retorno de seis estaciones pluviográficas, y es de hacer notar que dicha ecuación tiene la misma forma de la fórmula presentada por Bernard en el año 1932 (Geotecnología Ltda, 2005).

Más recientemente, Pulgarín (2009) recopiló información de precipitaciones máximas para duraciones de 1 a 24 horas para 28 años de registro de las regiones cafeteras norte, centro y sur de Colombia. Posteriormente implementa diversas metodologías para la estimación de las curvas intensidad - duración - frecuencia, considerando enfoques clásicos (a través de análisis de frecuencia y el ajuste a fórmulas empíricas) y teorías de escalamiento modernas. Dentro de su trabajo consigue ajustar los datos utilizados a la ecuación presentada por Bell en el año 1969, obteniendo las relaciones de la intensidad máxima de lluvia con el periodo de retorno y la duración de la precipitación.

Las conclusiones de Pulgarín (2009) con respecto al uso de los análisis de frecuencia, como un método clásico para estimar las relaciones intensidad - duración - frecuencia (IDF), se centran en afirmar que es un procedimiento muy simple desde el punto de vista computacional y aritmético, y cuya mayor dificultad de aplicación es que los resultados obtenidos sólo aplican a los registros bajo estudio y no existe posibilidad de estimar las precipitaciones o intensidades máximas para otras escalas temporales, además requiere disponer de datos de intensidades (o de precipitaciones) máximas de 1 a 24 horas para los años que se quieren analizar. Adicionalmente, según el autor, la metodología clásica no aporta información que pueda ser utilizada para la determinación de las curvas IDF en otras regiones.

En el estado de Tabasco en México, Quiroga y Campos (2010) emplearon la relación presentada por Bell en 1969, con parámetros ajustados a los datos de 14 estaciones pluviográficas, con registros de precipitaciones horarias para duraciones comprendidas entre 5 y 120 minutos y con periodos de retorno entre 2 y 100 años. Los resultados fueron comparados con las ecuaciones de Chen (1983) y la de Bell (1969) con sus parámetros originales. Los autores concluyeron que el modelo deducido en el análisis, con parámetros regionalizados, funcionó con mejor precisión en la mayoría de las duraciones estudiadas, de allí que las ecuaciones obtenidas por Quiroga y Campos (2010) se representan en una mejor alternativa para el análisis de lluvias máximas y la obtención de avenidas de diseño en el estado de Tabasco.

De los párrafos precedentes, se deduce que la ecuación presentada por Sherman (1931) parece ser la pionera en cuanto a la estimación de intensidades máximas de precipitación en función del periodo de retorno y la duración de la lluvia, en este orden de ideas, se observa que los modelos matemáticos sugeridos por Bernard (1932), Wenzel (1982) y Chow *et al.* (1994) son simplificaciones de la ecuación de Sherman (1931). En cambio la fórmula planteada por Koutsoyiannis *et al.* (1998) difiere claramente de las anteriores, puesto que considera que la intensidad tiene una distribución General de Valores Extremos Tipo I. Por las razones expuestas, y para efectos del presente trabajo, se harán los ajustes a las ecuaciones planteadas por Sherman (1931) y Koutsoyiannis *et al.* (1998).

2.2. ANTECEDENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En el caso de Venezuela, y en orden cronológico, los análisis de precipitaciones máximas tienen sus inicios con el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) en 1969, organismo en el que se construyeron una serie de curvas intensidad - duración - frecuencia para todo el territorio nacional (INOS, 1969), a través del empleo de la distribución doble exponencial de Gumbel para realizar los análisis de frecuencias de lluvias con periodos de retorno mayores de 10 años. Estas curvas fueron construidas para servir de apoyo al Plan Nacional de los Recursos Hidráulicos de Venezuela, y sus resultados fueron presentados en la forma gráfica de las curvas IDF, siendo ampliamente citadas en la literatura nacional y utilizados en proyectos de diseño hidrológico a nivel regional y local.

Luego, Méndez (1986) realiza ajustes a cinco ecuaciones que relacionan las lluvias extremas de 10 años de periodo de retorno,



con su intervalo de duración, para 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas, para ser utilizados en el diseño de obras de drenaje. Para lograr este objetivo, el autor utilizó los datos de precipitaciones máximas registrados en 39 estaciones de los llanos occidentales. Otros resultados importantes obtenidos en este trabajo, son las relaciones entre las precipitaciones máximas de 24 y 120 horas de duración, para 12 estaciones de medición, llegando a establecerse que éstas últimas son 1,3 veces mayores a las primeras.

Posteriormente, Cartaya (1988) usó los datos de precipitaciones máximas caídas en 15, 30 y 45 minutos y la de una hora de duración para un periodo de retorno de 10 años, correspondientes a 81 estaciones pluviográficas de Venezuela. A partir de las relaciones medias entre las lluvias mencionadas, Cartaya estimó un factor de reducción R que relacionaba la lluvia de 60 minutos (P_{60}) con la precipitación de cualquier duración (P_d). De este procedimiento se obtuvo la Ecuación 11:

$$R = 0.14d^{0.49} \quad [11]$$

Donde R es el factor de reducción adimensional igual a P_d/P_{60} y d es la duración de la lluvia P_d en minutos. Los resultados presentados por Cartaya, fueron comparados con los obtenidos por otros autores en Estados Unidos, con la finalidad de validar la ecuación, concluyéndose que las lluvias extremas cortas son similares en todas partes del mundo, pudiendo ser estimadas de la reducción de la precipitación de una hora de duración (Cartaya, 1988).

Recientemente, en el año 2008, en el Estado Cojedes, algunos autores han ajustado los datos registrados por los pluviógrafos, al modelo presentado por Bernard en el año 1932, consiguiendo coeficientes de determinación entre los valores estimados y medidos, considerablemente altos para las ecuaciones obtenidas (Guevara y Carballo, 2008).

En el área de estudio, Pereira (1991) elaboró las curvas profundidad - duración - frecuencia y los mapas de isolinéas de máxima precipitación en el estado Carabobo, mediante la selección de 44 estaciones registradoras, y utilizando la distribución teórica de probabilidad doblemente exponencial de Gumbel para la realización de los análisis de frecuencias. La autora aplicó métodos gráficos y analíticos; el primero fue empleado para construir 44 figuras, correspondientes a las curvas de profundidad - duración - frecuencia de las estaciones pluviográficas analizadas, mientras que el segundo procedimiento fue utilizado para la elaboración de 36 mapas regionales de profundidades máximas de lluvia para 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas de duración y 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de periodos de retorno.

Una de las conclusiones principales del trabajo de Pereira (1991) es que la distribución espacio - temporal de las precipitaciones máximas presenta, entre otros aspectos un patrón en contornos casi circulares hacia el Noreste del estado Carabobo, "haciéndose más concentrados" en la medida en que se incrementa el periodo de retorno y alcanzando valores máximos de precipitación de 320 y 323 mm en la estación el Cambur (serial 0406) para 100 años de retorno y duraciones de 12 y 24 horas respectivamente.

Más específicamente, en la cuenca endorreica del Lago de Valencia, Guevara *et al.* (2008), realizaron un diagnóstico del

régimen climático de la cuenca y determinan la densidad de la red pluviométrica mediante el análisis de distribución espacial de las lluvias, utilizando la información disponible en la región central (Aragua, Carabobo y Cojedes). A pesar de que sus trabajos se relacionan con análisis de lluvias medias, los autores llegan a la conclusión de que las lluvias máximas ocurren en el mes de agosto generalmente.

Debe señalarse que existe un déficit importante de investigaciones relacionadas con las intensidades máximas de precipitación y su relación con la frecuencia de ocurrencia, en una zona que resulta ser estratégica para Venezuela, desde el punto de vista económico, como es la cuenca del Lago de Valencia. De todo ello, surge la necesidad de realizar un estudio que pretenda analizar las máximas precipitaciones registradas en la región, además de establecer relaciones matemáticas que permitan una rápida estimación de las intensidades máximas de lluvia para diferentes duraciones y periodos de retorno; de esta manera se evita recurrir a la recopilación de información pluviográfica, debido a la dificultad existente en la actualidad para el acceso y manipulación de la misma, por parte de cualquier persona que requiera de ella en estudios de naturaleza hidrológica.

2.3. OBJETIVOS

El objetivo general del presente estudio es: Establecer ecuaciones regionales que describan las relaciones intensidad - duración - frecuencia, aplicables al Lago de Valencia, en los estados Aragua y Carabobo, para distintas duraciones y diferentes periodos de retorno.

Los objetivos específicos son los siguientes:

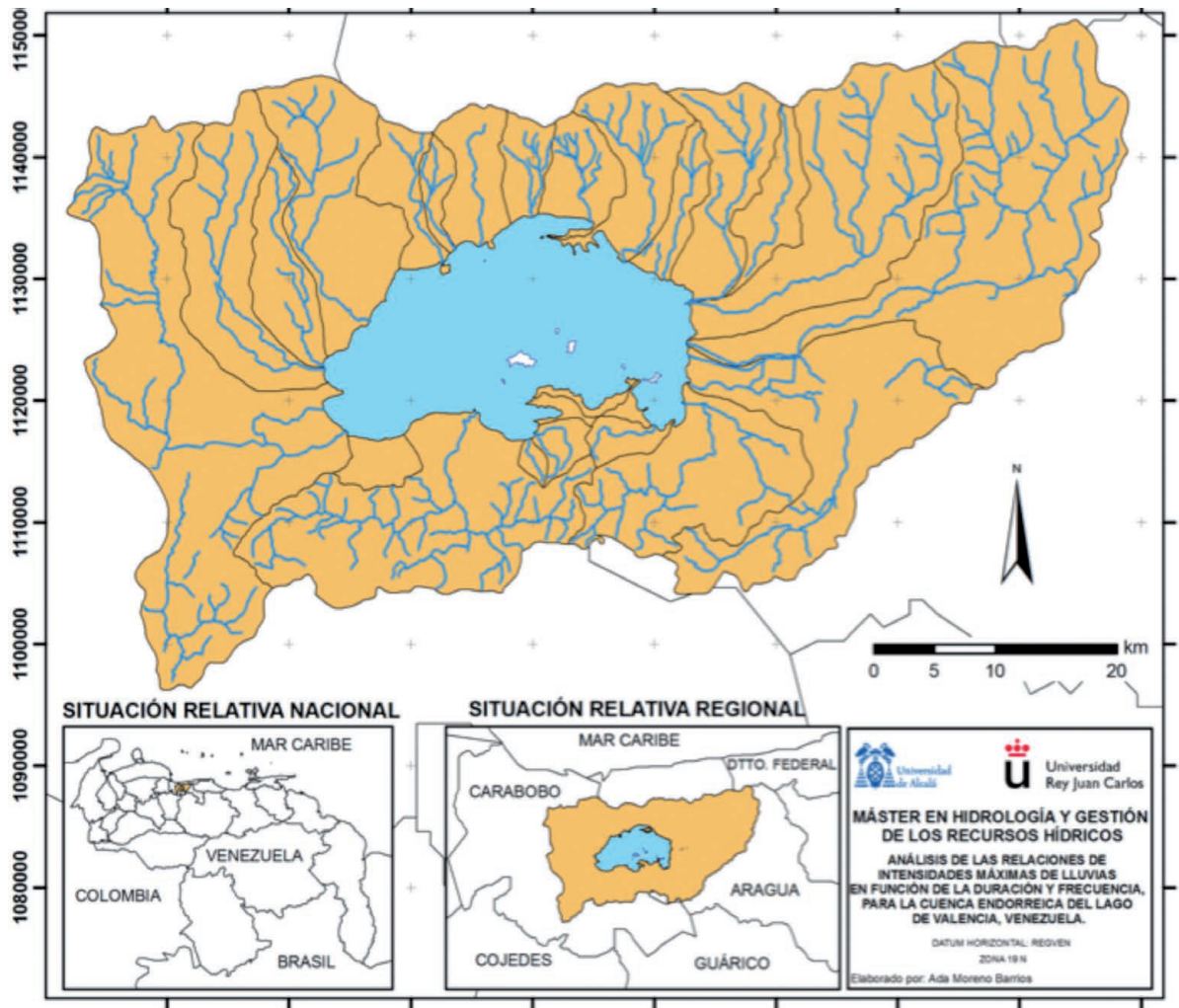
- Analizar la influencia de las estaciones registradoras de precipitación existentes en el área de estudio.
- Realizar los análisis de frecuencias de lluvias extremas para todos los registros de las estaciones seleccionadas.
- Definir los criterios que permitan seleccionar las ecuaciones obtenidas, en función de su mejor ajuste a los registros de lluvias extremas considerados.
- Obtener un conjunto de ecuaciones para la estimación de intensidades de precipitaciones máximas para distintas duraciones y periodos de retorno.
- Generar los mapas que describan el comportamiento espacial de la precipitación para 25, 50 y 100 años de periodos de retorno.

2.4. ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del Lago de Valencia ocupa 3.000 Km² y comprende una porción de los estados Aragua y Carabobo. Se encuentra ubicada en el tramo central de la Cordillera de la Costa y se constituye en la única cuenca endorreica de Venezuela. La zona de estudio está enmarcada entre las coordenadas 68°00'00" y 67°28'00" de longitud Oeste y 10°13'00" y 10°10'00" de latitud Norte (figura 1).



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio



Según la clasificación climática de Köppen, la cual utiliza como parámetros fundamentales la precipitación y la temperatura en correlación con la fitogeografía regional, se presenta un clima Awi, correspondiente al clima tropical de sabana, en las serranías de la cuenca.

Las variaciones de temperatura media anual del aire en la cuenca se presentan en un rango de 18 - 24 ° C, con desviación media en el orden de 10 ° C. De acuerdo con estas temperaturas, el clima de la cuenca puede clasificarse en a) Piso Subtropical ST en los sectores montañosos de la Serranía Litoral; y b) Piso Tropical, en la depresión.

La precipitación media anual se ubica entre 1.000 y 1.800 mm en las áreas de montaña, mientras que en la depresión del Lago de Valencia oscila aproximadamente entre 900 mm y 1.300 mm. La evaporación anual promedio estimada en la cuenca varía entre 900 y 2.000 mm, los meses de enero a mayo presentan las mayores evaporaciones. La época seca comprende de Noviembre a Abril, mientras que la época de lluvia es de Mayo a Octubre. Las tres estaciones de evaporación operadas por el antiguo Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales

Renovables en la región (La Cabrera, Suata y Guataparó) arrojan valores medios anuales de evaporación de 2.048, 2.149 y 1.706 mm, respectivamente. En los meses con mayores valores de evaporación (enero - mayo), se tienen promedios mensuales entre 175 mm y cerca de 250 mm. En el período de junio a diciembre los promedios mensuales están por el orden de 125 mm y 150 mm (CIDIAT - Empresas POLAR, 2013).

En lo que se refiere a la vegetación se corresponde a sabanas, bosques caducifolios montañosos y matorrales tropófilos. El Lago se desarrolla sobre sedimentos del Cuaternario y Terciario Superior que rellenan sus valles y depresiones. Al norte del Lago, se encuentran las mayores alturas de la región entre los 800 y 1.200 m.s.n.m.

La red hidrográfica presenta un patrón dendrítico de escurrimiento cerrado donde los ríos y quebradas convergen en el Lago de Valencia, cuyo espejo de agua varía constantemente con los aportes de los tributarios y en los últimos años, debido también a los trasvases extras provenientes de la cuenca del río Pao. Varias corrientes de agua descienden de las montañas de la Serranía Litoral o Cordillera de la Costa y de la Serranía



del Interior, que fluyen luego hacia la cuenca del Lago (CIDIAT – Empresas POLAR, 2013). Los principales ríos de la cuenca son el Limón, Aragua, Güey, Turmero, Güigüe, Cabriales y Los Guayos.

Los usos de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia son, fundamentalmente, el abastecimiento de centros poblados e industrias, así como también para el riego. Las ciudades Maracay y Valencia son abastecidas por el Acueducto Regional del Centro, cuyas fuentes están fuera de esta región.

La actividad económica de la porción de la cuenca ubicada dentro del estado Aragua, está basada en los empleos industriales y de servicios que se generan en el Área Metropolitana de Maracay, así como en las ciudades de Turmero, La Victoria y Cagua, con importantes industrias ensambladoras de automóviles, metalmecánicas, productos químicos, textiles, agroindustrias y procesadoras de alimentos. Una moderna agricultura se expresa en la cuenca del Lago de Valencia, destacando los cultivos de caña de azúcar, maíz, frutas cítricas, hortalizas (INE, 2011a).

En lo que respecta al estado Carabobo, las actividades económicas giran alrededor de su industria, localizada en el eje Mariara - Valencia, en la costa norte del Lago de Valencia. Cuenta con la mayor concentración de industria manufacturera nacional después del estado Miranda, concentrada principalmente en la ciudad de Valencia con un 68% del total del estado. En el eje Guacara - San Joaquín - Mariara está el 23% y en el eje Puerto Cabello - Morón un 9%. Otras de las actividades que reúne condiciones excepcionalmente favorables en esta zona, es la actividad agrícola y pecuaria, en las riberas del Lago de Valencia, ya que cuenta con suelos de óptima calidad y suficiente viabilidad agrícola. Además, existe una agroindustria altamente desarrollada y con posibilidades estratégicas favorables de distribución de materia prima al mercado nacional e internacional. Los principales productos agrícolas son el café, caña de azúcar, caraota, maíz, y naranja. En cuanto a la cría predomina la actividad avícola, y de ganado bovino y porcino (INE, 2011b).

3. MÉTODOS

La metodología seguida para el desarrollo del presente trabajo de investigación se basó en la realización de análisis de frecuencia de la información correspondiente a precipitaciones máximas registradas en las estaciones pluviográficas que eran gestionadas por el antiguo Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables. En este orden de ideas, los datos de profundidades de lluvia fueron llevados a intensidades máximas de precipitación, puesto que las fórmulas a ajustar trabajan con dicha variable. Seguidamente, y con los análisis de frecuencia ya hechos, fue posible conocer la relación entre las intensidades de lluvia y sus correspondientes duraciones y frecuencias o periodos de retorno, de tal manera que el último paso de la metodología fue obtener los modelos matemáticos y construir las isolinéas de máxima profundidad (o intensidad) de precipitación, en la cuenca del Lago de Valencia.

A los efectos de entender mejor la metodología aplicada, se presentan a continuación una serie de definiciones relacionadas con los conceptos teóricos que resultan pertinentes para el estudio aquí desarrollado.

3.1. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

Las características más significativas de la precipitación, desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, pueden resumirse en cuatro: su altura o intensidad, su distribución en el espacio, su distribución en el tiempo y su frecuencia o probabilidad de ocurrencia (Aparicio, 2010).

La intensidad de precipitación es la cantidad de agua producida por unidad de tiempo (mm/h), y la cual varía en el transcurso de la tormenta. Para el diseño de obras hidráulicas interesa estudiar la intensidad máxima (Ramírez, 2003). La intensidad i se define según la ecuación 12:

$$i = \frac{dP}{dt} \quad [12]$$

Donde dP es la profundidad de lluvia caída en un intervalo de tiempo dt .

3.2. FRECUENCIA O PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

La frecuencia se define como una medida de la probabilidad que tiene un evento de ocurrir, y representa el número de veces, en un tiempo relativamente largo, que ocurre un evento. Según Weibull la probabilidad empírica está dada por la ecuación 13:

$$Frecuencia = P_{(x \geq x_d)} = \frac{m}{n+1} \quad [13]$$

Donde X es el evento a ocurrir, x_d es el evento de diseño, m el número de orden y n es la cantidad de registros.

Otra medida de la probabilidad de ocurrencia de un evento es el período de retorno (T), el cual se define como el número de años en promedio que tarda un evento en ocurrir, y es calculado como el inverso de la frecuencia (Ecuación 14).

$$T = \frac{1}{P_{(x \geq x_d)}} \quad [14]$$

3.3. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS

La magnitud de un evento extremo está inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, en este sentido, el objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológico es establecer dichas relaciones mediante el uso de distribuciones de probabilidad (Chow *et al.*, 1994).

En el presente trabajo, el análisis de frecuencia fue llevado a cabo mediante el ajuste de las series de máximos anuales correspondientes a las intensidades de lluvia, a las distribuciones teóricas de probabilidad más usadas en hidrología (normal, lognormal, gumbel, loggumbel, Pearson III y logPearson III); para ello se empleó el software AJUSTEV3 desarrollado en lenguaje FORTRAN por Duque (2006).

Posteriormente se seleccionó aquella distribución que presentara un mejor grado de ajuste en las series analizadas para 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas de duración; para tales efectos se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones: (i) considerar el menor



error cuadrático, (ii) aceptación mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov, y finalmente (iii) los valores de intensidad estimados con la distribución elegida deben ser siempre positivos, es decir, mayores o iguales a cero.

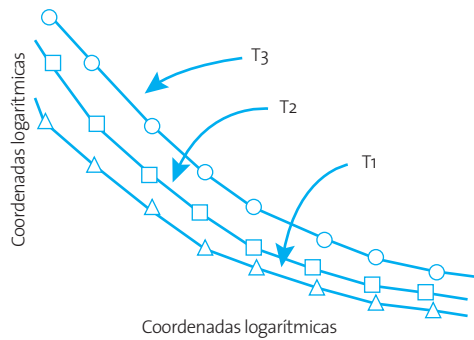
3.4. OBTENCIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS

3.4.1. ECUACIÓN DE SHERMAN

Para estimar los parámetros λ , ψ , θ y η de la ecuación de Sherman (1931) a ser obtenida en este trabajo, se siguieron los pasos sugeridos por Monsalve (2006), los cuales son explicados a continuación:

- Graficar en coordenadas logarítmicas las series de intensidades máximas en función del intervalo de duración d , uniéndose por una familia de curvas con el mismo periodo de retorno (figura 2).

Figura 2. Curvas de intensidad - duración - frecuencia



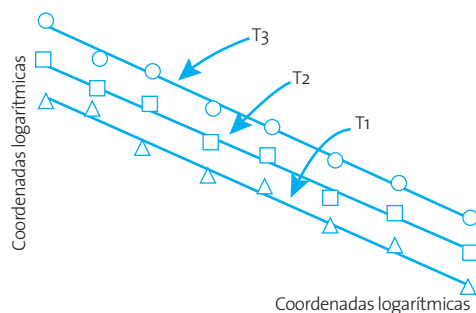
Fuente: Monsalve (2006).

- Agregar o sumar, en el eje de las abscisas, el valor θ en minutos a la duración d , para cada periodo de retorno considerado, de tal manera que las curvas se transformen en líneas rectas (figura 3). El valor general de dicho parámetro es:

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^k \theta_i}{k} \quad [15]$$

Donde k es el número de periodos de retorno analizados

Figura 3. Determinación del parámetro θ



Fuente: Monsalve (2006).

- Obtener el valor de η , como la pendiente promedio de las rectas mostradas en la figura 3 y según la Ecuación 16:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^k \eta_i}{k} \quad [16]$$

- Graficar C contra T en papel logarítmico y obtener $\lambda \psi$ por el método de mínimos cuadrados. Sabiendo que $C = i(d + \theta)^\eta$, η también es la función potencial mostrada en la Ecuación 17.

$$c = \lambda T^\psi \quad [17]$$

El valor general de C está dado por el promedio mostrado en la Ecuación 18:

$$\log C = \frac{\sum_{i=1}^k (\log C)_i}{k} \quad [18]$$

- Se obtiene de esta manera la ecuación de Sherman (Ecuación 1) que representa la relación intensidad - duración - frecuencia para un pluviógrafo determinado.

3.4.2. ECUACIÓN DE KOUTSOYIANNIS Y COLABORADORES

La metodología comúnmente utilizada para realizar el ajuste a la ecuación planteada por Koutsoyiannis *et al.* (1998) está basada en: (i) procedimientos típicos donde se consigue la función para cada uno de los periodos de retorno analizados, o una ecuación única para todos los periodos de retorno, y una función $W = f(T)$, (ii) estimación robusta a través de métodos de optimización utilizando el procedimiento de Kruskal - Wallis, o bien sea, (iii) métodos de mínimos cuadrados en un solo paso, donde se considera el uso de la optimización que busca reducir el error medio cuadrático.

Es de hacer notar que los métodos tratados en el párrafo anterior, para estimar los parámetros de la fórmula de Koutsoyiannis *et al.* (1998), están incluidos en muchas ocasiones dentro de paquetes de computación, y en otros casos requieren de métodos más complejos de optimización. Por estas razones, se presenta, una metodología modificada a partir del procedimiento planteado por Monsalve (2006) para la estimación de la ecuación de Sherman (1931), la cual se enfoca en el cálculo de los parámetros l , ψ , θ y η de manera semigráfica.

El procedimiento desarrollado para estimar los parámetros de la Ecuación 10 es una extensión de la metodología presentada por Monsalve (2006) para realizar el ajuste a la fórmula de Sherman (1931), debido a la similitud en el denominador de ambas ecuaciones. Sin embargo, en la función del numerador de la ecuación de Koutsoyiannis *et al.* (1998), la cual depende del periodo de retorno, se observa que los autores intentan linearizar de cierta manera la dependencia de la intensidad con respecto a la probabilidad de ocurrencia a través de la función doble logarítmica que presenta en su ecuación. Por lo tanto, se plantea un cambio de variable para lograr un gráfico en papel aritmético, en lugar del papel logarítmico que utiliza Monsalve (2006) en el ajuste a la función presentada por Sherman (1931).



El procedimiento es el siguiente:

- Graficar en coordenadas logarítmicas las series de intensidades máximas en función del intervalo de duración d , uniéndose por una familia de curvas con el mismo periodo de retorno (figura 1).
- Agregar, en el eje de las abscisas, el valor θ en minutos para cada periodo de retorno considerado, de tal manera que las curvas se transformen en líneas rectas (figura 2); el valor general de dicho parámetro está dado por la ecuación 13.
- Obtener el valor de η , como la pendiente promedio de las rectas mostradas en la figura 3 y según la Ecuación 16.
- Sabiendo que C está dado por la Ecuación 19:

$$c = \lambda \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad [19]$$

Realizar un cambio de variable, en donde:

$$D = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad [20]$$

De tal forma que la Ecuación 19 queda de la siguiente manera:

$$C = \lambda \{ \psi + D \} \quad [21]$$

- Graficar C contra T en papel aritmético, recordando que $C = i(d + \theta)^\eta$, y obtener λ y ψ .
- Se obtiene de esta manera la Ecuación 10 que representa la relación intensidad - duración - frecuencia para un pluviógrafo determinado.

3.4.3. COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES OBTENIDAS

Luego de obtener los distintos modelos matemáticos que describen las relaciones intensidad - duración - frecuencia, se procedió a comparar los resultados arrojados tanto por Sherman (1931) como por Koutsoyiannis *et al.* (1998), todo ello con el objetivo de seleccionar la ecuación con mayor grado de ajuste a los datos reales de intensidades máximas de precipitación. Dicha evaluación de la bondad del ajuste se realizó a través de cuatro parámetros: el coeficiente de correlación, el error medio normalizado, el factor medio de predicción y el índice de dispersión.

El coeficiente de correlación r es un parámetro adimensional que mide el "grado de asociación" entre dos variables X e Y (Meyer, 1973). Si el grado de asociación es perfecto se tiene que el valor de r es 1 o -1, y si la correlación es nula r será cero; por lo tanto:

$$-1 \leq r \leq 1$$

El coeficiente de correlación puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}} \quad [22]$$

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}} \quad [23]$$

Donde S_{xy} es la covarianza de X e Y , S_{xx} es la varianza de X y S_{yy} es la varianza de Y . Es de hacer notar que la variable Y es dependiente de la variable X . El coeficiente de correlación r se estimó tomando las intensidades máximas de lluvias obtenidas de los análisis de frecuencias como valores reales (X), en cambio los valores estimados (Y) fueron aquéllos calculados mediante los modelos matemáticos de Sherman (1931) y Koutsoyiannis *et al.* (1998).

Con el objetivo de seleccionar la ecuación más adecuada, a través del coeficiente de correlación, se consideraron las condiciones establecidas por Ramírez (2003) para la evaluación del ajuste:

- Si $r \geq 0,7$; se acepta el ajuste.
- Si $0,5 \leq r < 0,7$; existe la posibilidad de aceptar el ajuste.
- Si $r < 0,5$; se rechaza el ajuste.

En caso de que ambas ecuaciones cumplan con el ajuste, se seleccionará aquélla que posea el mayor coeficiente de correlación en valor absoluto. Adicionalmente se estimó el error medio normalizado MNE , el factor medio de predicción MPF y el índice de dispersión ID (Karim, 1998), propuestos por Aguirre *et al.* (2010) como pruebas estadísticas para evaluar el correcto ajuste de ecuaciones teóricas para la estimación de profundidades de socavación en ríos; dado que el objetivo en este trabajo era similar (comparación del grado de ajuste de ecuaciones teóricas), se consideró apropiado su uso.

El error medio normalizado MNE se define como la medida del error relativo entre valores reales u observados y estimados en términos porcentuales, está expresado por la Ecuación 24:

$$MNE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{mi} - x_{ci}|}{x_{mi}} \quad [24]$$

Donde x_{mi} es el dato medido, y x_{ci} es el valor estimado a través de la ecuación ajustada.

El factor medio de predicción MPF es un parámetro que sirve para determinar la predictibilidad de los valores reales a través del uso de la ecuación ajustada. Está dado por la Ecuación 25:

$$MPF = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \text{mayor de} \left(\frac{x_{mi}}{x_{ci}}, \frac{x_{ci}}{x_{mi}} \right) \quad [25]$$

De la ecuación anterior se deduce que el factor medio de predicción MPF tendrá un valor ideal igual a 1, sólo en aquéllos casos en los que el valor calculado sea igual al valor real. Además se utilizó el índice de dispersión ID , dado por la Ecuación 26:

$$ID = \frac{MNE}{100} MPF \quad [26]$$

El índice de dispersión puede tomar cualquier valor mayor o igual a cero. El ID es cero cuando ocurre una exactitud total entre todos los valores reales y teóricos, lo que conllevaría a que el error medio sea cero; mientras más se aleja el ID de cero, quiere decir que MNE y MPF son mayores y por lo tanto el ajuste se considera menos adecuado.

3.5. ESTACIONES SELECCIONADAS

Las estaciones pluviográficas ubicadas dentro y en los alrededores del área de estudio fueron 61 en total, de las cuales 41 se encontraban dentro de la cuenca endorreica del Lago de Valencia y 20 en sus cercanías, con influencia comprobada a través

de la construcción de los polígonos de Thiessen. En la figura 4 se observa la distribución espacial de la totalidad de estaciones pluviográficas presentes en la zona, junto con sus polígonos de Thiessen. El listado de todas las estaciones se presenta en la tabla 1.

Figura 4. Estaciones pluviográficas del Lago de Valencia y su área de influencia

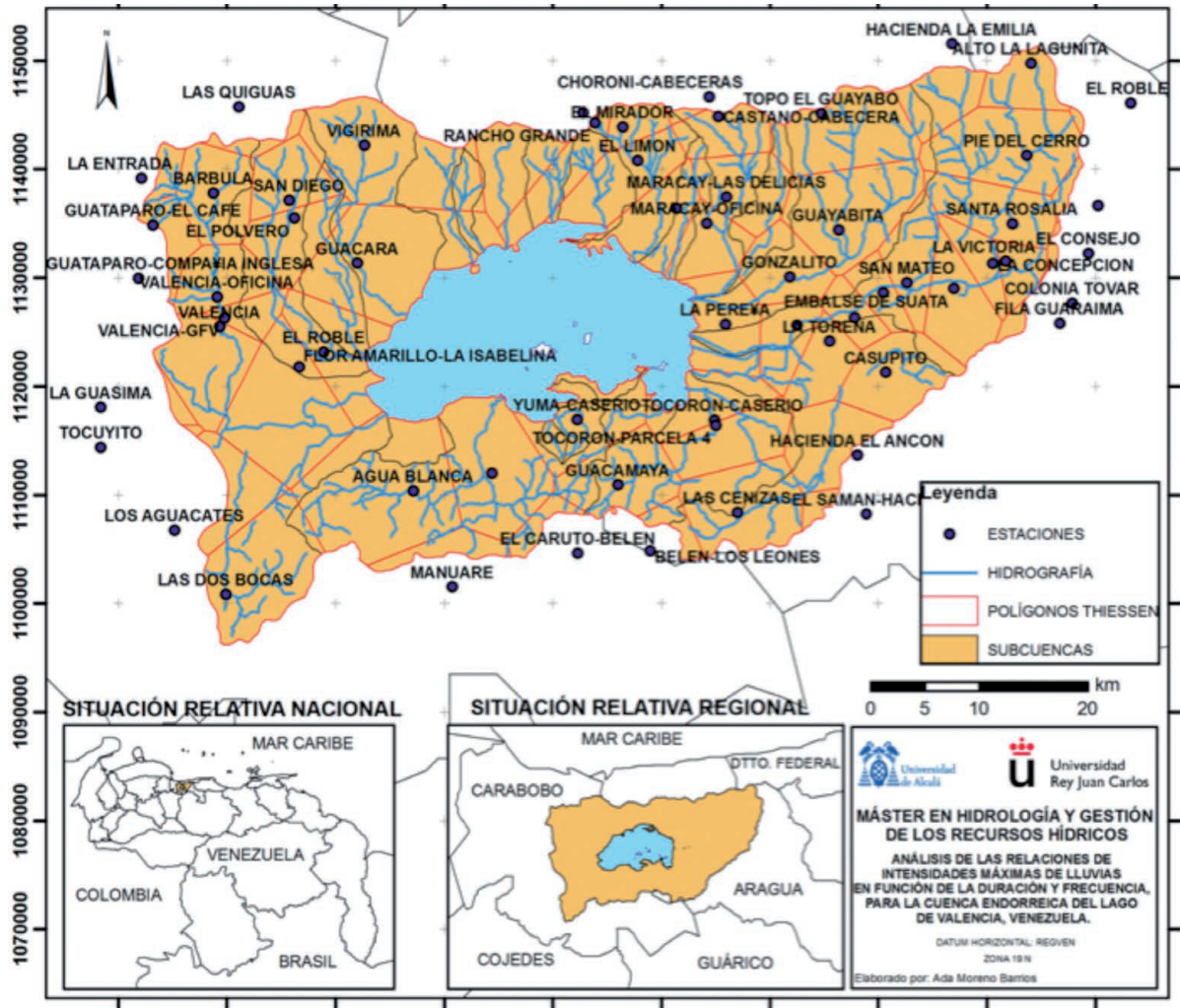


Tabla 1. Estaciones pluviográficas ubicadas dentro del Lago de Valencia y en su área de influencia

Serial	Nombre	Altitud	Latitud	Longitud	X UTM	Y UTM
0403	RANCHO GRANDE-REGRESIVA	1.090	10°21'38"	67°41'38"	642790	1145220
0409	LA ENTRADA	510	10°18'27"	68°03'55"	602141	1139210
0416	CHORONI-CABECERAS	1.310	10°22'25"	67°35'15"	654433	1146710
0421	MARACAY-LAS DELICIAS	550	10°17'24"	67°34'25"	655996	1137470
0423	VIGIRIMA	557	10°20'03"	67°52'40"	622664	1142220
0425	MARACAY-OFICINA	490	10°16'06"	67°35'24"	654211	1135070
0426	RANCHO GRANDE	1.160	10°21'08"	67°41'02"	643888	1144300
0429	FLOR AMARILLO-LA ISABELINA	440	10°09'0"	67°56'00"	616648	1121840
0434	EL LIMON	0	10°19'15"	67°38'54"	647797	1140850
0435	EL MIRADOR	0	10°20'55"	67°39'39"	646415	1143910



Serial	Nombre	Altitud	Latitud	Longitud	X UTM	Y UTM
0437	MARACAY-LA TRINIDAD	510	10°16'50"	67°36'55"	651436	1136410
0438	CASTANO-CABECERA	0	10°21'25"	67°34'48"	655263	1144870
0440	LAS QUIGUAS	237	10°22'00"	67°59'00"	611094	1145780
0451	SAN DIEGO	460	10°17'19"	67°56'29"	615715	1137160
0452	GUACARA	300	10°14'10"	67°53'04"	621972	1131380
0460	LA PEREYA	444	10°11'02"	67°34'30"	655895	1125740
0461	VALENCIA-GFV	460	10°11'27"	67°59'46"	609756	1126330
0468	GONZALITO	450	10°13'24"	67°31'14"	661841	1130130
0472	TOCORON-CASERIO	440	10°06'15"	67°35'04"	654899	1116910
0474	TOCORON-PARCELA 4	440	10°06'00"	67°35'00"	655023	1116450
0480	YUMA-CASERIO	460	10°06'19"	67°42'00"	642234	1116980
0487	GUACAMAYA	650	10°03'02"	67°39'57"	646003	1110950
0488	COLONIA EL TROMPILLO	450	10°03'38"	67°46'18"	634399	1112010
0489	AGUA BLANCA	515	10°02'46"	67°50'16"	627159	1110380
0491	LAS DOS BOCAS	550	9°57'38"	67°59'43"	609925	1100870
0495	EL CARUTO-BELEN	700	9°59'38"	67°42'00"	642283	1104670
0497	LAS CENIZAS	670	10°01'38"	67°33'55"	657037	1108410
1309	BARBULA	545	10°17'42"	68°00'18"	608746	1137850
1310	GUATAPARO-EL CAFE	1.200	10°16'06"	68°03'21"	603188	1134880
1355	LA GUASIMA	520	10°07'00"	68°06'00"	598397	1118100
1358	GUATAPARO-COMPAÑIA INGLESA	530	10°13'27"	68°04'04"	601894	1129990
1360	VALENCIA-OFICINA	468	10°12'30"	68°00'07"	609111	1128260
1369	VALENCIA	456	10°11'00"	68°00'00"	609332	1125500
1395	LOS AGUACATES	467	10°00'51"	68°02'18"	605188	1106780
1399	TOCUYITO	500	10°05'00"	68°06'00"	598408	1114410
1433	COLONIA TOVAR	1.787	10°12'00"	67°17'00"	687846	1127670
1442	EL ROBLE	1.678	10°22'00"	67°14'00"	693223	1146140
1444	PIE DEL CERRO	780	10°19'24"	67°19'15"	683665	1141290
1451	GUAYABITA	515	10°15'44"	67°28'46"	666325	1134450
1454	SANTA ROSALIA	620	10°16'00"	67°20'00"	682329	1135020
1455	LA URBINA-QUEBRADA SECA	650	10°16'53"	67°15'40"	690232	1136690
1464	LA CONCEPCION	-	10°14'00"	67°21'00"	680522	1131320
1465	EL CONSEJO	553	10°14'30"	67°16'10"	689343	1132290
1471	LA TORENA	-	10°10'10"	67°29'15"	665490	1124180
1472	CAGUA-GRUPO ESCOLAR	445	10°11'20"	67°28'00"	667763	1126340
1475	EMBALSE DE SUATA	512	10°12'46"	67°22'58"	676942	1129030
1477	SAN MATEO	494	10°13'05"	67°25'20"	672617	1129590
1483	CASUPITO	450	10°08'36"	67°26'24"	670709	1121320
1486	SANTA CRUZ DE ARAGUA	438	10°10'58"	67°30'53"	662501	1125640
1490	HACIENDA EL PALMAR	445	10°12'35"	67°26'30"	670491	1128660
1492	EL SAMAN-HACIENDA MONTERO	545	10°01'31"	67°27'26"	668883	1108250
1497	HACIENDA EL ANCON	548	10°04'28"	67°27'52"	668066	1113690
1578	HACIENDA LA EMILIA	-	10°25'00"	67°23'00"	676767	1151580
2404	MANUARE	640	10°57'58"	67°48'20"	630722	1101550
9303	FILA GUARAIMA	1.005	10°11'00"	67°17'37"	686729	1125820
9305	EL ROBLE	431	10°09'44"	67°54'46"	618896	1123200
9306	EL POLVERO	477	10°16'26"	67°56'13"	616207	1135540
9316	BELÉN-LOS LEONES	875	9°59'44"	67°38'21"	648951	1104880
9317	TOPO EL GUAYABO	2.085	10°21'33"	67°29'37"	664722	1145160
9344	ALTO LA LAGUNITA	2.080	10°24'00"	67°19'00"	684077	1149780
9366	LA VICTORIA	599	10°14'07"	67°20'20"	681738	1131540



El periodo de registro de las estaciones resultó ser muy variable, con un promedio de 27 años de longitud. Para los efectos del presente trabajo, se eligió un periodo de registro común, que para la mayoría de las estaciones localizadas en el área de estudio, fue desde 1970 hasta 1993, para un total de 24 años de registro.

Debido a que no todas las estaciones poseían dicho periodo, fue necesario descartar algunas de ellas, resultando el listado de estaciones mostradas en la figura 5 y detalladas en la tabla 2. En consecuencia, los datos utilizados se refieren a registros de precipitaciones máximas anuales, tomados de las estaciones pluviográficas.

Figura 5. Estaciones pluviográficas definitivas para el Lago de Valencia y su área de influencia

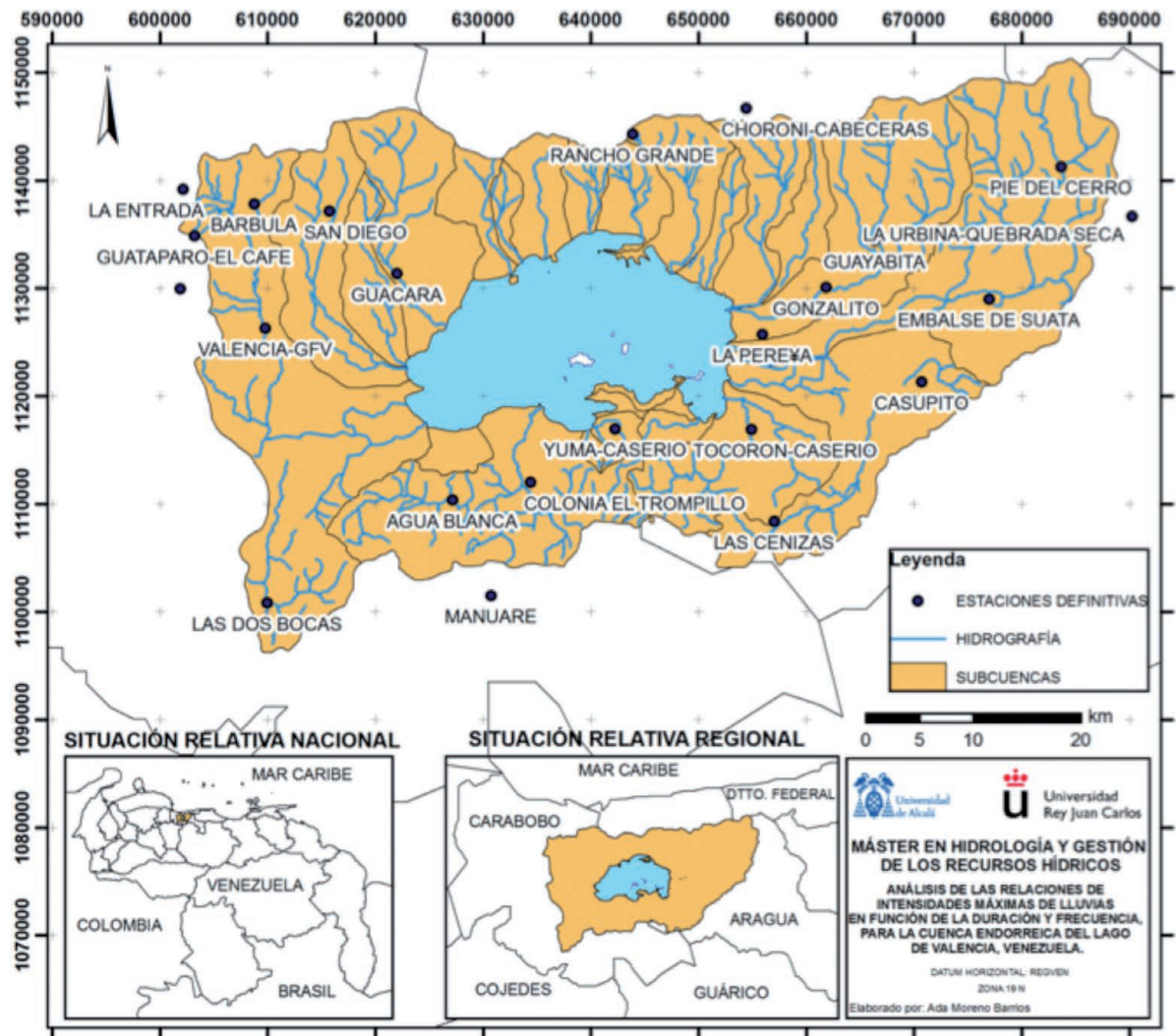


Tabla 2. Estaciones pluviográficas definitivas para el Lago de Valencia y su área de influencia

Serial	Nombre	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	X UTM	Y UTM
0409	LA ENTRADA	510	10°18'27"	68°03'55"	602141	1139210
0416	CHORONI-CABECERAS	1.310	10°22'25"	67°35'15"	654433	1146710
0426	RANCHO GRANDE	1.160	10°21'08"	67°41'02"	643888	1144300
0451	SAN DIEGO	460	10°17'19"	67°56'29"	615715	1137160
0452	GUACARA	300	10°14'10"	67°53'04"	621972	1131380
0460	LA PEREYA	444	10°11'02"	67°34'30"	655895	1125740
0461	VALENCIA-GFV	460	10°11'27"	67°59'46"	609756	1126330



Serial	Nombre	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	X UTM	Y UTM
0468	GONZALITO	450	10°13'24"	67°31'14"	661841	1130130
0472	TOCORON-CASERIO	440	10°06'15"	67°35'04"	654899	1116910
0480	YUMA-CASERIO	460	10°06'19"	67°42'00"	642234	1116980
0488	COLONIA EL TROMPILLO	450	10°03'38"	67°46'18"	634399	1112010
0489	AGUA BLANCA	515	10°02'46"	67°50'16"	627159	1110380
0491	LAS DOS BOCAS	550	9°57'38"	67°59'43"	609925	1100870
0497	LAS CENIZAS	670	10°01'38"	67°33'55"	657037	1108410
1309	BARBULA	545	10°17'42"	68°00'18"	608746	1137850
1310	GUATAPARO-EL CAFE	1.200	10°16'06"	68°03'21"	603188	1134880
1358	GUATAPARO-COMPAÑIA INGLESA	530	10°13'27"	68°04'04"	601894	1129990
1444	PIE DEL CERRO	780	10°19'24"	67°19'15"	683665	1141290
1451	GUAYABITA	515	10°15'44"	67°28'46"	666325	1134450
1455	LA URBINA-QUEBRADA SECA	650	10°16'53"	67°15'40"	690232	1136690
1475	EMBALSE DE SUATA	512	10°12'46"	67°22'58"	676942	1129030
1483	CASUPITO	450	10°08'36"	67°26'24"	670709	1121320
2404	MANUARE	640	10°57'58"	67°48'20"	630722	1101550

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS

Para elegir el periodo de registro a utilizar en los análisis de frecuencia, se tomaron los años comunes para la mayoría de las estaciones localizadas en el área de estudio, que resultó ser de 1970 a 1993, para un total de 24 años de registro.

Los análisis de frecuencias fueron realizados a través del programa AJUSTEV3 (Duque, 2006), en este sentido se obtuvo el ajuste a las 6 distribuciones de probabilidad frecuentemente utilizadas en la hidrología como lo son: normal, log - normal, Gumbel, log - Gumbel, Pearson III y log - Pearson III. Se observó que todas las distribuciones eran aceptables, según el test de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov, por lo que se procedió a comparar los errores estándares o cuadráticos en cada una de las series de datos (1 por cada duración), con el propósito de seleccionar la distribución más adecuada. En las tablas 3 y 4 se muestran, resaltados en color amarillo, los mínimos errores observados para cada ajuste; observándose que para 1 hora de duración, la distribución log - Pearson III es la que mejor se ajusta, mientras que para 3, 6, 9 y 12 horas, la distribución log - Gumbel tiene menores errores; finalmente,

con respecto a las intensidades de lluvia correspondientes a 24 horas, es indiferente ajustar a log - Normal o log - Pearson III.

De esta manera se concluyó que los datos se ajustaron en mejor medida a la distribución log - Gumbel, que no es otra cosa que la variante logarítmica de la distribución General de Valores Extremos tipo I (GEV I); este resultado parece ser lógico, pues según el National Research Council of Canada (1989), Schaefer, (1990), Nguyen *et al.* (1998) y Raiford *et al.* (2007), las series de precipitaciones máximas deberían adaptarse a una distribución GEV. En este mismo orden de ideas, en algunos estudios previos donde fueron empleados datos de precipitaciones extremas, también se obtuvieron buenos ajustes a las distribuciones Gumbel (González y Domínguez, 2013; Nhat *et al.*, 2008; De Paola *et al.*, 2014), y log - Pearson III (Elsebaie, 2012); debido a estas razones se eligió la distribución log - Gumbel para realizar los análisis de frecuencia.

Por último, vale la pena mencionar, que los ajustes realizados a los datos de intensidades máximas de 1 hora de duración presentaron los mayores errores, si se comparan con los datos de 3, 6, 9, 12 y 24 horas; este aspecto puede llevar a pensar que las estimaciones de dichas intensidades, podrían tener mayores desviaciones con respecto a los valores esperados.



Tabla 4. Error cuadrático de las distribuciones ajustadas a los datos de intensidades máximas de lluvia de 1, 3 y 6 horas de duración

Estación	Serial	Distribución de probabilidad/Duración																	
		9 horas				12 horas				24 horas									
		Normal	Log-Normal	Gumbel	Log-Gumbel	Pearson III	Log-Pearson III	Normal	Log-Normal	Gumbel	Log-Gumbel	Pearson III	Log-Pearson III						
LA ENTRADA	0409	0,59	0,47	0,48	0,50	0,52	0,52	0,44	0,36	0,38	0,40	0,40	0,41	0,18	0,16	0,21	0,28	0,18	0,17
CHORONI-CABECERAS	0416	0,84	0,63	0,65	0,71	0,73	0,75	0,60	0,44	0,47	0,55	0,52	0,52	0,64	0,53	0,45	0,38	0,49	0,49
RANCHO GRANDE	0426	1,30	1,22	1,10	1,04	1,21	1,19	0,97	0,90	0,83	0,78	0,91	0,89	0,39	0,33	0,27	0,26	0,30	0,30
SAN DIEGO	0451	0,77	0,62	0,63	0,68	0,68	0,67	0,74	0,61	0,61	0,68	0,64	0,62	0,33	0,27	0,30	0,41	0,30	0,29
GUACARA	0452	1,27	1,10	0,90	0,78	0,84	0,90	0,70	0,61	0,51	0,45	0,48	0,51	0,73	0,66	0,57	0,52	0,57	0,58
LA PEREÑA	0460	0,80	0,60	0,49	0,43	0,55	0,54	0,59	0,46	0,37	0,31	0,42	0,42	0,19	0,15	0,17	0,24	0,17	0,15
VALENCIA-GFV	0461	0,97	0,81	0,62	0,54	0,65	0,67	0,76	0,63	0,48	0,41	0,50	0,51	0,33	0,27	0,24	0,26	0,26	0,26
GONZALITO	0468	0,33	0,33	0,40	0,49	0,33	0,32	0,23	0,25	0,31	0,39	0,23	0,22	0,24	0,22	0,21	0,22	0,23	0,23
TOCORON-CASERIO	0472	0,57	0,44	0,39	0,45	0,42	0,40	0,43	0,34	0,32	0,39	0,33	0,32	0,36	0,28	0,23	0,22	0,25	0,24
YUMA-CASERIO	0480	0,96	0,85	0,69	0,60	0,70	0,71	0,76	0,68	0,56	0,50	0,55	0,57	0,28	0,24	0,20	0,18	0,22	0,22
COLONIA EL TROMPILLO	0488	1,22	1,07	0,86	0,76	0,82	0,87	0,90	0,79	0,63	0,55	0,60	0,64	0,36	0,32	0,26	0,23	0,27	0,28
AGUA BLANCA	0489	0,57	0,50	0,40	0,38	0,43	0,44	0,53	0,46	0,37	0,35	0,38	0,39	0,25	0,23	0,26	0,35	0,23	0,23
LAS DOS BOCAS	0491	0,64	0,54	0,43	0,42	0,48	0,48	0,55	1,25	0,61	1,72	0,55	0,87	0,16	0,17	0,22	0,31	0,16	0,15
LAS CENIZAS	0497	0,53	0,47	0,53	0,72	0,49	0,47	0,37	0,33	0,38	0,53	0,34	0,33	0,15	0,12	0,16	0,23	0,14	0,13
BARBULA	1309	0,70	0,54	0,55	0,68	0,57	0,54	0,49	0,37	0,40	0,54	0,40	0,37	0,26	0,20	0,22	0,29	0,22	0,20
GUATAPARO-EL CAFE	1310	0,50	0,72	0,79	1,14	0,45	0,38	0,51	0,78	0,76	1,11	0,41	0,38	0,35	0,53	0,47	0,67	0,26	0,25
GUATAPARO-COMPAÑIA INGLESA	1358	2,07	1,86	1,62	1,48	1,55	1,62	1,36	1,20	1,04	0,92	1,05	1,08	0,54	0,43	0,38	0,35	0,41	0,40
PIE DEL CERRO	1444	0,77	0,65	0,48	0,43	0,51	0,52	0,57	0,49	0,36	0,32	0,39	0,40	0,23	0,18	0,15	0,16	0,17	0,16
GUAYABITA	1451	0,26	0,30	0,38	0,47	0,25	0,25	0,24	0,27	0,34	0,42	0,23	0,23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
LA URBINA-QUEBRADA SECA	1455	0,47	0,45	0,51	0,74	0,44	0,43	0,35	0,32	0,37	0,51	0,33	0,32	0,17	0,16	0,19	0,25	0,16	0,15
EMBALSE DE SUATA	1475	0,70	0,56	0,47	0,46	0,51	0,50	0,50	0,40	0,33	0,32	0,37	0,36	0,22	0,19	0,20	0,24	0,19	0,19
CASUPITO	1483	0,60	0,47	0,49	0,68	0,50	0,47	0,59	0,43	0,40	0,50	0,44	0,41	0,31	0,23	0,20	0,22	0,22	0,21
MANUARE	2404	0,43	0,38	0,46	0,55	0,41	0,39	0,34	0,29	0,33	0,37	0,32	0,31	0,16	0,15	0,19	0,22	0,16	0,15
Distribución seleccionada		Log-Gumbel				Log-Gumbel				Log-Gumbel				Log-Normal o Log-Pearson III					



4.2. ECUACIONES O MODELOS MATEMÁTICOS AJUSTADOS A LAS RELACIONES IDF

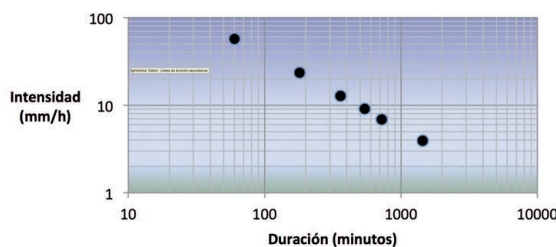
El ajuste de los modelos matemáticos presentados por Sherman (1931) y Koutsoyiannis *et al.* (1998) se realizó por los métodos descritos anteriormente en el apartado 2.4.1 y 2.4.2. Se expondrá a continuación un ejemplo de cálculo con los registros de una de las estaciones piloto, representada por Rancho Grande, serial 0426. En la tabla 5 se tienen los valores de intensidades máximas obtenidas del análisis de frecuencia para dicha estación, considerando la distribución log - Gumbel.

Tabla 5. Intensidades máximas para distintas duraciones, estación Rancho Grande, serial 0426

T (años)	Intensidad Máxima (mm/h)					
	1 hora	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	24 horas
2	56,958	23,548	12,732	9,103	6,894	3,941
25	102,18	41,271	24,653	17,214	13,084	7,183
50	118,142	47,443	29,05	20,165	15,342	8,337
100	136,452	54,482	34,191	23,595	17,968	9,666
200	157,516	62,533	40,216	27,592	21,031	11,202

Dentro de este contexto, se procedió a graficar en coordenadas logarítmicas las series de intensidades máximas en función del intervalo de duración d , para los distintos periodos de retorno. Como ejemplo, la figura 6 muestra la gráfica correspondiente a 2 años.

Figura 6. Intensidades máximas contra duración para 2 años de periodo de retorno, en la estación Rancho Grande, serial 0426



Posteriormente, se le sumó a la duración d , un valor θ en minutos, para transformar las curvas en líneas rectas (figura 7). Este procedimiento se llevó a cabo mediante métodos de optimización, procurando maximizar el coeficiente de correlación de la recta de mejor ajuste con los datos de intensidades máximas.

Luego de realizado este paso para todos y cada uno de los periodos de retorno considerados, se procedió a definir el valor promedio de θ según la ecuación 15, siendo k igual a 5; posteriormente, y para la estimación del parámetro η se define la pendiente de la recta presentada en la figura 7, pudiéndose estimar un promedio de η luego de construir dicha gráfica para todos los periodos de retorno. Para la estación Rancho Grande, serial 0426, los valores promedios de θ y η son 2,89 y -0,84 respectivamente, observándose que la pendiente es negativa, como era de esperarse, puesto que η es la potencia de la duración en la ecuación presentada por Sherman (1931), demostrándose

así la relación inversamente proporcional que existe entre la intensidad y la duración, es decir, que a mayores duraciones de la lluvia, las intensidades de lluvia disminuyen.

Para continuar la estimación de los parámetros λ y ψ , fue necesario obtener los valores de $C = i(d + \theta)^\eta$ para cada uno de los periodos de retorno T . Luego de graficar en papel logarítmico C contra T (figura 8), y según la Ecuación 17, se observa que λ corresponde al corte de la recta para un periodo de retorno igual a 1, y ψ es la pendiente de la función. Para la estación Rancho Grande, serial 0426, los valores obtenidos son 1.561,41 y 0,23 para λ y ψ respectivamente.

Figura 7. Transformación de curva en línea recta para las intensidades máximas en contra de la duración, estación Rancho Grande, serial 0426

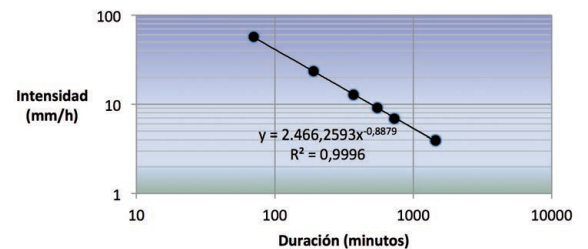
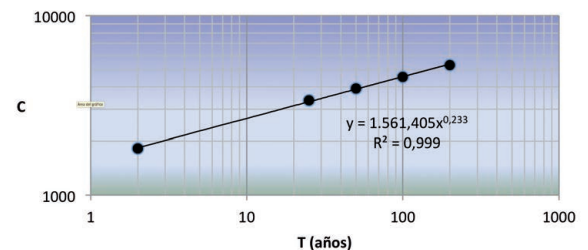


Figura 8. Gráfico de C contra T para la ecuación de Sherman, estación Rancho Grande serial 0426



Los cálculos presentados previamente para la estación Rancho Grande, serial 0426, fueron realizados de la misma manera en las demás estaciones, para llegar a los resultados presentados en la tabla 6. Los valores de los parámetros η y ψ son muy similares para todas las estaciones, con magnitudes que varían entre 0,79 y 1,35 para η , y entre 0,20 y 0,32 para ψ .

Según Moncho *et al.* (2009), el índice η es un número adimensional que puede emplearse para describir el comportamiento de la precipitación en función del tiempo. A grandes rasgos, y en función de η , se pueden diferenciar 3 tipologías de precipitación: (i) aquella que presenta una acumulación máxima en poco tiempo y luego de forma cada vez más suave (η cercano a 1), (ii) aquella que se acumula de forma constante (η próximo a 0), y (iii) aquella que se acumula de forma normal (η intermedio). Los datos de precipitación usados en este trabajo se relacionan con tormentas, las cuales alcanzan un máximo de precipitación en poco tiempo y están representadas por la primera tipología; por esta razón, los valores de η obtenidos resultaron ser cercanos a 1, y mayores a 0,79 específicamente.



Tabla 6. Parámetros ecuación de Sherman, obtenidos para las estaciones pluviográficas

Serial	Estación	Parámetros				Ecuación
		θ	η	λ	ψ	
0409	LA ENTRADA	105,05	-1,18	11.739,49	0,29	$i = \frac{11.739,49T^{0,29}}{(d + 105,05)^{1,18}}$
0416	CHORONI-CABECERAS	208,92	-1,35	55.315,83	0,32	$i = \frac{55.315,83T^{0,32}}{(d + 208,92)^{1,35}}$
0426	RANCHO GRANDE	2,89	-0,84	1.561,41	0,23	$i = \frac{1.561,41T^{0,23}}{(d + 2,89)^{0,84}}$
0451	SAN DIEGO	39,95	-0,96	2.804,22	0,32	$i = \frac{2.804,22T^{0,32}}{(d + 39,95)^{0,96}}$
0452	GUACARA	78,21	-1,21	10.089,39	0,31	$i = \frac{10.089,39T^{0,31}}{(d + 78,21)^{1,21}}$
0460	LA PEREÑA	4,03	-0,84	991,39	0,28	$i = \frac{991,39T^{0,28}}{(d + 4,03)^{0,84}}$
0461	VALENCIA-GFV	10,28	-0,87	1.291,32	0,27	$i = \frac{1.291,32T^{0,27}}{(d + 10,28)^{0,87}}$
0468	GONZALITO	33,60	-0,98	2.344,38	0,24	$i = \frac{2.344,38T^{0,24}}{(d + 33,60)^{0,98}}$
0472	TOCORON-CASERIO	54,76	-1,04	3.429,77	0,29	$i = \frac{3.429,77T^{0,29}}{(d + 54,76)^{1,04}}$
0480	YUMA-CASERIO	15,91	-0,90	1.406,03	0,23	$i = \frac{1.406,03T^{0,23}}{(d + 15,91)^{0,90}}$
0488	COLONIA EL TROMPILLO	20,85	-1,01	2.750,09	0,27	$i = \frac{2.750,09T^{0,27}}{(d + 20,85)^{1,01}}$
0489	AGUA BLANCA	7,65	-0,87	1.284,88	0,23	$i = \frac{1.284,88T^{0,23}}{(d + 7,65)^{0,87}}$
0491	LAS DOS BOCAS	1,80	-0,79	807,16	0,30	$i = \frac{807,16T^{0,30}}{(d + 1,80)^{0,79}}$
0497	LAS CENIZAS	25,13	-0,96	2.372,14	0,26	$i = \frac{2.372,14T^{0,26}}{(d + 25,13)^{0,96}}$
1309	BARBULA	54,69	-1,08	5.737,39	0,31	$i = \frac{5.737,39T^{0,31}}{(d + 54,69)^{1,08}}$
1310	GUATAPARO-EL CAFE	15,37	-0,85	1.192,58	0,31	$i = \frac{1.192,58T^{0,31}}{(d + 15,37)^{0,85}}$
1358	GUATAPARO-COMPAÑIA INGLESA	72,02	-0,97	3.154,19	0,32	$i = \frac{3.154,19T^{0,32}}{(d + 72,02)^{0,97}}$
1444	PIE DEL CERRO	6,03	-0,86	1.277,69	0,22	$i = \frac{1.277,69T^{0,22}}{(d + 6,03)^{0,86}}$
1451	GUAYABITA	8,03	-0,94	1.899,06	0,20	$i = \frac{1.899,06T^{0,20}}{(d + 8,03)^{0,94}}$
1455	LA URBINA-QUEBRADA SECA	18,68	-0,95	1.729,87	0,32	$i = \frac{1.729,87T^{0,32}}{(d + 18,68)^{0,95}}$
1475	EMBALSE DE SUATA	35,31	-0,96	1.895,20	0,30	$i = \frac{1.895,20T^{0,30}}{(d + 35,31)^{0,96}}$
1483	CASUPIITO	3,10	-0,79	741,17	0,29	$i = \frac{741,17T^{0,29}}{(d + 3,10)^{0,79}}$
2404	MANUARE	2,64	-0,89	1.379,75	0,26	$i = \frac{1.379,75T^{0,26}}{(d + 2,64)^{0,89}}$



En cuanto al parámetro q , y manteniendo constantes los demás índices, se observó que tiene una marcada influencia sobre las intensidades de lluvia para bajas duraciones (1 y 3 horas), pero con escasos efectos en las precipitaciones de 6, 9, 12 y 24 horas; en este sentido, las intensidades de lluvia para 1 y 3 horas aumentan, si el valor de θ es bajo, y disminuyen, cuanto mayores valores adquiere el índice. En los resultados se obtuvo un θ mínimo de 1,8 y un máximo de 209 aproximadamente.

El índice λ define la altura de la curva, y es directamente proporcional a las intensidades máximas de lluvia; en este sentido, las intensidades de lluvia aumentan de la mano con este parámetro. Los resultados obtenidos presentaron grandes diferencias, con valor máximo de 55.315,83 correspondiente a la estación Choroni - Cabeceras (serial 0416), y mínimo de 741,17 para Casupito (serial 1483).

Elsebaie (2012) obtuvo ecuaciones similares a las presentadas en la tabla 6, para dos regiones del Reino de Arabia Saudí, en las cuales el parámetro θ se anulaba, tomando la forma de la expresión desarrollada por Bernard (1932). Tanto en las fórmulas estimadas por Elsebaie (2012) como las que se dedujeron en el presente trabajo, se observaron valores muy similares de ψ y η , sin embargo, las magnitudes de λ son mucho menores para Arabia Saudí (en el orden de 200), que para la cuenca del Lago de Valencia, en Venezuela.

Finalmente, el parámetro γ tiene poca influencia en la variabilidad de las intensidades de lluvia estimadas cuando se comparan las estimaciones de intensidad de precipitación para el mismo período de retorno, esto es debido a que el rango de los valores obtenidos para el mencionado índice es muy pequeño (0,2 a 0,35).

Cabe destacar, que los parámetros de las ecuaciones fueron similares, en aquellas estaciones pluviográficas con altitudes entre los 440 y 460 msnm ubicadas dentro de la depresión del Lago de Valencia, aspecto que denota homogeneidad en los datos registrados por estaciones localizadas a una misma cota. Asimismo, los mayores valores de θ y λ coinciden con la estación registrada que tiene la cota más elevada dentro de la cuenca endorreica (Choroni - Cabeceras, serial 0416), sin embargo, los menores valores de ambos parámetros no se corresponden con la estación de menor cota, por lo que puede descartarse una posible relación existente entre la altitud y la magnitud que adquieren θ y λ .

Luego de esto, se realizó la estimación de los parámetros de la ecuación presentada por Koutsoyiannis *et al.* (1998), con el objetivo de comparar los resultados obtenidos, y elegir posterior-

mente las ecuaciones representativas para la elaboración de las curvas de isolinéas de profundidades máximas de lluvia. En este mismo orden y dirección, se siguió el procedimiento descrito en el marco metodológico para estimar los parámetros de las ecuaciones, el cual se ilustrará también con la estación Rancho Grande, serial 0426. Así, y con los resultados obtenidos de los análisis de frecuencia para la distribución log - Gumbel, se procedió a realizar la estimación de los parámetros de la Ecuación 10. Para ello se graficó en papel logarítmico las series de intensidades máximas en función del intervalo de duración d , para todos los periodos de retorno considerados. En la figura 6 se presenta la mencionada gráfica para 2 años de periodo de retorno.

Seguidamente se procedió luego a sumar un valor θ a la duración d para transformar las curvas obtenidas en el paso anterior en líneas rectas (figura 7), donde la pendiente de las mismas representan los valores de η . Realizando esto para todos los cinco periodos de retorno, se pudo calcular el promedio de θ y η , y a continuación se estimaron las magnitudes de λ y ψ graficando en papel aritmético los valores de $C = i(d + q)^\eta$ contra los de D (Ecuación 20), mostrado en la figura 9. Específicamente para la estación Rancho Grande, serial 0426, los valores de θ , η , λ y ψ son 2,89; -0,84; 683,24 y 2,07 respectivamente.

Nuevamente se observó que el parámetro η tiene un valor negativo, debido a la relación inversamente proporcional que existe entre la intensidad máxima de lluvia y la duración de la misma. En la tabla 7 se muestran las ecuaciones obtenidas para las estaciones pluviográficas. Los parámetros θ y η son exactamente iguales a los que se obtuvieron para la ecuación de Sherman; con respecto a los índice λ y ψ , se observa que mantienen el mismo comportamiento que para los ajustes anteriores: (i) el valor máximo de λ es para la estación Choroni - Cabeceras y el mínimo en Casupito, (ii) el índice ψ tiene un rango reducido que va desde 0,83 a 2,71.

Figura 9. Gráfico de C contra D para la ecuación de Koutsoyiannis, estación Rancho Grande, serial 0426

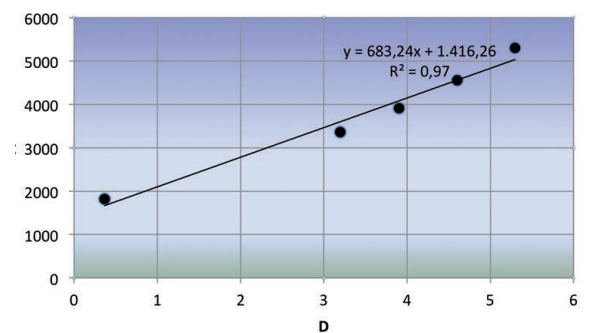


Tabla 7. Parámetros ecuación de Koutsoyiannis y colaboradores, obtenidos para las estaciones pluviográficas

Serial	Estación	Parámetros				Ecuación
		θ	η	λ	ψ	
0409	LA ENTRADA	105,05	-1,18	7.540,02	1,24	$i = 7.540,02 \left\{ \frac{1,24 - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{(d + 105,05)^{1,18}} \right\}$
0416	CHORONI-CABECERAS	208,92	-1,35	43.515,05	0,89	$i = 43.515,05 \left\{ \frac{0,89 - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{(d + 208,92)^{1,35}} \right\}$



Serial	Estación	Parámetros				Ecuación
		θ	η	λ	ψ	
0426	RANCHO GRANDE	2,89	-0,84	683,24	2,07	$i = 683,24 \left\{ \frac{2,07 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 2,89)^{0,84}} \right\}$
0451	SAN DIEGO	39,95	-0,96	2.237,23	0,87	$i = 2.237,23 \left\{ \frac{0,87 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 39,95)^{0,96}} \right\}$
0452	GUACARA	78,21	-1,21	7.710,38	0,94	$i = 7.710,38 \left\{ \frac{0,94 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 78,21)^{1,21}} \right\}$
0460	LA PEREÑA	4,03	-0,84	627,14	1,27	$i = 627,14 \left\{ \frac{11,27 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 4,03)^{0,84}} \right\}$
0461	VALENCIA-GFV	10,28	-0,87	720,83	1,51	$i = 720,83 \left\{ \frac{1,51 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 10,28)^{0,87}} \right\}$
0468	GONZALITO	33,60	-0,98	1.071,85	1,96	$i = 1.071,85 \left\{ \frac{1,96 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 33,60)^{0,98}} \right\}$
0472	TOCORON-CASERIO	54,76	-1,04	2.265,72	1,19	$i = 2.265,72 \left\{ \frac{1,19 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 54,76)^{1,04}} \right\}$
0480	YUMA-CASERIO	15,91	-0,90	602,02	2,13	$i = 602,02 \left\{ \frac{2,13 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 15,91)^{0,90}} \right\}$
0488	COLONIA EL TROMPILLO	20,85	-1,01	1.626,78	1,39	$i = 1.626,78 \left\{ \frac{1,39 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 20,85)^{1,01}} \right\}$
0489	AGUA BLANCA	7,65	-0,87	541,67	2,17	$i = 541,67 \left\{ \frac{2,17 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 7,65)^{0,87}} \right\}$
0491	LAS DOS BOCAS	1,80	-0,79	566,45	1,06	$i = 566,45 \left\{ \frac{1,06 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 1,80)^{0,79}} \right\}$
0497	LAS CENIZAS	25,13	-0,96	1.290,49	1,57	$i = 1.290,49 \left\{ \frac{1,57 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 25,13)^{0,96}} \right\}$
1309	BARBULA	54,69	-1,08	4.356,27	0,95	$i = 4.356,27 \left\{ \frac{0,95 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 54,69)^{1,08}} \right\}$
1310	GUATAPARO-EL CAFE	15,37	-0,85	902,35	0,96	$i = 902,35 \left\{ \frac{0,96 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 15,37)^{0,85}} \right\}$
1358	GUATAPARO-COMPAÑIA INGLESA	72,02	-0,97	2.581,68	0,83	$i = 2.581,68 \left\{ \frac{0,83 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 72,02)^{0,97}} \right\}$
1444	PIE DEL CERRO	6,03	-0,86	513,19	2,30	$i = 513,19 \left\{ \frac{2,30 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 6,03)^{0,86}} \right\}$
1451	GUAYABITA	8,03	-0,94	663,70	2,71	$i = 663,70 \left\{ \frac{2,71 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 8,03)^{0,94}} \right\}$
1455	LA URBINA-QUEBRADA SECA	18,68	-0,95	1.353,45	0,90	$i = 1.353,45 \left\{ \frac{0,90 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 18,68)^{0,95}} \right\}$
1475	EMBALSE DE SUATA	35,31	-0,96	1.287,85	1,14	$i = 1.287,85 \left\{ \frac{1,14 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 35,31)^{0,96}} \right\}$
1483	CASUPITO	3,10	-0,79	501,34	1,14	$i = 501,34 \left\{ \frac{1,14 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 3,10)^{0,79}} \right\}$
2404	MANUARE	2,64	-0,89	740,00	1,60	$i = 740,00 \left\{ \frac{1,60 - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(d + 2,64)^{0,89}} \right\}$



4.3. COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES OBTENIDAS

Luego de estimados los parámetros de las ecuaciones presentadas por Sherman (1931) y Koutsoyiannis *et al.* (1998), se comparan los resultados mediante los índices explicados anteriormente en el marco metodológico. En primer lugar se calculó el coeficiente de correlación r para ambos modelos matemáticos, en cada una de las estaciones, y posteriormente se estimaron el error medio normalizado MNE, el factor medio de predicción MPF y el índice de dispersión ID. Se eligió el modelo matemático que presentó el mayor coeficiente de correlación r , el menor MNE, el MPF más cercano a la unidad, con el índice de dispersión ID más bajo. Cabe resaltar, que en algunos de los trabajos previos consultados, como es el caso de Campos (2012), y González y Domínguez (2013) quienes trabajaron en México, los autores realizaron la evaluación del grado de ajuste de las distintas ecuaciones obtenidas, mediante el cálculo de un error relativo o porcentual; en el caso específico del presente estudio, se utilizan por los menos 4 parámetros que permiten validar los modelos matemáticos conseguidos. Seguidamente, en la tabla 8, se muestran los coeficientes correspondientes a las ecuaciones de Sherman (1931) y Koutsoyiannis *et al.* (1998).

Como puede observarse en la tabla anterior, los valores de los índices r , MNE, MPF e ID de ambos modelos matemáticos son muy similares, razón por la que se constató que las dos ecuacio-

nes seleccionadas proporcionan estimaciones de intensidades máximas de lluvia muy parecidas entre sí.

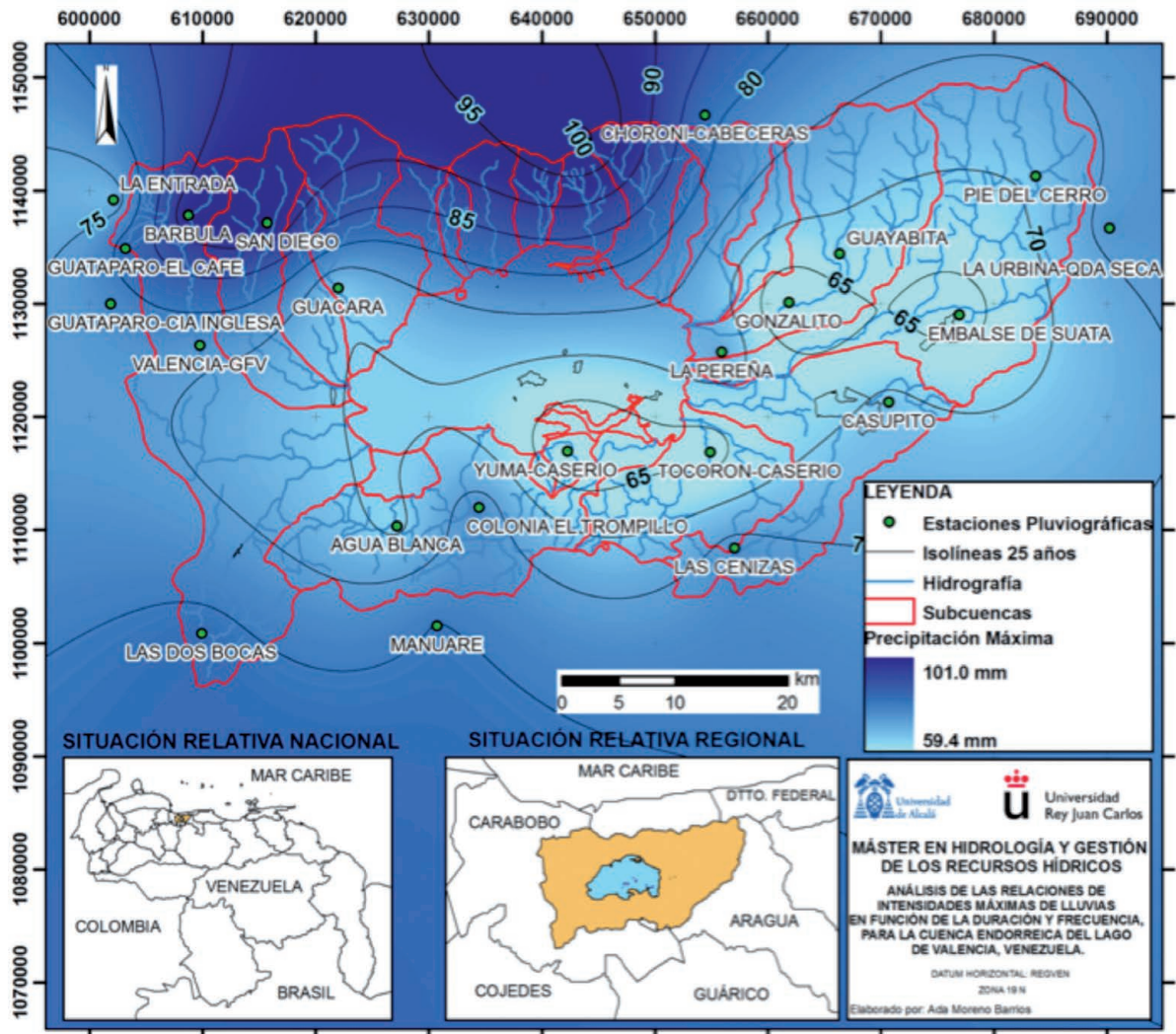
Otro aspecto importante a destacar, es que los coeficientes de correlación r de ambas fórmulas son altamente aceptables, mayor a 0,97 en todos los casos. Estos resultados son análogos a los que reflejaron los trabajos de Pereyra-Díaz *et al.* (2004), quienes obtuvieron que los modelos más adecuados para predecir las precipitaciones máximas en la ciudad de Xalapa, fue el de Koutsoyiannis *et al.* (1998), Chow *et al.* (1994) y Sherman (1931), con coeficientes de determinación mayores a 0,90 en todos los casos. Sin embargo, en el presente estudio, se constató que el 100% de las estaciones presentan un mayor coeficiente de correlación en la ecuación de Sherman.

Con respecto al error medio normalizado, el modelo de Sherman (1931) es mejor frente al de Koutsoyiannis *et al.* (1998) en todas las estaciones, ya que posee menor MNE. Al comparar el factor medio de predicción, se observó nuevamente que en la totalidad de las estaciones se prefiere el modelo de Sherman, debido a que el MPF es más próximo a la unidad; situación que se repitió para el índice de dispersión, donde el primer modelo presentó valores más bajos para ID. Debido a este análisis se eligió como modelo matemático a utilizar para describir las relaciones existentes entre la intensidad de lluvia, su duración y frecuencia, aquél que presentó Sherman (1931).

Tabla 8. Coeficiente de correlación r , error medio normalizado MNE, factor medio de predicción MPF e índice de dispersión ID para las estaciones pluviográficas

Serial	Estación	Sherman				Koutsoyiannis y colaboradores			
		r	MNE	MPF	ID	r	MNE	MPF	ID
0409	LA ENTRADA	0,996	8,1	1,09	0,09	0,993	9,8	1,11	0,11
0416	CHORONI-CABECERAS	0,991	10,4	1,11	0,12	0,987	12,2	1,14	0,14
0426	RANCHO GRANDE	0,999	3,0	1,03	0,03	0,998	5,8	1,06	0,06
0451	SAN DIEGO	0,998	4,9	1,05	0,05	0,994	10,6	1,12	0,12
0452	GUACARA	0,994	26,3	1,29	0,34	0,988	26,9	1,31	0,35
0460	LA PEREÑA	0,998	4,4	1,05	0,05	0,995	8,8	1,10	0,10
0461	VALENCIA-GFV	0,999	1,8	1,02	0,02	0,997	6,8	1,07	0,07
0468	GONZALITO	0,999	5,9	1,06	0,06	0,997	7,8	1,08	0,08
0472	TOCORON-CASERIO	0,998	7,9	1,08	0,08	0,995	11,2	1,12	0,13
0480	YUMA-CASERIO	0,998	4,0	1,04	0,04	0,997	5,6	1,06	0,06
0488	COLONIA EL TROMPILLO	0,999	3,5	1,04	0,04	0,995	7,5	1,08	0,08
0489	AGUA BLANCA	0,998	9,0	1,10	0,10	0,997	9,9	1,11	0,11
0491	LAS DOS BOCAS	0,979	19,1	1,23	0,24	0,978	22,4	1,28	0,29
0497	LAS CENIZAS	0,999	2,7	1,03	0,03	0,997	6,9	1,07	0,07
1309	BARBULA	0,999	5,8	1,06	0,06	0,993	10,9	1,12	0,12
1310	GUATAPARO-EL CAFE	0,998	2,9	1,03	0,03	0,995	9,6	1,11	0,11
1358	GUATAPARO-CIA INGLESA	0,998	5,0	1,05	0,05	0,993	11,1	1,12	0,12
1444	PIE DEL CERRO	0,999	1,5	1,02	0,02	0,998	4,7	1,05	0,05
1451	GUAYABITA	0,999	2,3	1,02	0,02	0,997	4,5	1,05	0,05
1455	LA URBINA-QDA SECA	0,999	3,5	1,04	0,04	0,994	10,4	1,12	0,12
1475	EMBALSE DE SUATA	0,999	4,7	1,05	0,05	0,994	9,3	1,10	0,10
1483	CASUPITO	0,998	5,3	1,05	0,06	0,995	9,6	1,11	0,11
2404	MANUARE	0,999	2,5	1,03	0,03	0,996	6,8	1,07	0,07

Figura 10. Isolíneas de máxima profundidad de precipitación para 1 hora de duración y 25 años de periodo de retorno



Vale la pena hacer mención de los resultados obtenidos por Campos (2012) en el estado de Tabasco - México, en los cuales las precipitaciones máximas estimadas mediante la ecuación de Chen (1983) siempre sobrepasaban a los valores reales medidos en las estaciones pluviométricas. En los resultados obtenidos en el presente trabajo, ocurre algo distinto, puesto que las máximas intensidades estimadas resultan menores a las observadas para algunas duraciones, pero en otros casos se tornan mayores, todo ello considerando un mismo periodo de retorno. Por esta razón, no se puede afirmar con certeza si el modelo de Sherman (1931) sobreestima las intensidades máximas de lluvia registradas en la cuenca del Lago de Valencia.

Seguidamente, y utilizando las ecuaciones presentadas anteriormente en la tabla 4, fueron construidas las isohietas de máxima profundidad para duraciones de 1 hora, con periodos de retorno correspondientes a 25, 50 y 100 años, mostradas en las figuras 10, 11 y 12. La elaboración de los mapas presentados en las mencionadas figuras fue posible, debido a la utilización de un periodo común de registro en todas las estaciones, para la obtención de la ecuación de Sherman (1931), en cuyo caso puede decirse que los resultados de intensidades de lluvia pueden ser

comparables, hasta tal punto de permitir las interpolaciones entre las estaciones, para la construcción de las isohietas, las cuales fueron elaboradas mediante el software Surfer 9.8.669, y ArcGis 9.3, utilizando el método Krigging.

En general, y a partir de la observación de las isohietas mostradas en las figuras 10, 11 y 12, es posible afirmar que las máximas profundidades de lluvia ocurren en la zona norte de la cuenca estudiada, hacia la parte alta de los ríos Cabriales, Cúpira, Guacara y Caño Nepe, y presentan magnitudes de 100 mm, 115 mm y 145 mm correspondientes a precipitaciones de 1 hora de duración, para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años respectivamente.

Con respecto a los mínimos valores de lluvia obtenidos, éstos se encuentran ubicados hacia la depresión del Lago, más específicamente al este y al sur del reservorio natural (65, 75 y 85 mm para 25, 50 y 100 años). Luego, y hacia la región sur de la cuenca donde se encuentra la Serranía del Interior, las profundidades de lluvia aumentan progresivamente, manteniéndose en valores cercanos a los 75, 90 y 110 mm de precipitación, para los mismos periodos de retorno mencionados previamente.



Figura 11. Isolíneas de máxima profundidad de precipitación para 1 hora de duración y 50 años de periodo de retorno

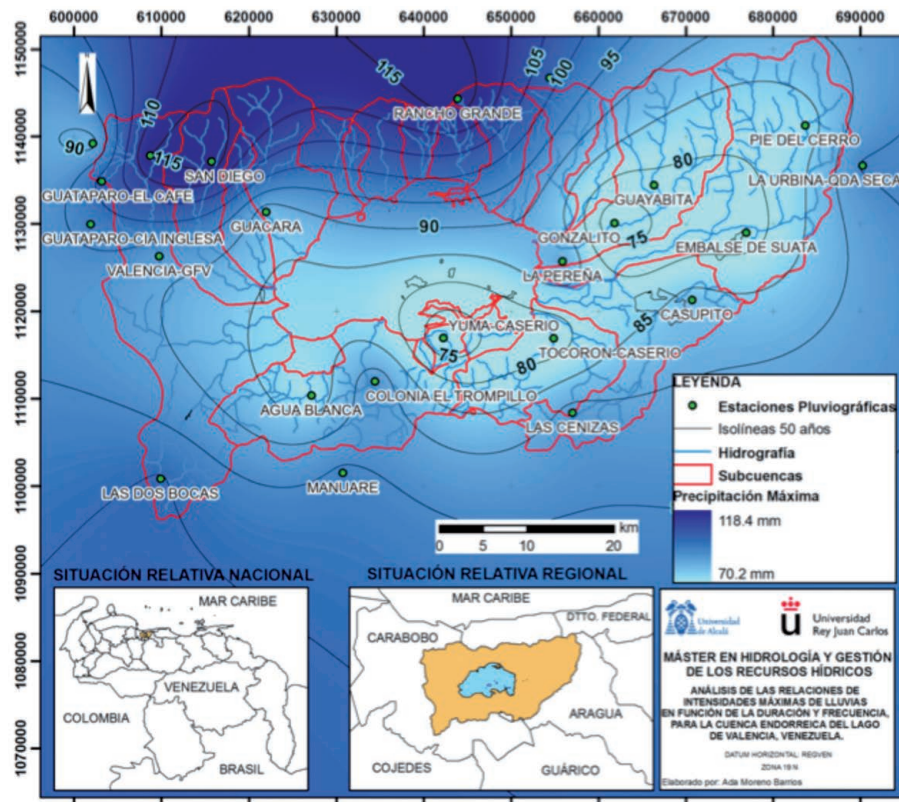


Figura 12. Isolíneas de máxima profundidad de precipitación para 1 hora de duración y 100 años de periodo de retorno

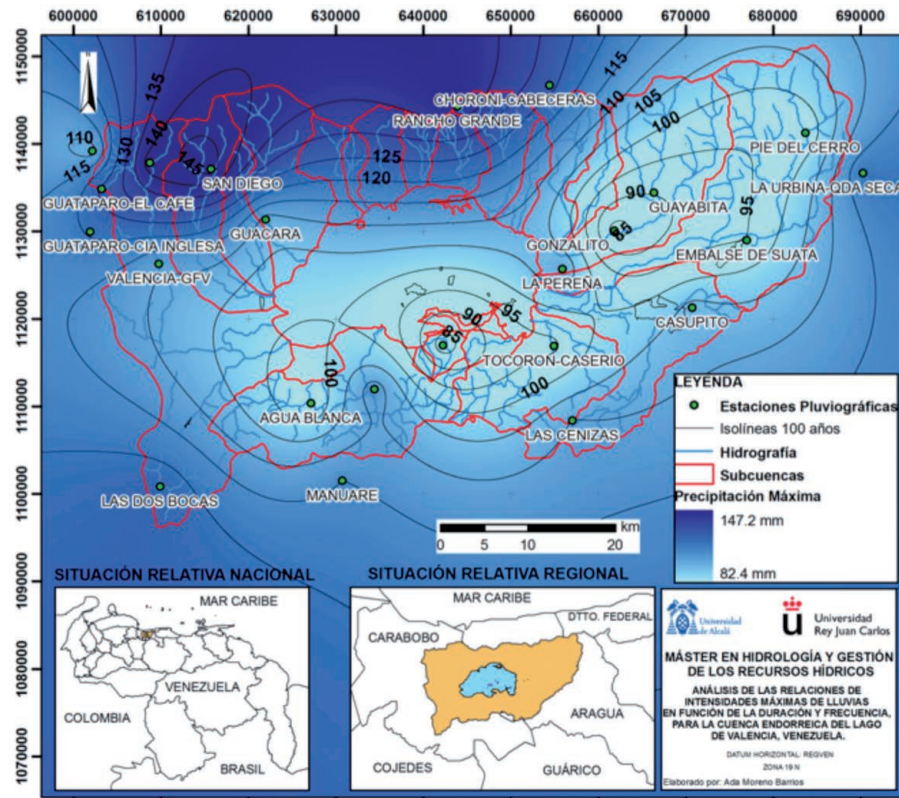
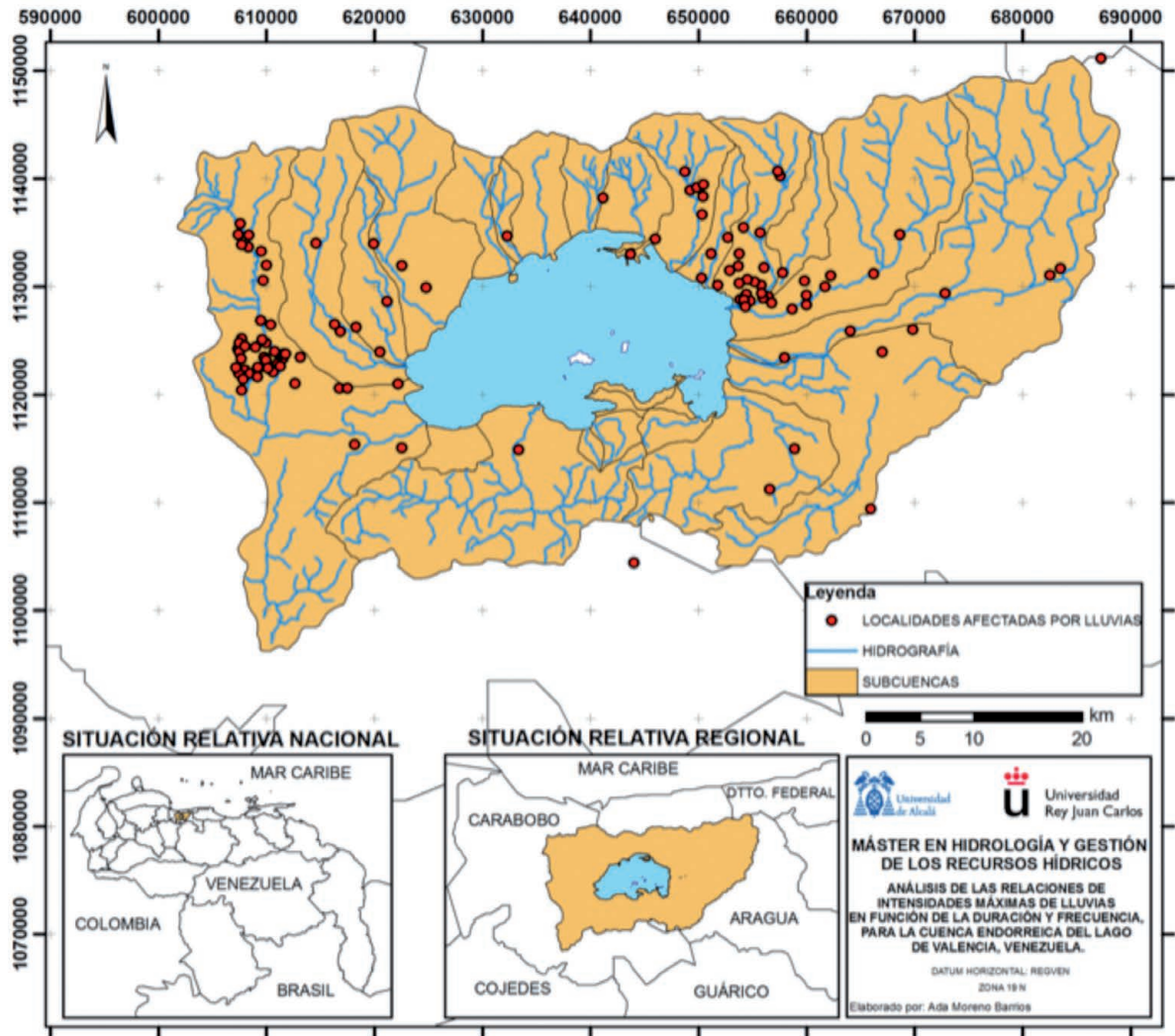




Figura 13. Localidades afectadas por eventos hidrometeorológicos entre los años 1933 y 2012, con su consecuente desborde de ríos y quebradas, o inundaciones de viviendas y carreteras



Estos resultados parecen coincidir con aquéllos obtenidos en estudios realizados previamente en la cuenca endorreica por INOS (1966), quienes obtuvieron, un mapa de isoyetas medias anuales para un período de tiempo de 13 años, comprendido desde 1951 a 1964, donde los mayores valores de precipitación (de unos 1.700 mm) se ubicaron hacia el norte, en tanto que las menores magnitudes (menores de 800 mm) se localizaban en todo el espejo de agua, incluyendo su zona más próxima hacia el este.

Adicionalmente, y con el objetivo de validar las isolíneas de máxima profundidad de precipitación obtenidas en el presente estudio, se realizó un inventario de las zonas perjudicadas por el desborde de ríos y quebradas, que ocasionaron inundaciones de viviendas e infraestructuras, producidas por la ocurrencia de precipitaciones extremas. Todo ello, se efectuó mediante la consulta de fuentes de información periódicas impresas, tanto de carácter nacional como regional, obteniendo como resultado la figura 13. Un análisis similar, basado en la recopilación de eventos históricos de inundaciones, es aplicado en primeras

aproximaciones para la elaboración de mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones, tanto en las cuencas del Norte de España (Marquín *et al.*, 2006) como en el Municipio Arauca, en Colombia (Trujillo, 2014). Debido a lo expuesto en líneas precedentes, y a la estrecha relación existente entre la ocurrencia de lluvias extremas y fenómenos de inundaciones y desbordes, se consideró pertinente utilizar la mencionada metodología para dar respaldo a las isolíneas de máxima profundidad de precipitación obtenidas, y mostradas en las figuras 10, 11 y 12. Sin embargo, es necesario resaltar que las fuentes documentales pueden ser poco precisas, y no cubren todo el territorio de la cuenca con igualdad de criterio.

En la figura 13 se observa que las mayores concentraciones de afectaciones por lluvias extremas se ubican hacia el noreste y oeste del Lago de Valencia, sectores que coinciden de forma bastante aceptable con la localización de los máximos valores de intensidades de lluvias, mostrados en las figuras 10, 11 y 12. Es necesario acotar, que las inundaciones reportadas por las fuentes consultadas, pueden ser originadas por múltiples



causas, entre las que puede mencionarse: ocurrencia de precipitaciones extremas, colapso de sistemas de drenaje y alcantarillado, desborde de ríos y quebradas causados por curvas de remanso existentes en la zona de descarga al Lago y por la colmatación de la sección transversal del cauce, aumentos del nivel del reservorio natural, entre otros. En la recopilación, se tuvo el mayor cuidado de seleccionar aquéllos eventos que se relacionaran directamente con la ocurrencia de lluvias máximas; no obstante, las fuentes consultadas tienen la tendencia de cubrir con mayor detalle los eventos que suceden en las ciudades más importantes de la cuenca, como son Maracay (Aragua) y Valencia (Carabobo), de allí la mayor concentración de puntos en esas áreas.

En definitiva, tomando en cuenta los resultados mostrados en la figura 13 en conjunto con los altos valores de coeficientes de correlación obtenidos para las ecuaciones ajustadas en las estaciones pluviográficas, permiten concluir que las estimaciones de intensidades de lluvias máximas realizadas mediante las fórmulas presentadas en la tabla 6 serán altamente confiables.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de culminado el trabajo de investigación se puede concluir que:

- El periodo de registro de las estaciones pluviográficas consultadas resultó ser muy variable, con un promedio de 27 años de longitud. Para los efectos del presente trabajo, se eligió un periodo de registro común, desde 1970 hasta 1993, para un total de 24 años de registro, por lo que en definitiva se trabajó con 23 estaciones.
- La distribución teórica de mejor ajuste, según el error estándar resultó ser la log-Gumbel, para el análisis con las estaciones pluviográficas. Sin embargo, es de hacer notar que la distribución log - Pearson III también presentó un buen comportamiento, y en ninguno de los casos las distribuciones teóricas fueron rechazadas a través del test de Kolmogorov - Smirnov.
- La fórmula de Koutsoyiannis *et al.* (1998), presentó un buen ajuste, pero si se le compara con la ecuación de Sherman (1931), se prefiere ésta última debido a que la misma posee los mayores coeficientes de correlación r , los menores porcentajes del error medio normalizado (MNE), los valores más cercanos a la unidad para el factor medio de predicción (MPF) y los índices de dispersión (ID) más pequeños.
- La metodología presentada por Monsalve (2006) para la obtención de los parámetros de la ecuación de Sherman (1931), resulta ser de sencilla aplicación, y fácilmente programable en software de computación.
- De la misma manera, el procedimiento desarrollado a partir de la metodología de Monsalve (2006), para la estimación de los parámetros de la ecuación de Koutsoyiannis *et al.* (1998), permite obtener resultados confiables, evidenciado por los altos valores de los coeficientes de correlación

(mayores a 0,97 en todas las estaciones) resultantes de la comparación de las intensidades de lluvia estimadas a través del modelo matemático, con las intensidades de los análisis de frecuencia.

- La recopilación de eventos históricos de inundaciones para realizar la validación de las isolíneas de máxima profundidad de lluvia, parece no ser concluyente, debido a la tendencia de las fuentes impresas de cubrir con mayor detalle los eventos que suceden en las ciudades más importantes de la cuenca, como son Maracay (Aragua) y Valencia (Carabobo), de allí la mayor concentración de sucesos en esas localidades.

De la misma manera, es recomendable lo siguiente:

- Instalar y mantener en correcto funcionamiento estaciones pluviográficas que cubran de forma homogénea toda la superficie de la cuenca y permitan actualizar los registros de lluvias máximas disponibles. Con esto se tendrían datos confiables para realizar estudios similares, con datos recientes.
- Realizar una comparación espacial de los mapas de isolíneas de intensidades máximas construidas con los resultados de las ecuaciones ajustadas, con mapas obtenidos a partir de los datos de intensidades provenientes de los análisis de frecuencias, con la finalidad de evaluar la variabilidad espacial de las lluvias dentro de la cuenca.
- Efectuar pruebas de sensibilidad de las fórmulas por Sherman (1931), en función de los cuatro parámetros θ , η , λ y ψ , para evaluar los cambios observados en las intensidades máximas de lluvia estimadas con las ecuaciones.
- A pesar de no estar explícito en la literatura, la recomendación del uso de periodos comunes de registro para la construcción de las ecuaciones IDF, es imprescindible cuando se desea construir isolíneas de intensidades máximas de precipitación.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre - Pe, J., Machado, D., Moncada, A., y Olivero, M. 2010. Los mejores modelos de transporte de sedimentos. En J. López, *Lecciones aprendidas del desastre de Vargas* (págs. 259-268). Caracas: Editorial Gráficas Lauki.

Aparicio, F. 2010. *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Editorial Limusa S.A.

Aranguren, M. 2008. VENEZUELA Informe de Análisis base de datos de pérdidas por desastres. 53. Cali, Colombia: Corporación Osso.

Bell, F. 1969. Generalized rainfall - duration - frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division*, 311-327.

Bernard, M. 1932. Formulas for rainfall intensities of long duration. *Transactions of American Society of Civil Engineers*, 96, 592-606.

Campos, D. 2012. Contraste de un método regional de estimación de curvas IDF en la planicie costera de Tabasco, México. *Agrociencia*, 46, 637-649.

Cartaya, H. 1988. Distribución de lluvias cortas. *Revista El Agua*, 34-37.



- Castillo, E., y Ruiz, B. 1979. *Precipitaciones máximas en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura.
- Chen, C. 1983. Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *Journal of Hydraulics Engineering*, 109(12), 1603-1621.
- Chow, V., Maidment, D. R., y Mays, L. W. 1994. *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- CIDIAT - EMPRESAS POLAR. 2013. *Estudio integral de la Cuenca del Lago de Valencia (Primer informe)*. Mérida.
- De Paola, F., Giugni, M., Topa, M. y Bucchignani, E. 2014. Intensity-Duration-Frequency (IDF) rainfall curves, for data series and climate projection in African cities. *Springer Plus*, 3:133, 1-18.
- Duarte, D. 2002. *Estudio de valores extremos de precipitación en la cuenca del río Oro. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil*. Bucaramanga-Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Duque, R. 2006. *AJUSTE V3 [CD-ROM]*. Versión 3.0. Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Programa computacional.
- Elsebaie, I. 2012. Developing rainfall intensity - duration - frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 24, 131-140.
- Froehlich, D. 1995. Intermediate - duration - rainfall intensity equations. *Journal of Hydraulics Engineering*, 121(10), 751-756.
- Geotecnología Ltda. 2005. *Documento de Diagnóstico Amenazas de Inundación y Erosión en el Río de Oro*. Bucaramanga: Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.
- González, M., y Domínguez, R. 2013. Ecuaciones universales ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración. *GEOS*, 33(2), 1-18.
- Grisollet, H. 1948. Estudios de los aguaceros tempestuosos de la región parisién. *La Meteorología*(11), 175-195.
- Guevara, E., y Carballo, N. 2008. Modelo IDF regional para el estado Cojedes, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, III(15), 53-63.
- Guevara, E., Guevara, J. y García, E. 2008. Régimen climático y patrón espacial de las lluvias en la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Revista de Climatología*, 8, 29-40.
- INE. 2011a. *Informe Geoambiental 2011 Estado Aragua*. Instituto Nacional de Estadística. Caracas.
- INE. 2011b. *Informe Geoambiental 2011 Estado Carabobo*. Instituto Nacional de Estadística. Caracas.
- INOS. 1966. *Estudio de la Cuenca Tributaria del Lago de Valencia*. Caracas.
- INOS. 1969. *Análisis de intensidad-duración-frecuencia de lluvias en Venezuela*. Caracas.
- Karim, F. 1998. Bed material discharge prediction for nonuniform bed sediments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 597-604.
- Kothyari, U., y Garde, R. 1992. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formula for India. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(2), 323-336.
- Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., y Manetas, A. 1998. A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, 118-135.
- Lugo, J. y Inbar, M. 2002. *Desastres Naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Marquínez, J., Lastra, J. y Fernández, E. 2006. "Metodología utilizada para cartografiar la peligrosidad de inundaciones en las cuencas del Norte". En Díez, A., Lain, L. y Llorente, M. (eds). *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación. Serie: Medio ambiente, riesgos geológicos, N° 7*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Méndez, N. 1986. *Desarrollo de una metodología para el prediseño y estimación de costos para sistemas de drenaje superficial en los Llanos Occidentales de Venezuela. Tesis para optar al título de Magister Scientae en Ingeniería de Riego y Drenaje*. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial.
- Meyer, P. 1973. *Probabilidad y aplicaciones estadísticas*. México, D.F: Fondo Educativo Interamericano S.A.
- Moncho, R., Belda, F. y Caselles, V. 2009. Climatic study of the exponent "n" in IDF curves: application for the Iberian Peninsula. *Journal of Weather & Climate of the Western Mediterranean Tethys*, 6, 3-14.
- Monsalve, G. 2006. *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- MOP. 1963. *Resumen de datos hidrométricos*. Caracas: Dirección de obras hidráulicas.
- National Research Council of Canada. 1989. *Hydrology of floods in Canada: A guide to planning and design*. Ottawa.
- Nguyen, V., Nguyen, T. y Wang, H. 1998. Regional estimation of short duration rainfall extremes. *Water Science Technology*, 37(11), 15-19.
- Nhat, L., Tachikawa, Y., Sayama, T. y Takara, K. 2008. Estimation of intensity-duration-area-frequency curves using scaling properties of hourly rainfall data. *Advances in Hydro-Science and Engineering*, 8.
- Pereira, O. 1991. *Análisis regional de profundidad-duración-frecuencia de lluvias máximas en el estado Carabobo*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Pereyra-Díaz, D., Pérez-Sesma, J. A., y Gómez-Romero, L. 2004. Ecuaciones que estiman las curvas intensidad-duración-período de retorno de la lluvia. *GEOS*, 46-56.
- Pizarro, R., Abarza, A., y Florez, J. P. 2001. *Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental*. Recuperado el 25 de Enero de 2011, de Organización Panamericana de la Salud: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cdo8/analisiscurvas.pdf>
- Pulgarín, E. 2009. *Fórmulas regionales para la estimación de curvas intensidad - frecuencia - duración basadas en las propiedades de escala de lluvia (Región Andina Colombiana) Trabajo de grado para optar al título de Magister en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.



Quiroga, A., y Campos, E. 2010. Modelo IDT de Bell modificado para el estado de Tabasco. *XXI Congreso Nacional de Hidráulica* (págs. 1-5). Jalisco: Asociación Mexicana de Hidráulica.

Raiford, J., Aziz, N., Khan, A. y Powell, D. 2007. Rainfall depth-duration-frequency relationships for South Carolina, North Carolina, and Georgia. *American Journal of Environmental Sciences*, 3(2), 78-84.

Ramírez, M. 2003. *Hidrología aplicada*. Mérida: Publicaciones Facultad de Ingeniería - Universidad de Los Andes.

Schaefer, M. 1990. Regional analyses of precipitation annual maxima in Washington State. *Water Resources Research*, 1 26(1), 119-131.

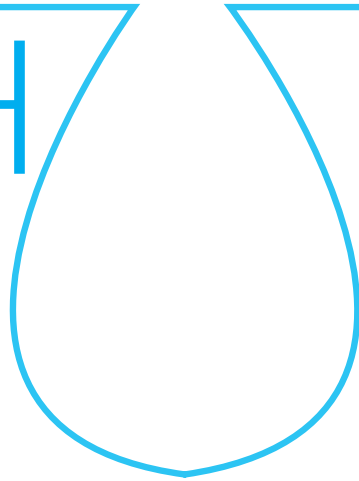
Sherman, C. 1931. Frequency and intensity of excessive rainfall at Boston, Massachusetts. *Transactions of American Society of Civil Engineers*, 95, 951-960.

Trujillo, V. 2014. *Zonificación de la amenaza de inundación urbana en el Municipio de Arauca, Arauca en el marco de la revisión y ajuste de planes de ordenamiento territorial. Trabajo para optar el título de Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Wenzel, H. 1982. Rainfall for urban stormwater design, en Urban Storm Water Hydrology. *Water Resources Monograph*, 7, 35-67.

escuela de posgrado
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS DE POSGRADO EN **HIDROLOGÍA**

UAH URJC



máster universitario

en hidrología y gestión de recursos hídricos

proyectos
2015

Caracterización del período de cese de caudal en ríos estacionales e intermitentes para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos por métodos hidrológicos. Aplicación a las Cuencas del Guadiana y Guadalquivir

autora

Cristina de Rojas Ortega

Directora

Dra. Sara Pelegrín Mc Carthy

Alcalá de Henares, 14 de mayo de 2015



AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por todo el tiempo que les he quitado y la paciencia que han tenido estos meses.



ÍNDICE

1. Resumen	192
2. Introducción	192
2.1. Antecedentes	192
2.2. Planteamiento del problema	193
3. Objetivos	193
3.1. Objetivo general	193
3.2. Objetivos específicos	193
4. Base Normativa	193
5. Metodología	194
5.1. Ámbito de estudio	194
5.2. Datos de partida	196
5.2.1. Series mensuales de aportaciones en régimen natural en unidades hidrográficas	196
5.2.2. Series de caudales medios diarios medidos en estaciones de aforo	196
5.3. Generación de series diarias de caudales	196
5.3.1. Metodología general	196
5.3.2. Metodología de desagregación mediante patrones	197
5.3.3. Metodología de desagregación matemática	199
5.3.4. Criterios de selección de la metodología a aplicar en cada tramo de río	201
5.3.5. Generación de la serie definitiva de caudales medios diarios en cada río	202
5.4. Clasificación hidrológica de los ríos	202
5.5. Caracterización del período de cese de caudal	203
5.5.1. Frecuencia	203
5.5.2. Duración	204
5.5.3. Estacionalidad	204
5.5.4. Tasa de recesión	205
5.5.5. Propuesta de cese anual e hiperanual	205
6. Resultados	207
6.1. Cuenca del Guadiana	207
6.2. Cuenca del Guadalquivir	210
7. Discusión	211
8. Conclusiones	212
9. Bibliografía	212
10. Apéndices	214
10.1. Apéndice 1: ajustes de Goodrich en estaciones de aforo	214
10.2. Apéndice 2: datos diarios en estaciones de aforo	245
10.3. Apéndice 3: series de aportaciones	247
10.4. Apéndice 4: clasificación de las masas de agua	278
10.5. Apéndice 5: caracterización del cese de caudal	294

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tramos estratégicos de la cuenca del Guadiana	194
Tabla 2. Tramos estratégicos de la cuenca del Guadalquivir	195
Tabla 3. Metodología de desagregación de series para los tramos prioritarios del Guadiana	207
Tabla 4. Clasificación de las masas estratégicas de la DH Guadiana	208
Tabla 5. Propuesta de períodos de cese en la DH Guadiana	209
Tabla 6. Metodología de desagregación de series para los tramos prioritarios del Guadalquivir	210
Tabla 7. Clasificación de las masas estratégicas de la DH Guadalquivir	210
Tabla 8. Propuesta de períodos de cese en la DH Guadalquivir	211

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ámbito de estudio	194
Figura 2. Tramos estratégicos del Guadiana	195
Figura 3. Tramos estratégicos del Guadalquivir	196
Figura 4. Ajuste de Goodrich en la EA 25 del Guadalquivir	198
Figura 5. Serie mensual con clasificación de años del río Guadalquivir	198
Figura 6. Desagregación matemática	200
Figura 7. Flujograma desagregación de series	201
Figura 8. Clasificación de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana	203
Figura 9. Frecuencia de los eventos de cese de caudal de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana	204
Figura 10. Duración del período de cese de caudal de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana	204
Figura 11. Frecuencias de ocurrencia del cese para cada mes de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana	204
Figura 12. Estacionalidad de los eventos de cese de caudal de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana	205
Figura 13. Número de años consecutivos con caudal y sin caudal	206
Figura 14. Propuesta de distribución temporal y duración del cese	206
Figura 15. Clasificación hidrológica de las masas del Guadiana	208
Figura 16. Clasificación hidrológica de las masas del Guadalquivir	211



INDICE DE ABREVIATURAS

CEDEX: Centro de Estudios y Experimentación en Obras Públicas

DH: Demarcación Hidrográfica

DHGq: Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir

DHGn: Demarcación Hidrográfica del Guadiana

DMA: Directiva Marco del Agua

IPH: Instrucción de Planificación Hidrológica

MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

MARM: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

MASHWIN: Modelo de análisis de series hidrológicas

PH: Plan Hidrológico

RPH: Reglamento de la Planificación Hidrológica

SGPUSA: Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua

SIMPA: Sistema Integrado para la Modelación del Proceso Precipitación Aportación

TRLA: Texto Refundido de la Ley de Aguas

UPV: Universidad Politécnica de Valencia



1. RESUMEN

La DMA refleja la importancia del régimen de caudales como indicador del estado ecológico fluvial, evidenciando la necesidad del establecimiento de un régimen de caudales ecológicos en los ríos. En España, la IPH determina el proceso de cálculo del régimen de caudal ecológico para todos los ríos, proponiendo métodos hidrológicos y de modelación del hábitat para su determinación.

Desde el punto de vista ecológico, los periodos de cese de caudal son elementos clave del régimen hidrológico de los ríos temporales que deben incorporarse en las propuestas de caudales ambientales..

El estudio de estos episodios a partir de caudales diarios se ve fuertemente limitado por la disponibilidad de datos en régimen natural. Aunque sí que se dispone de series mensuales no alteradas procedentes de modelos precipitación-escurrentía.

En este trabajo se han expuesto distintas formas de superar esta dificultad mediante la generación de series diarias sintéticas de caudales diarios. Se desarrollan en particular dos metodologías que desagregan las series de periodicidad mensual a diaria. La primera basada en la creación de patrones diarios de caudales en régimen natural asociados a años secos, medios y húmedos. En total 36 patrones para cada estación forfónica. La segunda, con una distribución matemática a partir de unos criterios básicos. El primer método es el más preciso pero también el más laborioso, mientras que el segundo permite su aplicación simple y resulta de aplicación más simple.

Asimismo se ha desarrollado la metodología que permite caracterizar los periodos de cese de caudal atendiendo a la frecuencia, duración y estacionalidad de los eventos. Y se ha completado proponiendo la metodología para concretar los periodos anuales e hiperanuales de cese de caudal.

Estas metodologías se aplican en las masas de agua estratégicas de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana y la Demarcación del Guadalquivir (RD 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas). Para ello, se han generado patrones diarios en estaciones de aforo, gracias a los cuales se han generado series de caudales naturales en las masas estratégicas. Una vez obtenidas, se han clasificado hidrológicamente los ríos en permanentes, estacionales, intermitentes y efímeros.

Para los ríos intermitentes y estacionales se ha realizado la caracterización del cese de caudal y se ha concluido con una "propuesta de cese", que reproduce el comportamiento de cada masa estudiada ante estos eventos y que constituye una ayuda muy valiosa a la toma de decisiones en la gestión de los ríos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. ANTECEDENTES

La Directiva Marco del Agua - DMA (2000/60/CE) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la políti-

ca de aguas europea, introduciendo la obligación de realizar un complejo proceso de planificación hidrológica en todas las cuencas europeas y regulando objetivos y características del mismo. Establece una serie de objetivos medioambientales cuyo cumplimiento debe asegurar la disponibilidad de recursos en cantidad y calidad suficientes.

En España, el artículo 18 del Reglamento de Planificación Hidrológica - RPH (R.D. 907/2007) desarrolla el concepto de régimen de caudales ecológicos, entendiéndolo como el que permite mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición.

La Instrucción de Planificación Hidrológica -IPH (ARM/2656/2008) determina el proceso de establecimiento del régimen de caudal ecológico en tres fases –estudios técnicos; concertación pública; implementación y seguimiento adaptativo–, y determina la metodología a utilizar para su cálculo, así como sus componentes: caudales máximos, caudales mínimos, caudales de crecida y tasas de cambio.

Asimismo, la distribución de caudales mínimos se obtiene por aplicación de métodos hidrológicos que se ajustan posteriormente mediante métodos de modelación de la idoneidad del hábitat. Esta modelación se basa en curvas que relacionan el hábitat potencial útil con el caudal en cada tramo.

A la hora de calcular los regímenes de caudales por métodos hidrológicos, la IPH hace distinción entre ríos permanentes, temporales, intermitentes y efímeros.

En ríos temporales, ríos intermitentes y ríos efímeros se aplicarán los siguientes criterios metodológicos para su caracterización:

- Temporales: se utilizarán los criterios definidos para la determinación de la distribución mensual de caudales mínimos y máximos en ríos permanentes. Se realizará, además, una caracterización del periodo de cese de caudal.
- Intermitentes, se analizarán los siguientes aspectos:
 - Periodo de cese de caudal.
 - Conexión con las aguas subterráneas, definiendo los volúmenes mínimos necesarios para preservar el flujo subsuperficial que alimenta pozas y remansos.
 - Magnitud de la crecida y periodo de tiempo de recesión al caudal base.
 - Caudal generador, que permite mantener la dimensión del canal principal del río y su buen funcionamiento morfo-dinámico.
- Efímeros, se determinarán el tiempo de recesión tras la crecida y el caudal generador.

Cabe destacar que el grado de concreción alcanzado por la IPH y la experiencia existente es claramente superior en lo referente a la distribución temporal de caudales mínimos en ríos permanentes. Frente al amplio y concreto desarrollo metodo-



lógico que establece el Art 3.4.1.4.1. *Ríos permanentes*, contrasta la brevedad y escasa definición del Art 3.4.1.4.2. *Ríos temporales, intermitentes y efímeros*.

2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para aplicar estos criterios metodológicos se necesita en cada tramo de estudio una serie hidrológica representativa de al menos 20 años de caudales en régimen natural que presente una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos, y siempre que sea posible definida a escala diaria.

En la práctica existe una gran dificultad para disponer de series diarias, siendo necesario diseñar series sintéticas *ad hoc* o utilizar series de periodicidad mensual.

Para clasificar hidrológicamente los ríos se podrían utilizar datos mensuales, pues se ha comprobado que el error es pequeño. Pero la utilización de valores agregados impide la aplicación rigurosa de algunas metodologías de cálculo, concretamente el estudio de los episodios de cese de caudal.

Asimismo, hay abundante bibliografía sobre diferentes formas de calcular caudales ecológicos en ríos permanentes, pero apenas se encuentra documentación referida a ríos temporales, característicos en algunas cuencas españolas.

La caracterización de los períodos de cese de caudal es una de las cuestiones más novedosas de los estudios de caudales ecológicos, tanto por la ausencia de estudios previos similares en otros países (donde claramente tienen ríos diferentes) como por la dificultad de su aplicación sin las series diarias de caudales mencionadas.

Por esta razón, desde el MARM (actualmente MAGRAMA) se impulsó la elaboración de una Guía Metodológica de Caudales Ecológicos (en adelante la Guía) que contiene una serie de recomendaciones realizadas por el Grupo de Trabajo de Caudales Ecológicos y concretamente para el caso de los ríos temporales.

En este trabajo se van a exponer soluciones para la generación de series sintéticas de caudales diarios en régimen natural en las distintas masas de agua tipo río. Una vez generadas estas series y superada por tanto esta primera limitación, se va a caracterizar el período de cese de caudal en los ríos intermitentes y estacionales. Más allá del cálculo de los factores recomendados en la Guía, se va a realizar una propuesta que define los ceses anuales y los hiperanuales también característicos de nuestros ríos.

Finalmente se va a aplicar a las masas estratégicas de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana y la Demarcación del Guadalquivir.

Este estudio se ha llevado a cabo en el ámbito del contrato "Realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las Demarcaciones Hidrográficas del Guadiana y del Guadalquivir", contratado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino a la empresa consultora INYPSA, Informes y Proyectos S.A.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Plantear una metodología para la caracterización de los períodos de cese de caudal en ríos estacionales e intermitentes para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos por métodos hidrológicos. Aplicación a las cuencas españolas del Guadiana y Guadalquivir.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar una metodología para generar series diarias de caudales en régimen natural en tramos de río.
- Clasificar los ríos en permanentes, intermitentes, estacionales y efímeros
- Establecer metodología para caracterización de los períodos de cese de caudal que de cumplimiento al artículo 3.4.1.4.2 de la IPH.
- Aplicación en las masas estratégicas del Guadiana y Guadalquivir.

4. BASE NORMATIVA

El marco normativo en el ordenamiento jurídico español para la determinación de regímenes de caudales ecológicos viene establecido por:

- El Real Decreto 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el *Texto Refundido de la Ley de Aguas*; que en los artículos 42 y 59 establece las bases para los estudios de caudales ecológicos y su inclusión en los Planes Hidrológicos de Cuenca.
- La Ley 10/2001, de 5 de julio, del *Plan Hidrológico Nacional* y su modificación por la Ley 11/2005, de 22 de junio. En el artículo 26 se incide en que se realizarán estudios específicos de caudales ambientales en los tramos de río.
- El Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el *Reglamento de Planificación Hidrológica*. Recoge el articulado y detalla las disposiciones del TRLA relevantes para la planificación hidrológica. En sus artículos 3 y 18 introduce en la legislación española los conceptos de la Directiva Marco y recoge lo referente a la implantación de regímenes de caudales ecológicos.
- La *Instrucción de Planificación Hidrológica*, aprobada por la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, que desarrolla los contenidos de la normativa y define la metodología de aplicación.

En el apartado 3.4 recoge ampliamente la cuestión de los caudales ecológicos, desarrollando tanto sus objetivos como las fases en que debe implantarse y las metodologías a seguir para ello.



Sin ser normativa, la Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua (SGPUSA) del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (MARM) español desarrolló una Guía Metodológica de Caudales Ecológicos con una serie de recomendaciones para el cálculo de los mismos. Dentro de este documento hay un capítulo específico dedicado a los ríos temporales.

5. METODOLOGÍA

5.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio corresponde a las Demarcaciones Hidrográficas españolas del Guadiana y Guadalquivir (figura 1).

La IPH establece la necesidad de considerar estratégicos para el cálculo de de caudales ecológicos a todos aquellos tramos en que puedan existir conflictos significativos con los usos del agua.

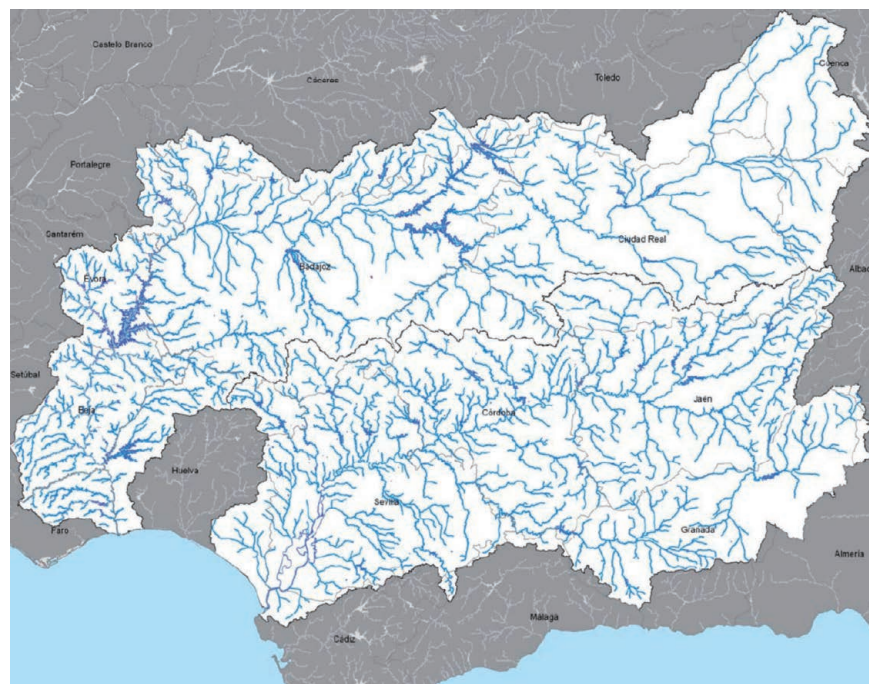
Para la aplicación práctica de la metodología que aquí se desarrolla se han seleccionado dichas masas de agua de la categoría río consideradas como masas estratégicas o prioritarias en los Planes Hidrológicos de las cuencas del Guadiana y Guadalquivir (aprobados por R.D. 354/2013 y 355/2013 de 17 de mayo respectivamente).

En la tabla 1 se muestra el listado con los códigos y denominaciones de los 19 tramos estratégicos de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.

Tabla 1. Tramos estratégicos de la cuenca del Guadiana

Código	Nombre
12010	Río Lácara
12013	Río Zapatón II
12024	Río Guadamatilla II
12027	Río Olivenza II
13353	Río Guadiana IV
13354	Río Guadiana VI
13355	Río Guadiana V
13387	Rivera de los Limonetes
13393	Río Guadajira
13397	Río Matachel II
13398	Río Matachel III
13408	Río Búrdalo
13414	Río Ruecas IV
13423	Río Zújar II
13450	Río Bullaque
13463	Río Jabalón III
13218	Río Guadiana VII
13366	Río Alcarache II
13359	Río Ardila II

Figura 1. Ámbito de estudio





Y se encuentra representada su localización a continuación en la figura 2.

En el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir se han considerado como estratégicos un total de 12 tramos. Su listado completo queda recogido en la tabla 2.

Figura 2. Tramos estratégicos del Guadiana

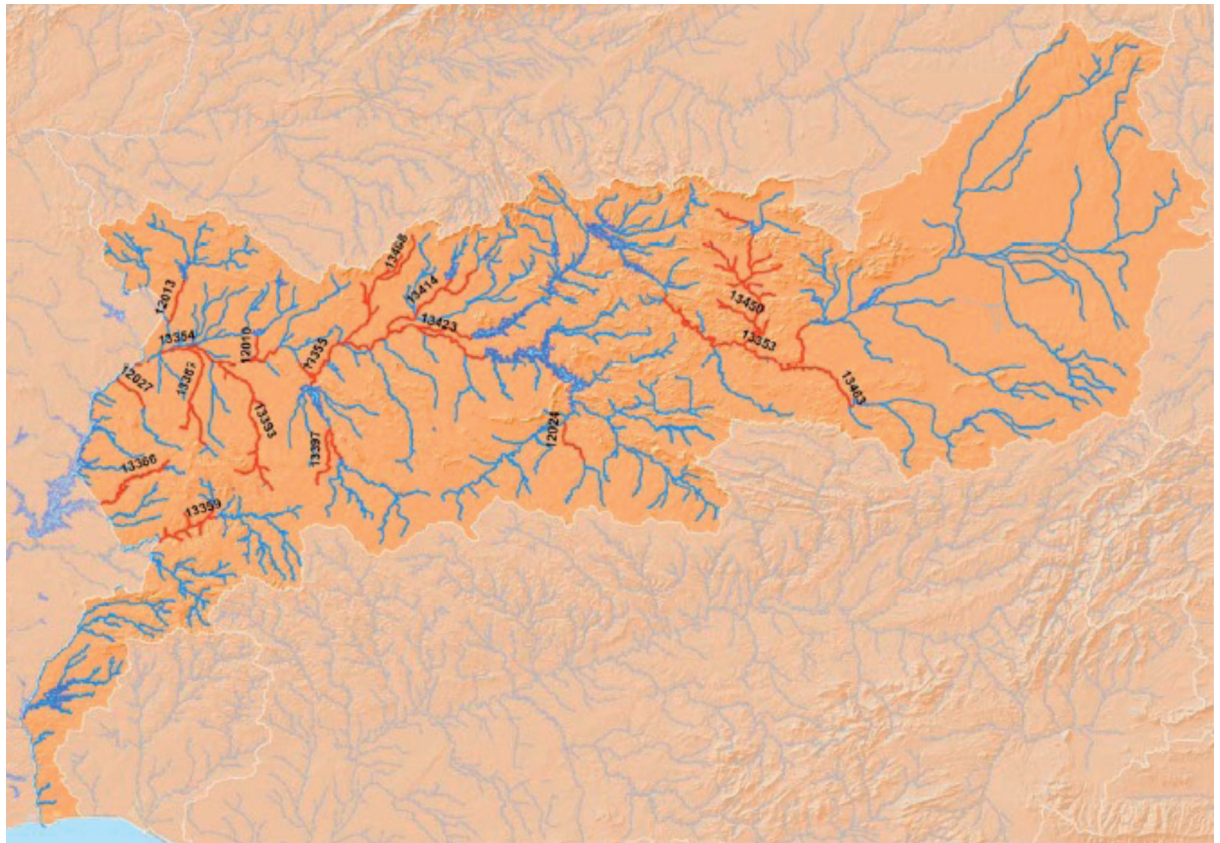
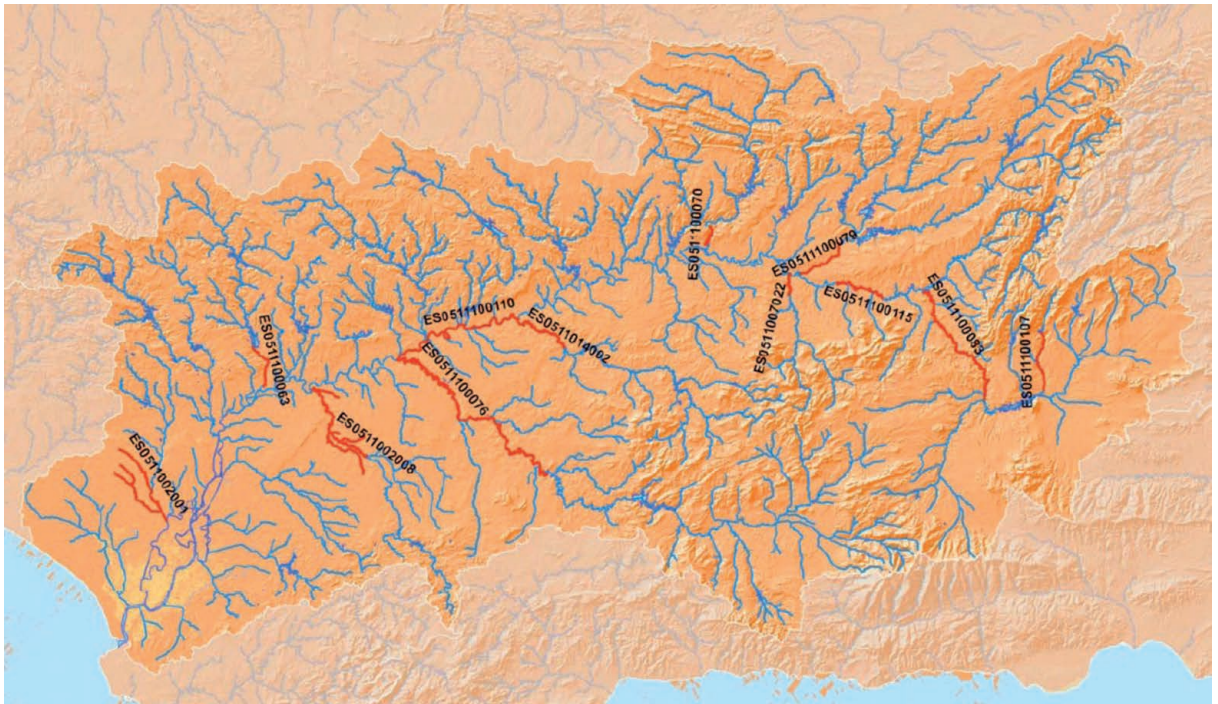


Tabla 2. Tramos estratégicos de la cuenca del Guadalquivir

Código	Nombre
ES0511002001	Tramo bajo del río Guadiamar y afluentes por su margen derecha
ES0511002008	Río Corbones aguas abajo del arroyo Salado de Jarda hasta la desembocadura
ES051100079	Río Guadalimar desde el arroyo de Fuente Álamo hasta el embalse de Mengibar
ES0511007022	Río Guadalbullón desde las Infantas hasta el embalse de Mengibar
ES051100083	Río Guadiana Menor aguas abajo del río Fardes
ES0511014002	Tramo bajo del río Guadajoz
ES051100063	Río Viar aguas abajo de la presa de Melonares
ES051100107	Río Castril aguas abajo de la presa del Portillo
ES051100070	Río Jándula aguas abajo de la Loma de las Buenas Hierbas
ES051100110	Río Guadalquivir aguas abajo del río Guadajoz hasta el río Genil
ES051100076	Río Genil aguas abajo del embalse de la Cordobilla
ES051100115	Río Guadalquivir desde la presa de Pedro Marín hasta Sotogordo



Figura 3. Tramos estratégicos del Guadalquivir



Su representación cartográfica constituye la figura 3.

5.2. DATOS DE PARTIDA

Para la clasificación hidrológica de las masas de agua y posterior caracterización del cese de caudal se ha partido de las series de datos siguientes:

5.2.1. SERIES MENSUALES DE APORTACIONES EN RÉGIMEN NATURAL EN UNIDADES HIDROGRÁFICAS

Las aportaciones mensuales y anuales en cada una de las masas de agua fueron obtenidas por el Centro de Estudios y Experimentación en Obras Públicas (CEDEX) mediante el Sistema Integrado para la Modelación del Proceso Precipitación Aportación (SIMPA).

El SIMPA es un sistema para gestionar y analizar la información temporal y espacial procedente de la Base de Datos del CEDEX y donde se integran diversas aplicaciones hidrológicas para simular diferentes procesos del ciclo hidrológico relacionados con los recursos hídricos, las crecidas o la calidad de las aguas. Desde la primera versión de 1990 ha ido desarrollándose tanto por el CEDEX como por diversas universidades colaboradoras

Son series de aportaciones mensuales en régimen natural generadas a partir de un proceso precipitación-escorrentía en el período 1940/41-2005/06, sumando un total de 66 años de datos completos. Son las series oficiales de las Oficinas de Planificación Hidrológica de las Confederaciones del Guadiana y el Guadalquivir para la generación de los estudios necesarios en la elaboración de los planes hidrológicos de cuenca..

5.2.2. SERIES DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS MEDIDOS EN ESTACIONES DE AFORO

Se dispone de datos de caudal medio diario en las estaciones de aforo en diversos tramos de río de ambas cuencas. Estos datos están publicados en los anuarios de aforos la Dirección General del Agua. No hay uniformidad ni en la longitud de las series ni en la disposición geográfica.

Se han identificado las estaciones con series históricas representativas y, se han definido los períodos en régimen natural que pueden ser utilizables para la generación de patrones de distribución a nivel diario.

Se cuenta con 128 estaciones de aforo en la totalidad de la cuenca del Guadalquivir y 94 situadas en toda la extensión de la cuenca del Guadiana.

5.3. GENERACIÓN DE SERIES DIARIAS DE CAUDALES

Dado que las series de caudales procedentes de SIMPA se encuentran elaboradas a escala mensual, resulta en primer lugar necesario adecuar dichas series con el fin de lograr construir, mediante su desagregación, un régimen sintético diario que permita la aplicación de metodologías hidrológicas.

5.3.1. METODOLOGÍA GENERAL

La desagregación de caudales es un proceso complicado e impreciso, a no ser que se disponga en el tramo en estudio de una estación de aforo que, en todo caso, debe ser fiable y disponer de una serie de registros de suficiente extensión. En



dicho caso se podría aspirar a una precisión mayor, aunque el tratamiento sea complicado y laborioso, por cuanto en la mayoría de los casos es necesaria la restitución al régimen natural cuyo buen fin también dependerá de la existencia y calidad de los datos de aportación y derivación o consumo.

Cuando el caso no es el expuesto en el párrafo anterior, el proceso, en general, debe abordarse desde varios puntos de vista tratando en todo los casos de acotar el error que se comete y como puede incidir en los objetivos de la desagregación como son la obtención de curvas de caudales clasificados o de medias móviles en intervalos de bastante longitud relativa.

A falta de la medición directa de caudal se puede acudir a los datos pluviométricos teniendo en cuenta que los caudales medios diarios varían respecto a la media en función de la precipitación caída (días de lluvia e intensidad), con un desplazamiento en el tiempo que será función de la respuesta de la cuenca. En caso de lluvias normales las variaciones en el nivel del río (y en consecuencia el caudal) serán relativamente suaves mientras que con ocasión de avenidas serán mucho más acusadas por lo que será necesario tratar específicamente cada episodio.

Como propuesta metodológica, la Guía sugiere la utilización de los siguientes enfoques:

- De forma sencilla es posible obtener unos pesos diarios que permitan distribuir a escala diaria la aportación mensual restituida. La selección de este tipo de patrones obliga a reproducir de forma continua la misma modulación en la serie analizada haciendo variar la magnitud de los caudales diarios obtenidos en función de la magnitud de la aportación mensual. Es especialmente importante el análisis de la serie diaria de partida analizado la variabilidad del peso diario frente a la aportación mensual en cada año de la serie.

A modo de recomendación se podría elegir aquel patrón de distribución diaria del mes que más se aproxime a la aportación mensual media, aunque dicha metodología puede llegar a proporcionar una modulación artificial no asociable ningún año de la serie. Por otro lado si el análisis se realiza sobre las menores desviaciones de la aportación anual respecto de la aportación anual media nos permitirá asociar el patrón a un año conocido de la serie hidrológica aforada.

- El análisis de las series de aforo diarias disponibles mediante modelación periódica estocástica basados en modelos Auto-Regresivos de Media Móvil (ARMA) semejantes a los recogidos por Mashwin (UPV, 2002) de forma que permitan obtener patrones de desagregación en función de los estadísticos obtenidos.

En cuanto a los métodos puramente matemáticos, el dato de partida es exclusivamente la media mensual que se puede distribuir de acuerdo con el dato del mes que se pretende desagregar (i) y de los meses anterior ($i-1$) y posterior ($i+1$). El método tiene, inicialmente, la ventaja de su sencillez de aplicación y de no precisar de la obtención, análisis y validación de más series temporales lo que redundará en la mayor rapidez de ejecución siendo su margen de error asumible en períodos de aportación normal y muy importante en caso de producirse una avenida lo que aconseja introducir la correspondiente corrección, que complica más las cosas.

Para este trabajo se proponen dos procedimientos: el primero, que se considera el básico consistente en desagregar las series de acuerdo con los datos de caudales registrados en estaciones de aforo en períodos en que se encuentran en régimen natural generando unos patrones que habrán de transponerse en el tiempo y en el espacio; y el segundo en base a un criterio matemático de interpolación lineal que considera como invariantes el caudal medio mensual y los caudales de principio y final de mes que deben ser iguales a los que resulten en el final del mes $i-1$ y principio del mes $i+1$.

La ventaja del primer método podría ser la mayor precisión aunque el margen de error se amplíe en función de la transposición que se realice, ya sea en el espacio (las trasposiciones habrán de hacerse entre cuencas hidrológicamente afines y con un régimen pluviométrico similar) o en el tiempo, circunstancia que incluso afectará a estaciones situadas en el propio tramo en estudio.

5.3.2. METODOLOGÍA DE DESAGREGACIÓN MEDIANTE PATRONES

Partiendo de estaciones de aforo representativas (al menos una por ecotipo y/o región hidroclimática presente en el ámbito del estudio) se obtendrán unos pesos que permitan distribuir a nivel diario la aportación mensual, siguiendo las recomendaciones de la Guía:

- Análisis de la serie diaria de partida analizado la variabilidad del peso diario frente a la aportación mensual en cada año de la serie.
- Elección de aquel patrón de distribución diaria del mes que más se aproxime a la aportación mensual media.
- Análisis sobre las menores desviaciones de la aportación anual respecto de la aportación anual media.

El desarrollo del trabajo incluye los siguientes pasos:

- Identificación de las estaciones de aforo existentes en los tramos de río con series históricas representativas.
- Análisis de las series y definición de períodos en régimen natural.
- Contraste y validación de datos.
- Selección de estaciones de aforo y períodos utilizables.
- Elección de los patrones de distribución a nivel diario.

5.3.2.1. Definición de años secos, medios y húmedos por ajuste Goodrich

Para la construcción del patrón se han clasificado la serie en años secos, medios y húmedos, de acuerdo con la ley de distribución de Goodrich (Heras, 1976) aplicada a los caudales registrados en las estaciones de aforo y que se incluyen en los anuarios de aforos.



De acuerdo con la aportación anual media (A_m), cada tipo de año se define de la siguiente manera:

Muy seco	Frecuencia < 15%
Año seco	Frecuencia del 15% al 33%
Año medio	Frecuencia del 33% al 66%
Año húmedo	Frecuencia del 66% al 80%
Muy húmedo	Frecuencia del 80% al 100%

Según la ley de distribución de cada estación se han definido tres patrones para cada año: seco o extraseco, medio y húmedo o extrahúmedo que se asociarán a una determinada aportación y que, posteriormente se corregirá, por proporcionalidad de cuencas, en cada unidad hidrológica calculada con el modelo SIMPA.

De esta forma quedan definidos los umbrales que clasifican los años de cada serie mensual como años húmedos, medios y secos para poder asociarlos con los patrones del mismo tipo.

Como ejemplo se expone el ajuste realizado en la serie de 27 años correspondiente a la E.A. 25 del Guadalquivir (figura 4).

Los umbrales resultantes son:

Umbrales		
EXTRASECO	146,82 Hm3/año	
SECO	263,48 Hm3/año	
HÚMEDO	443,38 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	630,11 Hm3/año	

De forma que se considerarán años medios aquellos cuya aportación anual esté comprendida entre el umbral seco y el húmedo.

Y trasladando esos límites de forma proporcional a la superficie de las cuencas, quedan clasificados igualmente los años de cada serie (figura 5).

Figura 4. Ajuste de Goodrich en la EA 25 del Guadalquivir

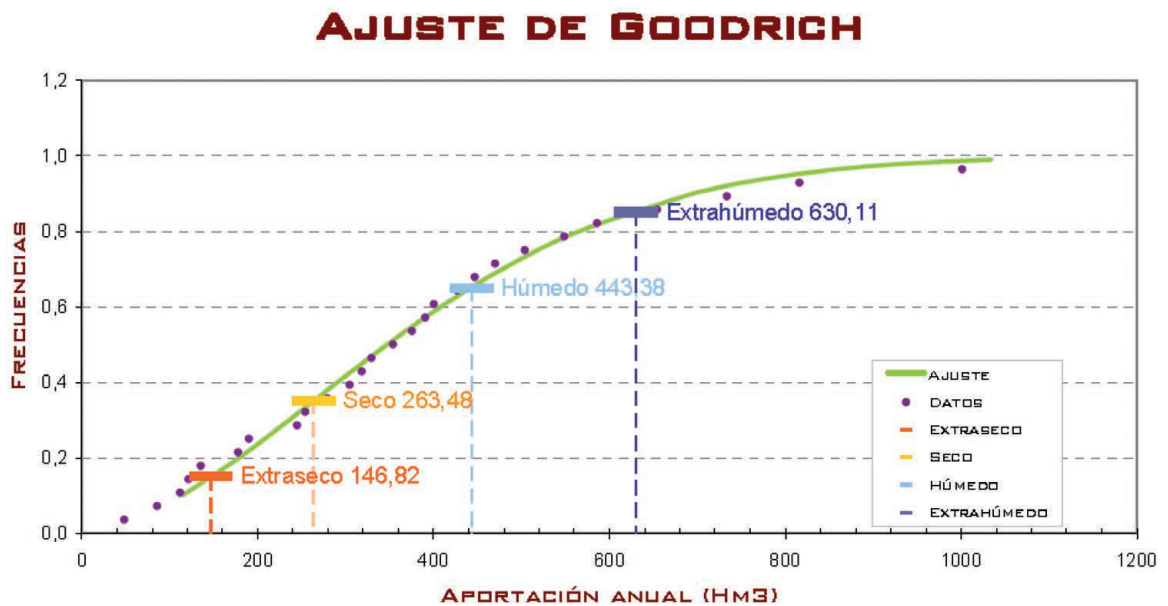


Figura 5. Serie mensual con clasificación de años del río Guadalimar

SERIE DE APORTACIONES
MODELO SIMPA
RÍO GUADALIMAR HASTA EL RÍO GUADALMENA

COD MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511009047	1940	8.233	8.648	5.092	85.185	114.643	48.354	58.048	46.542	22.203	11.645	6.484	4.074	419.15	H
ES0511009047	1941	2.616	1.842	1.490	1.939	5.386	17.697	36.912	14.470	7.636	4.163	2.371	2.314	98.84	S
ES0511009047	1942	1.925	0.902	1.797	9.877	6.960	11.113	9.689	6.100	2.932	1.678	1.046	0.434	54.45	S
ES0511009047	1943	0.668	0.774	33.583	11.922	11.342	11.761	11.733	8.585	4.629	2.410	1.519	1.041	99.97	S
ES0511009047	1944	0.765	0.647	3.612	10.185	7.196	5.171	3.276	1.768	1.628	0.603	0.334	0.324	35.41	S
ES0511009047	1945	0.376	1.662	15.871	14.168	8.772	30.548	76.408	46.674	25.294	13.216	7.115	4.099	244.20	H
ES0511009047	1946	2.924	9.594	20.102	36.819	137.788	141.786	53.699	33.324	18.426	10.273	6.191	3.625	474.55	H
ES0511009047	1947	3.914	1.962	5.273	51.000	43.127	23.823	23.089	26.324	13.420	7.573	3.930	2.491	205.95	M
ES0511009047	1948	7.624	5.744	3.669	2.484	3.093	2.624	2.611	3.170	2.927	1.584	1.046	0.875	37.45	S
ES0511009047	1949	0.752	3.550	4.390	2.770	5.443	5.138	2.925	2.403	1.494	1.220	0.604	0.334	31.02	S
ES0511009047	1950	0.325	0.055	4.141	17.887	38.889	55.461	32.889	23.228	12.750	6.895	3.790	4.771	201.08	M
ES0511009047	1951	3.468	16.392	15.268	16.297	14.377	16.575	32.863	22.869	12.841	6.915	3.821	2.394	164.08	M
ES0511009047	1952	1.582	0.947	12.321	9.827	6.543	4.813	4.520	3.116	1.519	1.245	0.354	0.349	47.14	S
ES0511009047	1953	1.474	1.055	1.073	1.655	11.561	31.354	30.318	17.699	9.410	5.248	3.217	2.057	116.13	S
ES0511009047	1954	1.168	1.789	2.836	33.696	58.307	37.972	24.503	14.530	8.171	4.612	2.919	2.115	192.62	M



5.3.2.2. Construcción de las curvas patrón

Esta metodología para la desagregación a nivel diario de las series de aportaciones mensuales del SIMPA se basa en los registros históricos de las estaciones de aforo en el período en las que estén en régimen natural o sensiblemente natural.

Se estudia el período con datos diarios de cada estación y se analiza la influencia de las obras de regulación que afectan al régimen del río. A partir de las fechas de puesta en funcionamiento de estas infraestructuras se puede determinar el período de datos en que el río permanecía en régimen natural y a partir de cuando está alterado de forma sustancial.

Los patrones obtenidos para cada estación son uno por cada mes del año seco, del medio o húmedo, en total 36 patrones por estación de aforos.

Cada uno de estos patrones se construye a partir de la superposición de los caudales diarios de cada mes y año registrados en la estación de los que se van excluyendo los que no resulten representativos o ya estén representados por uno similar. Al final se adopta la media de los que no hayan sido eliminados de acuerdo con las consideraciones anteriores.

Del análisis efectuado a este respecto se deduce la existencia de un amplio abanico de casuística encontrada a lo largo del proceso, tanto en el camino seguido para su determinación como en el grado de ajuste de la distribución de caudales diarios obtenidos desagregando la aportación mensual real con los caudales realmente medidos en la estación en el mes y año que se compara.

De la consideración de este tipo de análisis se pueden extraer las siguientes conclusiones de cara a la construcción de los patrones:

- En invierno (diciembre-marzo) es cuando se producen las avenidas más significativas variando su intensidad en función de que el año sea seco, medio o húmedo y concentrándose las de mayor cuantía en los meses de enero y febrero.
- Los meses de primavera (abril-junio) se caracterizan por tener caudales medios abundantes (motivados, sobre todo, por el deshielo) pero sin que se produzcan episodios de crecidas significativas.
- En verano no se producen crecidas y los caudales, lógicamente bajos, tienen la distribución más uniforme del año salvo septiembre en el que son más frecuentes las pequeñas crecidas sobre todo en los años medios y húmedos.

En términos generales, independientemente del tipo de año y de la estación de que se trate, la distribución obtenida con el patrón a partir de las aportaciones reales se suele adaptar a la realidad de los distintos años de la serie histórica siempre teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El patrón de cada estación habitualmente se tendrá que transponer en el espacio (la mayor parte de los tramos de río no están controlados por una estación de aforo) y en el tiempo (en la mayoría de los casos), ya que las series mensuales

cubren el período 1940/41 y 2005/06 y las series en régimen natural suelen ser más antiguas, a lo sumo solapando algo en los primeros años

- Los resultados finales no dependen del día en que se produce un determinado caudal tanto en cuantía como en relación a los inmediatamente precedentes o subsiguientes sino de que de hecho el suceso se produzca en ese mes concreto.
- En los casos en que se producen episodios de avenida importantes y no habituales los resultados distorsionan de forma más o menos importante la distribución de caudales diarios, aunque en la mayoría de los casos afectando poco a los caudales bajos que son los que más interesan. En todo caso, observando los gráficos, a la hora de confeccionar los patrones se debe considerar una corrección por avenidas necesaria no solo para que estos caudales altos queden reflejados en la curva de caudales clasificados, cosa que tiene menor interés para la estimación del régimen de caudales ecológicos, sino también para no sobrevalorar el resto de los caudales del mes al distribuir el exceso también en los días no afectados por la avenida.

5.3.2.3. Asignación de patrones a las distintas masas de agua

La asignación de patrones a las distintas masas de agua se realiza sobre la base de los siguientes criterios:

- Hidrorregión a la que pertenece la masa de agua en relación con la estación de aforos en la que se ha construido el patrón.
- Afinidad hidrológica.
- Proximidad geográfica
- Ecotipo al que pertenece la masa considerada.

5.3.3. METODOLOGÍA DE DESAGREGACIÓN MATEMÁTICA

Con esta metodología que pretende encontrar los valores numéricos de los caudales diarios que, siendo continuos entre periodos sucesivos, cumplan con la condición de que la media de los nuevos caudales coincida con el caudal medio del mes deducido de la aportación mensual conocida.

Centrándose en el problema planteado si se consideran la serie de aportaciones mensuales en régimen natural, que denominaremos $A_{i,j}$, siendo el primer subíndice el año y el segundo subíndice el mes y denominado $Q_{i,j,k}$ los caudales correspondiente a esa misma serie se pueden determinar una serie de condiciones "formales" que están determinadas por el propio carácter natural de la magnitud "caudal", estas son:

- a) Todos los caudales deben ser positivos o nulos

$$Q_{i,j,k} \geq 0$$

- b) Igualdad de la media

$$\sum_k Q_{i,j,k} = A_{i,j}$$



- c) Continuidad del caudal entre dos meses consecutivos de forma que el caudal del mes primer día del mes $j+1$ coincida con el último del mes j .

$$Q_{i,j,30} = Q_{i,j,+1,1}$$

Con estas bases el cálculo se realiza con las siguientes hipótesis:

- La primera hipótesis se refiere exclusivamente al primer día de la serie y consiste en suponer que el caudal diario es el medio del primer mes de la serie.
- La segunda hipótesis es considerar que el caudal a fin del primer mes y a principio del segundo mes son iguales y coinciden con la media de los dos primeros meses consecutivos.
- La tercera hipótesis es suponer que los caudales diarios se distribuyen linealmente en cada una de las dos quincenas siendo el caudal diario del día central del mes el necesario para que la media mensual de la serie desagregada sea igual al caudal medio de partida

La forma de obtener el caudal del día central del mes varía en función del número de días del mes y de que se produzca un valor negativo lo que significa que hay uno o más días con caudal cero y hay que valorar cuantos son y de qué manera se distribuyen los que tienen flujo.

Para meses de 30 días el caudal (y) en el día 15 del mes, viene dado por la expresión:

$$\left(\frac{q+y}{2}\right)15 + \left(\frac{y+r}{2}\right)15 = 30m \quad [1]$$

Siendo:

- m : el caudal medio del mes
- q : caudal del día 1 del mes
- r : caudal del día 30 del mes

Operando en la ecuación anterior se puede despejar el valor de y , resultando:

$$y = \frac{4m - q - r}{2}$$

La expresión anterior representa el caudal en el día 15 del mes. Si el caudal en día 15 resultara negativo (con $y=0$ en [1]) se impone la condición que los valores no nulos (sustituyendo en [1] 15 por x , que son los días de la quincena con caudal) sumen el total de la aportación del mes:

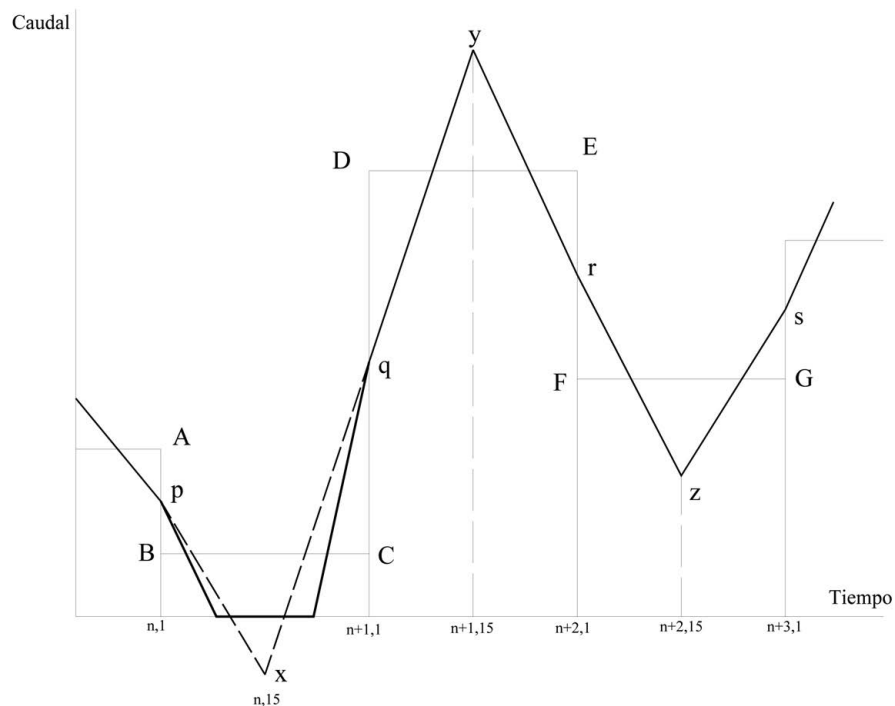
$$x = \frac{120m}{r+q}$$

Siendo $2x$ el número de días con caudal no nulo

Gráficamente, se podría representar como en la figura 6.

Finalmente para meses distintos de treinta días se hacen los ajustes correspondientes.

Figura 6. Desagregación matemática





5.3.4. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA A APLICAR EN CADA TRAMO DE RÍO

La metodología básica para la desagregación a nivel diario de las series de aportaciones mensuales debe basarse inicialmente en las mediciones directas de caudal en estaciones de aforo en régimen natural.

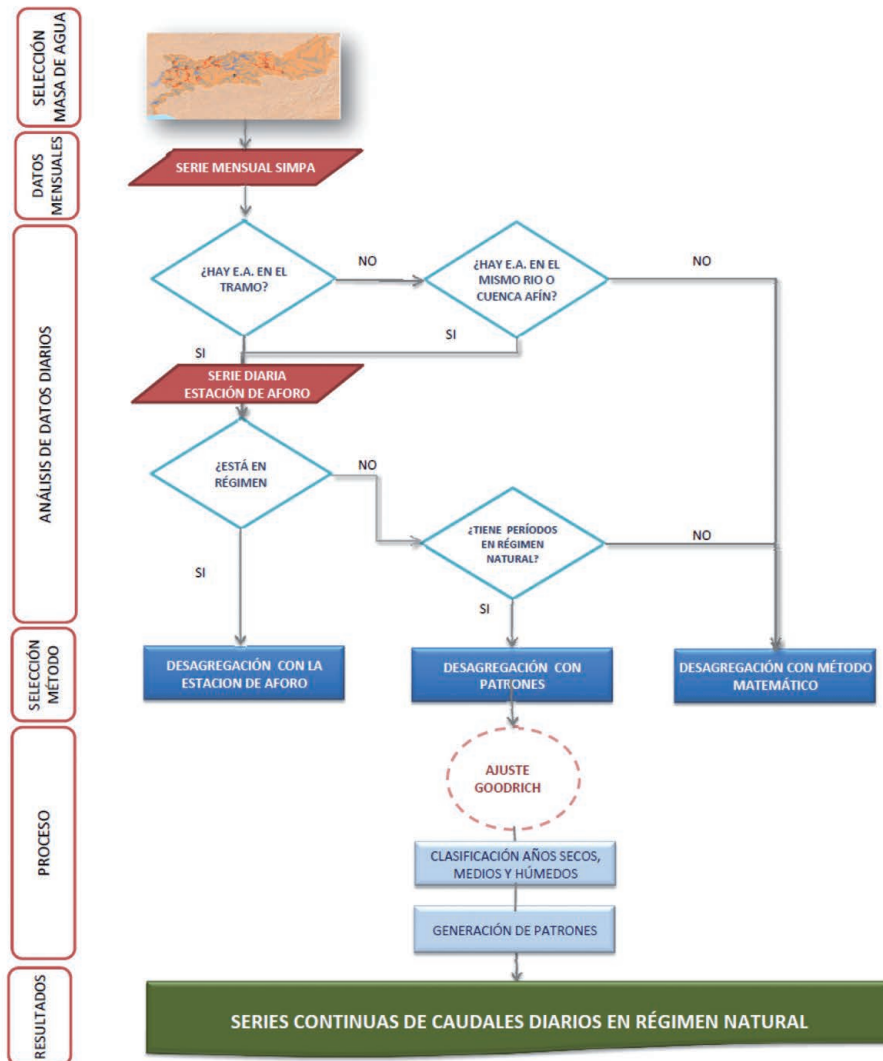
Es claro que aquellas estaciones cuyo dato directo sea en régimen natural será utilizable para el tramo en estudio y para aquellos hidrológicamente afines entendiéndose por tales los que cumplan los criterios clásicos de afinidad y también estén suficientemente próximos como para que los temporales que se produzcan en sus respectivas cuencas afecten, en su mayoría, a ambas a la vez.

Esta metodología también será aplicable en el caso de estaciones que, aun estando actualmente alteradas, en algún período de la serie histórica han estado en régimen natural y la extensión de la serie sea la suficiente para establecer patrones (pesos diarios) en función de la aportación mensual tal como se describe en la Guía.

En el resto de tramos con estaciones de medida podría acudirse a la restitución al régimen natural pero esto, aparte de laborioso y de exigir datos precisos de aportaciones, detecciones y volúmenes embalsados y desembalsados (o niveles de embalse) es difícil que se pueda realizar a nivel diario y, en consecuencia, habría de desecharse este dato y proceder con arreglo a los patrones establecidos en las estaciones con datos en régimen natural o acudir al método matemático anteriormente explicado, que es rápido de aplicación y no precisa de datos adicionales.

El método matemático exige una corrección en caso de ocurrencia de avenidas ya que al basarse la distribución en el caudal inicial y final del mes que a su vez dependen de los volúmenes de aportación del mes anterior y posterior su no consideración supondría no solo las imprecisiones ya explicadas para la construcción del patrón sino también un, en ocasiones, importante error en el mes o meses colindantes que según la intensidad de la avenida podría hacer incompatibles los datos del cálculo.

Figura 7. Flujograma desagregación de series





Para determinar la distribución de caudales pueden existir medidas de caudales (estaciones de aforo) en la cuenca o en otras similares que permitan identificar la “forma” de la distribución. Dicha metodología presenta habitualmente problemas derivados de la falta de datos, de la dificultad de medida de caudales en aguas bajas y sobre todo de la ausencia de datos en régimen natural.

Por otra parte, la distribución de caudales es función de la precipitación neta que se produzca en la cuenca, de manera que analizando la distribución de las lluvias se puede determinar la distribución de los caudales. Es importante destacar que la distribución de precipitaciones es evidentemente en régimen natural, no presentado los problemas que existen en los datos de aforos.

Por todo lo anterior la desagregación de caudales es un proceso que resulta habitualmente difícil y que en general debe de abordarse desde varios puntos de vista tratando en todo los casos de acotar el error que se comete.

Considerando todos estos aspectos es necesario en primer lugar identificar las estaciones de aforo en cada tramo estratégico o cuenca afín y los datos en régimen natural de que disponen. A partir de este análisis la metodología de desagregación preferente será, por este orden:

- Utilización de series diarias en régimen natural si las hubiera
- Utilización de patrones generados a partir de datos en régimen natural y si no es posible la construcción de patrones a partir de estaciones foronómicas
- Desagregación matemática.

5.3.5. GENERACIÓN DE LA SERIE DEFINITIVA DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS EN CADA RÍO.

De la misma forma que las estaciones, todos los años de la serie mensual SIMPA se han clasificado en secos, medios o húmedos.

Una vez asociadas las masas a estaciones de aforo y generados los patrones seco, medio y húmedo para cada estación foronómica seleccionada, se puede proceder a la generación de la serie diaria sintética de caudales en régimen natural para cada masa.

La desagregación se lleva a cabo utilizando el patrón correspondiente al mes de igual tipo, de forma que se obtiene una serie híbrida configurada con datos diarios distribuidos según los distintos patrones que corresponden al tipo de año.

Cuando se aplica el modelo matemático no es necesario realizar esta clasificación. Se aplican las fórmulas tal y como se han descrito.

5.4. CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS RÍOS

Conforme a la IPH, se ha procedido a distinguir las masas de agua superficial de las dos Demarcaciones Hidrográficas en las siguientes categorías:

- Ríos permanentes: cursos fluviales que en, régimen natural, presentan agua fluyendo, de manera habitual, durante todo el año en su cauce.
- Ríos temporales o estacionales: cursos fluviales que, en régimen natural, presentan una marcada estacionalidad, caracterizada por presentar bajo caudal o permanecer secos en verano, fluyendo agua, al menos, durante un período medio de 300 días al año.
- Ríos intermitentes o fuertemente estacionales: cursos fluviales que, en régimen natural, presentan una elevada temporalidad, fluyendo agua durante un período medio comprendido entre 100 y 300 días al año.
- Ríos efímeros: cursos fluviales en los que, en régimen natural, tan sólo fluye agua superficialmente de manera esporádica, en episodios de tormenta, durante un período medio inferior a 100 días al año.

La Guía recoge el procedimiento a seguir para la clasificación de ríos temporales:

1. Contar, para los años disponibles, el número de días al año con caudal de 0 l/s.
2. Sobre la serie de nº de días al año con caudal de 0 l/s, calcular el percentil 80.
3. Según el valor del percentil 80, clasificar el río según las siguientes clases:
 - Permanente: < 7 días/año con $Q_{diario} = 0$ l/s
 - Estacional: 7-100 días/año con $Q_{diario} = 0$ l/s
 - Intermitente: 100-300 días/año con $Q_{diario} = 0$ l/s
 - Efímero: > 300 días/año con $Q_{diario} = 0$ l/s

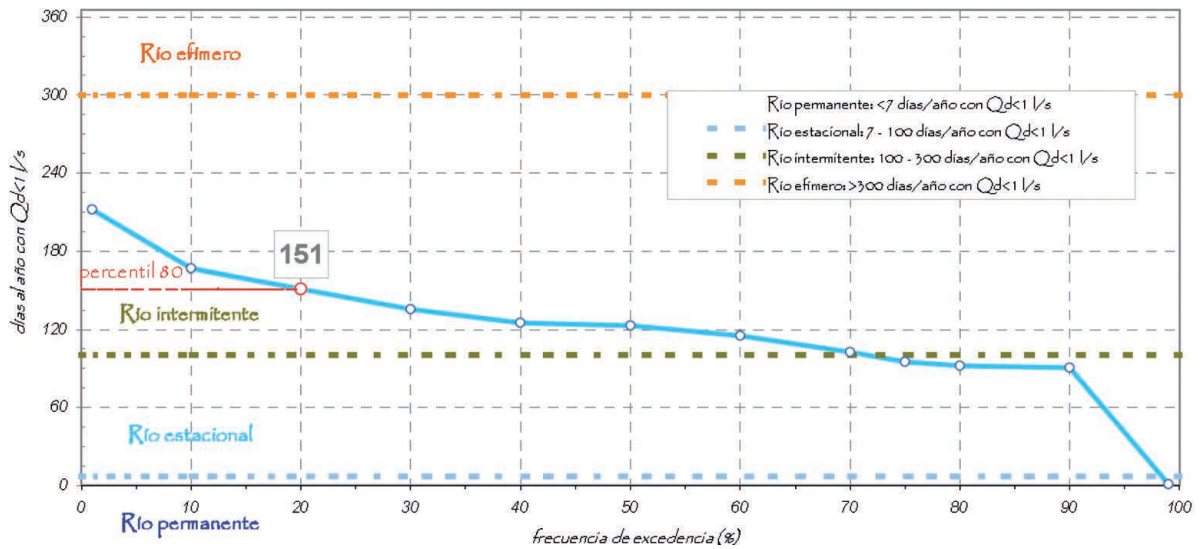
El recuento de años se realiza en las series desagregadas que se han generado para cada masa de agua.

En la práctica, dadas las incertidumbres que comporta la consideración de un caudal circulante como nulo, que dependerá en muchas ocasiones del número de decimales considerado, las referencias a 0 l/s que figuran en la Guía han sido interpretadas como de caudal inferior a 1 l/s (0,001 m³/s).

Tomando como ejemplo la masa 12027 del Guadiana (Río Olivenza II), en la figura 8 podemos ver gráficamente como, por aplicación de esta definición, queda clasificada hidrológicamente como Intermitente.



Figura 8. Clasificación de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana



CLASIFICACIÓN:

- RÍO PERMANENTE: < 7 DÍAS/AÑO CON $Q_d < 1 \text{ l/s}$
- RÍO ESTACIONAL: 7 - 100 DÍAS/AÑO CON $Q_d < 1 \text{ l/s}$
- RÍO INTERMITENTE: 100 - 300 DÍAS/AÑO CON $Q_d < 1 \text{ l/s}$
- RÍO EFÍMERO: > 300 DÍAS/AÑO CON $Q_d < 1 \text{ l/s}$

RÍO INTERMITENTE

NÚMERO DE DÍAS CON $Q < 1 \text{ l/s}$	151 DÍAS/AÑO
APORTACIÓN	33.4 Hm ³ /AÑO

5.5. CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

Conforme a lo expresado en el citado artículo 3.4.1.4.2 de la IPH, la caracterización del periodo de cese de caudal forma parte de los trabajos a desarrollar para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos en los ríos de carácter estacional e intermitente, siendo por tanto de aplicación a 14 de los 19 tramos estratégicos de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, quedando fuera de su aplicabilidad el eje del Guadiana y el río Bullaque; y a 2 de los 12 tramos estratégicos de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir

La caracterización del periodo de cese de caudal, siguiendo las recomendaciones de la Guía, comprende la siguiente secuencia metodológica:

1. Agrupar los datos de caudal diario en años hidrológicos (desde octubre a septiembre).

2. Contar para los años disponibles, el número de días al año con caudal de 1 l/s.
3. Determinar la frecuencia, duración y estacionalidad de los periodos de cese de caudal conforme se explica en los apartados siguientes y se ilustra con un ejemplo:

5.5.1. FRECUENCIA

El proceso para determinar la frecuencia de los eventos de cese de caudal consiste en:

- Contar para cada uno de los años disponibles, el número de eventos con días cuyo caudal es de 1 l/s. Un evento se define como un periodo de cese de caudal (uno o varios meses).
- A partir de la serie del número de eventos al año, seleccionar entre el percentil 25 y 75 para definir la frecuencia de eventos en la propuesta de caudales ambientales.



Figura 9. Frecuencia de los eventos de cese de caudal de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana

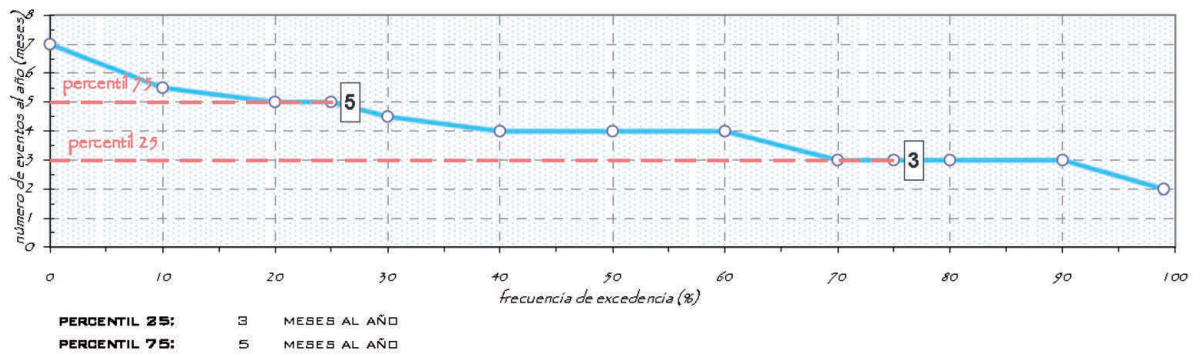


Figura 10. Duración del período de cese de caudal de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana

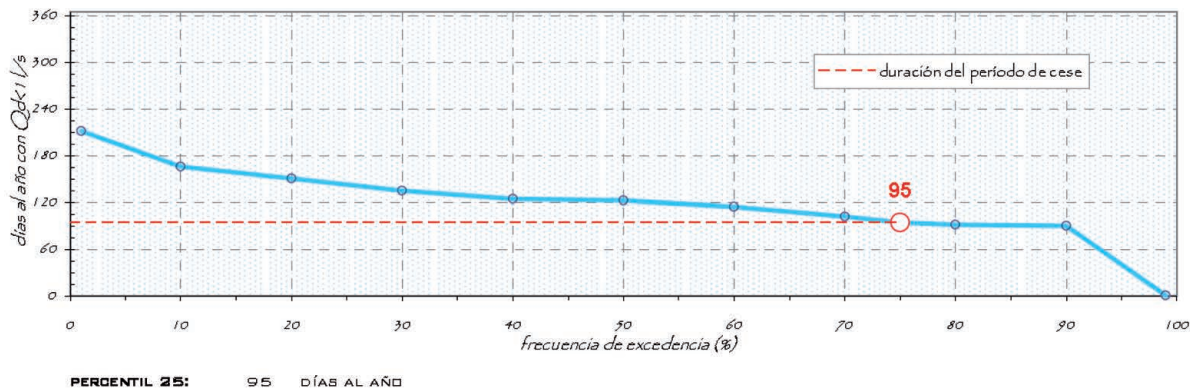
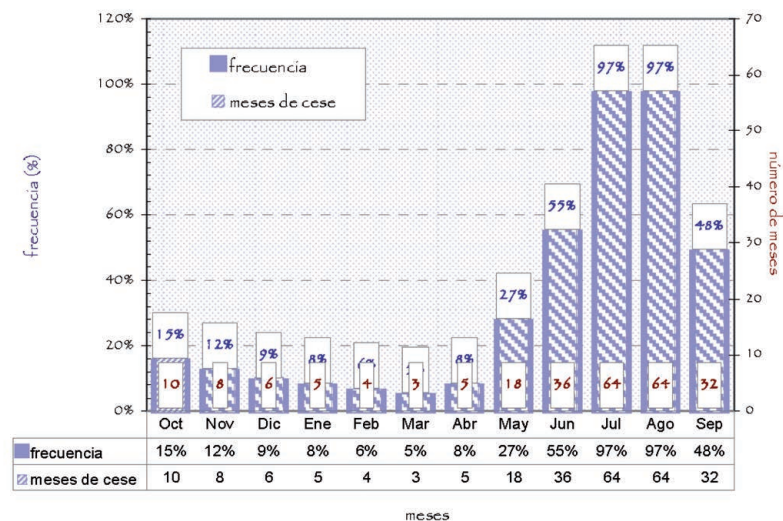


Figura 11. Frecuencias de ocurrencia del cese para cada mes de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana



5.5.2. DURACIÓN

La duración del periodo de cese de caudal queda definida mediante los pasos:

A partir de la serie del número de días al año con caudal de 1 l/s, seleccionar entre el percentil 0 y 25 para definir en la propuesta

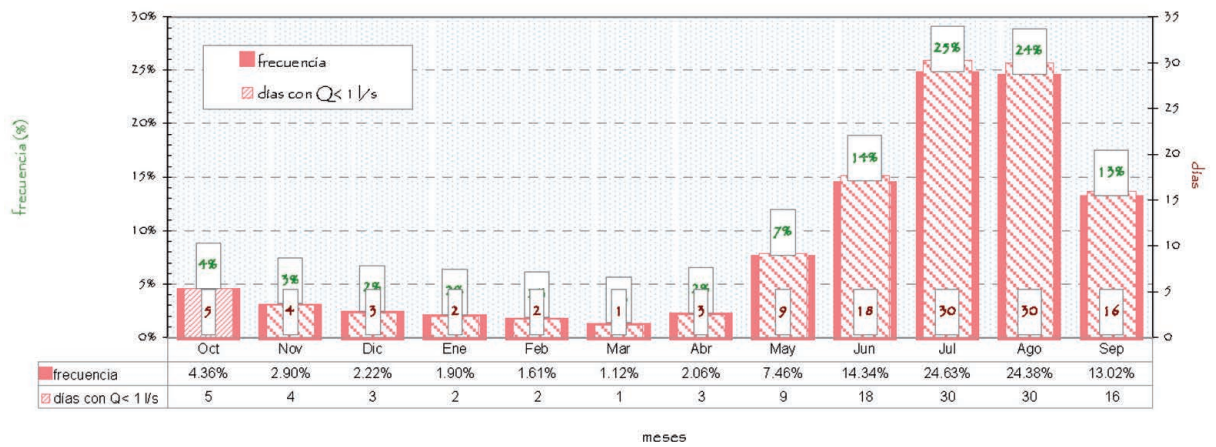
de caudales ambientales la duración del periodo entre meses con caudal de 1 l/s.

5.5.3. ESTACIONALIDAD

La determinación de la estacionalidad de los eventos de cese de caudal requiere:



Figura 12. Estacionalidad de los eventos de cese de caudal de la masa 12027 (Río Olivenza II) del Guadiana



- Registrar el mes de ocurrencia para cada uno de los días con caudal de 1 l/s .
- En el conjunto de todos los días con caudal de 1 l/s , determinar las frecuencias de ocurrencia para cada uno de los meses del año. A partir de la distribución de frecuencias obtenida, definir la estacionalidad para la propuesta de caudales ambientales.

5.5.4. TASA DE RECESIÓN

La determinación de un régimen de caudales ecológicos implica también el establecer unos márgenes admisibles para los cambios de caudal instantáneo en los ríos, o tasa de cambio, que sean compatibles con la capacidad de respuesta de las comunidades naturales.

Así, con objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales, en las masas de agua ubicadas aguas abajo de infraestructuras de regulación, se estima una tasa máxima de cambio en situaciones de gestión ordinaria tanto para las condiciones de ascenso (tasa de ascenso) como de descenso de caudal (tasa de recesión), definida como la máxima diferencia de caudal entre dos valores sucesivos de una serie hidrológica por unidad de tiempo.

Estas tasas de cambio no deberán ser superadas durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas, no siendo de aplicación en las operaciones para mantenimiento y garantizar la seguridad en las presas. Este valor se calcula igualmente para el establecimiento de los caudales máximos que forman parte del régimen de mantenimiento de los ríos.

La tasa máxima de cambio se determina considerando la distribución de variaciones temporales sucesivas en régimen natural. Su estimación se realiza a partir del análisis de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios de, al menos, 20 años de duración, calculando las series clasificadas anuales de incrementos medios diarios, tanto en ascenso como en descenso, sobre las que se establece un percentil de superación en ascenso y en descenso para determinar las tasas de cambio.

Si bien en la IPH se recomienda que el percentil no sea superior al 90-70%, dado el carácter irregular de los ríos es recomendable optar por percentiles en torno al 95%.

5.5.5. PROPUESTA DE CESE ANUAL E HIPERANUAL

Para completar la caracterización, se ha procedido a determinar los períodos de cese que se pueden producir con una periodicidad mayor que la anual.

Los criterios dados en la guía permiten deducir los meses en los que todos los años cesará el caudal en un determinado tramo de río, al que llamaremos "cese anual", pero no la cadencia interanual del cese en los meses en que lo hará de forma intermitente a lo largo de la historia, lo que denominamos "cese hiperanual".

El método a seguir que se propone se basa en un conteo previo de los años consecutivos en los que en un determinado mes el caudal es superior o inferior a 1 l/s y de acuerdo con las siguientes hipótesis de partida:

- El cese anual, entendiendo por tal los meses que en un determinado tramo de río ha de cesar el caudal todos los años, es inmediato por cuanto se referiría a los meses en los que realmente se produce cese por un período igual o superior a 10 años consecutivos.
- Se considera que cesa el caudal un mes completo cuando en dicho mes el caudal circulante es igual o inferior a 1 l/s durante, al menos, 20 días.
- Cuando las condiciones anteriores se cumplen tan solo en años alternos o aislados se prevé un cese hiperanual en las condiciones que se describen a continuación.

Realizado el conteo de años consecutivos en los que por un tramo de río, en un determinado mes del año, circula o no caudal apreciable ($> 1 \text{ l/s}$) hay o no caudal en el río, se obtiene un gráfico como el que, a modo de ejemplo se muestra a continuación, correspondiendo los meses consecutivos en los que hay caudal al percentil 80.



Figura 13. Número de años consecutivos con caudal y sin caudal

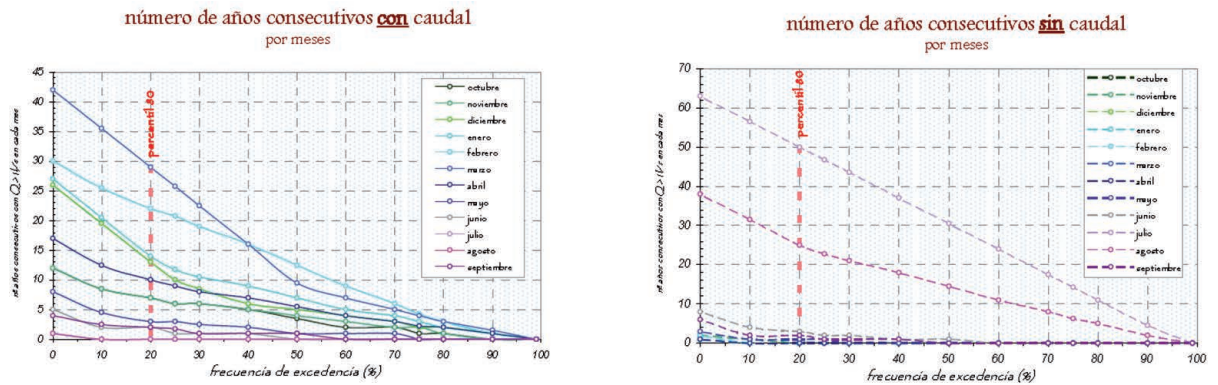
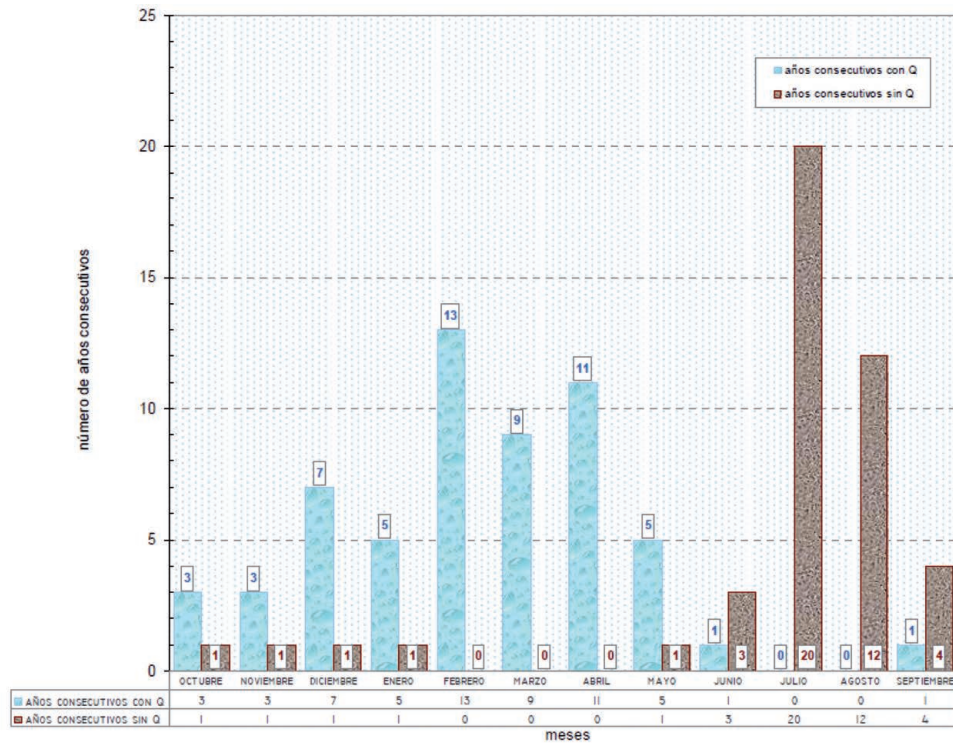


Figura 14. Propuesta de distribución temporal y duración del cese



Lo mismo ocurre con los años que está seco.

A partir de los datos de este gráfico se tomará la decisión de que meses se cesa siempre, que meses no se cesa nunca y, finalmente, que meses se cesa en años alternantes con unos determinados criterios.

La toma de decisiones, a la vista del gráfico en general se puede basar en los siguientes criterios:

- Si el caudal no cesa en períodos superiores a 9 años, es decir, si el cese que se deduce del gráfico es de 1 cada 10 años o más, no cesa nunca.

- Si el número de años consecutivos de cese es mayor que el de años que hay caudal se cesa todos los años.

- Si el número de años consecutivos que hay caudal es igual o superior en cuatro años al que se obtiene de cese, tampoco cesa nunca.

En el ejemplo propuesto en la figura anterior, en los meses de junio, julio, agosto y septiembre el caudal cesaría siempre, en el período diciembre-mayo no cesaría nunca y en los meses de octubre y noviembre cesaría una vez en cada período de cuatro años.



6. RESULTADOS

Se han realizado los ajustes Goodrich a las estaciones foronómicas, obteniéndose los umbrales de clasificación en años secos, medios y húmedos. Los resultados se incluyen en el Apéndice 1.

Posteriormente se ha analizado la serie diaria de cada estación para establecer años pueden estar afectados por obras de regulación y los posibles períodos en régimen natural. El resumen de existencias para cada cuenca se encuentra en el Apéndice 2.

A partir de estos datos se han generado los patrones para todas las estaciones posibles siguiendo la metodología expuesta en el apartado 4.3.2.2.

6.1. CUENCA DEL GUADIANA

Atendiendo a la ubicación de las estaciones foronómicas, se realiza una preselección de las opciones de desagregación para cada tramo de estudio:

Tabla 3. Metodología de desagregación de series para los tramos prioritarios del Guadiana

Tramo	Metodología
12010 Río Lácara	EA 252 (Lácara 1942- 1981) (1)
12013 Río Zapatón II	EA 252 o EA 251 (río Rucas 1950-1983) (2)
12024 Río Guadamatilla II	EA916 o M. Matemático (3)
12027 Río Olivenza II	EA176 o M. Matemático
13353 Río Guadiana IV	EA 8 o M. Matemático
13354 Río Guadiana VI	EA 19 o M. Matemático
13355 Río Guadiana V	EA 14 o M. Matemático
13387 Rivera de los Limonetes	EA 165 o M. Matemático
13393 Río Guadajira	EA 165 o M. Matemático (4)
13397 Río Matachel II	EA 163 (Matachel en Alange 1969-1983) o M. Matemático
13398 Río Matachel III	EA 163 (Matachel en Alange 1969-1983) o M. Matemático
13408 Río Búrdalo	EA 253 (río Rucas 1950-1983)
13414 Río Rucas IV	EA 253 (río Rucas 1950-1983)
13423 Río Zújar II	EA 105 (1942-64) (5)
13450 Río Bullaque	EA 210 y EA 214 (1942-74) (6)
13463 Río Jabalón III	EA 103 (1950-91) (7)
13218 Río Guadiana VII	EA 19 o M. Matemático
13366 Río Alcarache II	EA 176 M. Matemático
13359 Río Ardila II	EA 176 o M. Matemático (8)

Teniendo en cuenta las siguientes observaciones:

1. La estación tiene lagunas pero es utilizable en el período señalado.
2. La EA 255, en el mismo río, tiene datos desde 1969 y el Embalse de Villar del Rey se construyó en 1948. También es un problema el hecho de que, aparte de tener muchas lagunas

(sobre todo entre 1980 y 1985), la cuenca a estudiar está muy en la cabecera y es posible que se adapte mejor otra de estas características, por ejemplo la EA 253 situada próxima a la desembocadura del río Rucas con una serie prácticamente completa y en régimen natural entre 1950 y 1983, año en el que se construye la presa de Talarrubias, que en todo caso es muy pequeña y no afecta significativamente al régimen natural, lo que permitiría ampliar la serie, pero la laguna existente entre 1983 y 1987 no la hace utilizable hasta el final.

3. En el río no hay estaciones de aforo y la del Zújar, del que es tributario abarca una cuenca mucho mayor y de características muy diferentes. Quedaría la posibilidad de utilizar la EA 162 (en el río Guadajira, pero solo dispone de datos entre 1962 y 1975 y con importantes lagunas. También es posible la utilización de la EA 108 en el Tirteafuera, con datos en régimen natural en el período 1984-02, pero habrá que analizar su afinidad hidrológica.
4. Las estaciones EA 151 y 162 de este río tienen ambas muchas lagunas pero puede ser utilizable una combinación de ambas que hay que estudiar lo cual es de gran interés porque de este patrón podría salir toda la margen izquierda del curso medio desde la c/ Zújar, como es el caso ya citado en la nota anterior del Guadamatilla.
5. En el río Zújar hay 3 estaciones pero solo una (105) con datos (1923-2005). Se podrá utilizar en su período en régimen natural, es decir hasta 1964, fecha de construcción del embalse del Zújar. Hasta 1943 hay muchas lagunas.
6. Las dos estaciones pueden usarse complementariamente. La primera (210) tiene datos utilizables entre 1942 y 1974, fecha de construcción del embalse de Torre de Abraham, en cabecera y la otra (214) en las proximidades de la desembocadura, con datos entre 1965 y 1974.
7. La estación EA 103 está en la desembocadura y tiene datos sin apenas lagunas en el período señalado. Se corta en 1991 porque en esta fecha se construyen los embalses de Mary Sánchez y Vega de Jabalón.

La estación EA 174 en el río Ardila inmediatamente aguas abajo de los embalses de Brobales (1960) y Valungo (1959) no dispone de datos hasta 1970 y, en consecuencia, no hay períodos en régimen natural, lo que impide la utilización del método en toda la margen derecha del Guadiana aguas debajo de Badajoz (ríos Olivenza y Alcarache)

Una vez desagregada la serie mensual, ya se dispone de series diarias de caudales con las que se puede proceder a clasificar hidrológicamente las masas conforme a lo expuesto en el apartado 4.4.

Los valores obtenidos mediante la aplicación de los criterios antes expresados figuran en la tabla 4, la cual recoge la categoría de clasificación que corresponde a cada uno de los tramos analizados.

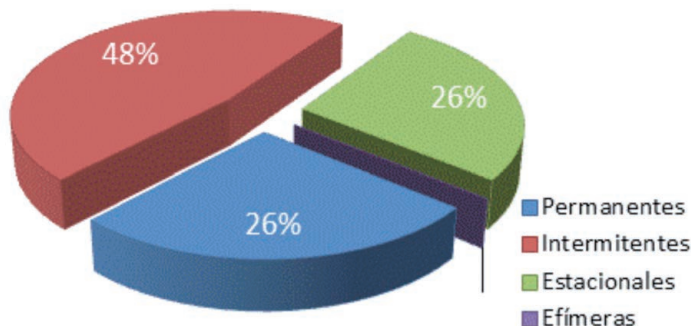
Los gráficos se incluyen en el Apéndice 4.



Tabla 4. Clasificación de las masas estratégicas de la DH Guadiana

Código	Nombre	Percentil 80	Clasificación
12010	Río Lácara	123	Intermitente
12013	Río Zapatón II	115	Intermitente
12024	Río Guadamatilla II	183	Intermitente
12027	Río Olivenza II	151	Intermitente
13353	Río Guadiana IV	0	Permanente
13354	Río Guadiana VI	0	Permanente
13355	Río Guadiana V	0	Permanente
13387	Rivera de los Limonetes	120	Intermitente
13393	Río Guadajira	123	Intermitente
13397	Río Matachel II	114	Intermitente
13398	Río Matachel III	97	Estacional
13408	Río Búrdalo	92	Estacional
13414	Río Rucas IV	62	Estacional
13423	Río Zújar II	62	Estacional
13450	Río Bullaque	0	Permanente
13463	Río Jabalón III	120	Intermitente
13218	Río Guadiana VII	0	Permanente
13366	Río Alcarache II	153	Intermitente
13359	Río Ardila II	92	Estacional

Figura 15. Clasificación hidrológica de las masas del Guadiana



Utilizando el criterio previamente expresado, en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana sólo cinco de las masas estratégicas consideradas (el río Bullaque y el eje del Guadiana desde el Guadiana IV al Guadiana VII) tendrían carácter permanente, siendo estacionales cuatro (Zújar II, Rucas IV, Búrdalo y Ardila II) e intermitentes el resto.

Las masas intermitentes suponen un 48% del total, siendo estacionales el 26% y permanentes otro 26%.

El tramo considerado en el sistema fluvial del río Guadamatilla (Guadamatilla II) alcanza el valor más alto del indicador considerado (valor 183 en el citado percentil 80), siendo reseñables a este mismo respecto el tramo fluvial del río Alcarache II (valor 153), si bien en todo caso suficientemente alejados del umbral inferior de los ríos efímeros (definido para los casos en que se superan, en el percentil 80, los 300 días con caudal inferior a 1 l/s).

A continuación se procede a caracterizar el ces de caudal en los tramos intermitentes y estacionales. Los resultados obtenidos figuran en la tabla 5, tramo por tramo (los valores de frecuencia, duración y estacionalidad del período de cese, la distribución en el período considerado del número anual de eventos y del número de días de cese de caudal) y gráficamente están incluidos en el Apéndice 5.

De dichos resultado se deduce la necesidad de establecer períodos de cese de caudal para los tramos de estudio de carácter estacional e intermitente (esto es, la totalidad de los tramos de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana a excepción del Bullaque y el eje del Guadiana desde el Guadiana IV al Guadiana VII).



Tabla 5. Propuesta de periodos de cese en la DH Guadiana

Código masa	Nombre masa	Clasificación	Cese seguro (todos los años)	Cese de caudal		
				Cese hiperanual		
				Mes	Nº años	Cada
12010	Río Lácara	Intermitente	Junio-Julio-Agosto	Septiembre	2	4
12013	Río Zapatón II	Intermitente	Julio-Agosto	Junio	2	4
				Septiembre	1	3
12024	Río Guadamatilla II	Intermitente	Junio-Julio-Agosto-Septiembre	Mayo	1	2
12027	Río Olivenza II	Intermitente	Junio-Julio-Agosto	Mayo	1	4
				Septiembre	2	4
13218	Río Guadiana VII	Permanente	-			
13353	Río Guadiana IV	Permanente	-			
13354	Río Guadiana VI	Permanente	-			
13355	Río Guadiana V	Permanente	-			
13359	Río Ardila II	Estacional	Julio-Agosto	Junio	1	5
				Septiembre	1	5
13366	Río Alcarache II	Intermitente	Junio-Julio-Agosto -Septiembre	Mayo	1	6
13387	Rivera de los Limonetes	Intermitente	Julio-Agosto	Junio	1	3
				Septiembre	1	5
13393	Río Guadajira	Intermitente	Julio-Agosto	Junio	2	4
				Septiembre	1	4
13397	Río Matachel II	Intermitente	Julio-Agosto	Junio	1	4
				Septiembre	1	4
13398	Río Matachel III	Estacional	Julio-Agosto	Junio	1	2
				Septiembre	1	5
13408	Río Búrdalo	Estacional	Julio-Agosto	Junio	1	7
				Septiembre	1	5
13414	Río Rucas IV	Estacional	Julio-Agosto			
13423	Río Zújar II	Estacional	-	Julio	1	3
				Agosto	1	3
13450	Río Bullaque	Permanente	-			
13463	Río Jabalón III	Intermitente	Julio-Agosto	Junio	1	6
				Septiembre	1	4

Se ha considerado un período máximo y uno mínimo de cese, los cuales en ciertos casos son coincidentes, completando la propuesta con la indicación del cese de carácter hiperanual.

A la vista de los resultados presentados, puede destacarse que la cuantificación del período de cese de caudales, en todos los casos centrada en los meses de estiaje (de junio a septiembre) oscila entre 1 y 4 meses.



Tabla 6. Metodología de desagregación de series para los tramos prioritarios del Guadalquivir

Tramo	Metodología
ES0511002001 Bajo del río Guadamar	M. Matemático o EA 57
ES051100063 Final río Viar	EA 127 (río Huesna 1976-1990) (1)
ES051100070 Final río Jándula	EA 25 (Guadalmena 1940- 1969) (2)
ES051100079 Final río Guadalimar	EA 25 (río Guadalmena 1940- 1969)
ES0511002008 Final río Corbones	Matemático o EA 81 (río Guadajoz) o EA 125 (3)
ES0511014002 Final río Guadajoz	EA 16 o EA 81 (río Guadajoz 1972-1995) (4)
ES0511007022 Final río Guadalbullón	EA 29 (río Guadalbullón 1940-2005) (5)
ES051100107 Río Castril agua abajo presa Portillo	EA 17 (río Castril 1943-1995) (6)
ES051100076 Río Genil en Puente Genil	EA 47 o EA 45 (río Genil 1943-1969)
ES051100083 Río Guadiana Menor aguas abajo presa Negratín	EA 23 o EA 19 (E Negratín 1942-1984)
ES051100115 Río Guadalquivir en Pedro Marín	M. Matemático o EA 3
ES051100110 Río Guadalquivir aguas abajo confl. con Guadiato	M. Matemático o EA 8

Tabla 7. Clasificación de las masas estratégicas de la DH Guadalquivir

Código	Nombre	Percentil 8o	Clasificación
ES0511002001	Tramo bajo del río Guadamar y afluentes por su margen derecha	o	Permanente
ES0511002008	Río Corbones aguas abajo del arroyo Salado de Jarda hasta la desembocadura	o	Permanente
ES0511007022	Río Guadalbullón desde las Infantas hasta el embalse de Mengíbar	o	Permanente
ES0511014002	Tramo bajo del río Guadajoz	o	Permanente
ES051100063	Río Viar aguas abajo de la presa de Melonares		Permanente
ES051100070	Río Jándula aguas abajo de la Loma de las Buenas Hierbas	39	Estacional
ES051100076	Río Genil aguas abajo del embalse de la Cordobilla	o	Permanente
ES051100079	Río Guadalimar desde el arroyo de Fuente Álamo hasta el embalse de Mengíbar	39	Estacional
ES051100083	Río Guadiana Menor aguas abajo del río Fardes	o	Permanente
ES051100107	Río Castril aguas abajo de la presa del Portillo	o	Permanente
ES051100110	Río Guadalquivir aguas abajo del río Guadajoz hasta el río Genil	o	Permanente
ES051100115	Río Guadalquivir desde la presa de Pedro Marín hasta Sotogordo	o	Permanente

6.2. CUENCA DEL GUADALQUIVIR

De la misma forma que para el Guadiana, se estudian las mejores opciones de desagregación para cada masa del Guadalquivir (tabla 6).

Con algunos comentarios sobre las particularidades:

1. La EA13o solo tiene datos desde 1976 y el Embalse de Pintado se construyó en 1948. En 1990 se construye el embalse del Huesna.
2. El Jándula está regulado desde muy antiguo por 3 embalses. Se estudia la afinidad con el Guadalimar y si no es fiable la trasposición, se utiliza el método matemático.
3. La estación EA 125 de este río tiene muchas lagunas aunque valdría cualquier período ya que está en régimen natural hasta el año 1994 en el que se termina la presa de Puebla de Cazalla. La estación 123 en el río Madre fuentes (con datos desde 1968) también tiene muchas lagunas aunque está en régimen natural. La del Genil aunque colindante no sería afín no solo por sus características físicas sino también por su cabecera de carácter nival.
4. La estación EA 81, en el curso medio del propio río Guadajoz tiene datos desde 1972 y aunque con algunas lagunas se

podría utilizar hasta el año 1995 en el que se construye el embalse de Vadomojón.

5. El río está en régimen natural y la estación EA 29 aunque con lagunas es aprovechable.
6. El río está regulado por la presa del Portillo desde 1995 y la estación EA 17 funciona desde 1927. Aunque tiene amplias y numerosas lagunas podría ser utilizable aunque no trasponible.
7. La estación EA 19, en el curso medio del Guadiana Menor tiene datos desde 1942 y aunque con alguna laguna se puede utilizar hasta el año 1984 en el que se construye el embalse del Negratín, despreciando el efecto del embalse de La bolera que afecta a una mínima parte de la cuenca y que se puso en funcionamiento en el año 1967.

Una vez generadas las series diarias de caudales se puede continuar con la metodología del apartado 4.4.

Los valores obtenidos mediante la aplicación de los criterios de clasificación hidrológica de la IPH antes expresados figuran en la tabla 7, la cual recoge la categoría de clasificación que corresponde a cada uno de los tramos analizados.



Figura 16. Clasificación hidrológica de las masas del Guadalquivir

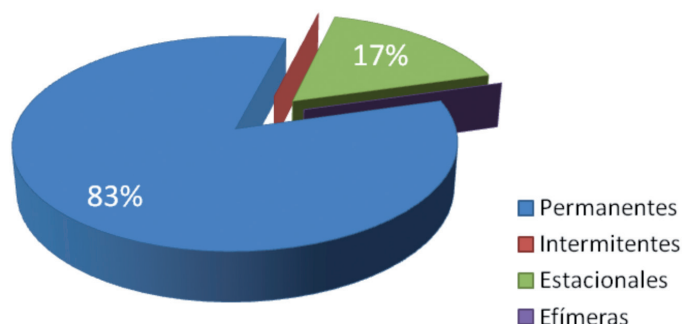


Tabla 8. Propuesta de períodos de cese en la DH Guadalquivir

Código masa	Nombre masa	Clasificación	Cese de caudal			
			Cese seguro (todos los años)	Cese hiperanual		
				Mes	Nº años	Cada
ES0511002001	Tramo bajo del río Guadimar y afluentes por su margen derecha	Permanente	-			
ES0511002008	Río Corbones aguas abajo del arroyo Salado de Jarda hasta la desembocadura	Permanente	-			
ES0511007022	Río Guadalbullón desde las Infantas hasta el embalse de Mengibar	Permanente	-			
ES0511014002	Tramo bajo del río Guadajoz	Permanente	-			
ES0511000063	Río Viar aguas abajo de la presa de Melonares	Permanente	-			
ES0511000070	Río Jándula aguas abajo de la Loma de las Buenas Hierbas	Estacional	-	-	-	-
ES0511000076	Río Genil aguas abajo del embalse de la Cordobilla	Permanente	-			
ES0511000079	Río Guadalimar desde el arroyo de Fuente Álamo hasta el embalse de Mengibar	Estacional	-	-	-	-
ES0511000083	Río Guadiana Menor aguas abajo del río Fardes	Permanente	-			
ES0511000107	Río Castril aguas abajo de la presa del Portillo	Permanente	-			
ES0511000110	Río Guadalquivir aguas abajo del río Guadajoz hasta el río Genil	Permanente	-			
ES0511000115	Río Guadalquivir desde la presa de Pedro Marín hasta Sotogordo	Permanente	-			

Utilizando el criterio previamente expresado, 10 de los 12 tramos estratégicos de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir poseen carácter permanente, siendo los restantes ríos estacionales conforme al criterio de la Guía. Los dos tramos estacionales (códigos ES0511000079 y ES0511000070) coinciden en el valor calculado de percentil 80, el cual es prácticamente intermedio entre el límite superior de los ríos intermitentes y el inferior de los ríos permanentes

Las masas estratégicas permanentes suponen, pues, el 83% del total, siendo estacionales el 17%, y no apareciendo intermitentes ni efímeras entre las masas seleccionadas como estratégicas.

En la cuenca del Guadalquivir la caracterización del cese es de aplicación a los 2 tramos estacionales de los 12 tramos seleccionados como prioritarios, figurando los resultados gráficos en el Apéndice 5 y numéricamente la tabla 8.

A tenor del reducido número de días con cese así como de la dispersión de los eventos a lo largo de tres o cuatro meses, en los ríos estacionales estudiados, no se produce cese durante un mes completo, ni siquiera considerando ceses hiperanuales. Por tanto, estos tramos deben tratarse de igual modo que un tramo permanente.

7. DISCUSIÓN

Es claro que el mejor método para acometer la desagregación de la aportación mensual en caudales medios diarios es la utilización de los datos de aforo existentes. Sin embargo la aplicación del método tiene dificultades y limitaciones como es la poca exactitud de las mediciones de caudales bajos y sobre todo porque la mayoría de las existentes no están situadas en tramos de río en régimen natural y, en muchos casos no lo han estado en ningún período de la serie histórica.



En estos casos hay que acudir a otros métodos, diferentes o complementarios, como es el caso de la extrapolación de los patrones a otras cuencas hidrológicamente afines, o al empleo de métodos matemáticos corrigiendo o no las series obtenidas de acuerdo con las precipitaciones, dato directo que solo exige conocer la respuesta de la cuenca para ser utilizado con garantía. Los patrones generados reproducen el comportamiento de una supuesta estación de aforo en régimen natural situada en el mismo tramo, por lo que resulta el método más preciso aunque también el más laborioso.

El método matemático anteriormente explicado, consistente en suponer una distribución lineal en los días del mes con caudal da resultados suficientemente ajustados, es rápido de aplicación y no precisa de datos adicionales. Quizá podría mejorarse si se realizan ajustes polinómicos, pero no está clara que la diferencia en el margen de error justifique las complicaciones adicionales que ello conlleva.

Es importante que el problema se aborde desde dos o más métodos ya que eso permite un análisis comparativo de los resultados. Las metodologías pueden ser contrastadas en casos reales, partiendo de una distribución de caudales diarios de los que se obtienen las aportaciones mensuales y a la que se le aplica los distintos procesos de desagregación pudiéndose cuantificar los errores cometidos.

8. CONCLUSIONES

- Para dar cumplimiento al artículo 3.4.1.4.2 de la IPH es necesario caracterizar los períodos de cese de caudal en los ríos intermitentes y estacionales.
- Para una correcta caracterización de cada tramo hay que disponer de series diarias de caudales de al menos 20 años, en régimen natural y representativas del régimen hidrológico.
- Lo habitual es no contar con dicha información, pues las estaciones de aforo que miden datos diarios suelen tener su régimen hidrológico alterado.
- Se dispone de series mensuales asociadas a todas las masas en régimen natural procedentes de modelos precipitación-escurrentía.
- Se pueden generar series sintéticas de datos diarios en régimen natural por diversos métodos. En este trabajo se han expuesto los criterios generales y se han desarrollado especialmente las metodologías basadas en desagregación matemática y en desagregación en función de patrones.
- La generación de patrones diarios se basa en la identificación de períodos en régimen natural en la serie foronómica y en la diferenciación del comportamiento para años secos, medio y húmedos. Esta diferenciación se ha realizado tanto en las estaciones de aforo como en las series de aportaciones.
- La desagregación matemática no necesita de ningún apoyo. Es más simple y con criterios únicamente estadísticos y de

continuidad de las series. Constituye el mejor recurso cuando no se puede emplear otra técnica.

- Tanto para las DHGn como para la DHGqr ha sido posible generar patrones en suficientes estaciones de aforo como para realizar la desagregación de todas las masas estratégicas por este método.
- Las masas tipo río de clasifican hidrológicamente, según la IPH, en permanentes y temporales. Estos últimos, a su vez, pueden ser estacionales, intermitentes o efímeros, en función del valor de sus datos diarios de caudal. Se ha realizado la clasificación hidrológica de todas las masa estratégicas de estudio.
- De las 19 masas estratégicas de la DHGn, 9 se clasifican como intermitentes, 5 como estacionales y otras 5 como permanentes.
- Sólo 2 de las 12 masas estratégicas de la DHGq son temporales, concretamente estacionales. Las otras 10 son permanentes.
- Mediante el análisis de las series diarias de caudales generadas se puede caracterizar el cese de caudal, definidos por su frecuencia, duración y estacionalidad. El procedimiento se basa en el recuento de días con y sin caudal, eventos de cese, duración de los mismos, su frecuencia, meses en que se producen, etc. y la aplicación de percentiles a los datos resultantes. Esta caracterización del cese de caudal se ha realizado para los tramos estratégicos temporales en estudio, obteniendo una visión del comportamiento de los ríos dentro de cada año.
- Para no limitar la caracterización a los ciclos anuales, se ha desarrollado una metodología para extender el análisis a los ciclos hiperanuales, quedando de esta forma completamente definido el comportamiento en el tiempo de los ríos temporales ante episodios de cese de caudal.
- Como resultado de la aplicación se ha generado, para cada masa temporal, una propuesta de cese de caudal que sirve de guía y ayuda para la toma de decisiones en la gestión hídrica. De una forma simple se puede conocer el comportamiento del río y gestionar los períodos que se pueden permitir que el río permanezca sin caudal, con qué frecuencia, duración y cada cuantos años.
- Mientras que la cuenca del Guadiana presenta ceses anuales e hiperanuales en todas sus masas temporales, en los ríos estacionales de la cuenca del Guadalquivir estos no se aprecian, comportándose por tanto como ríos permanentes.

9. BIBLIOGRAFÍA

- CEDEX. 1996. *Sistema Integrado para la Modelación del proceso Precipitación Aportación (SIMPA)*. <http://hercules.cedex.es/Hidrologia/pub/proyectos/simpa.htm>
- CEDEX. 2007. *Actualización del Estudio de Recursos Hidráulicos con la aplicación del modelo SIMPA*.



- CE, 2000. *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de Octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.*
- CE. 2014. Documento CIS 31. *Guidance Document on Ecological Flows (Eflows) in the implementation of the Water Framework Directive.*
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. 1998. *Estudio del caudal ecológico por tramo de río, en ámbito de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (varias provincias).*
- Fernández Yuste, J.A., Martínez Santa-María, C., Magdaleno, F. 2012. *Application of hydrologic alterations in the designation of heavily modified water bodies in Spain. Environmental Science & Policy* 16: 31-43.
- Heras, R. 1976. *Hidrología y Recursos Hidráulicos.* Ministerio de Obras Públicas. España.
- Magdaleno, F. 2005. *Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones.* Monografía CEDEX M-82. Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento. 194 p.
- Magdaleno, F. 2009. *Manual técnico de cálculo de caudales ambientales.* Colegio de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. 240 p.
- Magdaleno, F. 2011. *¿Debe el agua de los ríos llegar al mar? Una gestión medioambiental del agua en España.* Ed. Los libros de la Catarata-Fundación Alternativas. 106 p.
- Magdaleno, F. 2005. *Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones.* Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones, Madrid.
- MAGRAMA. 2013. *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.*
- MAGRAMA. 2013. *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.*
- MARM, Grupo de Trabajo de Caudales ecológicos. 2008. *Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos.*
- MARM. 2008. *Instrucción de planificación hidrológica.*
- Martínez, R., Magdaleno, F., Ortiz J., Martínez Santa-María, C., Fernández Yuste J.A. 2011. SEDAH: servidor de datos para el estudio de la alteración hidrológica. *Ingeniería Civil* 164: 78-90.
- MMA. 2001. *Plan Hidrológico Nacional.*
- MMA. 2001. *Texto Refundido de la Ley de Aguas.*
- MOPU. 1986. *Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.*
- The World Bank. 2003. *Environmental Flows, Concepts and Methods.* Water Resources and Environment Technical Note C1. Washington.
- UPV. 2002. *Modelo de análisis de series hidrológicas MASHWIN. Manual de usuario.* Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.



10. APÉNDICES

10.1. APÉNDICE 1: AJUSTES DE GOODRICH EN ESTACIONES DE AFORO

Aportaciones anuales (Hm³)

Número de años: 42





Datos	Frecuencia	Ajuste
184,89	0,10	0,00
399,76	0,20	30,81
1874,14	0,30	78,22
1054,56	0,40	133,43
658,24	0,50	199,19
673,03	0,60	280,18
816,86	0,70	385,21
352,64	0,80	534,13
800,57	0,90	790,52
284,46	0,91	829,65
239,44	0,92	873,44
482,13	0,93	923,14
820,91	0,94	980,57
518,74	0,95	1048,59
431,69	0,96	1131,96
392,69	0,97	1239,62
240,78	0,98	1391,68
134,50	0,99	1652,39
71,40		
460,74		
565,17		
559,29		
208,84		
98,49		
88,57		
87,45		
101,86		
93,12		
34,84		
47,84		
31,87		
59,41		
28,47		
26,03		
24,76		
16,11		
21,79		
30,65		
118,41		
18,64		
16,51		
18,15		

Estación de aforo 8

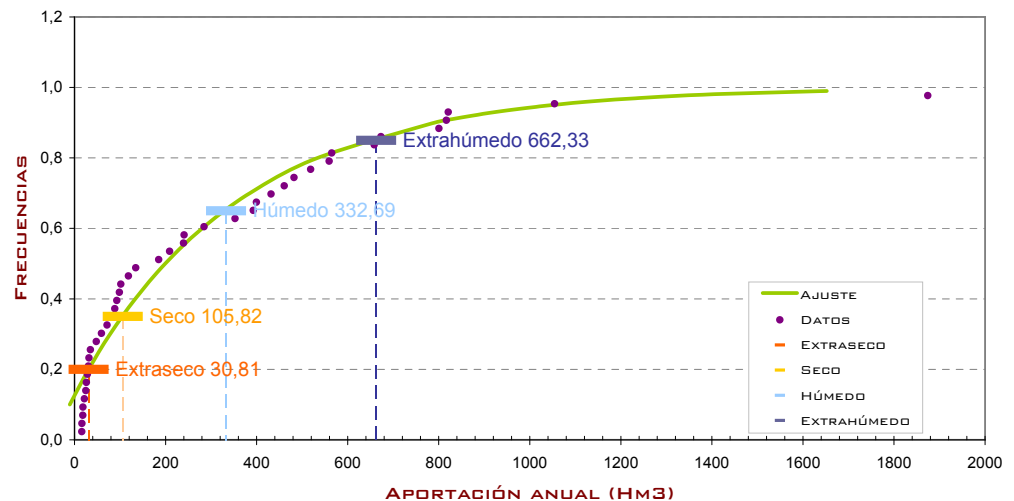
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	314,01
U2	MEDIA CUADRÁTICA	234.090,77
U3	MEDIA CÚBICA	261.568.800,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	368,088
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	1.029.725,12
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	2,0647
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	1,0214
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-46,342
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,002801

Umbrales

EXTRASECO	30,81 Hm ³ /año	
SECO	105,82 Hm ³ /año	
HÚMEDO	332,69 Hm ³ /año	
EXTRAHÚMEDO	662,33 Hm ³ /año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 16





Datos	Frecuencia	Ajuste
184,89	0,10	247,05
399,76	0,20	302,89
1874,14	0,30	363,43
1054,56	0,40	431,18
658,24	0,50	509,30
673,03	0,60	602,82
816,86	0,70	720,86
352,64	0,80	883,67
800,57	0,90	1155,09
284,46	0,91	1195,74
239,44	0,92	1241,03
482,13	0,93	1292,18
820,91	0,94	1350,99
518,74	0,95	1420,22
431,69	0,96	1504,52
392,69	0,97	1612,55
	0,98	1763,66
	0,99	2019,29

Estación de aforo 8_Vicario

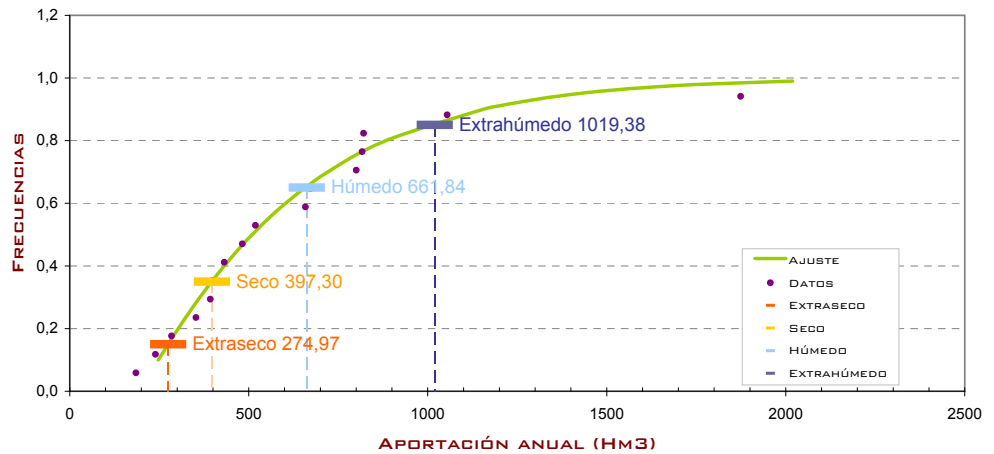
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	624,046
U2	MEDIA CUADRÁTICA	549.469,25
U3	MEDIA CÚBICA	656.274.944,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	400,044
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	1.136.416,80
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,7751
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,9234
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	191,195
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,002241

Umbrales

EXTRASECO	274,97 Hm3/año	
SECO	397,30 Hm3/año	
HÚMEDO	661,84 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	1019,38 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 64





Datos	Frecuencia	Ajuste
3290,63	0,10	0,00
3275,43	0,20	199,02
1264,25	0,30	511,07
1707,85	0,40	830,16
766,40	0,50	1172,31
1003,74	0,60	1556,34
871,24	0,70	2012,42
697,06	0,80	2603,45
844,09	0,90	3520,07
161,72	0,91	3651,64
114,73	0,92	3796,72
691,33	0,93	3958,78
3795,01	0,94	4142,89
1243,00	0,95	4356,81
151,21	0,96	4613,43
271,79	0,97	4936,60
1655,45	0,98	5379,02
2475,64	0,99	6105,07
292,04		
151,92		
680,07		
1637,23		
1908,80		
609,38		
1683,22		
4009,89		
2484,88		
4153,50		
5190,45		
5499,02		
962,56		
4447,53		
1505,60		
892,11		
2807,39		
4278,18		
851,39		
1089,35		
884,76		
533,09		
558,48		
404,34		
3620,72		
4027,52		
4982,72		
791,18		
298,82		
265,06		
60,31		
176,49		
1704,08		
875,67		
476,92		
1203,63		

Estación de aforo 14

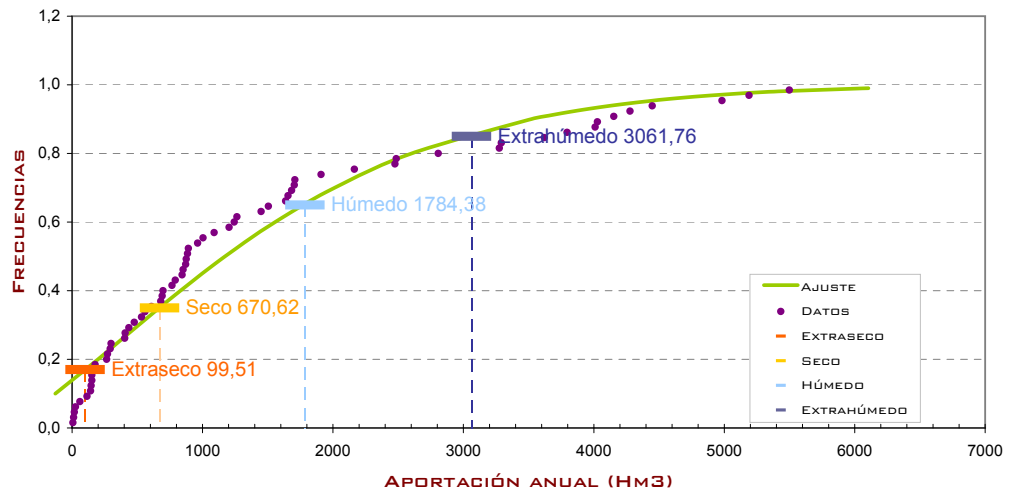
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	1485,734
U2	MEDIA CUADRÁTICA	4.418.108,50
U3	MEDIA CÚBICA	16.969.435.136,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	1486,843
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	38.362.682,88
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,1671
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,7025
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-600,624
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,000436

Umbrales

EXTRASECO	99,51 Hm3/año	
SECO	670,62 Hm3/año	
HÚMEDO	1784,38 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	3061,76 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 22





Datos	Frecuencia	Ajuste
3290,63	0,10	47,98
3275,43	0,20	298,68
1264,25	0,30	532,91
1707,85	0,40	769,27
766,40	0,50	1020,00
1003,74	0,60	1298,76
871,24	0,70	1626,88
697,06	0,80	2048,20
844,09	0,90	2694,72
161,72	0,91	2786,94
114,73	0,92	2888,47
691,33	0,93	3001,70
3795,01	0,94	3130,11
1243,00	0,95	3279,03
151,21	0,96	3457,28
271,79	0,97	3681,19
1655,45	0,98	3986,74
2475,64	0,99	4485,94
292,04		
151,92		
680,07		
1637,23		

Estación de aforo 14_Cijara

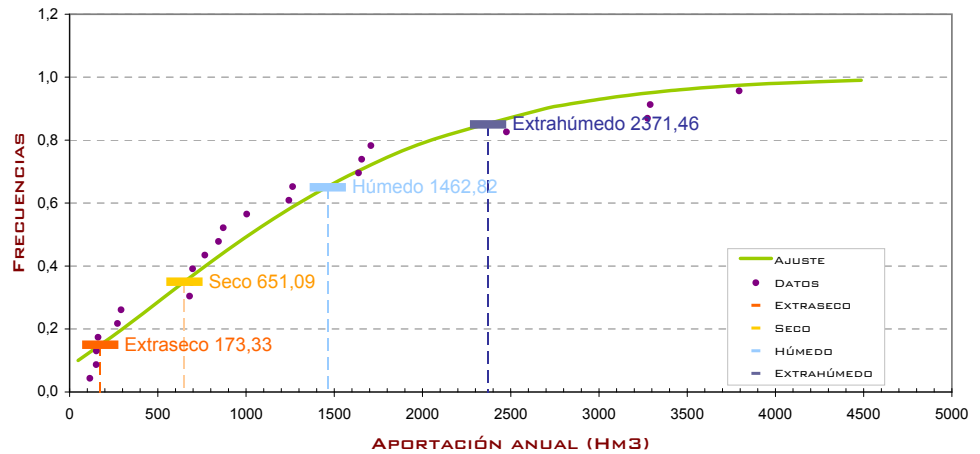
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	1229,174
U2	MEDIA CUADRÁTICA	2.650.266,75
U3	MEDIA CÚBICA	7.373.373.952,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	1067,426
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	13.146.974,72
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,081
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,67
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-335,743
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,000577

Umbrales

EXTRASECO	173,33 Hm3/año	
SECO	651,09 Hm3/año	
HÚMEDO	1462,82 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	2371,46 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 43





Datos	Frecuencia	Ajuste
5289,20	0,10	49,32
1628,98	0,20	598,78
1079,54	0,30	1153,99
2213,19	0,40	1745,52
917,16	0,50	2401,17
826,61	0,60	3158,91
13767,98	0,70	4084,14
5606,19	0,80	5317,63
4327,39	0,90	7294,53
2078,17	0,91	7583,87
6886,65	0,92	7904,39
2012,65	0,93	8264,24
3149,83	0,94	8675,25
424,96	0,95	9155,70
494,85	0,96	9735,96
1631,38	0,97	10472,51
9049,06	0,98	11490,81
3408,02	0,99	13185,11
171,08		
537,05		
2162,17		
3133,56		
473,50		
263,24		
1412,73		
4035,03		
2669,76		
481,01		
2145,07		
4906,05		
4369,12		
5981,50		
7063,00		
9512,55		
1743,64		
9110,53		
2118,98		
608,24		
5596,62		
1568,63		
292,09		
579,15		
215,11		

Estación de aforo 19

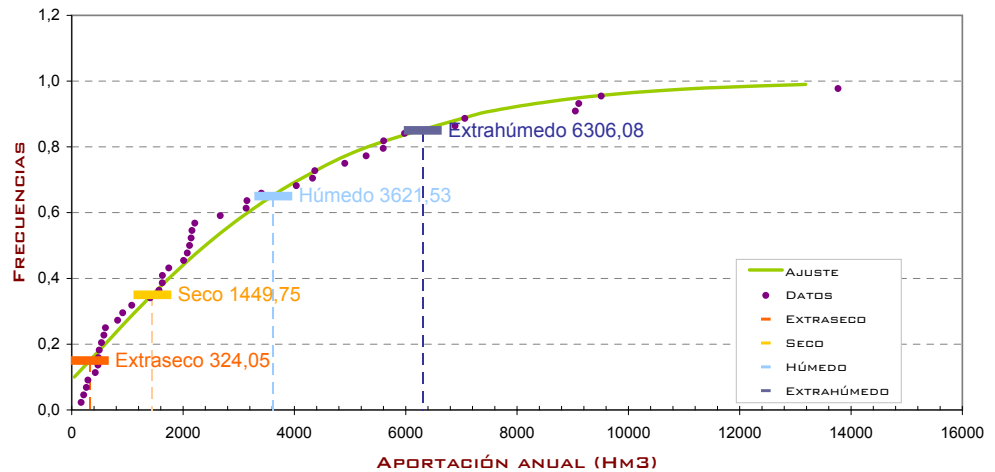
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	3161,423
U2	MEDIA CUADRÁTICA	19.303.264,000
U3	MEDIA CÚBICA	#####
S	DESVIACIÓN TÍPICA	3051,011
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	408.333.148,16
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,4377
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,803
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-615,212
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,000247

Umrales

EXTRASECO	324,05 Hm3/año	
SECO	1449,75 Hm3/año	
HÚMEDO	3621,53 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	6306,08 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 26





Datos	Frecuencia	Ajuste
5289,20	0,10	155,52
1628,98	0,20	542,08
1079,54	0,30	972,98
2213,19	0,40	1464,55
917,16	0,50	2040,42
826,61	0,60	2739,28
13767,98	0,70	3633,07
5606,19	0,80	4882,48
4327,39	0,90	6998,09
2078,17	0,91	7317,89
6886,65	0,92	7674,91
2012,65	0,93	8079,08
3149,83	0,94	8544,93
424,96	0,95	9094,95
494,85	0,96	9766,81
1631,38	0,97	10631,01
9049,06	0,98	11845,55
3408,02	0,99	13913,54
171,08		
537,05		
2162,17		
3133,56		
473,50		
263,24		
1412,73		
4035,03		

Estación de aforo 19_Cijara

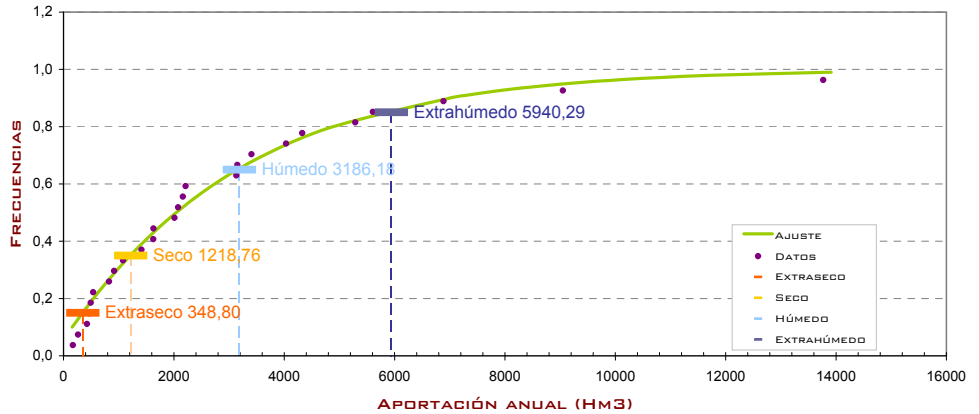
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	2960,775
U2	MEDIA CUADRÁTICA	18.216.028,00
U3	MEDIA CÚBICA	165.482.889.216,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	3074,059
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	555.916.410,88
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,9137
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,9709
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-205,029
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,000312

Umbrales

EXTRASECO	348,80 Hm3/año	
SECO	1218,76 Hm3/año	
HÚMEDO	3186,18 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	5940,29 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 39

Datos	Frecuencia	Ajuste
3,78	0,10	0,00
24,52	0,20	3,15
64,01	0,30	13,95
6,81	0,40	25,43
0,22	0,50	38,14
5,36	0,60	52,82
72,65	0,70	70,72
24,61	0,80	94,56
0,10	0,90	132,72
30,04	0,91	138,30
130,68	0,92	144,49
91,73	0,93	151,42
203,33	0,94	159,35
236,66	0,95	168,61
177,70	0,96	179,79
53,84	0,97	193,98
118,81	0,98	213,59
15,19	0,99	246,20
15,45		
89,79		
140,58		
79,62		
57,20		
7,54		
60,85		
10,63		
1,54		
71,29		
80,61		
70,52		
17,27		
5,85		
4,17		
20,13		
39,70		
7,24		
1,33		
14,61		
0,28		

Estación de aforo 103

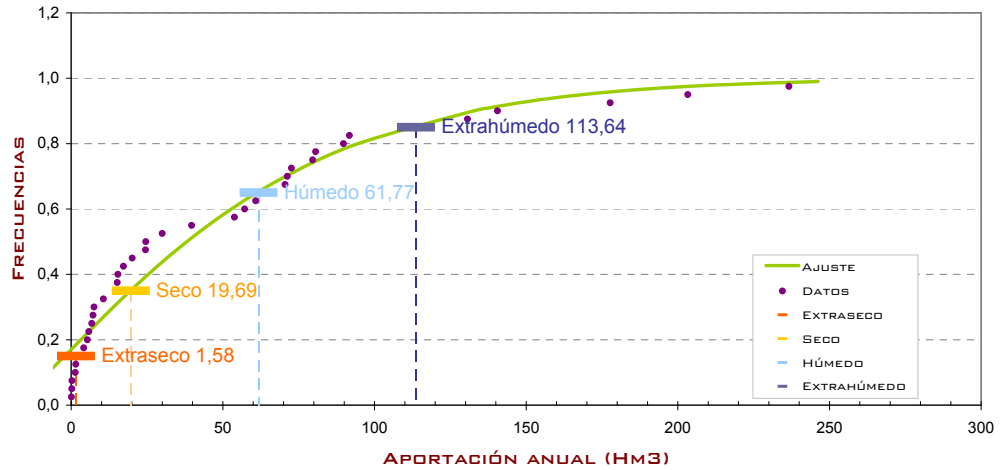
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	52,715
U2	MEDIA CUADRÁTICA	6.254,40
U3	MEDIA CÚBICA	988.673,13
S	DESVIACIÓN TÍPICA	58,953
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	292.547,34
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,4278
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,7993
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-20,579
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,012705

Umbrales

EXTRASECO	1,58 Hm3/año	
SECO	19,69 Hm3/año	
HÚMEDO	61,77 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	113,64 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 24

Datos	Frecuencia	Ajuste
283,49	0,10	0,00
91,90	0,20	48,29
109,36	0,30	151,40
384,19	0,40	261,23
581,78	0,50	382,95
202,70	0,60	523,60
86,81	0,70	695,32
228,70	0,80	924,21
1270,25	0,90	1291,00
492,95	0,91	1344,68
28,25	0,92	1404,14
93,40	0,93	1470,90
462,25	0,94	1547,14
69,64	0,95	1636,27
9,28	0,96	1743,90
198,68	0,97	1880,52
774,66	0,98	2069,39
589,60	0,99	2383,63
182,33		
911,09		
1372,13		
821,06		
1515,29		
2227,25		

Estación de aforo 105

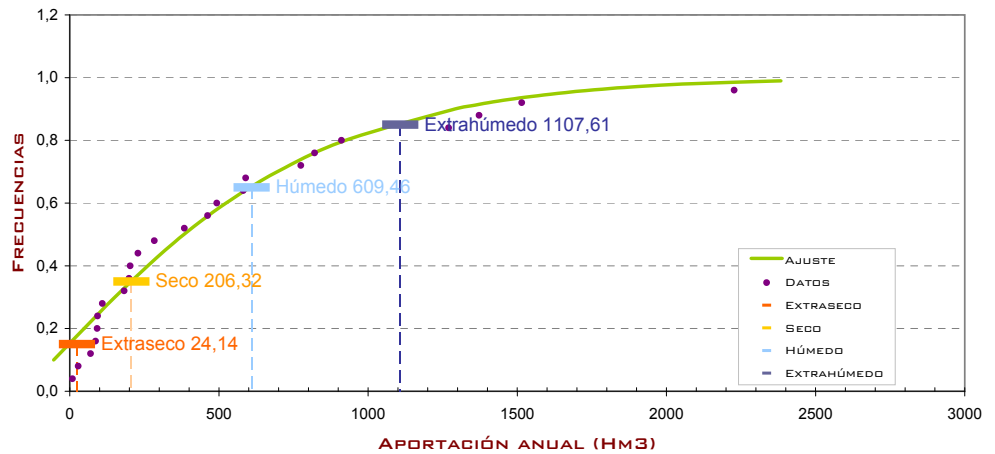
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	523,462
U2	MEDIA CUADRÁTICA	594.159,00
U3	MEDIA CÚBICA	906.408.128,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	565,815
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	2.602.194,08
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,4365
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,8025
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-177,336
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,00133

Umbrales

EXTRASECO	24,14 Hm3/año	
SECO	206,32 Hm3/año	
HÚMEDO	609,46 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	1107,61 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 25

Datos	Frecuencia	Ajuste
72,89	0,10	0,00
75,35	0,20	22,11
112,31	0,30	54,47
190,09	0,40	88,70
34,69	0,50	126,42
54,64	0,60	169,79
30,89	0,70	222,49
51,74	0,80	292,40
20,59	0,90	403,78
341,19	0,91	420,03
692,06	0,92	438,02
348,46	0,93	458,19
228,32	0,94	481,21
297,14	0,95	508,09
136,53	0,96	540,51
138,79	0,97	581,61
6,56	0,98	638,33
56,38	0,99	732,48
19,73		
472,18		
227,17		
454,79		
92,17		
13,66		
40,99		

Estación de aforo 163

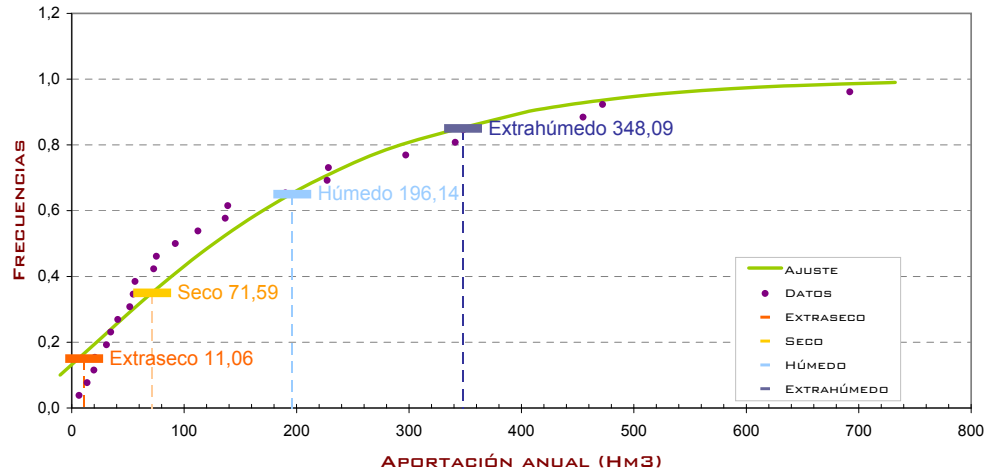
Parámetros estadísticos

Parámetro	Descripción	Valor
X	MEDIA	168,376
U2	MEDIA CUADRÁTICA	58.341,93
U3	MEDIA CÚBICA	27.140.736,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	173,18
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	7.217.675,00
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,3896
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,7853
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-50,564
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,004237

Umbrales

Categoría	Valor (Hm3/año)	Color
EXTRASECO	11,06	Naranja
SECO	71,59	Amarillo
HÚMEDO	196,14	Verde claro
EXTRAHÚMEDO	348,09	Verde oscuro

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 13





Datos	Frecuencia	Ajuste
83,45	0,10	4,15
18,14	0,20	11,75
28,60	0,30	18,36
26,36	0,40	24,71
21,01	0,50	31,19
25,05	0,60	38,14
61,03	0,70	46,05
12,10	0,80	55,87
19,02	0,90	70,36
8,77	0,91	72,38
77,27	0,92	74,59
65,88	0,93	77,04
6,29	0,94	79,80
	0,95	82,98
	0,96	86,75
	0,97	91,45
	0,98	97,78
	0,99	107,96

Estación de aforo 165

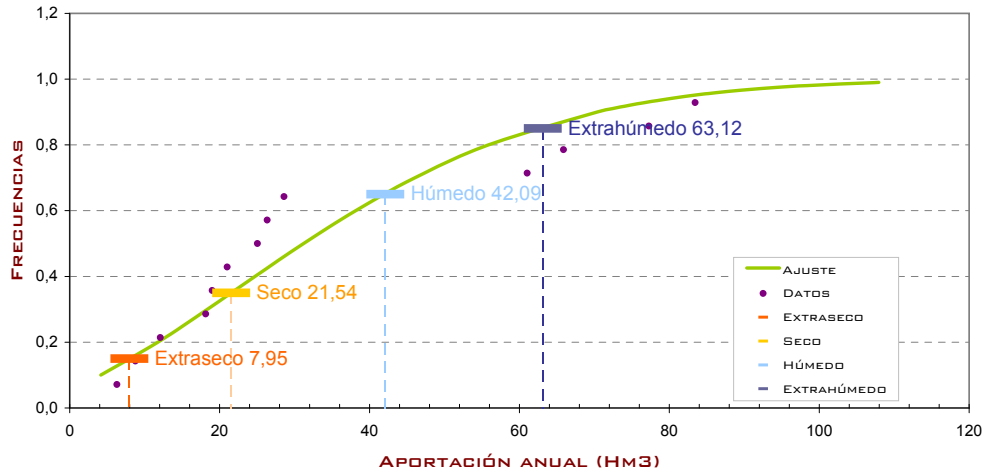
Parámetros estadísticos

Parámetro	Descripción	Valor
X	MEDIA	34,843
U2	MEDIA CUADRÁTICA	1.887,23
U3	MEDIA CÚBICA	125.994,31
S	DESVIACIÓN TÍPICA	25,946
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	13.324,69
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,7628
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,5495
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-10,741
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,019499

Umbrales

EXTRASECO	7,95 Hm3/año	
SECO	21,54 Hm3/año	
HÚMEDO	42,09 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	63,12 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 25





Datos	Frecuencia	Ajuste
166,69	0,10	4,40
49,44	0,20	9,00
49,53	0,30	14,15
67,33	0,40	20,04
27,05	0,50	26,95
28,03	0,60	35,36
22,25	0,70	46,13
106,57	0,80	61,22
18,15	0,90	86,82
5,69	0,91	90,69
21,54	0,92	95,02
14,51	0,93	99,92
35,12	0,94	105,57
44,19	0,95	112,24
30,30	0,96	120,40
26,57	0,97	130,89
50,82	0,98	145,65
19,67	0,99	170,80
99,86		
29,90		
4,25		
22,21		
2,13		
3,24		
8,63		

Estación de aforo 176

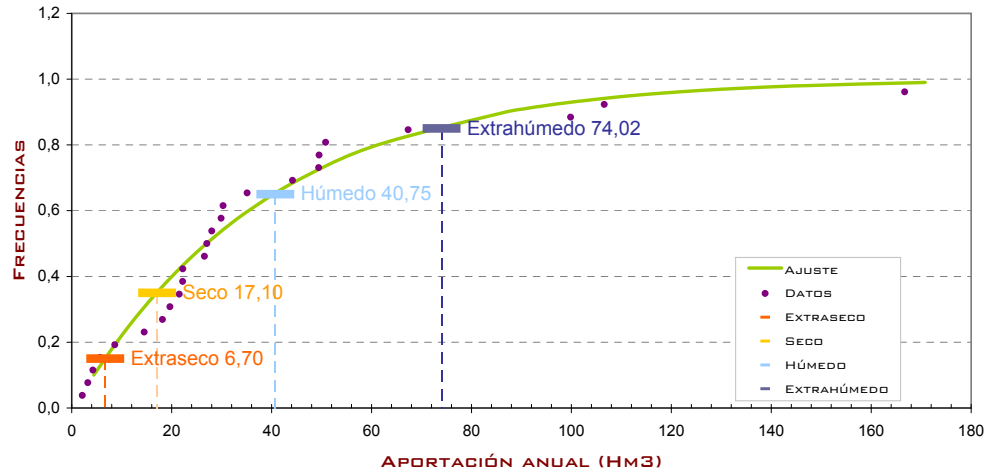
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	38,147
U2	MEDIA CUADRÁTICA	2.834,77
U3	MEDIA CÚBICA	312.443,25
S	DESVIACIÓN TÍPICA	37,143
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	99.051,52
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,933
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,9775
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,151
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,026074

Umbrales

EXTRASECO	6,70 Hm3/año	
SECO	17,10 Hm3/año	
HÚMEDO	40,75 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	74,02 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 25





Datos	Frecuencia	Ajuste
72,89	0,10	0,00
75,35	0,20	22,11
112,31	0,30	54,47
190,09	0,40	88,70
34,69	0,50	126,42
54,64	0,60	169,79
30,89	0,70	222,49
51,74	0,80	292,40
20,59	0,90	403,78
341,19	0,91	420,03
692,06	0,92	438,02
348,46	0,93	458,19
228,32	0,94	481,21
297,14	0,95	508,09
136,53	0,96	540,51
138,79	0,97	581,61
6,56	0,98	638,33
56,38	0,99	732,48
19,73		
472,18		
227,17		
454,79		
92,17		
13,66		
40,99		

Estación de aforo 163

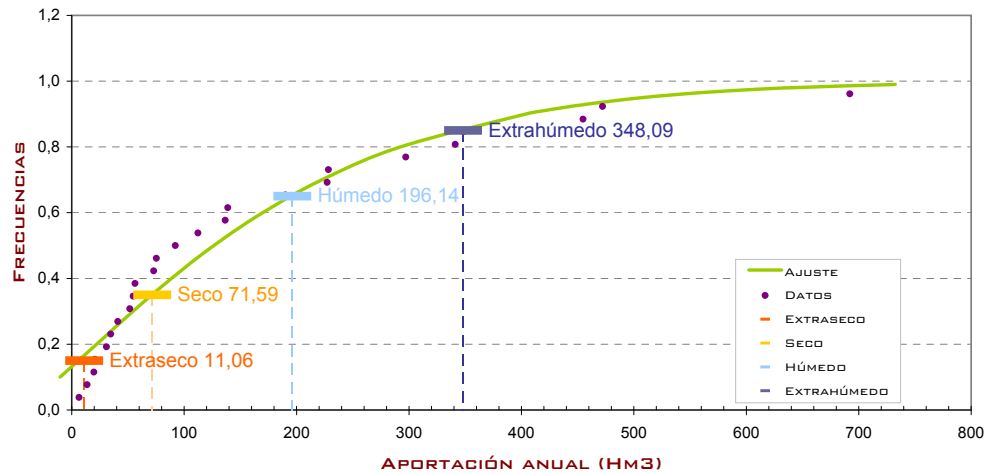
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	168,376
U2	MEDIA CUADRÁTICA	58.341,93
U3	MEDIA CÚBICA	27.140.736,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	173,18
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	7.217.675,00
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,3896
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,7853
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-50,564
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,004237

Umbrales

EXTRASECO	11,06 Hm3/año	
SECO	71,59 Hm3/año	
HÚMEDO	196,14 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	348,09 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 45





Datos	Frecuencia	Ajuste
65,17	0,10	6,81
28,75	0,20	18,05
90,56	0,30	29,12
69,67	0,40	40,72
55,15	0,50	53,40
7,57	0,60	67,86
34,87	0,70	85,32
4,72	0,80	108,32
10,46	0,90	144,67
91,62	0,91	149,94
41,09	0,92	155,78
23,76	0,93	162,31
11,93	0,94	169,76
62,73	0,95	178,44
59,87	0,96	188,90
17,84	0,97	202,13
38,96	0,98	220,34
13,97	0,99	250,47
76,21		
69,35		
37,39		
17,46		
13,05		
15,00		
49,98		
18,33		
11,15		
27,42		
106,25		
57,12		
94,61		
150,24		
209,11		
125,56		
197,98		
229,30		
201,66		
77,80		
55,16		
126,97		
127,35		
58,20		
52,54		
41,16		
26,71		

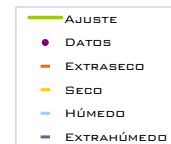
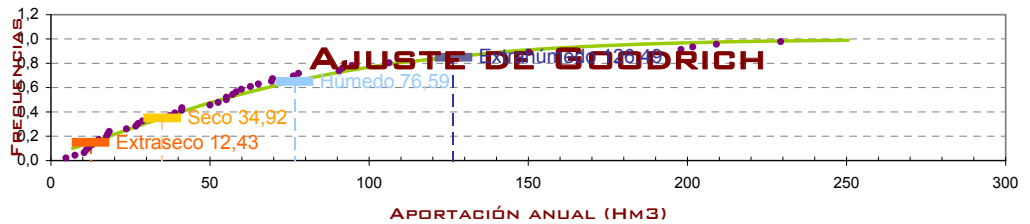
Estación de aforo 210

Parámetros estadísticos

X	MEDIA	66,711
U2	MEDIA CUADRÁTICA	7.719,14
U3	MEDIA CÚBICA	1.198.188,13
S	DESVIACIÓN TÍPICA	57,173
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	247.109,44
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,3222
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,7604
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-7,797
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,012367

Umbrales

EXTRASECO	12,43 Hm3/año	
SECO	34,92 Hm3/año	
HÚMEDO	76,59 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	126,49 Hm3/año	





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 28





Datos	Frecuencia	Ajuste
50,33	0,10	22,43
18,38	0,20	54,26
204,33	0,30	86,25
61,39	0,40	120,20
134,57	0,50	157,71
120,81	0,60	200,94
43,88	0,70	253,59
119,18	0,80	323,60
20,82	0,90	435,44
43,94	0,91	451,78
699,82	0,92	469,88
284,73	0,93	490,18
53,64	0,94	513,36
430,69	0,95	540,44
317,43	0,96	573,12
91,68	0,97	614,57
178,66	0,98	671,83
162,52	0,99	766,98
67,29		
631,23		
186,10		
166,18		
327,87		
461,54		
290,51		
168,28		
159,11		
109,77		

Estación de aforo 214

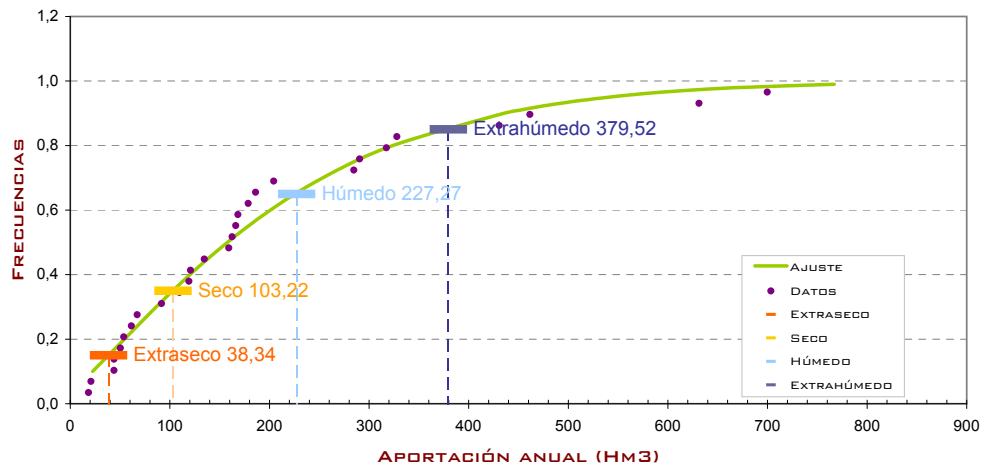
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	200,164
U2	MEDIA CUADRÁTICA	70.071,67
U3	MEDIA CÚBICA	33.376.484,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	173,222
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	7.338.405,50
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,4119
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,7935
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-16,688
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,004287

Umbrales

EXTRASECO	38,34 Hm3/año	
SECO	103,22 Hm3/año	
HÚMEDO	227,27 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	379,52 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 34

Datos	Frecuencia	Ajuste
11,12	0,10	4,67
12,01	0,20	9,82
25,64	0,30	14,10
24,46	0,40	18,08
20,21	0,50	22,04
35,41	0,60	26,20
39,01	0,70	30,84
54,11	0,80	36,47
30,26	0,90	44,57
45,54	0,91	45,68
59,63	0,92	46,90
35,06	0,93	48,24
34,59	0,94	49,74
11,92	0,95	51,47
11,19	0,96	53,50
11,85	0,97	56,02
51,70	0,98	59,39
5,04	0,99	64,75
4,55		
33,88		
33,29		
21,50		
21,02		
20,91		
10,60		
8,45		
4,90		
42,06		
27,16		
27,97		
11,72		
3,41		
7,45		
5,30		

Estación de aforo 251

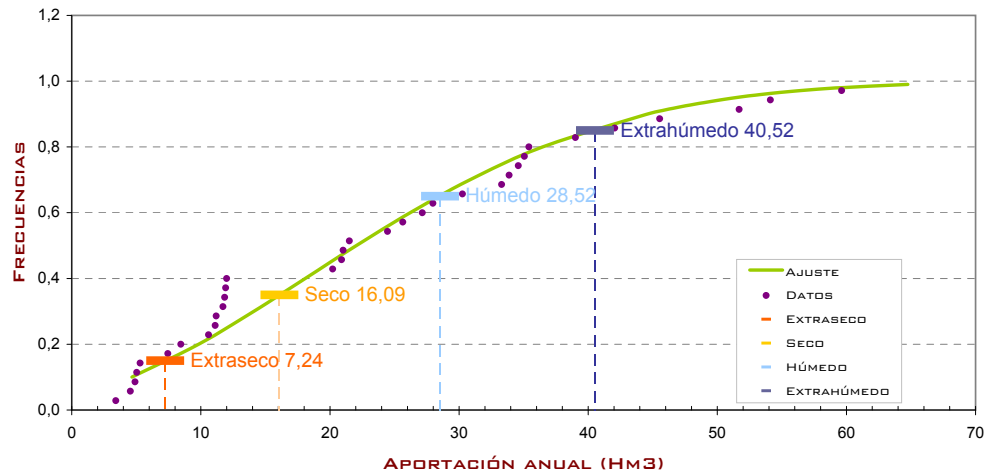
Parámetros estadísticos

Parámetro	Descripción	Valor
X	MEDIA	23,615
U2	MEDIA CUADRÁTICA	795,90
U3	MEDIA CÚBICA	32.103,31
S	DESVIACIÓN TÍPICA	15,434
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	2.056,86
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,5594
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,4732
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-7,41
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,028546

Umbrales

Categoría	Valor (Hm3/año)
EXTRASECO	7,24
SECO	16,09
HÚMEDO	28,52
EXTRAHÚMEDO	40,52

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 42

Datos	Frecuencia	Ajuste
32,43	0,10	1,12
47,84	0,20	3,67
1,90	0,30	6,21
1,73	0,40	8,87
10,93	0,50	11,80
6,18	0,60	15,14
0,90	0,70	19,20
36,42	0,80	24,56
10,58	0,90	33,05
2,25	0,91	34,29
8,97	0,92	35,66
35,42	0,93	37,19
23,47	0,94	38,94
2,04	0,95	40,98
3,64	0,96	43,43
6,85	0,97	46,55
17,59	0,98	50,84
3,44	0,99	57,94
3,64		
8,08		
16,06		
14,68		
21,30		
7,45		
18,09		
20,15		
15,47		
17,75		
12,88		
4,13		
9,52		
3,87		
9,71		
39,14		
8,64		
14,65		
11,27		
6,08		
23,25		
57,90		
31,29		
0,30		

Estación de aforo 252

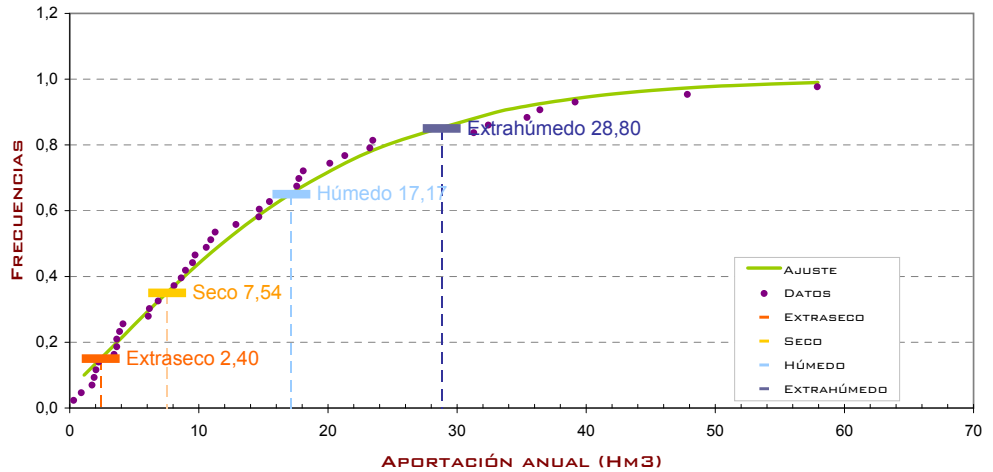
Parámetros estadísticos

Parámetro	Descripción	Valor
X	MEDIA	14,95
U2	MEDIA CUADRÁTICA	400,22
U3	MEDIA CÚBICA	14.445,58
S	DESVIACIÓN TÍPICA	13,294
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	3.178,33
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,3528
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,7717
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-2,137
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,054089

Umrales

Categoría	Umbral (Hm3/año)
EXTRASECO	2,40
SECO	7,54
HÚMEDO	17,17
EXTRAHÚMEDO	28,80

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 15

Datos	Frecuencia	Ajuste
347,69	0,10	0,00
150,91	0,20	92,97
989,12	0,30	180,86
913,34	0,40	264,70
1059,32	0,50	349,72
169,01	0,60	440,55
76,25	0,70	543,49
104,40	0,80	670,68
19,88	0,90	857,32
308,10	0,91	883,24
656,07	0,92	911,60
393,54	0,93	943,02
476,87	0,94	978,38
526,37	0,95	1019,05
122,40	0,96	1067,30
	0,97	1127,24
	0,98	1207,96
	0,99	1337,39

Estación de aforo 253

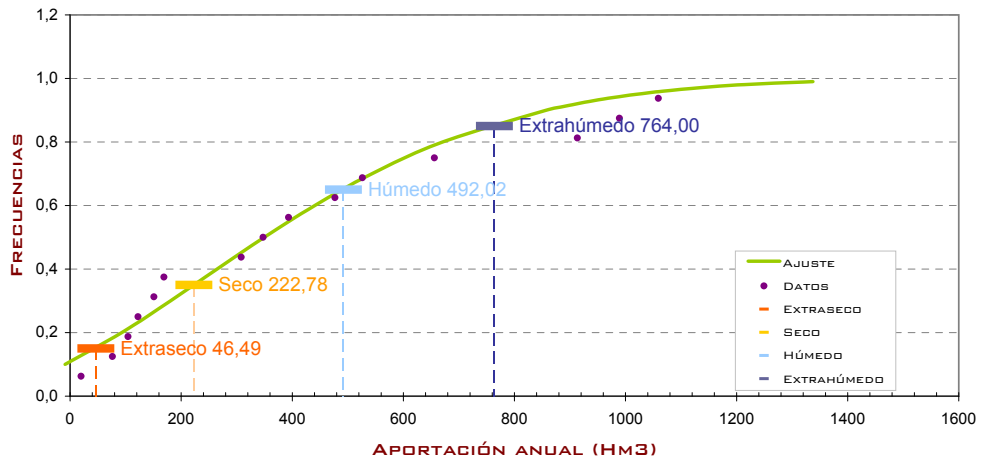
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	394,519
U2	MEDIA CUADRÁTICA	270.134,63
U3	MEDIA CÚBICA	224.787.792,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	338,363
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	27.878.048,00
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,7196
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,5332
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-216,341
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,001453

Umbrales

EXTRASECO	46,49 Hm3/año	
SECO	222,78 Hm3/año	
HÚMEDO	492,02 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	764,00 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 24





Datos	Frecuencia	Ajuste
486,33	0,10	0,00
189,97	0,20	77,14
100,32	0,30	160,67
127,13	0,40	238,85
211,69	0,50	316,90
35,64	0,60	399,15
23,48	0,70	491,19
98,36	0,80	603,40
891,00	0,90	765,58
445,18	0,91	787,89
25,64	0,92	812,26
78,63	0,93	839,18
416,55	0,94	869,42
513,08	0,95	904,10
62,02	0,96	945,10
5,68	0,97	995,86
160,15	0,98	1063,90
674,74	0,99	1172,30
555,16		
146,00		
797,19		
792,51		
582,16		
988,72		

Estación de aforo 916

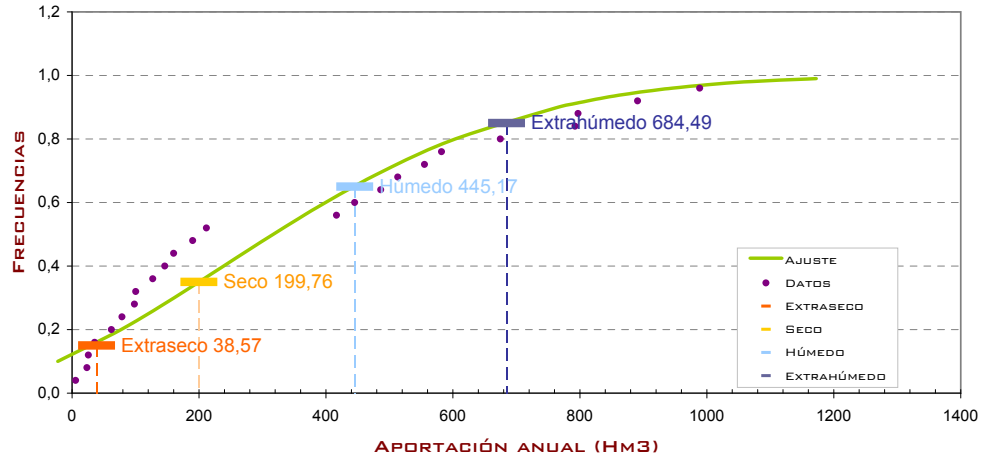
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	350,304
U2	MEDIA CUADRÁTICA	216.049,06
U3	MEDIA CÚBICA	158.034.208,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	305,51
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	16.959.290,00
G(1)	FUNCION AUXILIAR	0,5947
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,4864
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-248,833
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,001479

Umbrales

EXTRASECO	38,57 Hm3/año	
SECO	199,76 Hm3/año	
HÚMEDO	445,17 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	684,49 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 23





Datos	Frecuencia	Ajuste
512,15	0,10	256,37
561,32	0,20	383,55
463,48	0,30	495,44
440,39	0,40	603,74
710,38	0,50	714,84
1594,49	0,60	834,75
746,64	0,70	972,00
1301,82	0,80	1143,25
1291,61	0,90	1397,46
1214,11	0,91	1433,01
336,49	0,92	1471,96
384,32	0,93	1515,19
790,08	0,94	1563,94
491,79	0,95	1620,14
1477,55	0,96	1686,95
1048,39	0,97	1770,19
401,96	0,98	1882,68
187,65	0,99	2063,91
826,81		
1820,05		
544,51		
320,96		
519,96		

Estación de aforo 3

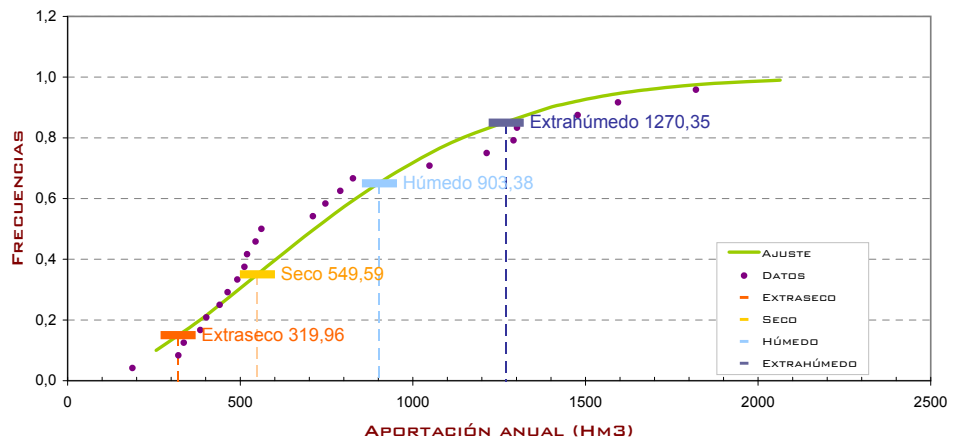
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	782,038
U2	MEDIA CUADRÁTICA	813.034,00
U3	MEDIA CÚBICA	1.024.402.112,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	448,832
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	73.494.680,00
G(I)	FUNCION AUXILIAR	0,8128
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,5684
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	17,294
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,001164

Umrales

EXTRASECO	319,96 Hm3/año	
SECO	549,59 Hm3/año	
HÚMEDO	903,38 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	1270,35 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 13

Datos	Frecuencia	Ajuste
284,18	0,10	63,40
151,76	0,20	134,10
151,63	0,30	195,78
463,72	0,40	255,16
223,25	0,50	315,79
825,10	0,60	380,97
797,43	0,70	455,28
559,33	0,80	547,64
321,46	0,90	684,14
457,32	0,91	703,18
124,62	0,92	724,02
80,17	0,93	747,14
119,23	0,94	773,19
	0,95	803,20
	0,96	838,84
	0,97	883,20
	0,98	943,06
	0,99	1039,32

Estación de aforo 16

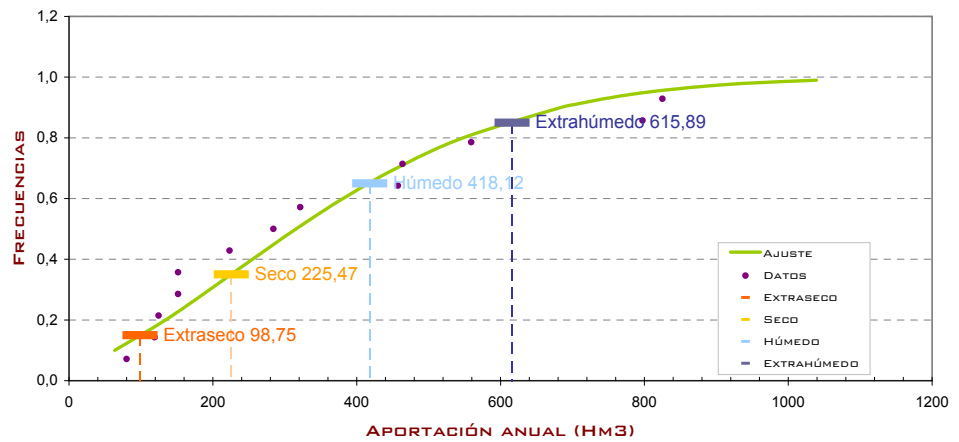
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	350,707
U2	MEDIA CUADRÁTICA	182.295,83
U3	MEDIA CÚBICA	116.736.544,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	243,516
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	11.210.026,00
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,7763
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,5546
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-73,554
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,002096

Umbrales

EXTRASECO	98,75 Hm3/año	
SECO	225,47 Hm3/año	
HÚMEDO	418,12 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	615,89 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 26





Datos	Frecuencia	Ajuste
83,72	0,10	38,87
189,46	0,20	59,76
75,75	0,30	76,62
89,10	0,40	91,98
176,42	0,50	107,01
64,27	0,60	122,55
39,63	0,70	139,64
58,95	0,80	160,10
35,64	0,90	189,07
104,53	0,91	193,01
45,05	0,92	197,30
34,89	0,93	202,02
87,82	0,94	207,30
144,47	0,95	213,34
90,50	0,96	220,45
122,56	0,97	229,20
228,88	0,98	240,87
150,26	0,99	259,29
67,27		
208,50		
204,06		
175,73		
120,00		
124,43		
133,98		
38,64		

Estación de aforo 17

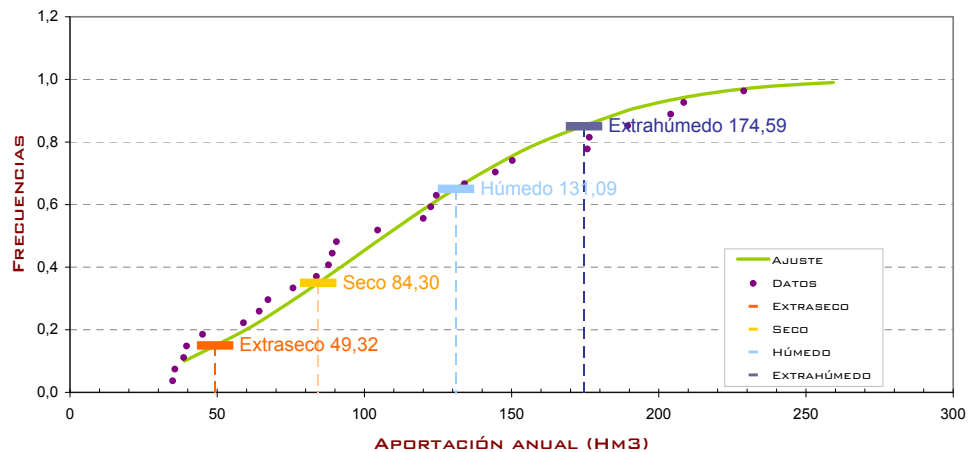
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	111,327
U2	MEDIA CUADRÁTICA	15.728,12
U3	MEDIA CÚBICA	2.574.693,75
S	DESVIACIÓN TÍPICA	57,744
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	81.308,48
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,4223
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,4229
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-17,057
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,006903

Umbrales

EXTRASECO	49,32 Hm3/año	
SECO	84,30 Hm3/año	
HÚMEDO	131,09 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	174,59 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 26





Datos	Frecuencia	Ajuste
143,02	0,10	103,29
80,44	0,20	116,98
98,60	0,30	129,47
153,54	0,40	141,88
194,63	0,50	154,88
117,41	0,60	169,16
139,66	0,70	185,80
102,45	0,80	206,93
103,96	0,90	238,94
219,65	0,91	243,47
246,00	0,92	248,45
167,30	0,93	253,99
114,56	0,94	260,26
146,42	0,95	267,52
183,59	0,96	276,19
247,80	0,97	287,04
155,00	0,98	301,79
157,10	0,99	325,76
167,69		
190,02		
122,63		
325,32		
227,93		
139,29		
160,87		
174,44		

Estación de aforo 19

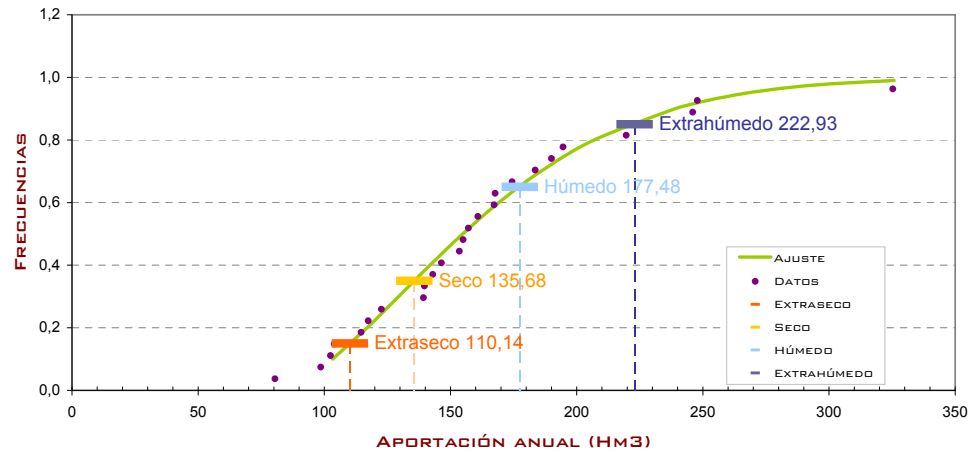
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	164,588
U2	MEDIA CUADRÁTICA	30.022,27
U3	MEDIA CÚBICA	6.062.147,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	54,157
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	155.376,33
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,9782
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,6311
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	80,705
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,010698

Umbral

EXTRASECO	110,14 Hm3/año	
SECO	135,68 Hm3/año	
HÚMEDO	177,48 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	222,93 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 43





Datos	Frecuencia	Ajuste
449,13	0,10	281,90
380,51	0,20	375,77
375,20	0,30	457,98
356,84	0,40	537,30
498,63	0,50	618,46
798,00	0,60	705,86
452,77	0,70	805,69
616,97	0,80	929,98
754,97	0,90	1114,01
460,52	0,91	1139,71
434,01	0,92	1167,86
639,94	0,93	1199,09
168,05	0,94	1234,29
449,20	0,95	1274,84
288,15	0,96	1323,04
899,24	0,97	1383,05
615,81	0,98	1464,07
402,84	0,99	1594,49
573,46		
858,07		
1076,85		
901,60		
683,87		
908,75		
544,23		
1417,85		
529,94		
191,86		
450,15		
1367,63		
1580,96		
852,42		
916,76		
868,93		
686,78		
841,59		
522,90		
705,89		
1230,81		
770,53		
152,86		
759,41		
217,45		

Estación de aforo 23

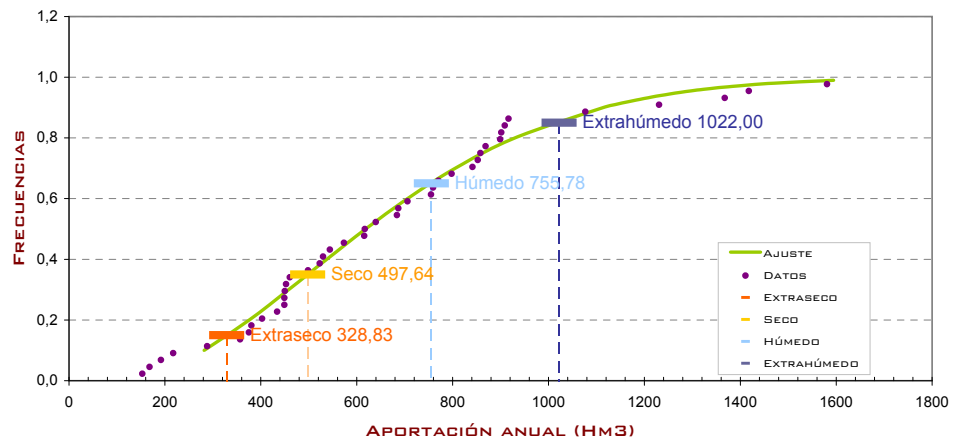
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	666,333
U2	MEDIA CUADRÁTICA	550.844,13
U3	MEDIA CÚBICA	537.112.320,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	326,87
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	27.678.900,00
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,7925
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,5607
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	102,465
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,001578

Umrales

EXTRASECO	328,83 Hm3/año	
SECO	497,64 Hm3/año	
HÚMEDO	755,78 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	1022,00 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 27

Datos	Frecuencia	Ajuste
244,91	0,10	114,53
189,99	0,20	179,11
586,01	0,30	235,96
318,29	0,40	291,00
135,30	0,50	347,49
111,80	0,60	408,47
85,60	0,70	478,29
816,27	0,80	565,42
426,85	0,90	694,80
470,10	0,91	712,90
390,59	0,92	732,73
177,63	0,93	754,74
254,08	0,94	779,56
375,41	0,95	808,17
503,76	0,96	842,19
304,67	0,97	884,58
400,45	0,98	941,86
654,41	0,99	1034,16
1001,32		
733,61		
329,44		
548,54		
446,96		
121,43		
353,90		
48,19		
279,66		

Estación de aforo 25

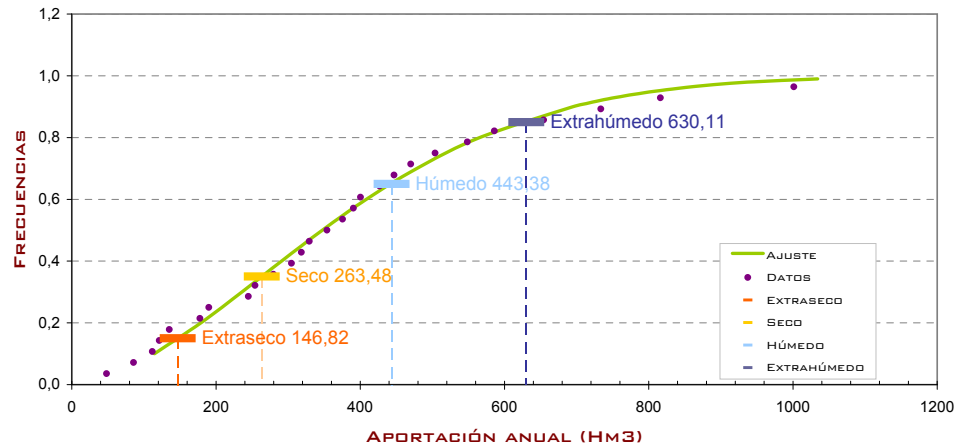
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	381,821
U2	MEDIA CUADRÁTICA	197.917,28
U3	MEDIA CÚBICA	125.078.888,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	228,32
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	9.701.201,00
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,8151
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,5693
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-6,645
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,002292

Umbrales

EXTRASECO	146,82 Hm3/año	
SECO	263,48 Hm3/año	
HÚMEDO	443,38 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	630,11 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 46

Datos	Frecuencia	Ajuste
53,44	0,10	32,20
68,15	0,20	51,76
120,53	0,30	75,68
326,65	0,40	104,79
104,49	0,50	140,74
231,52	0,60	186,44
405,34	0,70	247,52
652,84	0,80	336,84
547,38	0,90	496,23
1252,16	0,91	521,06
192,00	0,92	548,99
109,13	0,93	580,87
479,22	0,94	617,92
428,20	0,95	662,09
348,50	0,96	716,63
272,70	0,97	787,67
184,05	0,98	889,09
58,82	0,99	1065,60
227,79		
22,34		
26,12		
136,53		
87,19		
23,87		
29,22		
58,01		
62,74		
16,42		
44,91		
105,37		
491,12		
215,88		
238,66		
571,19		
233,15		
268,09		
51,41		
64,44		
319,18		
167,23		
111,83		
84,28		
128,06		
59,52		
59,91		
179,84		

Estación de aforo 29

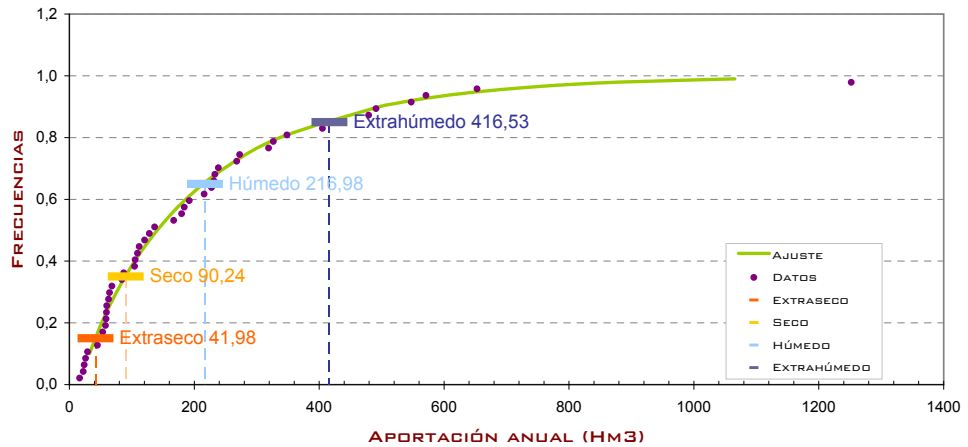
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	215,639
U2	MEDIA CUADRÁTICA	96.891,36
U3	MEDIA CÚBICA	69.866.544,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	224,48
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	27.240.380,00
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	2,4081
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	1,1306
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	17,56
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,005364

Umbrales

EXTRASECO	41,98 Hm3/año	
SECO	90,24 Hm3/año	
HÚMEDO	216,98 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	416,53 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 29

Datos	Frecuencia	Ajuste
362,66	0,10	201,27
383,46	0,20	262,16
431,36	0,30	313,52
730,91	0,40	361,79
415,86	0,50	410,16
498,43	0,60	461,30
614,14	0,70	518,68
632,18	0,80	588,87
199,47	0,90	690,66
290,91	0,91	704,69
274,13	0,92	720,02
496,20	0,93	736,98
342,76	0,94	756,02
911,43	0,95	777,89
703,69	0,96	803,75
543,68	0,97	835,80
279,14	0,98	878,81
524,28	0,99	947,42
418,61		
188,98		
399,39		
759,38		
588,12		
180,15		
177,09		
360,28		
362,75		
214,92		
242,02		

Estación de aforo 45

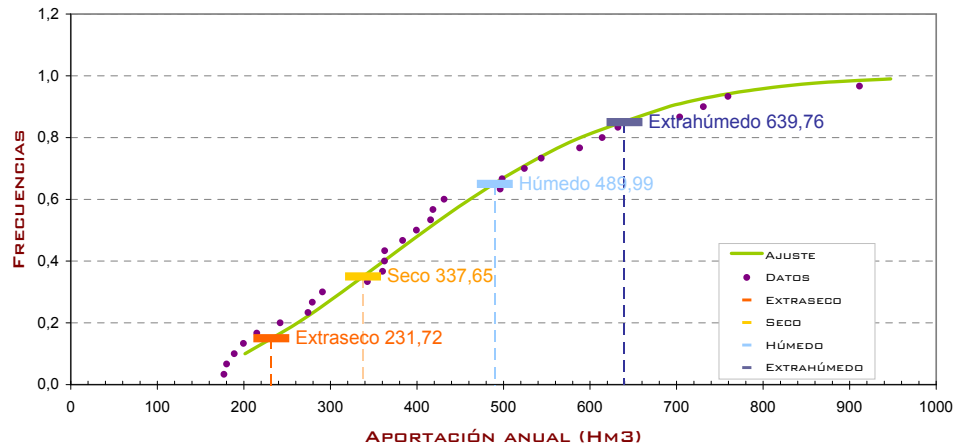
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	431,944
U2	MEDIA CUADRÁTICA	222.673,66
U3	MEDIA CÚBICA	131.645.408,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	189,996
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	4.278.049,00
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,6238
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,4972
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	66,629
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,002426

Umbrales

EXTRASECO	231,72 Hm3/año	
SECO	337,65 Hm3/año	
HÚMEDO	489,99 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	639,76 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 30





Datos	Frecuencia	Ajuste
659,19	0,10	522,91
586,48	0,20	642,73
1026,79	0,30	746,31
775,47	0,40	845,35
825,11	0,50	945,96
772,99	0,60	1053,61
871,15	0,70	1175,82
1593,77	0,80	1327,03
973,48	0,90	1549,33
1207,21	0,91	1580,24
1299,41	0,92	1614,06
1535,44	0,93	1651,54
1102,03	0,94	1693,73
1413,63	0,95	1742,29
613,57	0,96	1799,90
628,67	0,97	1871,52
546,29	0,98	1968,00
822,88	0,99	2122,83
538,86		
1704,20		
1904,69		
906,21		
874,90		
524,26		
905,67		
1767,44		
1473,33		
682,47		
538,27		
936,31		

Estación de aforo 47

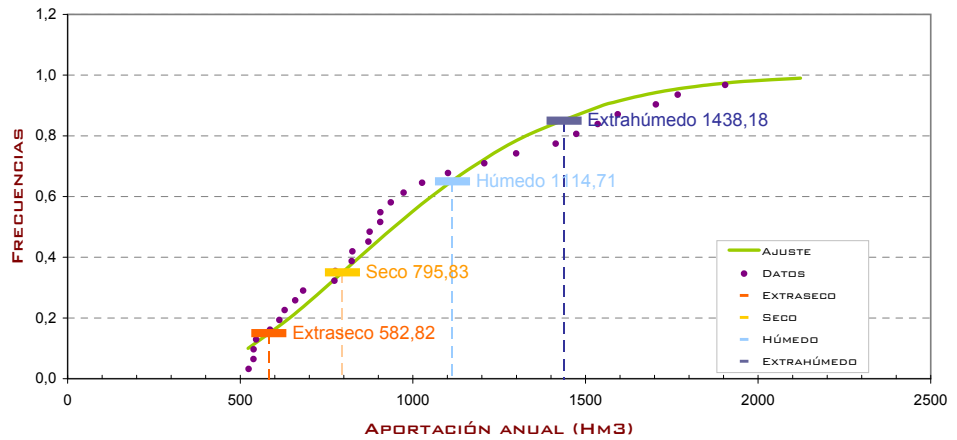
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	1000,338
U2	MEDIA CUADRÁTICA	1.161.785,63
U3	MEDIA CÚBICA	1.531.987.968,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	401,384
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	47.482.536,00
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	0,7343
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,5387
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	282,392
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,001237

Umrales

EXTRASECO	582,82 Hm3/año	
SECO	795,83 Hm3/año	
HÚMEDO	1114,71 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	1438,18 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 38





Datos	Frecuencia	Ajuste
198,47	0,10	22,80
127,56	0,20	42,53
74,47	0,30	65,29
77,73	0,40	91,90
77,34	0,50	123,69
165,02	0,60	162,95
51,12	0,70	213,99
53,17	0,80	286,56
284,59	0,90	411,87
402,22	0,91	431,03
265,48	0,92	452,48
694,96	0,93	476,83
749,17	0,94	504,99
710,83	0,95	538,36
75,37	0,96	579,28
259,24	0,97	632,17
65,84	0,98	706,94
122,82	0,99	835,29
112,39		
71,81		
72,06		
75,55		
70,25		
176,37		
101,98		
95,72		
120,52		
208,60		
147,67		
187,30		
354,02		
90,41		
18,66		
95,69		
158,80		
158,07		
21,49		
48,84		

Estación de aforo 57

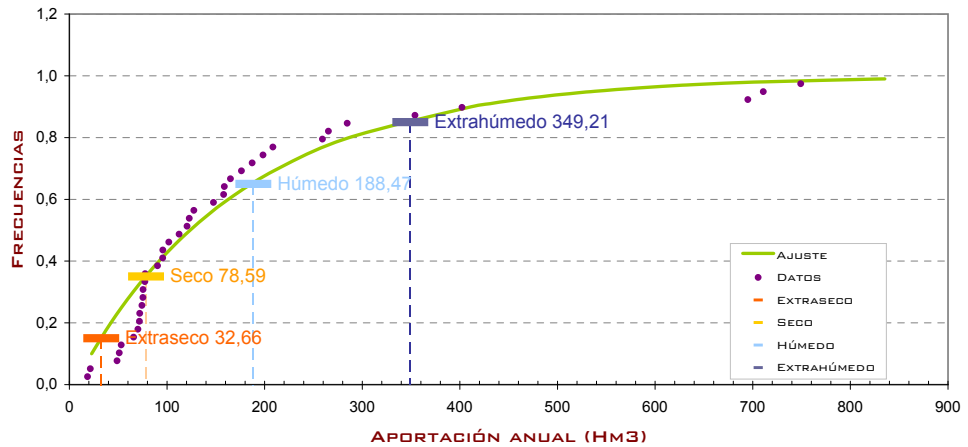
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	180,042
U2	MEDIA CUADRÁTICA	64.638,13
U3	MEDIA CÚBICA	35.347.188,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	179,508
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	12.106.623,00
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	2,093
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	1,0307
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	5,904
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,005819

Umbrales

EXTRASECO	32,66 Hm3/año	
SECO	78,59 Hm3/año	
HÚMEDO	188,47 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	349,21 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 17





Datos	Frecuencia	Ajuste
194,50	0,10	64,81
491,33	0,20	89,45
258,05	0,30	112,84
66,38	0,40	136,68
363,58	0,50	162,20
215,83	0,60	190,79
216,73	0,70	224,68
129,47	0,80	268,52
170,79	0,90	336,37
213,93	0,91	346,09
108,90	0,92	356,81
143,98	0,93	368,79
124,17	0,94	382,38
138,22	0,95	398,18
59,08	0,96	417,12
26,87	0,97	440,95
224,71	0,98	473,57
	0,99	527,04

Estación de aforo 81

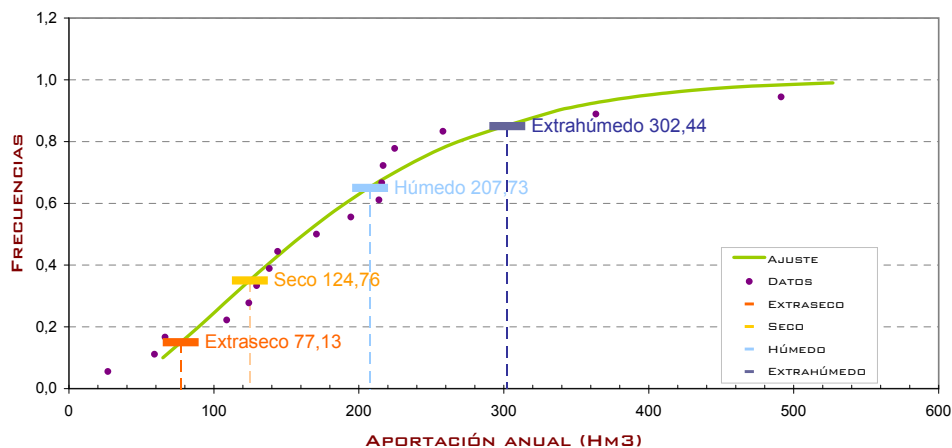
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	185,089
U2	MEDIA CUADRÁTICA	46.440,51
U3	MEDIA CÚBICA	14.652.082,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	110,375
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	1.546.704,50
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,1502
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,6961
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	28,888
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,005812

Umbrales

EXTRASECO	77,13 Hm3/año	
SECO	124,76 Hm3/año	
HÚMEDO	207,73 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	302,44 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 16

Datos	Frecuencia	Ajuste
45,65	0,10	0,00
345,98	0,20	-1,23
108,78	0,30	9,74
3,45	0,40	22,62
45,06	0,50	38,08
19,19	0,60	57,24
6,36	0,70	82,23
2,98	0,80	117,89
2,73	0,90	179,73
208,37	0,91	189,20
44,80	0,92	199,82
37,04	0,93	211,88
58,66	0,94	225,84
42,79	0,95	242,39
81,01	0,96	262,70
4,20	0,97	288,98
	0,98	326,17
	0,99	390,14

Estación de aforo 125

Parámetros estadísticos

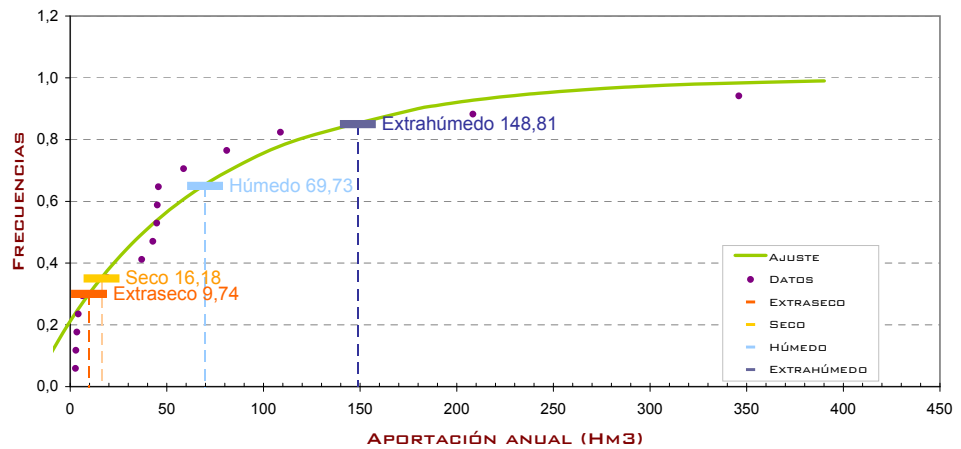
X	MEDIA	66,064
U2	MEDIA CUADRÁTICA	12.170,75
U3	MEDIA CÚBICA	3.305.856,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	88,353
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	1.470.374,25
G(1)	FUNCIÓN AUXILIAR	2,1319
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	1,0433
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-18,599
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,012037

Umbrales

EXTRASECO	9,74 Hm3/año
SECO	16,18 Hm3/año
HÚMEDO	69,73 Hm3/año
EXTRAHÚMEDO	148,81 Hm3/año



AJUSTE DE GOODRICH





Aportaciones anuales (Hm3)

Número de años: 10





Datos	Frecuencia	Ajuste
286,55	0,10	10,63
55,65	0,20	22,65
41,11	0,30	35,33
49,66	0,40	49,25
24,38	0,50	65,06
114,54	0,60	83,73
60,81	0,70	106,99
43,62	0,80	138,65
160,24	0,90	190,63
26,44	0,91	198,35
	0,92	206,92
	0,93	216,59
	0,94	227,67
	0,95	240,68
	0,96	256,47
	0,97	276,63
	0,98	304,71
	0,99	351,90

Estación de aforo 127

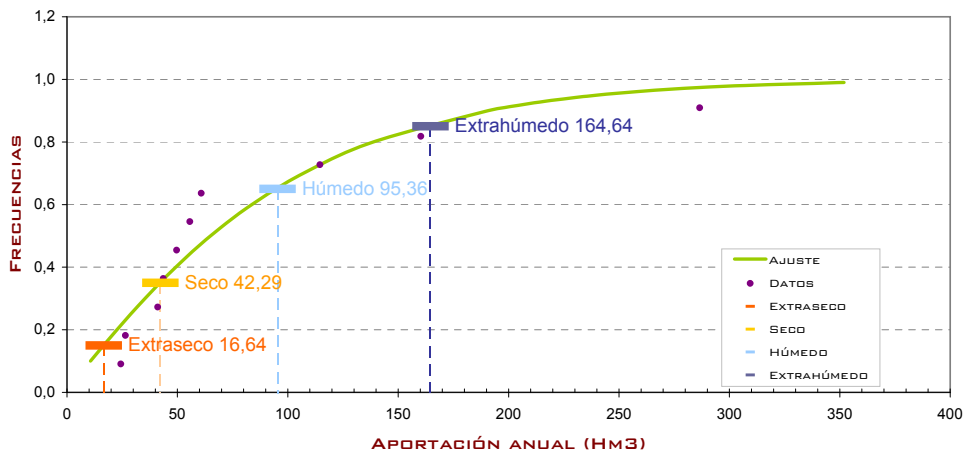
Parámetros estadísticos

X	MEDIA	86,299
U2	MEDIA CUADRÁTICA	13.505,35
U3	MEDIA CÚBICA	2.985.117,00
S	DESVIACIÓN TÍPICA	77,832
M3	MOMENTO CENTRADO DE TERCER ORDEN	774.049,88
G(I)	FUNCIÓN AUXILIAR	1,6417
N	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	0,8765
X1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	-2,295
A1	PARÁMETRO DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO A N	0,010767

Umbral

EXTRASECO	16,64 Hm3/año	
SECO	42,29 Hm3/año	
HÚMEDO	95,36 Hm3/año	
EXTRAHÚMEDO	164,64 Hm3/año	

AJUSTE DE GOODRICH





10.2. APÉNDICE 2: DATOS DIARIOS EN ESTACIONES DE AFORO

GUADIANA

ESTACION DE AFORO		EMBALE REGULADOR		AÑOS HIDROLÓGICOS		
E.A.	AÑOS COMPLETOS	AÑOS SUPERFICIE	EMBALE	AÑO COMPLETO	VOLÚMEN (10 ⁶ m ³)	SUPERFICIE (10 ⁶ m ³)
4001	4	4	LAGUNAS DE RUBERA	-	-	-
4002	4	4	LAGUNAS DE RUBERA	-	-	-
4003	0	0	LAGUNAS DE RUBERA	-	-	-
4004	72	72	LAGUNAS DE RUBERA	-	-	-
4005	17	17	LAGUNAS DE RUBERA	-	-	-
4006	47	47	LAGUNAS DE RUBERA	-	-	-
4007	32	32	LAGUNAS DE RUBERA	-	-	-
4008	32	32	VICARIO	1973	32	16.166
4009	34	13	VICARIO	1973	32	16.166
4010	7	7	VICARIO	1973	32	16.166
4011	7	7	CLARA	1958	1.505	24.467
4012	19	0	CLARA	1958	32	16.166
4013	29	0	CLARA	1958	1.505	24.467
4014	15	2	CLARA	1958	1.505	24.467
4015	2	2	CLARA	1958	1.505	24.467
4016	7	7	CLARA	1958	1.505	24.467
4017	7	7	CLARA	1958	1.505	24.467
4018	7	7	CLARA	1958	1.505	24.467
4019	43	28	CLARA	1958	1.505	24.467
4020	7	7	CLARA	1958	1.505	24.467
4021	7	7	CLARA	1958	1.505	24.467
4022	2	2	CLARA	1958	1.505	24.467
4023	2	2	CLARA	1958	1.505	24.467
4024	2	2	CLARA	1958	1.505	24.467
4025	10	0	CLARA	1958	1.505	24.467
4026	10	0	CLARA	1958	1.505	24.467
4027	43	37	PUERTO DE VALEHERMOSO	1988	7	524
4028	48	39	MARRANQUELA CABEZUELA Y LA	1991	43	517
4029	43	37	MARRANQUELA CABEZUELA Y LA	1991	43	517
4030	41	24	MARRANQUELA CABEZUELA Y LA	1991	43	517
4031	24	8	MARRANQUELA CABEZUELA Y LA	1991	43	517
4032	13	13	MARRANQUELA CABEZUELA Y LA	1991	43	517
4033	13	13	MARRANQUELA CABEZUELA Y LA	1991	43	517
4034	13	13	MARRANQUELA CABEZUELA Y LA	1991	43	517
4035	0	0	MARRANQUELA CABEZUELA Y LA	1991	43	517
4036	0	0	MARRANQUELA CABEZUELA Y LA	1991	43	517
4037	50	50	MERTIGAS	-	-	-
4038	34	34	MERTIGAS	-	-	-
4039	34	34	MERTIGAS	-	-	-
4040	50	50	MERTIGAS	-	-	-
4041	50	50	MERTIGAS	-	-	-
4042	18	18	MERTIGAS	-	-	-
4043	10	10	MERTIGAS	-	-	-
4044	21	21	MERTIGAS	-	-	-
4045	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4046	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4047	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4048	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4049	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4050	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4051	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4052	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4053	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4054	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4055	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4056	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4057	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4058	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4059	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4060	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4061	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4062	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4063	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4064	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4065	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4066	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4067	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4068	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4069	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4070	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4071	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4072	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4073	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4074	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4075	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4076	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4077	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4078	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4079	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4080	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4081	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4082	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4083	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4084	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4085	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4086	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4087	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4088	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4089	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4090	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4091	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4092	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4093	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4094	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4095	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4096	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4097	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4098	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4099	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4100	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4101	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4102	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4103	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4104	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4105	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4106	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4107	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4108	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4109	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4110	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4111	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4112	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4113	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4114	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4115	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4116	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4117	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4118	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4119	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4120	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4121	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4122	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4123	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4124	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4125	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4126	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4127	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4128	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4129	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4130	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4131	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4132	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4133	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4134	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4135	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4136	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4137	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4138	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4139	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4140	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4141	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4142	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4143	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4144	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4145	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4146	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4147	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4148	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4149	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4150	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4151	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4152	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4153	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4154	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4155	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4156	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4157	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4158	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4159	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4160	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4161	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4162	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4163	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4164	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4165	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4166	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4167	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4168	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4169	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4170	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4171	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4172	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4173	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4174	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4175	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4176	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4177	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4178	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4179	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4180	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4181	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4182	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4183	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4184	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4185	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4186	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4187	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4188	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4189	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4190	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4191	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4192	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4193	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4194	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4195	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4196	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4197	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4198	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4199	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4200	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4201	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4202	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4203	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4204	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4205	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4206	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4207	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4208	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4209	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4210	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4211	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4212	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4213	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4214	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4215	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4216	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4217	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4218	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4219	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4220	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4221	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4222	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4223	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4224	13	13	MERTIGAS	-	-	-
4						



10.3. APÉNDICE 3: SERIES DE APORTACIONES

SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

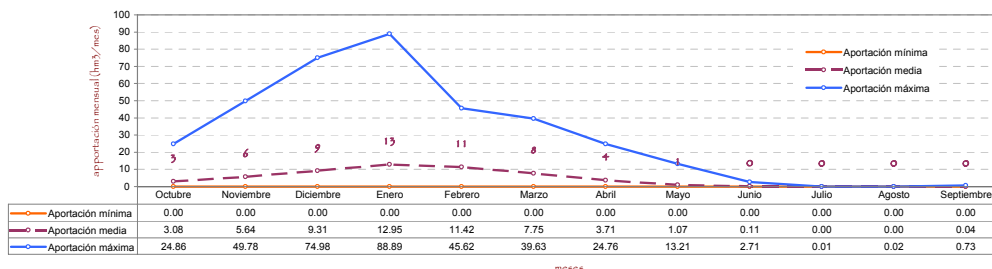
RIO LAGARA

PATRÓN

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
12010	1940	9.870	4.132	2.952	66.340	25.146	16.209	13.641	4.139	0.005	0.000	0.000	0.004	142.44	H
12010	1941	0.000	10.169	0.784	3.819	4.619	17.083	13.590	0.387	0.005	0.000	0.000	0.125	50.58	H
12010	1942	4.309	6.579	12.513	29.549	5.175	22.023	9.149	0.014	0.000	0.000	0.000	0.336	89.65	H
12010	1943	2.050	0.021	2.715	0.303	0.778	0.320	3.083	0.180	0.003	0.000	0.016	0.003	9.47	M
12010	1944	6.334	1.457	4.095	3.509	0.897	0.612	0.046	0.013	0.016	0.000	0.000	0.000	16.98	M
12010	1945	0.409	11.983	7.378	1.371	0.988	1.349	7.839	4.918	0.002	0.000	0.000	0.000	36.24	H
12010	1946	0.682	1.128	0.878	4.750	45.617	37.660	1.349	0.051	0.000	0.000	0.000	0.003	92.12	H
12010	1947	2.106	0.441	3.418	26.667	17.573	2.050	4.610	13.211	0.000	0.000	0.000	0.000	70.08	H
12010	1948	0.436	0.008	2.280	0.311	0.133	1.049	0.459	0.016	0.001	0.000	0.003	0.233	4.93	S
12010	1949	0.158	7.851	15.314	2.230	8.175	3.485	0.207	1.764	0.002	0.000	0.000	0.004	39.19	H
12010	1950	0.875	0.930	3.475	4.352	15.899	14.042	4.445	0.636	0.010	0.000	0.000	0.001	44.66	H
12010	1951	0.470	49.784	5.390	11.758	4.632	28.372	2.316	7.386	0.037	0.000	0.000	0.008	110.15	H
12010	1952	0.741	3.631	2.707	3.287	1.906	1.874	4.928	0.013	0.000	0.000	0.000	0.003	19.09	H
12010	1953	5.915	1.047	5.039	1.025	1.013	6.202	1.403	0.118	0.000	0.000	0.000	0.000	21.76	H
12010	1954	0.035	14.096	2.292	42.093	35.585	5.195	0.453	0.268	0.000	0.000	0.018	0.000	100.03	H
12010	1955	1.315	5.818	37.727	29.915	6.314	39.633	14.555	0.105	0.000	0.000	0.000	0.013	135.40	H
12010	1956	1.211	0.168	0.922	0.589	6.765	2.332	2.467	1.702	0.002	0.000	0.000	0.027	16.19	M
12010	1957	0.054	0.396	1.361	9.815	2.952	13.040	2.042	0.142	0.000	0.000	0.000	0.000	29.80	H
12010	1958	0.177	0.016	41.413	9.690	10.161	11.805	5.013	1.640	0.000	0.000	0.001	0.001	79.92	H
12010	1959	3.753	6.342	13.233	27.737	35.313	22.085	2.747	2.959	0.056	0.000	0.000	0.004	114.23	H
12010	1960	24.857	19.865	17.547	11.387	1.114	1.466	7.853	7.293	0.002	0.000	0.000	0.026	91.41	H
12010	1961	0.524	16.506	9.281	12.486	8.125	25.560	3.736	0.093	0.032	0.000	0.000	0.020	76.36	H
12010	1962	2.870	0.610	6.436	34.164	43.815	6.666	24.756	0.358	0.015	0.000	0.000	0.002	119.69	H
12010	1963	0.063	26.452	36.683	0.603	29.027	19.280	1.183	0.007	0.012	0.000	0.000	0.000	113.31	H
12010	1964	0.007	0.116	0.155	0.716	7.141	6.909	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.264	15.36	M
12010	1965	6.996	6.767	9.883	30.498	40.447	0.033	24.638	0.004	0.000	0.000	0.000	0.008	119.28	H
12010	1966	3.146	1.015	0.058	3.319	11.655	1.580	0.578	0.407	0.028	0.000	0.000	0.000	21.78	H
12010	1967	0.764	5.023	0.107	0.002	18.584	2.918	0.479	0.004	0.000	0.000	0.001	0.003	27.89	H
12010	1968	0.372	4.459	4.065	12.945	26.031	38.577	3.932	1.965	0.000	0.001	0.003	0.031	92.38	H
12010	1969	0.903	12.573	1.907	88.887	1.338	0.304	0.052	0.167	0.275	0.000	0.000	0.000	106.41	H
12010	1970	0.000	0.102	0.007	4.744	0.001	0.122	5.494	1.617	0.677	0.000	0.001	0.000	12.77	M
12010	1971	0.000	0.001	0.038	11.203	13.124	9.939	0.171	0.010	0.000	0.000	0.000	0.104	34.59	H
12010	1972	7.388	0.836	9.241	10.488	0.156	0.016	0.003	0.922	0.033	0.000	0.000	0.000	29.08	H
12010	1973	0.014	0.185	0.631	1.552	1.020	0.974	1.354	0.005	0.175	0.000	0.000	0.000	5.91	S
12010	1974	0.000	0.575	0.035	0.167	0.756	14.486	0.122	0.564	0.006	0.000	0.000	0.000	16.71	M
12010	1975	0.001	0.035	0.912	0.006	1.603	0.132	5.150	0.007	0.004	0.000	0.001	0.390	8.24	M
12010	1976	0.333	2.614	28.689	29.586	35.486	0.147	0.017	0.001	0.004	0.000	0.003	0.000	96.88	H
12010	1977	0.716	6.936	24.443	1.441	42.393	7.472	5.677	2.514	1.331	0.000	0.000	0.000	92.93	H
12010	1978	0.025	0.209	21.478	24.227	38.984	12.138	5.658	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	102.72	H
12010	1979	23.175	0.002	0.037	0.075	0.343	4.566	0.065	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000	28.47	H
12010	1980	0.127	0.059	0.002	0.001	0.120	0.727	0.988	0.033	0.000	0.000	0.000	0.006	2.06	S
12010	1981	0.009	0.000	10.487	3.316	4.397	0.241	0.082	0.002	0.000	0.000	0.000	0.056	18.59	H
12010	1982	0.004	0.553	0.193	0.006	0.301	0.003	1.870	0.009	0.000	0.000	0.005	0.000	2.94	S
12010	1983	0.314	27.286	17.990	6.376	1.322	17.462	2.403	1.951	1.397	0.000	0.000	0.000	76.50	H
12010	1984	1.241	7.734	1.114	42.554	24.742	0.596	4.832	0.332	0.003	0.000	0.000	0.000	83.15	H
12010	1985	0.000	1.458	5.294	4.580	25.728	0.797	0.940	0.009	0.000	0.000	0.000	0.733	39.54	H
12010	1986	0.184	0.206	0.113	6.883	11.406	0.482	9.530	0.020	0.000	0.000	0.000	0.028	28.85	H
12010	1987	0.605	0.473	21.755	30.815	3.583	0.319	1.402	0.308	2.711	0.004	0.000	0.000	61.98	H
12010	1988	0.578	1.049	0.013	0.130	0.671	0.341	0.634	0.587	0.006	0.000	0.000	0.001	4.01	S
12010	1989	0.130	24.566	74.978	11.749	0.451	0.796	8.587	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	121.27	H
12010	1990	0.922	0.901	0.320	0.934	6.317	7.575	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17.09	M
12010	1991	0.176	0.038	0.133	0.105	0.078	0.063	0.284	0.112	0.094	0.000	0.000	0.007	1.09	S
12010	1992	0.479	0.006	0.309	0.044	0.386	0.105	0.339	0.874	0.006	0.000	0.000	0.002	2.55	S
12010	1993	12.597	3.630	0.273	4.105	15.402	0.370	0.257	2.101	0.000	0.000	0.000	0.000	38.73	H
12010	1994	0.203	0.364	0.221	0.290	2.189	0.540	0.017	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	3.83	S
12010	1995	0.000	4.253	33.930	73.090	7.586	6.535	1.414	1.555	0.000	0.000	0.000	0.018	128.38	H
12010	1996	0.331	1.067	22.685	25.937	0.313	0.030	0.057	0.375	0.050	0.007	0.002	0.034	50.89	H
12010	1997	0.256	44.759	28.457	12.651	16.734	1.356	0.834	3.921	0.006	0.000	0.000	0.003	109.02	H
12010	1998	0.003	0.035	0.109	0.070	0.003	0.119	0.019	0.084	0.000	0.000	0.000	0.020	0.46	S
12010	1999	17.671	0.254	1.259	0.467	0.317	0.702	1.783	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	39.85	H
12010	2000	0.007	5.544	30.248	40.556	30.790	27.477	0.324	0.586	0.000	0.000	0.000	0.003	135.53	H
12010	2001	12.408	0.021	0.011	2.620	0.030	13.781	2.361	0.008	0.000	0.000	0.000	0.172	31.41	H
12010	2002	0.653	4.584	16.568	14.418	22.095	9.038	4.336	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	71.69	H
12010	2003	17.380	12.579	10.230	15.205	27.658	12.739	0.274	0.219	0.000	0.000	0.002	0.000	96.29	H
12010	2004	17.486	0.057	0.002	0.000	0.000	0.027	0.013	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	17.59	M
12010	2005	6.586	0.022	0.357	0.008	0.355	9.517	0.203	0.000	0.000	0.000	0.012	0.018	17.08	M
MIN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
MED		3.08	5.64	9.31	12.95	11.42	7.75	3.71	1.07	0.11	0.00	0.00	0.04	55.08	
MAX		24.86	49.78	74.98	88.89	45.62	39.63	24.76	13.21	2.71	0.01	0.02	0.73	365.19	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 5.60% 10.24% 16.90% 23.51% 20.73% 14.07% 6.73% 1.94% 0.19% 0.00% 0.00% 0.08% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

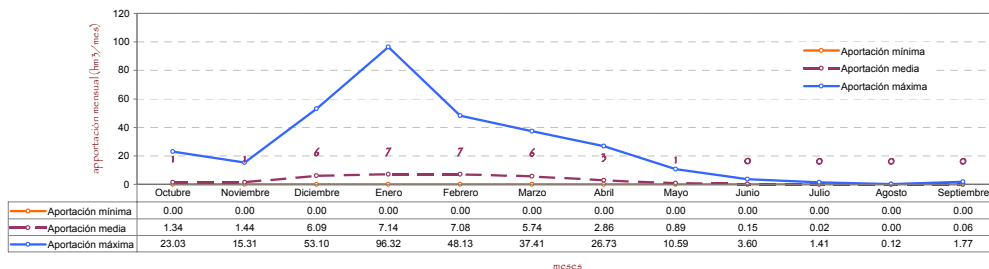
RIO GUADAMATILLA II

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
12024	1940	0.246	0.094	0.010	4.060	10.283	2.413	4.421	0.405	0.022	0.028	0.000	0.012	21.99	M
12024	1941	0.000	1.352	0.013	0.034	0.677	5.128	5.339	0.003	0.000	0.000	0.000	0.015	12.56	M
12024	1942	2.937	0.030	2.316	0.499	0.315	12.797	8.440	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	27.39	M
12024	1943	0.024	0.009	0.582	0.000	0.040	0.004	0.230	0.003	0.029	0.000	0.000	0.002	0.92	S
12024	1944	0.023	0.032	0.006	0.014	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.08	S
12024	1945	0.003	0.019	0.625	0.020	0.057	2.811	2.053	3.119	0.000	0.000	0.000	0.000	8.71	M
12024	1946	0.002	0.110	0.033	0.124	35.891	34.830	1.280	0.134	0.000	0.000	0.000	0.000	72.40	H
12024	1947	0.013	0.006	0.441	1.423	7.250	0.063	0.497	4.180	0.000	0.000	0.000	0.000	13.87	M
12024	1948	0.013	0.000	0.078	0.003	0.000	0.016	0.068	0.009	0.043	0.000	0.000	0.237	0.47	S
12024	1949	0.000	0.049	0.186	0.010	0.269	0.089	0.000	0.962	0.000	0.000	0.000	0.000	1.57	S
12024	1950	0.055	0.110	1.346	1.053	9.159	14.234	7.041	2.236	0.000	0.000	0.000	0.002	35.24	M
12024	1951	0.014	11.555	0.016	4.287	6.300	27.386	0.754	4.592	0.001	0.000	0.009	0.000	54.91	M
12024	1952	0.006	0.130	4.183	0.003	0.024	0.003	2.266	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.61	M
12024	1953	0.574	0.000	0.008	0.000	0.001	0.116	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.72	S
12024	1954	0.000	0.005	0.012	5.521	15.074	1.693	0.124	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	22.44	M
12024	1955	1.093	0.593	4.794	4.539	0.301	23.214	5.255	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	39.79	M
12024	1956	0.029	0.008	0.007	0.002	0.083	0.028	0.794	0.316	0.000	0.000	0.000	0.000	1.27	S
12024	1957	0.056	0.079	0.016	0.331	0.023	0.641	0.039	0.027	0.002	0.000	0.000	0.000	1.22	S
12024	1958	0.013	0.000	51.788	5.646	3.620	8.513	0.253	1.042	0.000	0.000	0.000	0.000	70.88	H
12024	1959	0.109	0.127	1.355	3.089	24.243	18.819	1.227	0.266	1.490	0.000	0.021	0.000	50.75	M
12024	1960	10.778	4.289	7.589	1.520	0.088	1.847	0.933	1.857	0.005	0.001	0.000	0.057	28.96	M
12024	1961	0.047	4.372	21.957	13.515	1.309	28.551	17.620	0.057	0.078	0.000	0.000	0.000	87.51	H
12024	1962	1.677	0.856	13.781	27.373	48.132	5.259	26.732	2.782	0.141	0.000	0.000	0.165	126.90	H
12024	1963	0.003	1.054	34.609	0.450	30.225	15.442	0.451	0.061	0.036	0.000	0.000	0.000	82.33	H
12024	1964	0.000	0.300	0.029	1.354	2.282	2.751	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.440	7.16	M
12024	1965	2.325	1.014	1.365	15.685	21.068	1.201	10.561	0.247	0.004	0.000	0.000	0.001	53.47	M
12024	1966	0.358	2.813	0.083	2.968	10.229	1.151	0.113	0.565	0.147	0.000	0.000	0.000	18.43	M
12024	1967	0.036	2.039	0.006	0.000	14.385	8.039	2.244	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	26.75	M
12024	1968	0.012	0.191	0.269	5.836	32.396	31.994	4.788	0.155	0.000	0.001	0.118	0.089	75.85	H
12024	1969	0.098	2.383	0.042	47.678	0.520	0.623	0.008	0.002	0.142	0.000	0.000	0.000	51.50	M
12024	1970	0.000	0.014	0.004	2.022	0.000	0.539	4.227	5.161	0.020	0.003	0.000	0.000	11.99	M
12024	1971	0.000	0.000	0.027	1.588	6.779	3.703	0.198	0.048	0.000	0.000	0.000	0.143	12.49	M
12024	1972	7.834	0.115	3.841	2.034	0.290	1.212	0.001	0.935	0.014	0.000	0.000	0.000	16.28	M
12024	1973	0.011	0.004	2.100	0.062	0.160	2.533	5.025	0.000	0.533	0.000	0.000	0.000	10.43	M
12024	1974	0.000	0.001	0.000	0.327	4.275	18.377	0.157	0.142	0.010	0.000	0.000	0.000	23.29	M
12024	1975	0.000	0.008	0.048	0.004	0.074	0.010	5.237	0.132	0.078	0.031	0.000	1.768	7.39	M
12024	1976	0.472	0.289	22.151	32.044	26.704	0.643	0.000	0.023	0.000	0.000	0.002	0.000	82.33	H
12024	1977	0.229	0.625	11.292	4.237	35.543	2.756	12.378	1.268	3.603	0.000	0.003	0.000	71.93	H
12024	1978	0.000	0.082	5.178	40.250	40.379	10.913	8.556	0.107	0.000	0.001	0.000	0.468	105.93	H
12024	1979	23.031	0.002	0.000	0.000	0.093	0.051	0.000	0.157	0.000	0.000	0.000	0.000	23.34	M
12024	1980	0.045	0.883	0.000	0.000	0.003	0.006	0.629	0.004	0.004	0.001	0.000	0.000	1.57	S
12024	1981	0.000	0.000	20.312	2.557	4.186	1.358	0.755	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	29.18	M
12024	1982	0.002	2.531	0.027	0.000	0.046	0.000	0.175	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.78	S
12024	1983	0.001	4.623	1.865	0.786	0.987	17.788	8.931	6.031	0.054	0.000	0.000	0.000	41.07	M
12024	1984	0.024	4.546	0.042	9.684	6.852	0.019	5.431	0.225	0.000	0.000	0.000	0.000	26.82	M
12024	1985	0.000	0.056	4.742	0.471	13.651	1.361	3.602	0.452	0.001	0.000	0.000	0.000	24.34	M
12024	1986	0.162	0.076	0.011	5.909	5.598	0.025	1.296	0.000	0.000	1.409	0.001	0.002	14.49	M
12024	1987	7.992	0.355	30.670	27.158	2.972	0.030	0.371	1.140	0.849	0.000	0.000	0.000	71.54	H
12024	1988	0.031	0.770	0.000	0.008	0.031	0.001	0.173	0.019	0.000	0.000	0.000	0.008	1.04	S
12024	1989	0.005	12.764	38.838	15.236	0.008	0.043	6.515	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	73.41	H
12024	1990	0.282	0.037	0.007	0.003	1.092	6.401	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	7.84	M
12024	1991	0.069	0.003	0.013	0.002	0.156	0.001	0.098	0.086	2.546	0.000	0.000	0.001	2.98	S
12024	1992	0.985	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.499	0.162	0.000	0.000	0.000	0.000	1.66	S
12024	1993	0.564	0.057	0.001	0.105	1.105	0.000	0.090	0.034	0.000	0.000	0.000	0.004	1.96	S
12024	1994	0.007	0.016	0.000	0.008	0.016	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.05	S
12024	1995	0.000	15.307	35.215	96.324	8.478	4.740	1.410	5.407	0.000	0.000	0.000	0.497	167.38	H
12024	1996	0.014	0.021	53.098	48.449	0.033	0.000	0.022	0.022	0.005	0.006	0.001	0.000	101.67	H
12024	1997	0.034	12.087	15.286	4.797	10.310	0.217	0.281	10.591	0.004	0.000	0.000	0.008	53.62	M
12024	1998	0.000	0.000	0.003	0.006	0.001	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.12	S
12024	1999	6.261	0.002	0.076	0.013	0.000	0.006	10.227	0.298	0.000	0.000	0.000	0.000	16.88	M
12024	2000	0.027	0.154	3.545	25.685	1.398	37.407	0.056	1.120	0.000	0.000	0.000	0.148	69.54	H
12024	2001	0.472	0.371	0.465	0.837	0.004	3.497	6.247	0.020	0.000	0.000	0.000	0.019	11.93	M
12024	2002	0.043	0.187	1.248	1.711	6.676	1.696	1.133	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.70	M
12024	2003	15.840	5.257	4.427	1.620	15.018	12.903	1.507	2.264	0.001	0.000	0.000	0.000	58.84	M
12024	2004	3.552	0.000	0.001	0.000	0.000	0.007	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.57	M
12024	2005	0.016	0.000	0.004	0.025	0.080	0.841	0.006	0.023	0.000	0.000	0.000	0.047	1.04	S

MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MED	1.34	1.44	6.09	7.14	7.08	5.74	2.86	0.89	0.15	0.02	0.00	0.00	0.06	32.82
MAX	23.03	15.31	53.10	96.32	48.13	37.41	26.73	10.59	3.60	1.41	0.12	1.77	317.52	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 4.09% 4.38% 18.56% 21.74% 21.57% 17.49% 8.72% 2.72% 0.46% 0.07% 0.01% 0.19% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

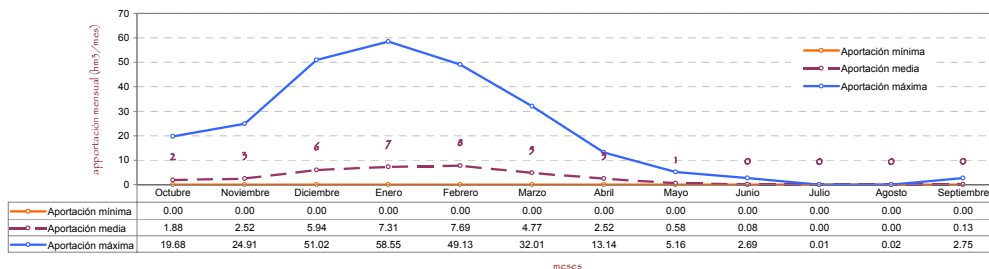
RIO OLIVENZA II

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
12027	1940	11.999	2.058	0.140	38.141	14.980	11.138	13.143	1.571	0.000	0.006	0.000	0.003	93.18	H
12027	1941	0.001	3.225	0.026	0.378	1.573	8.087	7.535	0.005	0.007	0.000	0.000	0.018	20.85	M
12027	1942	1.473	0.675	6.794	15.945	3.407	11.936	5.482	0.001	0.000	0.003	0.000	0.054	45.77	H
12027	1943	0.090	0.001	2.301	0.004	0.128	0.021	0.301	0.009	0.002	0.000	0.025	0.000	2.88	S
12027	1944	0.124	0.039	0.036	0.220	0.003	0.015	0.018	0.002	0.031	0.000	0.000	0.000	0.49	S
12027	1945	0.034	11.844	19.733	2.691	1.896	6.826	9.846	5.159	0.000	0.000	0.000	0.003	58.03	H
12027	1946	0.033	0.430	0.064	3.324	49.134	32.006	1.082	0.007	0.000	0.000	0.000	0.011	86.09	H
12027	1947	0.428	0.098	1.030	11.815	19.747	0.693	8.983	1.884	0.000	0.000	0.000	0.000	44.68	H
12027	1948	0.055	0.001	0.472	0.009	0.003	0.456	0.527	0.001	0.001	0.000	0.000	2.748	4.27	S
12027	1949	0.012	0.679	0.811	0.581	2.647	1.239	0.068	2.084	0.003	0.000	0.000	0.008	8.13	S
12027	1950	0.010	0.034	0.473	3.883	11.168	7.811	4.431	0.071	0.010	0.000	0.000	0.024	27.91	M
12027	1951	0.018	14.982	0.125	9.958	2.594	14.862	0.212	3.105	0.034	0.001	0.000	0.069	45.96	H
12027	1952	0.258	0.424	1.623	0.835	0.561	0.161	2.874	0.001	0.004	0.000	0.000	0.003	6.74	S
12027	1953	3.974	0.076	3.930	0.270	0.414	4.342	1.262	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	14.27	S
12027	1954	0.005	6.701	0.231	20.313	16.024	4.909	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000	0.013	48.24	H
12027	1955	0.257	4.783	17.936	14.276	4.573	15.100	4.203	0.389	0.000	0.000	0.001	0.053	61.57	H
12027	1956	0.777	0.009	0.048	0.004	0.670	0.103	0.102	0.079	0.000	0.000	0.000	0.090	1.88	S
12027	1957	0.492	0.092	0.238	0.792	0.348	2.812	0.184	0.012	0.006	0.000	0.000	0.000	4.98	S
12027	1958	0.008	0.003	35.174	6.949	6.743	5.130	0.902	0.397	0.000	0.000	0.000	0.008	55.31	H
12027	1959	1.245	1.991	5.382	7.565	23.304	16.665	1.736	0.972	0.265	0.000	0.000	0.013	59.14	H
12027	1960	9.594	8.834	8.202	5.490	0.467	1.861	2.864	4.200	0.012	0.000	0.000	0.050	41.12	H
12027	1961	0.080	3.630	6.933	7.598	3.986	17.432	2.448	0.002	0.238	0.000	0.000	0.002	42.35	H
12027	1962	4.139	0.567	7.536	21.867	29.810	4.674	10.298	0.357	0.017	0.000	0.000	0.033	79.30	H
12027	1963	0.002	7.477	26.795	3.573	32.766	21.471	0.864	0.002	0.005	0.000	0.000	0.004	92.96	H
12027	1964	0.001	0.113	0.079	1.419	6.392	5.759	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.427	14.19	S
12027	1965	11.969	6.521	4.699	27.972	36.292	0.041	10.196	0.000	0.008	0.000	0.000	0.001	97.70	H
12027	1966	1.142	0.125	0.000	0.343	3.023	0.068	0.628	0.155	0.013	0.000	0.000	0.000	5.50	S
12027	1967	0.246	3.491	0.014	0.000	19.568	5.891	0.810	0.001	0.000	0.000	0.001	0.007	30.03	M
12027	1968	0.027	1.794	2.545	13.802	28.378	23.674	0.973	0.957	0.005	0.000	0.000	0.057	72.21	H
12027	1969	1.761	11.262	0.919	58.547	0.479	0.762	0.018	0.257	0.625	0.001	0.000	0.000	74.63	H
12027	1970	0.000	0.096	0.125	10.734	0.002	0.623	3.546	3.195	0.254	0.000	0.000	0.000	18.57	M
12027	1971	0.000	0.000	0.076	7.475	12.462	7.504	0.065	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	27.59	M
12027	1972	4.871	0.649	5.183	5.867	0.093	1.196	0.000	1.787	0.033	0.000	0.000	0.000	19.68	M
12027	1973	0.019	0.033	0.645	1.764	3.821	3.323	5.624	0.010	0.120	0.000	0.000	0.000	15.36	S
12027	1974	0.000	0.971	0.001	0.344	1.319	13.330	0.059	0.054	0.001	0.000	0.000	0.000	16.08	S
12027	1975	0.009	0.003	0.965	0.049	2.668	1.083	7.418	0.003	0.000	0.000	0.000	1.409	13.61	S
12027	1976	2.473	2.912	27.474	14.556	23.262	0.180	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	70.90	H
12027	1977	0.966	1.842	15.567	1.621	23.532	2.963	8.671	1.572	0.035	0.000	0.000	0.000	56.77	H
12027	1978	0.057	0.112	21.854	13.584	27.047	9.781	7.081	0.000	0.000	0.000	0.000	0.068	79.59	H
12027	1979	19.681	0.016	0.049	0.105	0.615	2.848	1.213	0.363	0.002	0.000	0.000	0.000	24.89	M
12027	1980	0.162	0.142	0.000	0.000	0.016	0.097	1.384	0.010	0.000	0.000	0.000	0.031	1.84	S
12027	1981	0.006	0.000	12.087	3.536	2.162	0.086	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.133	18.02	M
12027	1982	0.004	1.233	0.348	0.000	0.045	0.000	1.834	0.006	0.000	0.000	0.008	0.000	3.48	S
12027	1983	0.123	10.420	3.477	2.007	0.573	9.851	3.297	0.904	0.193	0.000	0.000	0.000	30.85	M
12027	1984	0.061	4.724	0.131	18.788	12.092	0.086	6.942	0.618	0.001	0.000	0.000	0.000	43.44	H
12027	1985	0.000	0.316	0.794	0.885	12.657	0.289	0.784	0.009	0.000	0.000	0.000	2.147	17.88	M
12027	1986	0.038	0.044	0.025	3.707	5.852	0.016	7.797	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17.48	M
12027	1987	0.177	0.275	8.881	16.867	1.087	0.005	0.629	0.163	2.694	0.001	0.000	0.000	30.78	M
12027	1988	0.142	0.197	0.000	0.035	0.054	0.027	0.738	0.330	0.002	0.000	0.001	0.030	1.56	S
12027	1989	1.348	11.846	51.015	5.988	0.016	0.962	9.434	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	80.61	H
12027	1990	1.795	0.139	0.204	0.115	7.095	5.753	0.091	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	15.19	S
12027	1991	0.045	0.002	0.088	0.010	0.007	0.003	0.110	0.094	0.642	0.000	0.002	0.009	1.01	S
12027	1992	0.072	0.001	0.090	0.003	0.028	0.015	0.192	0.510	0.040	0.000	0.000	0.015	0.97	S
12027	1993	4.729	0.650	0.001	1.512	6.069	0.043	0.005	0.586	0.000	0.000	0.000	0.000	13.59	S
12027	1994	0.135	0.039	0.064	0.033	0.148	0.004	0.002	0.002	0.006	0.000	0.000	0.004	0.44	S
12027	1995	0.000	3.132	20.825	49.071	4.151	1.422	0.896	1.684	0.000	0.000	0.000	0.061	81.24	H
12027	1996	0.041	0.110	22.345	16.117	0.018	0.000	0.059	0.086	0.005	0.002	0.002	0.070	38.86	M
12027	1997	0.139	24.914	11.905	6.835	4.466	0.127	0.579	4.071	0.001	0.000	0.000	0.152	53.19	H
12027	1998	0.000	0.015	0.049	0.025	0.001	0.126	0.007	0.044	0.000	0.000	0.000	0.447	0.71	S
12027	1999	6.475	0.002	0.088	0.003	0.001	0.006	4.216	0.069	0.000	0.000	0.000	0.001	10.86	S
12027	2000	0.036	0.999	23.702	12.741	21.943	14.073	0.098	0.325	0.000	0.000	0.000	0.087	73.98	H
12027	2001	6.489	0.163	0.225	2.720	0.032	4.960	0.696	0.003	0.000	0.000	0.001	0.125	15.41	S
12027	2002	0.274	0.943	4.862	4.834	6.969	2.075	1.055	0.001	0.000	0.000	0.000	0.026	21.04	M
12027	2003	11.819	7.585	4.212	1.832	6.305	3.309	0.008	0.057	0.000	0.000	0.002	0.000	35.13	M
12027	2004	9.288	0.018	0.002	0.000	0.000	0.023	0.004	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	9.37	S
12027	2005	2.158	0.056	0.122	0.063	0.123	2.687	0.029	0.000	0.192	0.000	0.000	0.012	5.44	S

MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MED	1.88	2.52	5.94	7.31	7.69	4.77	2.52	0.58	0.08	0.00	0.00	0.00	0.13	33.42
MAX	19.68	24.91	51.02	58.55	49.13	32.01	13.14	5.16	2.69	0.01	0.02	2.75	259.07	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 5.62% 7.55% 17.76% 21.87% 23.02% 14.27% 7.53% 1.74% 0.25% 0.00% 0.00% 0.39% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RIO GUADIANA VII

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13218	1940	289.758	202.901	57.779	2,745.154	1,728.358	776.062	940.654	271.730	24.437	5.649	0.463	17.477	7,060.42	H
13218	1941	2.046	539.292	27.565	120.139	153.236	947.321	761.247	15.306	4.539	0.346	0.203	15.106	2,586.35	M
13218	1942	241.367	142.198	477.886	826.468	175.275	857.356	672.506	48.963	1.400	2.390	0.085	31.512	3,477.41	H
13218	1943	61.425	14.027	261.073	19.673	134.023	26.006	193.883	53.190	32.569	0.376	2.145	20.677	819.07	S
13218	1944	119.529	62.725	153.703	178.909	34.263	37.556	4.005	6.137	9.585	0.086	0.152	0.082	606.73	S
13218	1945	6.341	239.318	809.391	112.709	86.831	474.688	824.209	547.555	6.210	4.269	0.176	6.028	3,117.72	H
13218	1946	9.564	57.995	25.738	158.650	3,153.334	2,652.960	111.410	45.450	2.499	0.505	2.446	5.219	6,225.77	H
13218	1947	50.783	24.170	120.183	919.878	859.553	68.772	332.641	799.805	1.342	0.390	0.144	0.257	3,177.92	H
13218	1948	25.888	2.831	147.363	22.101	7.561	41.498	36.306	29.018	23.926	0.704	0.723	74.847	412.77	S
13218	1949	1.931	160.272	286.665	40.859	241.778	91.964	10.896	89.171	2.638	0.321	0.926	3.108	930.53	S
13218	1950	26.886	42.836	445.324	409.021	984.607	1,353.496	500.521	121.885	1.863	0.601	0.281	27.768	3,915.09	H
13218	1951	23.103	1,629.768	78.689	558.019	119.161	1,496.151	245.423	510.259	4.887	1.677	20.312	2.742	4,690.19	H
13218	1952	17.848	126.280	125.073	40.422	53.696	37.413	263.997	0.557	2.549	0.485	0.061	3.565	671.95	S
13218	1953	169.202	9.636	116.749	14.796	24.038	205.028	37.258	1.676	1.067	0.236	0.029	0.024	579.74	S
13218	1954	0.291	222.553	27.950	1,456.973	1,307.033	191.710	39.319	25.529	3.374	0.296	1.362	1.496	3,277.89	H
13218	1955	130.343	302.256	1,864.374	950.535	260.219	2,079.361	596.144	43.286	0.761	0.585	2.005	15.219	6,245.09	H
13218	1956	78.879	9.219	32.367	14.976	167.838	42.391	117.332	221.818	49.603	0.265	0.553	16.035	751.28	S
13218	1957	41.811	57.941	84.037	383.652	82.084	364.330	55.468	30.584	5.989	0.233	0.109	0.382	1,106.62	S
13218	1958	13.588	1.809	3,004.988	511.786	395.243	563.974	111.424	182.749	0.921	0.181	1.707	37.591	4,825.96	H
13218	1959	109.995	168.489	651.591	1,240.106	2,407.830	1,589.158	119.328	159.816	42.148	0.400	0.117	3.438	6,492.41	H
13218	1960	1,530.603	624.480	774.464	455.755	42.097	109.942	138.188	198.803	8.818	1.629	0.155	64.577	3,949.51	H
13218	1961	25.201	953.297	1,308.360	1,078.941	355.601	2,149.677	979.620	63.941	27.531	0.658	0.251	14.344	6,957.42	H
13218	1962	196.877	74.533	722.971	2,310.048	2,653.651	513.995	1,488.134	74.153	81.686	4.636	0.253	15.894	8,136.83	H
13218	1963	5.443	1,241.500	2,473.423	46.290	3,110.023	1,066.903	107.631	5.285	36.942	1.235	0.288	8.481	8,103.44	H
13218	1964	1.187	33.551	49.406	178.646	485.171	507.320	4.412	0.935	0.795	1.031	0.082	156.554	1,419.09	M
13218	1965	603.543	527.966	440.892	2,052.233	2,191.723	27.195	1,269.777	16.393	20.020	0.396	0.250	13.748	7,164.14	H
13218	1966	252.090	210.634	8.146	262.398	621.160	88.928	47.512	107.850	50.186	0.296	0.110	0.088	1,649.40	M
13218	1967	27.996	298.892	9.212	2.477	1,363.170	251.936	142.384	14.075	5.803	0.219	1.067	0.695	2,117.93	M
13218	1968	16.164	182.647	182.026	736.194	2,101.544	2,441.587	311.746	130.608	3.797	2.293	26.632	106.267	6,241.51	H
13218	1969	76.786	892.501	125.999	4,823.255	111.065	113.099	2.992	19.412	54.395	0.956	0.160	0.066	6,220.69	H
13218	1970	0.152	42.803	9.405	599.325	7.423	145.726	825.561	826.422	78.660	1.190	0.682	0.173	2,537.52	M
13218	1971	0.722	1.355	69.070	590.811	1,057.431	676.236	27.618	16.865	2.750	0.387	0.245	85.704	2,529.20	M
13218	1972	540.335	165.487	467.920	573.294	13.906	58.390	10.206	288.251	27.218	0.519	0.094	0.042	2,145.66	M
13218	1973	71.796	14.433	183.154	126.764	218.210	219.094	386.363	8.111	109.478	0.492	0.203	0.049	1,338.15	M
13218	1974	5.049	52.489	15.486	113.009	212.978	1,225.561	92.345	98.056	10.277	0.261	1.217	1.468	1,828.20	M
13218	1975	0.369	12.441	90.527	19.019	172.056	23.453	341.997	18.866	9.602	16.608	2.039	149.571	856.55	S
13218	1976	169.633	249.653	2,161.634	2,172.160	2,372.201	57.331	5.464	29.803	7.817	4.228	9.588	0.996	7,240.51	H
13218	1977	137.020	406.765	1,529.286	414.862	2,466.931	439.932	908.511	245.365	114.948	0.531	0.262	2.498	6,666.91	H
13218	1978	2.029	28.272	1,612.259	2,588.871	2,769.210	1,035.248	546.124	28.642	17.134	2.479	0.134	16.898	8,647.30	H
13218	1979	1,251.752	7.026	31.376	38.235	66.190	136.434	18.741	78.770	1.460	0.233	0.300	2.742	1,633.26	M
13218	1980	20.802	105.994	1.464	1.664	21.040	42.051	224.515	16.888	1.347	1.187	0.574	6.372	443.90	M
13218	1981	0.893	0.315	1,311.412	264.646	218.620	85.755	85.413	44.354	1.973	1.260	0.242	6.492	2,021.37	S
13218	1982	19.264	326.878	45.488	2.527	25.837	6.214	161.577	3.356	1.515	0.042	5.023	0.198	597.92	S
13218	1983	8.132	1,051.629	716.224	269.625	178.455	1,156.710	415.249	429.546	52.832	0.410	0.321	0.313	4,279.45	H
13218	1984	44.867	619.719	41.393	1,507.889	917.453	19.143	341.013	101.728	3.493	0.225	0.074	0.982	3,597.98	H
13218	1985	0.020	124.334	558.342	236.535	1,507.514	105.064	341.120	20.686	1.333	0.187	0.051	32.025	2,927.21	M
13218	1986	79.313	20.300	15.326	470.142	438.474	39.122	466.292	3.604	1.386	32.284	1.330	3.267	1,570.84	M
13218	1987	170.451	90.118	1,519.468	1,429.490	146.055	12.005	184.970	133.575	312.981	1.187	0.144	0.397	4,000.84	H
13218	1988	56.260	192.422	3.139	18.997	76.179	14.619	174.020	81.626	8.878	0.299	0.223	9.171	635.83	S
13218	1989	20.640	1,075.741	3,429.183	749.402	14.732	47.472	441.617	2.497	0.407	0.480	0.547	3.974	5,786.69	H
13218	1990	136.340	82.935	24.621	50.796	480.961	668.911	15.677	0.754	2.074	0.257	0.019	13.675	1,477.02	M
13218	1991	67.636	15.069	55.359	14.211	102.352	19.106	87.487	91.150	135.411	0.764	1.103	2.666	592.31	S
13218	1992	156.656	1.384	55.791	5.184	19.013	9.840	86.263	105.428	18.706	0.194	0.177	1.396	460.03	S
13218	1993	668.962	115.934	9.881	208.930	537.936	7.454	20.807	99.288	0.487	0.090	0.016	4.788	1,674.57	M
13218	1994	21.191	32.867	21.246	53.195	98.179	5.621	1.852	0.821	9.679	0.435	0.672	2.141	247.90	S
13218	1995	0.171	440.000	2,419.086	4,169.795	435.179	375.328	81.693	288.144	2.811	0.380	1.768	79.506	8,293.86	H
13218	1996	12.059	70.074	2,499.652	2,482.651	14.165	2.773	37.139	57.275	14.643	3.763	2.122	6.761	5,203.08	H
13218	1997	20.830	1,633.360	1,424.469	738.701	754.968	100.042	114.383	627.995	4.957	0.323	0.293	40.636	5,460.96	H
13218	1998	3.308	4.627	20.494	28.404	10.613	32.607	15.298	16.910	4.752	0.095	0.013	30.500	167.62	S
13218	1999	908.297	11.236	100.831	35.621	15.040	29.259	1,049.838	108.967	0.639	0.092	0.020	0.087	2,259.93	M
13218	2000	11.906	260.373	1,151.648	2,052.202	900.296	1,802.148	11.882	89.248	1.339	0.136	0.053	22.118	6,303.35	H
13218	2001	407.792	56.970	36.757	142.347	3.500	349.647	234.069	7.818	1.619	0.136	0.554	62.437	1,303.65	M
13218	2002	27.541	218.720	540.381	610.304	1,120.538	378.064	134.520	3.298	0.680	0.087	2.835	2.946	3,039.91	M
13218	2003	912.586	461.356	415.726	391.131	1,396.484	906.136	247.627	485.802	7.069	0.312	15.393	0.141	5,239.76	H
13218	2004	574.162	9.637	15.800	1.936	7.421	15.241	6.817	2.926	1.329	0.832	0.032	0.246	636.38	S
13218	2005	256.610	5.958	78.522	47.942	123.876	371.023	42.332	9.917	7.269	0.208	0.970	11.751	956.38	S

MIN	0.02	0.31	1.46	1.66	3.50	2.77	1.85	0.56	0.41	0.04	0.01	0.02	12.63
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------



SERIE DE APORTACIONES

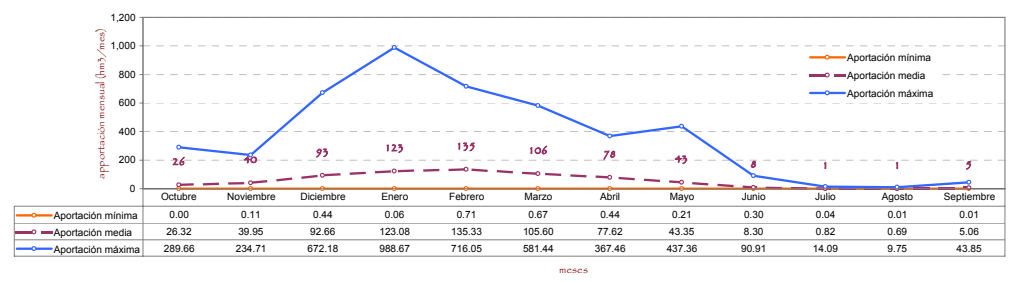
MODELO SIMPA

RIO GUADIANA IV

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13353	1940	48.010	68.209	21.286	783.414	615.500	155.912	288.235	93.839	10.526	2.116	0.417	8.092	2.095.56	H
13353	1941	1.190	147.879	9.894	43.003	42.199	314.873	157.340	3.716	2.225	0.340	0.161	4.862	727.68	M
13353	1942	45.946	56.820	78.008	109.411	56.967	165.494	265.978	17.773	1.000	1.391	0.080	9.008	807.88	H
13353	1943	14.571	10.172	64.227	10.597	90.676	14.842	65.968	37.468	5.745	0.343	0.547	14.352	329.51	M
13353	1944	15.500	22.824	22.921	68.421	16.828	20.961	2.294	2.586	4.176	0.085	0.115	0.032	176.74	S
13353	1945	0.474	42.983	103.704	18.183	15.192	139.504	352.549	171.018	5.261	0.408	0.167	1.570	851.01	H
13353	1946	0.778	10.541	9.096	32.279	716.050	579.202	31.862	20.913	1.802	0.436	1.331	2.391	1.406.68	H
13353	1947	5.784	7.378	15.814	171.056	106.520	17.361	61.675	186.380	1.194	0.390	0.143	0.245	573.94	M
13353	1948	8.582	2.407	17.411	7.107	2.123	4.669	9.164	12.908	5.863	0.285	0.491	20.127	91.14	S
13353	1949	0.327	13.882	14.503	5.185	48.136	6.763	1.446	7.667	0.295	0.068	0.797	0.280	99.35	S
13353	1950	4.891	6.185	103.772	93.450	189.673	431.739	199.739	52.999	0.850	0.505	0.273	20.701	1,104.78	H
13353	1951	9.089	225.107	23.021	123.970	26.013	252.887	163.919	115.768	2.151	0.730	5.825	0.144	948.62	H
13353	1952	3.428	12.390	14.032	0.576	3.994	4.174	15.968	0.293	1.246	0.219	0.059	2.217	58.60	S
13353	1953	10.962	0.238	9.110	0.611	3.445	34.309	7.807	0.684	0.580	0.112	0.027	2.009	67.89	S
13353	1954	0.101	11.026	2.183	175.289	279.789	19.256	18.597	5.332	2.223	0.262	0.386	0.569	515.01	M
13353	1955	28.773	30.345	283.692	139.222	48.780	380.673	130.853	25.786	0.688	0.453	0.737	2.734	1,072.74	H
13353	1956	4.986	0.961	1.626	2.673	33.834	4.917	17.407	32.413	16.332	0.263	0.242	2.236	117.89	S
13353	1957	14.005	9.695	12.113	46.545	12.964	50.984	13.897	6.482	2.349	0.231	0.087	0.299	169.65	M
13353	1958	2.816	0.232	473.150	27.894	30.201	81.642	15.411	74.728	0.836	0.179	0.983	11.237	719.31	S
13353	1959	18.945	29.094	111.095	269.238	639.487	386.892	22.206	17.672	12.852	0.393	0.071	0.586	1,508.53	H
13353	1960	289.663	61.721	136.398	88.694	5.357	11.202	21.766	24.580	2.255	0.386	0.145	9.917	652.08	M
13353	1961	3.720	167.645	277.763	158.979	53.764	581.441	367.462	46.625	13.717	0.646	0.250	3.625	1,675.64	H
13353	1962	22.992	9.382	122.205	383.603	491.279	89.338	269.958	13.160	43.361	2.953	0.250	4.403	1,452.88	H
13353	1963	1.419	234.711	312.747	3.391	684.098	251.343	36.809	2.206	17.814	0.733	0.275	1.807	1,547.35	H
13353	1964	0.209	8.346	14.624	20.034	100.718	118.397	3.102	0.754	0.627	1.025	0.056	43.855	311.75	S
13353	1965	48.229	95.693	74.570	442.104	447.453	5.098	272.318	9.697	12.730	0.387	0.155	3.941	1,412.38	H
13353	1966	42.589	45.284	1.604	47.965	137.800	25.388	16.086	25.213	21.497	0.295	0.104	0.049	363.87	M
13353	1967	4.536	64.030	0.957	0.061	228.079	75.691	77.193	9.588	3.516	0.211	0.236	0.185	464.28	M
13353	1968	1.277	28.574	35.217	138.572	484.670	551.968	170.585	41.381	2.749	0.878	9.746	29.016	1,494.63	H
13353	1969	12.593	142.256	34.564	988.667	26.460	27.397	1.594	3.041	5.124	0.927	0.156	0.066	1,242.84	H
13353	1970	0.034	6.161	1.750	58.023	4.846	44.627	145.437	437.361	33.279	0.816	0.202	0.130	732.66	M
13353	1971	0.063	0.723	20.564	72.600	168.531	174.880	10.561	9.689	1.628	0.255	0.201	37.574	497.27	M
13353	1972	73.642	81.370	43.447	93.953	1.640	18.879	5.643	52.130	13.320	0.360	0.093	0.041	384.52	M
13353	1973	53.560	0.826	41.501	20.680	50.489	73.953	140.599	2.321	37.843	0.387	0.175	0.049	422.38	M
13353	1974	4.358	5.167	0.784	5.373	24.683	126.307	45.400	29.821	4.350	0.261	1.189	0.744	248.44	S
13353	1975	0.006	3.126	9.175	5.124	31.204	3.461	24.462	3.614	3.264	9.074	1.058	22.687	116.25	S
13353	1976	29.287	22.215	339.159	424.373	430.174	19.770	2.679	21.458	3.164	6.150	6.150	2.677	1,300.84	H
13353	1977	28.469	65.696	241.703	69.842	539.625	94.005	242.698	82.634	13.223	0.531	0.232	0.383	1,379.04	H
13353	1978	0.063	4.076	204.683	470.498	514.045	203.430	117.511	20.484	10.670	1.147	0.134	6.355	1,553.10	H
13353	1979	118.460	1.014	3.039	5.324	13.479	22.764	9.610	28.541	0.662	0.233	0.092	0.953	204.17	S
13353	1980	4.210	22.914	0.435	0.447	5.842	7.589	79.656	8.188	0.824	1.146	0.464	0.780	131.50	M
13353	1981	0.022	0.108	278.405	39.188	41.930	34.131	22.426	32.993	1.712	1.079	0.130	0.743	452.87	S
13353	1982	15.303	117.423	11.834	0.721	2.738	1.476	30.582	0.843	1.096	0.042	1.794	0.068	183.92	S
13353	1983	0.012	85.349	134.917	30.601	34.895	245.511	178.582	199.291	16.149	0.407	0.154	0.077	926.04	H
13353	1984	5.226	110.011	2.095	129.689	151.818	5.874	68.944	29.848	1.882	0.225	0.074	0.354	506.04	M
13353	1985	0.002	25.371	119.543	42.524	336.522	24.285	158.096	10.038	1.202	0.173	0.049	0.997	718.80	M
13353	1986	21.925	2.600	2.020	89.776	73.737	7.368	70.881	1.624	0.865	14.089	0.372	0.487	285.74	S
13353	1987	41.296	17.281	223.810	221.573	30.010	2.010	63.803	34.427	90.905	0.441	0.144	0.294	725.99	M
13353	1988	11.919	24.144	0.438	2.981	17.672	3.906	51.179	30.557	5.284	0.287	0.193	3.606	152.17	S
13353	1989	0.773	109.177	359.798	94.857	1.442	12.968	55.343	0.922	0.325	0.388	0.480	2.325	638.80	M
13353	1990	24.076	9.248	1.636	2.223	64.351	103.106	7.168	0.241	0.624	0.203	0.017	7.182	220.07	S
13353	1991	21.563	2.932	8.681	1.027	29.770	5.044	18.066	26.252	70.180	0.314	0.291	0.385	184.50	S
13353	1992	43.311	0.254	7.294	0.569	1.270	2.192	12.467	29.631	9.850	0.189	0.120	0.112	107.26	S
13353	1993	103.661	7.852	1.649	29.516	44.945	1.056	3.819	11.713	0.370	0.069	0.016	1.133	205.80	S
13353	1994	7.556	5.768	1.688	5.990	10.896	0.672	0.441	0.395	2.001	0.100	0.639	0.319	36.46	S
13353	1995	0.024	65.356	414.311	618.347	99.127	83.746	29.675	90.330	1.259	0.209	1.756	19.507	1,423.65	H
13353	1996	0.574	17.177	672.182	701.948	3.492	1.369	16.979	25.175	3.935	0.862	1.093	2.051	1,446.84	H
13353	1997	1.997	145.849	310.982	87.449	107.062	22.966	35.926	201.724	3.277	0.322	0.219	4.051	921.82	H
13353	1998	0.640	0.479	3.877	7.078	2.086	5.347	5.044	2.896	2.631	0.072	0.007	9.206	39.36	S
13353	1999	122.202	1.342	15.054	4.401	1.764	2.438	169.820	22.164	0.468	0.089	0.020	0.018	339.78	M
13353	2000	3.068	26.781	101.057	238.602	73.416	371.386	2.488	46.394	0.877	0.132	0.033	4.580	868.81	H
13353	2001	64.881	10.434	5.472	22.505	0.706	56.287	40.634	3.617	1.192	0.097	0.249	4.866	210.94	S
13353	2002	6.507	28.775	70.068	93.614	133.321	50.175	12.031	2.730	0.481	0.087	1.477	0.615	399.88	M
13353	2003	183.844	40.445	45.168	19.579	221.873	268.613	151.476	295.592	4.510	0.312	1.367	0.113	1,232.89	H
13353	2004	60.600	1.873	3.830	0.367	2.293	3.974	0.733	0.207	0.661	0.824	0.007	0.016	75.38	S
13353	2005	17.545	1.150	11.953	12.048	22.332	59.438	12.547	2.828	2.426	0.089	0.211	1.901	144.47	S
MIN		0.00	0.11	0.44	0.06	0.71	0.67	0.44	0.21	0.30	0.04	0.01	0.06	2.99	
MED		26.32	39.95	92.66	123.08	135.33	105.60	77.62	43.35	8.30	0.82	0.69	5.01	658.77	
MAX		289.66	234.71	672.18	988.67	716.05	581.44	367.46	437.36	90.91	14.09	9.75	43.85	4,446.13	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 4.00% 6.06% 14.07% 18.68% 20.54% 16.03% 11.78% 6.58% 1.26% 0.12% 0.10% 0.77% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RIO GUADIANA VI

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13354	1940	255.653	196.829	49.004	2.524.984	1.623.274	708.978	874.868	255.650	24.412	4.762	0.463	17.474	6.536.35	H
13354	1941	2.039	500.324	26.227	110.409	139.120	884.233	718.004	14.906	4.504	0.346	0.201	14.653	2.414.97	M
13354	1942	232.801	137.244	413.108	693.377	158.707	756.232	650.150	48.957	1.400	2.388	0.085	31.024	3.125.47	H
13354	1943	59.727	13.994	250.894	19.375	133.307	25.862	191.624	53.091	32.481	0.376	1.965	20.675	803.37	S
13354	1944	110.366	60.210	146.504	170.185	33.444	37.253	3.427	6.130	9.525	0.086	0.152	0.082	577.36	S
13354	1945	6.238	224.302	708.074	99.679	81.036	457.246	780.901	516.735	6.205	4.269	0.176	6.026	2.890.89	M
13354	1946	9.079	56.852	25.275	153.533	3.003.276	2.526.094	109.931	45.394	2.499	0.505	2.442	5.148	5.940.03	H
13354	1947	48.919	23.469	115.551	860.450	813.583	66.583	319.796	787.485	1.341	0.390	0.144	0.257	3.037.97	H
13354	1948	25.636	2.808	141.278	21.780	7.289	40.461	35.990	28.895	23.913	0.704	0.720	65.314	394.79	S
13354	1949	1.881	149.505	272.094	38.284	230.901	88.785	10.825	83.395	2.606	0.320	0.926	3.042	882.57	S
13354	1950	26.639	42.080	440.149	402.059	954.307	1.308.475	494.167	121.176	1.860	0.601	0.281	27.745	3.819.54	H
13354	1951	22.847	1.505.979	74.346	533.405	105.071	1.403.201	236.944	484.469	4.729	1.250	20.298	2.323	4.394.86	H
13354	1952	16.933	124.117	123.100	37.512	52.291	34.355	257.635	0.547	2.537	0.482	0.061	3.466	653.04	S
13354	1953	150.690	6.830	95.147	12.086	21.890	183.899	33.696	1.615	1.066	0.236	0.029	0.024	507.21	S
13354	1954	0.284	196.297	26.105	1.338.083	1.243.792	180.818	39.193	25.015	3.374	0.263	1.331	1.495	3.056.05	H
13354	1955	128.621	283.567	1.713.774	858.096	237.626	1.969.365	555.632	42.183	0.761	0.585	1.775	14.463	5.806.45	H
13354	1956	73.569	9.035	30.427	13.560	160.742	37.025	115.708	220.788	49.599	0.264	0.553	14.967	726.24	S
13354	1957	41.610	57.143	83.049	367.331	78.601	345.567	53.538	30.529	5.982	0.233	0.109	0.381	1.064.07	S
13354	1958	13.266	1.746	2.853.772	470.266	373.820	524.360	95.916	171.490	0.921	0.181	1.706	37.395	4.544.84	H
13354	1959	105.089	154.184	605.571	1.173.185	2.323.548	1.526.613	115.724	138.743	41.378	0.399	0.116	3.324	6.187.87	H
13354	1960	1.491.199	596.937	747.311	440.060	40.880	106.945	132.622	185.977	8.715	1.627	0.155	64.400	3.816.83	H
13354	1961	24.741	918.238	1.280.459	1.046.088	335.990	2.069.475	972.850	63.920	27.178	0.658	0.251	14.245	6.734.09	H
13354	1962	178.015	73.016	705.915	2.172.271	2.528.489	494.571	1.437.626	73.276	81.643	4.636	0.253	15.685	7.765.40	H
13354	1963	5.326	1.142.960	2.305.334	29.438	2.962.894	978.973	105.686	5.070	36.906	1.234	0.288	8.382	7.582.49	H
13354	1964	1.177	33.049	46.812	167.378	452.214	483.086	4.367	0.930	0.795	1.031	0.082	155.506	1.346.43	M
13354	1965	547.304	494.961	390.622	1.942.959	2.055.112	26.644	1.195.595	16.098	20.020	0.396	0.250	13.727	6.703.69	H
13354	1966	233.596	208.085	7.723	252.903	598.788	86.682	46.321	104.560	49.607	0.296	0.105	0.087	1.588.75	M
13354	1967	25.049	286.700	8.580	2.214	1.306.339	245.911	140.716	13.801	5.803	0.219	1.051	0.615	2.037.00	M
13354	1968	10.964	173.578	174.242	695.899	2.017.268	2.325.517	303.220	126.859	3.785	2.290	26.630	105.741	5.965.99	H
13354	1969	71.384	866.385	120.153	4.508.731	104.594	110.235	2.949	18.321	51.760	0.956	0.160	0.066	5.855.69	H
13354	1970	0.149	41.978	8.848	552.699	7.297	143.385	809.727	810.510	78.249	1.186	0.682	0.173	2.454.88	M
13354	1971	0.707	1.348	68.808	553.682	1.011.424	648.216	27.334	16.848	2.750	0.367	0.245	85.107	2.417.83	M
13354	1972	510.679	162.968	417.418	539.221	13.226	58.174	10.204	284.556	27.153	0.517	0.094	0.042	2.024.25	M
13354	1973	71.656	12.903	178.679	120.096	206.220	211.670	379.019	8.060	107.412	0.492	0.203	0.049	1.296.46	M
13354	1974	5.047	50.576	15.306	111.040	208.703	1.159.778	92.004	93.565	10.271	0.261	1.217	1.447	1.749.22	M
13354	1975	0.290	11.822	81.440	18.441	165.947	22.387	324.633	18.830	9.488	16.608	2.031	147.590	819.51	S
13354	1976	165.383	242.740	2.097.081	2.080.167	2.266.658	56.466	5.460	29.783	7.697	4.226	9.580	0.992	6.966.23	H
13354	1977	131.674	366.808	1.403.386	404.072	2.343.748	421.190	884.634	238.945	113.873	0.531	0.262	2.497	6.311.62	H
13354	1978	1.123	26.547	1.396.809	2.450.404	2.607.591	994.035	512.537	28.641	17.128	2.479	0.134	16.873	8.054.30	H
13354	1979	1.100.538	6.663	29.648	36.078	63.461	116.860	17.381	78.317	1.460	0.233	0.294	2.741	1.453.67	M
13354	1980	20.527	105.158	1.442	1.658	20.903	41.115	222.043	16.807	1.347	1.187	0.574	6.354	439.12	S
13354	1981	0.830	0.300	1.228.119	238.522	209.569	84.741	85.354	44.345	1.972	1.259	0.242	6.149	1.901.40	M
13354	1982	19.243	318.930	44.798	2.482	23.542	6.213	157.235	3.186	1.515	0.042	4.989	0.197	582.37	S
13354	1983	7.186	880.023	654.353	247.300	176.214	1.099.915	406.846	424.927	51.138	0.410	0.321	0.313	3.948.95	H
13354	1984	41.919	589.091	33.324	1.370.341	838.064	18.483	314.506	99.087	3.492	0.225	0.074	0.982	3.309.59	H
13354	1985	0.017	120.225	544.919	230.294	1.449.760	103.689	338.766	20.677	1.333	0.187	0.051	27.240	2.837.16	M
13354	1986	78.478	19.708	14.780	442.665	407.428	37.526	438.739	3.598	1.385	32.281	1.322	3.131	1.481.04	M
13354	1987	168.685	87.971	1.434.324	1.341.653	138.284	10.082	180.797	132.736	303.906	1.126	0.144	0.397	3.800.11	H
13354	1988	55.207	189.474	3.130	18.840	75.602	14.240	173.170	79.961	8.878	0.299	0.223	9.078	628.10	S
13354	1989	15.184	993.378	3.081.539	709.196	13.694	45.400	412.119	2.492	0.407	0.480	0.547	3.966	5.278.40	H
13354	1990	105.008	70.822	20.270	34.254	442.930	609.612	15.107	0.753	2.073	0.257	0.019	13.652	1.314.76	M
13354	1991	64.886	14.985	53.850	13.987	101.940	19.024	86.848	90.850	134.801	0.764	1.100	2.642	585.68	S
13354	1992	155.655	1.374	53.715	5.104	18.699	9.649	82.601	98.751	18.687	0.194	0.177	1.379	445.99	S
13354	1993	632.800	107.698	9.856	200.382	492.108	6.588	20.779	85.038	0.487	0.090	0.016	4.788	1.560.63	M
13354	1994	20.564	30.251	21.025	52.877	96.788	5.521	1.849	0.821	9.581	0.434	0.672	2.138	242.52	S
13354	1995	0.171	428.507	2.268.576	3.880.035	417.980	336.997	78.924	285.246	2.811	0.380	1.768	79.099	7.780.49	H
13354	1996	11.563	67.571	2.395.794	2.396.904	14.019	2.768	37.109	55.776	14.596	3.542	2.115	6.413	5.008.17	H
13354	1997	18.793	1.480.164	1.330.130	708.075	706.594	98.416	113.322	617.089	4.956	0.323	0.293	39.984	5.118.14	H
13354	1998	3.302	4.522	19.964	27.756	10.600	32.291	15.230	16.755	4.749	0.095	0.012	30.227	165.50	S
13354	1999	835.828	10.996	99.583	35.193	14.845	29.107	1.021.054	105.663	0.638	0.092	0.020	0.087	2.153.11	M
13354	2000	11.688	247.251	997.508	1.927.943	796.698	1.691.106	11.632	88.251	1.326	0.136	0.053	22.074	5.795.67	H
13354	2001	387.900	56.893	36.694	139.429	3.464	338.160	233.400	7.793	1.619	0.136	0.539	61.918	1.267.95	M
13354	2002	27.087	210.997	495.887	580.186	1.067.363	347.502	117.916	3.298	0.680	0.087	2.694	2.912	2.856.61	M
13354	2003	865.169	431.069	374.782	353.699	1.349.169	880.762	247.549	485.264	7.069	0.312	15.384	0.141	5.010.37	H
13354	2004	492.412	8.883	15.790	1.936	7.418	15.151	6.810	2.917	1.329	0.832	0.032	0.244	553.75	S
13354	2005	184.832	5.662	77.141	47.504	118.748	334.524	40.871	9.916	7.239	0.202	0.946	11.667	839.25	S
MIN		0.02	0.30	1.44	1.66	3.46	2.77	1.85	0.55	0.41	0.04	0.01	0.02	12.53	
MED		153.53	241.62	529.84	651.97	637.65	455.84	272.11	122.36	2					



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RIO GUADIANA V

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13355	1940	184.353	182.165	42.498	2,172.631	1,490.787	614.961	786.838	237.358	24.348	4.690	0.463	17.451	5,758.54	H
13355	1941	2.031	454.836	24.734	100.859	125.038	805.967	651.015	14.200	4.412	0.346	0.191	13.647	2,197.28	H
13355	1942	221.781	123.260	367.778	577.466	137.162	663.216	602.092	48.922	1.400	2.374	0.085	28.843	2,774.38	H
13355	1943	54.766	13.947	231.317	18.815	130.935	25.200	183.837	52.500	32.124	0.376	1.487	20.573	765.88	S
13355	1944	92.370	56.662	137.944	158.839	31.832	36.100	3.248	6.062	9.266	0.086	0.152	0.082	532.64	S
13355	1945	5.197	164.962	599.641	84.012	72.443	429.885	726.061	476.154	6.177	4.269	0.176	5.885	2,574.84	H
13355	1946	7.459	51.242	23.000	136.215	2,654.474	2,270.482	105.145	44.982	2.499	0.505	2.440	4.919	5,303.36	H
13355	1947	41.487	22.227	105.647	767.412	716.775	61.061	282.529	732.136	1.341	0.390	0.144	0.257	2,731.41	H
13355	1948	24.368	2.786	130.643	21.106	7.046	36.544	34.959	28.653	23.812	0.704	0.659	59.013	370.29	S
13355	1949	1.620	125.685	224.376	31.992	199.270	77.245	10.391	75.668	2.562	0.320	0.926	2.938	752.99	S
13355	1950	25.055	39.897	426.704	383.346	880.995	1,242.686	471.036	118.828	1.808	0.601	0.281	27.643	3,618.88	H
13355	1951	22.024	1,284.641	62.395	486.159	86.191	1,243.936	230.250	452.345	4.479	1.205	20.290	1.932	3,895.85	H
13355	1952	14.484	115.510	114.531	29.198	47.654	28.665	241.416	0.525	2.521	0.445	0.061	3.387	598.40	S
13355	1953	127.407	4.246	78.059	9.502	19.154	160.117	29.182	1.416	1.066	0.235	0.029	0.024	430.44	S
13355	1954	0.216	145.258	21.070	1,156.664	1,093.107	156.038	38.546	24.275	3.373	0.263	1.109	1.493	2,641.41	H
13355	1955	125.180	257.020	1,509.936	721.927	206.832	1,764.270	492.191	41.440	0.761	0.585	1.762	13.934	5,135.84	H
13355	1956	65.141	8.564	27.098	11.963	140.097	30.685	108.448	216.601	49.532	0.264	0.551	13.163	672.11	S
13355	1957	41.241	55.341	79.325	339.846	71.498	302.956	49.804	30.235	5.966	0.233	0.101	0.381	976.93	M
13355	1958	12.300	1.696	2,568.721	418.841	325.018	479.948	82.662	165.482	0.921	0.181	1.692	37.220	4,094.68	H
13355	1959	90.510	131.398	554.182	1,065.503	2,157.278	1,393.995	101.143	116.061	38.431	0.399	0.116	3.209	5,652.22	H
13355	1960	1,394.435	520.430	678.481	401.971	38.577	100.520	110.451	155.994	8.463	1.618	0.155	63.428	3,474.52	H
13355	1961	23.015	836.191	1,212.091	964.318	298.720	1,890.892	953.164	63.651	25.939	0.658	0.251	14.120	6,283.01	H
13355	1962	156.161	69.166	669.736	1,971.827	2,268.628	452.532	1,303.751	70.047	81.359	4.630	0.253	15.510	7,063.60	H
13355	1963	5.183	1,029.028	2,067.033	19.951	2,716.569	855.707	99.090	4.943	36.763	1.234	0.288	8.313	6,844.10	H
13355	1964	1.151	31.507	44.330	157.630	404.428	435.787	4.310	0.920	0.792	1.031	0.082	152.919	1,234.89	M
13355	1965	466.362	458.326	344.442	1,729.843	1,754.177	25.424	1,065.928	15.905	19.918	0.396	0.250	13.632	5,894.60	H
13355	1966	220.887	205.072	7.440	241.215	554.434	82.223	43.888	101.359	49.159	0.296	0.105	0.087	1,506.16	M
13355	1967	21.495	260.156	8.087	2.122	1,182.950	232.278	138.989	13.676	5.786	0.219	0.996	0.564	1,867.32	H
13355	1968	9.904	156.565	157.697	622.213	1,817.123	2,108.290	287.810	118.042	3.759	2.242	26.554	104.415	5,414.61	H
13355	1969	65.792	800.714	114.046	4,011.656	98.258	103.982	2.680	16.677	46.459	0.956	0.160	0.066	5,261.45	H
13355	1970	0.147	40.624	8.149	503.466	7.257	141.791	773.116	792.893	75.066	1.173	0.633	0.173	2,344.49	H
13355	1971	0.703	1.340	67.737	494.995	932.353	596.418	26.773	16.721	2.739	0.361	0.245	84.218	2,224.60	H
13355	1972	450.667	157.387	362.975	481.051	12.521	56.046	10.194	273.242	26.569	0.504	0.094	0.042	1,831.29	H
13355	1973	71.314	11.339	172.597	109.629	193.252	200.444	365.226	7.991	105.728	0.492	0.203	0.049	1,238.26	M
13355	1974	5.047	46.956	14.893	108.420	199.606	1,048.442	90.340	87.924	10.207	0.261	1.217	1.439	1,614.75	M
13355	1975	0.208	11.445	71.129	17.797	151.123	17.571	281.597	17.226	9.314	16.592	2.018	140.781	736.80	S
13355	1976	154.353	218.256	1,887.953	1,900.903	2,021.469	55.175	5.433	29.743	7.329	4.223	9.453	0.984	6,295.28	H
13355	1977	120.150	325.647	1,248.400	385.869	2,121.079	389.570	832.984	219.841	109.760	0.531	0.262	2.465	5,756.56	H
13355	1978	0.683	24.821	1,232.897	2,246.183	2,311.809	902.778	462.105	28.628	17.080	2.474	0.134	15.301	7,244.89	H
13355	1979	946.380	6.390	28.293	34.375	59.349	94.922	15.278	75.773	1.406	0.233	0.288	2.725	1,265.41	M
13355	1980	18.977	102.111	1.414	1.631	20.099	38.173	213.079	16.643	1.343	1.181	0.573	5.803	421.03	S
13355	1981	0.715	0.293	1,142.650	210.194	191.035	83.828	84.969	44.322	1.969	1.257	0.241	4.798	1,766.27	H
13355	1982	19.149	308.109	42.292	2.409	21.417	6.208	147.496	3.039	1.514	0.042	4.814	0.197	556.68	S
13355	1983	5.213	706.146	574.890	216.283	166.299	977.381	390.638	416.134	46.054	0.410	0.320	0.301	3,500.07	H
13355	1984	37.699	543.901	28.430	1,163.573	721.796	17.147	283.910	95.985	3.396	0.225	0.074	0.988	2,897.10	H
13355	1985	0.017	113.565	522.637	214.484	1,328.196	99.201	332.818	20.564	1.331	0.187	0.051	17.712	2,650.76	H
13355	1986	77.381	18.283	14.103	406.564	357.451	36.405	381.786	3.512	1.367	32.189	1.300	2.929	1,333.27	M
13355	1987	164.329	83.282	1,304.306	1,182.284	123.593	9.175	174.395	129.951	287.572	1.092	0.144	0.397	3,460.52	H
13355	1988	51.688	177.935	3.076	17.955	72.222	13.159	167.543	76.031	8.818	0.299	0.221	8.797	597.74	S
13355	1989	9.671	850.017	2,567.306	639.351	12.098	39.159	345.672	2.439	0.405	0.480	0.544	3.951	4,471.09	M
13355	1990	93.630	64.336	17.472	28.876	400.540	562.846	13.937	0.751	2.057	0.257	0.019	13.480	1,198.20	M
13355	1991	63.068	14.616	52.269	13.454	101.349	18.851	83.944	89.494	132.005	0.764	1.043	2.517	573.37	S
13355	1992	153.366	1.323	51.937	4.820	17.651	9.416	80.039	92.949	18.178	0.194	0.177	0.680	430.73	S
13355	1993	557.640	89.466	9.333	183.764	411.445	5.740	20.126	71.877	0.482	0.089	0.016	4.788	1,354.77	M
13355	1994	18.716	28.131	19.110	51.545	89.726	4.416	1.791	0.786	9.373	0.434	0.672	2.092	226.79	S
13355	1995	0.168	393.213	2,054.972	3,354.485	380.266	306.887	70.013	268.801	2.810	0.380	1.768	77.256	6,911.02	H
13355	1996	10.426	63.027	2,196.889	2,223.737	13.044	2.730	36.145	52.804	14.301	3.425	2.075	5.650	4,624.25	H
13355	1997	16.429	1,213.860	1,184.822	636.313	621.655	93.517	108.482	592.467	4.912	0.323	0.293	37.908	4,510.98	H
13355	1998	3.255	4.078	18.950	27.042	10.512	31.044	14.854	15.610	4.740	0.094	0.012	28.366	158.55	S
13355	1999	739.126	10.087	94.103	33.482	13.838	27.209	934.553	93.341	0.634	0.092	0.020	0.076	1,946.56	H
13355	2000	11.198	220.001	820.731	1,738.723	607.228	1,540.931	11.081	82.722	1.314	0.136	0.053	21.473	5,055.59	H
13355	2001	331.363	55.078	35.258	124.417	3.138	283.264	221.695	7.685	1.617	0.136	0.536	60.538	1,124.73	M
13355	2002	24.670	194.853	436.463	533.120	966.569	316.895	100.680	3.294	0.679	0.087	2.664	2.850	2,582.82	H
13355	2003	763.227	371.598	333.336	287.802	1,221.652	820.154	246.937	479.646	7.066	0.312	15.185	0.141	4,547.06	H
13355	2004	415.752	7.937	15.686	1.926	7.395	14.803	6.658	2.649	1.313	0.832	0.032	0.227	475.21	S
13355	2005	145.048	4.915	73.826	45.981	114.011	289.309	39.963	9.899	5.579	0.200	0.877	11.269	740.88	S

MIN	0.02	0.29	1.41	1.63	3.14	2.73	1.79	0.52	0.41	0.04	0.01	0.02	12.02
MED	136.44	213.53	474.91	5									



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

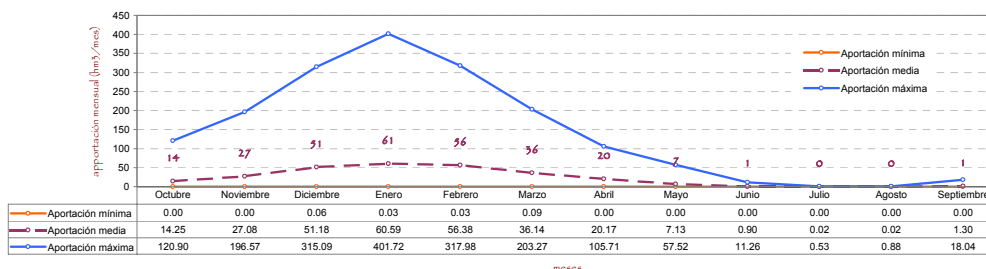
RIO ARDILA II

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13359	1940	60.550	12.268	0.978	274.187	93.017	63.502	78.735	9.905	1.463	0.168	0.000	0.105	594.88	H
13359	1941	0.021	59.830	0.975	4.800	8.037	51.178	50.696	0.488	0.053	0.000	0.000	2.183	178.26	M
13359	1942	14.341	5.933	36.264	58.486	3.862	78.727	83.679	0.079	0.000	0.118	0.000	2.028	283.52	H
13359	1943	2.516	0.036	51.610	0.072	34.331	4.859	11.446	0.228	0.953	0.000	0.880	0.167	107.10	M
13359	1944	0.937	0.519	1.150	2.480	0.071	0.458	0.040	0.064	0.410	0.000	0.000	0.001	6.13	S
13359	1945	1.804	96.997	133.449	12.477	8.900	38.625	49.466	57.516	0.346	0.000	0.000	0.207	399.79	H
13359	1946	2.140	10.764	1.390	18.033	317.979	203.265	2.890	1.119	0.000	0.005	0.008	0.135	557.53	H
13359	1947	3.434	1.119	22.595	104.033	100.663	4.207	28.371	50.743	0.012	0.000	0.000	0.001	315.18	H
13359	1948	1.900	0.001	24.792	0.948	0.105	9.317	1.560	0.833	0.232	0.000	0.000	14.552	54.24	S
13359	1949	0.016	13.175	46.850	7.300	27.776	11.511	0.498	17.951	0.086	0.008	0.000	0.037	125.21	M
13359	1950	1.088	2.161	27.739	54.954	102.741	77.046	21.726	2.976	0.001	0.000	0.000	0.332	290.76	H
13359	1951	0.233	154.069	1.414	26.994	5.441	137.880	3.255	35.405	0.342	0.191	0.002	0.307	365.54	H
13359	1952	1.260	7.716	33.123	20.707	13.940	19.605	50.927	0.023	0.053	0.011	0.000	0.022	147.39	M
13359	1953	37.467	1.911	30.262	3.126	2.329	34.106	9.107	0.134	0.001	0.005	0.000	0.000	118.45	M
13359	1954	0.014	17.304	2.048	111.610	105.651	26.083	0.286	1.785	0.003	0.000	0.011	0.001	264.80	H
13359	1955	4.425	80.959	98.955	72.872	32.710	141.897	52.419	0.415	0.000	0.000	0.011	1.526	486.19	H
13359	1956	2.745	0.244	0.690	0.200	4.184	2.551	14.006	2.129	0.116	0.000	0.000	2.922	29.78	S
13359	1957	0.931	4.579	2.102	6.991	3.326	12.211	0.183	0.046	0.025	0.000	0.001	0.000	30.40	S
13359	1958	0.130	0.164	315.086	58.993	29.932	42.453	11.020	7.477	0.000	0.000	0.000	0.140	465.40	M
13359	1959	11.466	25.514	47.941	87.851	142.318	106.877	9.815	7.594	6.446	0.000	0.001	0.186	446.01	M
13359	1960	72.065	39.647	49.774	21.613	0.642	17.326	9.536	20.051	0.246	0.011	0.000	0.923	231.84	M
13359	1961	1.397	102.345	95.292	126.430	21.768	136.308	29.966	0.383	1.642	0.000	0.000	0.143	515.67	H
13359	1962	17.025	8.610	75.165	178.176	200.340	34.410	105.712	2.267	0.049	0.000	0.000	0.116	621.87	H
13359	1963	0.218	68.305	210.512	9.512	176.950	99.964	7.866	0.148	0.167	0.000	0.000	0.406	574.05	H
13359	1964	0.010	2.299	6.635	39.691	38.981	28.385	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	4.311	120.32	M
13359	1965	120.901	85.038	50.762	195.850	184.276	0.137	40.584	0.086	0.247	0.000	0.002	0.271	678.15	H
13359	1966	9.538	7.031	0.063	9.185	29.377	5.023	1.571	4.729	0.883	0.000	0.000	0.001	67.40	S
13359	1967	6.030	34.333	0.486	0.067	109.704	20.153	6.227	0.150	0.050	0.000	0.382	0.003	177.58	M
13359	1968	0.800	27.811	39.382	105.629	189.089	165.817	3.759	7.598	0.013	0.125	0.000	4.571	544.59	H
13359	1969	6.667	77.624	9.793	362.132	3.612	13.488	0.000	2.598	11.262	0.001	0.000	0.001	487.78	H
13359	1970	0.003	3.322	5.254	77.511	0.033	2.546	75.714	18.157	2.600	0.025	0.006	0.001	185.17	M
13359	1971	0.001	0.003	1.438	44.730	78.264	64.459	1.702	1.067	0.000	0.033	0.004	0.362	192.06	M
13359	1972	64.064	3.364	46.992	66.292	3.907	15.421	0.003	16.431	1.149	0.012	0.001	0.000	217.64	M
13359	1973	0.418	1.445	10.774	6.359	14.365	16.726	30.809	0.019	1.538	0.000	0.000	0.000	82.45	S
13359	1974	0.000	4.589	0.442	9.330	25.387	11.372	6.309	6.242	0.017	0.000	0.000	0.042	163.73	M
13359	1975	0.001	0.010	12.887	1.110	22.697	10.050	42.888	5.651	0.917	0.002	0.017	18.044	114.27	M
13359	1976	27.960	37.278	236.177	201.122	210.032	1.621	0.000	0.002	0.643	0.000	0.000	0.032	714.87	H
13359	1977	19.595	23.435	123.001	55.023	171.929	21.969	58.043	17.067	2.884	0.000	0.000	0.061	493.01	H
13359	1978	0.979	1.055	96.061	163.014	199.027	70.997	55.746	0.008	0.007	0.017	0.000	1.203	588.11	H
13359	1979	83.259	0.911	1.775	4.624	6.570	7.467	2.916	6.287	0.159	0.000	0.000	0.030	114.00	M
13359	1980	2.720	10.247	0.091	0.117	1.204	2.317	5.660	0.183	0.090	0.071	0.000	0.771	23.47	S
13359	1981	0.088	0.011	130.871	60.570	15.306	4.051	1.474	0.102	0.001	0.001	0.067	1.834	214.37	M
13359	1982	0.091	28.625	7.683	0.133	2.040	0.094	14.429	0.067	0.000	0.000	0.001	0.001	53.17	S
13359	1983	2.747	115.606	53.414	17.177	18.758	53.332	9.288	7.892	3.343	0.000	0.000	0.031	281.59	H
13359	1984	1.710	37.609	1.878	148.524	83.912	1.479	25.267	5.725	0.172	0.000	0.000	0.022	306.30	H
13359	1985	0.005	5.465	34.445	25.049	121.009	13.254	10.014	0.203	0.000	0.000	0.000	3.135	212.58	M
13359	1986	1.824	2.844	1.250	44.803	57.588	0.711	27.883	0.001	0.232	0.529	0.005	0.341	138.01	M
13359	1987	15.186	5.295	136.853	116.019	10.279	0.418	2.569	12.421	9.645	0.005	0.000	0.000	308.69	H
13359	1988	4.859	40.038	0.188	3.538	12.530	1.909	25.934	6.702	0.026	0.000	0.000	0.339	96.06	S
13359	1989	6.161	112.376	313.090	61.429	1.134	6.323	61.921	0.704	0.000	0.000	0.001	0.005	563.14	H
13359	1990	14.174	7.091	3.408	6.520	85.540	71.575	7.341	0.103	0.077	0.000	0.000	0.269	196.10	M
13359	1991	2.377	0.595	2.168	0.525	0.627	0.486	2.762	1.005	5.614	0.000	0.008	0.156	16.32	S
13359	1992	2.469	0.026	1.704	1.359	0.532	0.474	6.220	12.259	0.568	0.000	0.000	0.964	26.58	S
13359	1993	97.061	23.075	1.384	34.979	94.840	1.413	1.074	9.881	0.000	0.000	0.000	0.001	263.71	H
13359	1994	3.906	1.100	4.902	3.052	15.778	0.965	0.209	0.051	0.205	0.000	0.001	0.007	30.18	S
13359	1995	0.012	60.609	116.972	401.720	39.570	16.166	9.294	29.343	0.002	0.000	0.000	3.466	677.15	H
13359	1996	1.920	2.128	208.491	125.781	0.917	0.121	6.210	1.137	0.339	0.022	0.026	2.907	350.00	H
13359	1997	5.187	196.568	131.689	84.714	66.821	3.864	6.223	38.162	0.001	0.000	0.001	1.999	535.23	H
13359	1998	0.027	0.110	1.261	1.624	0.236	4.298	2.024	0.792	0.005	0.000	0.000	6.223	16.60	S
13359	1999	65.657	0.250	6.806	1.514	0.206	1.462	77.589	15.325	0.001	0.000	0.000	0.004	168.81	M
13359	2000	0.865	25.997	129.285	145.821	107.629	108.504	0.448	4.432	0.006	0.000	0.000	4.332	527.12	H
13359	2001	26.072	5.351	14.779	22.459	0.448	69.491	45.196	0.635	0.000	0.000	0.000	2.983	187.41	M
13359	2002	5.391	19.819	77.624	50.254	112.837	31.358	16.697	0.015	0.000	0.000	0.000	0.075	314.07	H
13359	2003	69.925	58.189	39.798	29.810	136.605	37.270	2.160	16.777	0.052	0.000	0.034	0.000	390.62	H
13359	2004	21.611	0.404	0.287	0.026	0.039	0.470	0.056	0.476	0.033	0.000	0.000	0.000	23.40	S
13359	2005	10.034	4.104	5.540	6.953	10.576	43.308	3.289	0.009	3.931	0.004	0.013	0.797	88.56	S

MIN	0.00	0.00	0.06	0.03	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
MED	14.25	27.08	51.18	60.59	56.38	36.14	20.17	7.13	0.90	0.02	0.02	0.02	1.30	275.16
MAX	120.90	196.57	315.09	401.72	317.98	203.27	105.71	57.52	11.26	0.53	0.88	18.04	1,749.46	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 5.18% 9.84% 18.60% 22.02% 20.49% 13.13% 7.33% 2.59% 0.33% 0.01% 0.01% 0.47% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

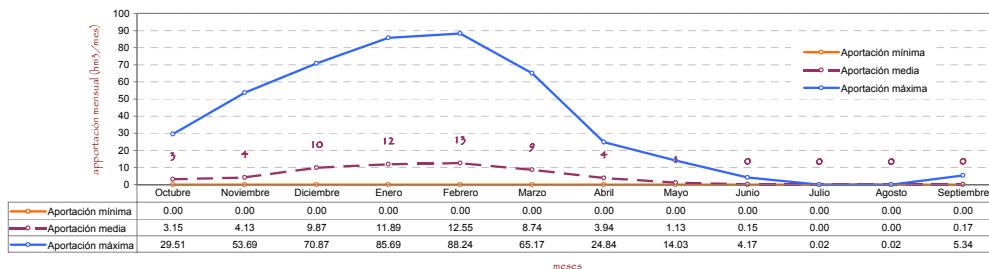
MODELO SIMPA

RIO ALGARACHE II

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13366	1940	26.302	5.210	0.224	85.689	29.912	22.740	24.844	4.021	0.000	0.005	0.000	0.000	198.95	H
13366	1941	0.000	7.341	0.036	0.996	1.058	14.458	11.860	0.008	0.001	0.000	0.000	0.023	35.78	M
13366	1942	0.674	0.305	7.459	16.850	2.132	20.504	7.532	0.000	0.000	0.001	0.000	0.057	55.51	H
13366	1943	0.150	0.000	8.729	0.001	0.142	0.091	1.096	0.009	0.004	0.000	0.023	0.000	10.24	S
13366	1944	0.092	0.034	0.050	0.270	0.000	0.020	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.48	S
13366	1945	0.034	13.256	40.939	3.221	2.006	11.253	11.171	14.027	0.000	0.000	0.000	0.001	95.91	H
13366	1946	0.031	0.711	0.158	5.136	88.239	65.173	0.965	0.009	0.000	0.000	0.000	0.001	160.42	H
13366	1947	1.185	0.024	2.465	15.798	21.185	1.124	7.233	3.422	0.000	0.000	0.000	0.000	52.44	H
13366	1948	0.108	0.004	1.844	0.024	0.000	0.243	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	5.339	0.760	S
13366	1949	0.000	1.997	3.211	0.857	4.860	1.875	0.037	0.719	0.002	0.000	0.000	0.000	13.56	S
13366	1950	0.002	0.052	0.692	6.831	19.831	13.842	7.841	0.218	0.000	0.000	0.000	0.004	49.31	H
13366	1951	0.010	25.575	0.244	2.254	1.387	22.292	0.144	2.582	0.065	0.000	0.000	0.040	54.59	H
13366	1952	0.085	0.095	1.492	0.239	0.055	0.142	1.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.63	S
13366	1953	11.547	0.101	5.711	0.135	0.497	12.650	1.974	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	32.61	M
13366	1954	0.000	2.195	0.064	24.817	20.537	9.265	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	56.89	H
13366	1955	0.047	5.501	27.896	21.571	4.110	26.418	8.828	0.556	0.000	0.000	0.000	0.018	94.94	H
13366	1956	0.523	0.000	0.052	0.000	0.528	0.100	0.029	0.053	0.002	0.000	0.000	0.042	1.33	S
13366	1957	0.008	0.087	0.091	0.434	0.106	2.934	0.092	0.009	0.004	0.000	0.000	0.000	3.76	S
13366	1958	0.003	0.000	52.871	12.677	7.313	12.658	1.548	0.137	0.000	0.000	0.000	0.009	87.22	H
13366	1959	1.892	5.959	13.256	15.797	32.030	29.796	2.646	1.787	0.333	0.000	0.000	0.010	103.51	H
13366	1960	17.204	10.389	12.424	6.461	0.185	1.425	3.157	12.067	0.002	0.000	0.001	0.071	63.38	H
13366	1961	0.135	10.654	8.383	16.770	3.384	39.780	5.640	0.014	0.672	0.000	0.000	0.002	85.43	H
13366	1962	3.282	0.431	6.993	24.979	48.468	7.699	20.296	0.469	0.013	0.000	0.000	0.007	112.64	H
13366	1963	0.000	14.286	41.390	6.110	45.760	33.304	1.143	0.005	0.001	0.001	0.000	0.003	142.00	H
13366	1964	0.000	0.096	0.130	2.196	5.017	9.839	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.103	17.38	S
13366	1965	25.001	10.499	10.703	47.974	57.252	0.001	14.047	0.000	0.010	0.000	0.000	0.051	165.49	H
13366	1966	2.023	0.059	0.001	0.600	7.032	0.165	0.474	0.251	0.050	0.000	0.000	0.000	10.66	S
13366	1967	0.135	1.467	0.018	0.000	23.646	6.641	0.496	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	32.40	M
13366	1968	0.014	1.237	6.979	20.879	50.181	45.257	0.917	1.163	0.012	0.000	0.000	0.053	126.69	H
13366	1969	0.635	8.096	1.013	70.957	0.606	1.052	0.080	0.165	1.367	0.000	0.000	0.000	83.97	H
13366	1970	0.000	0.087	0.133	14.326	0.001	0.721	11.559	8.344	1.515	0.000	0.000	0.000	36.69	M
13366	1971	0.000	0.000	0.117	12.764	18.146	12.670	0.160	0.003	0.000	0.000	0.000	0.006	43.87	M
13366	1972	8.575	0.368	4.776	9.529	0.117	2.207	0.000	2.678	0.024	0.000	0.000	0.000	28.28	M
13366	1973	0.021	0.042	0.464	1.109	3.543	4.678	6.952	0.010	0.106	0.000	0.000	0.000	16.93	S
13366	1974	0.000	0.152	0.007	0.245	3.700	20.179	0.124	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	24.47	M
13366	1975	0.001	0.003	1.076	0.087	4.038	2.204	10.032	0.152	0.008	0.000	0.000	0.838	18.44	S
13366	1976	3.324	4.400	51.636	33.640	50.335	0.421	0.000	0.000	0.052	0.000	0.000	0.000	143.81	H
13366	1977	2.170	1.935	25.532	4.433	31.354	6.085	14.403	5.946	0.072	0.000	0.000	0.001	91.93	H
13366	1978	0.099	0.098	29.552	36.723	51.084	19.893	12.499	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	149.98	H
13366	1979	29.512	0.068	0.185	1.007	3.451	5.401	0.707	0.850	0.001	0.001	0.000	0.000	41.18	M
13366	1980	0.339	0.163	0.000	0.000	0.020	0.100	1.319	0.007	0.001	0.000	0.000	0.034	1.98	S
13366	1981	0.004	0.000	25.341	5.356	5.549	0.075	0.118	0.000	0.000	0.000	0.000	0.784	37.23	M
13366	1982	0.002	3.073	1.056	0.000	0.085	0.000	3.590	0.015	0.000	0.001	0.000	0.000	7.82	S
13366	1983	0.134	29.301	10.747	4.110	1.700	16.298	7.995	2.165	0.400	0.000	0.000	0.000	72.85	H
13366	1984	0.065	6.554	0.269	35.411	25.938	0.130	8.161	0.409	0.001	0.000	0.000	0.002	76.94	H
13366	1985	0.000	1.606	2.606	3.278	26.330	0.830	0.720	0.004	0.000	0.000	0.000	1.754	37.13	M
13366	1986	0.049	0.063	0.026	7.617	13.223	0.036	13.923	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	34.96	M
13366	1987	0.562	0.226	15.874	28.444	2.207	0.000	0.316	0.238	4.174	0.000	0.000	0.000	52.04	H
13366	1988	0.178	0.693	0.001	0.466	0.521	0.040	2.269	1.188	0.001	0.000	0.001	0.137	5.49	S
13366	1989	4.824	17.641	70.871	11.220	0.002	1.448	13.271	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	119.28	H
13366	1990	2.116	0.158	0.140	0.396	10.439	11.099	1.795	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.14	M
13366	1991	0.062	0.004	0.050	0.001	0.006	0.002	0.216	0.221	0.750	0.000	0.002	0.005	1.32	S
13366	1992	0.059	0.000	0.068	0.005	0.008	0.005	0.492	1.285	0.100	0.000	0.000	0.023	2.05	S
13366	1993	16.385	2.413	0.001	2.473	14.912	0.024	0.004	0.729	0.000	0.000	0.000	0.000	36.94	M
13366	1994	0.137	0.046	0.182	0.046	0.417	0.004	0.001	0.014	0.018	0.000	0.000	0.002	0.87	S
13366	1995	0.000	7.901	31.076	75.207	8.053	1.852	1.167	3.681	0.000	0.000	0.000	0.160	129.10	H
13366	1996	0.064	0.038	37.777	24.305	0.001	0.001	0.472	0.292	0.006	0.001	0.001	0.062	63.02	H
13366	1997	0.226	53.693	27.637	15.590	8.294	0.086	0.607	3.227	0.000	0.000	0.000	0.304	109.66	H
13366	1998	0.000	0.037	0.055	0.027	0.000	0.228	0.015	0.146	0.000	0.000	0.000	0.973	1.48	S
13366	1999	10.168	0.000	0.251	0.005	0.000	0.007	6.557	0.064	0.000	0.000	0.000	0.000	17.05	S
13366	2000	0.046	2.994	42.752	29.635	39.019	30.256	0.114	0.997	0.000	0.000	0.000	0.247	146.06	H
13366	2001	8.297	0.341	0.858	3.226	0.021	10.590	2.138	0.002	0.000	0.000	0.000	0.036	25.51	M
13366	2002	0.271	1.458	5.982	7.540	16.222	4.161	2.304	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	37.94	M
13366	2003	16.934	11.504	8.622	5.648	11.792	6.664	0.018	0.128	0.000	0.000	0.003	0.000	61.31	H
13366	2004	9.177	0.011	0.000	0.000	0.000	0.015	0.007	0.288	0.000	0.000	0.000	0.000	9.50	S
13366	2005	2.719	0.099	0.351	0.293	0.463	5.484	0.136	0.000	0.372	0.016	0.000	0.036	9.97	S
MIN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
MED		3.15	4.13	9.87	11.89	12.55	8.74	3.94	1.13	0.15	0.00	0.00	0.17	55.73	
MAX		29.51	53.69	70.87	85.69	88.24	65.17	24.84	14.03	4.17	0.02	0.02	5.34	441.60	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 5.65% 7.42% 17.72% 21.33% 22.52% 15.68% 7.06% 2.04% 0.28% 0.00% 0.00% 0.31% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

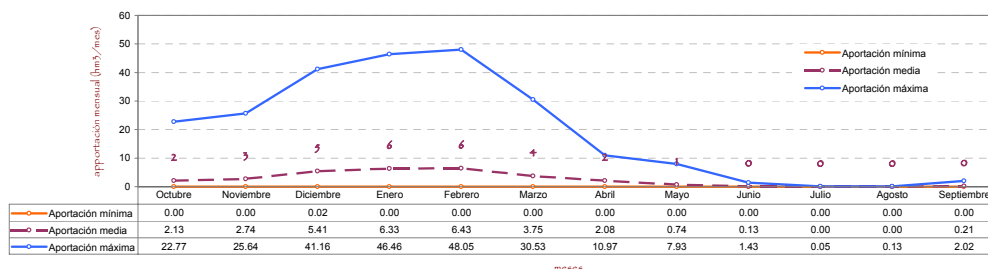
MODELO SIMPA

RIVERA DE LOS LIMONETES

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13387	1940	22.765	2.810	0.560	41.770	11.329	8.307	10.966	1.744	0.002	0.050	0.000	0.006	100.31	H
13387	1941	0.001	5.494	0.093	0.671	0.586	4.797	4.142	0.045	0.020	0.000	0.000	0.229	16.08	S
13387	1942	0.665	0.688	4.308	5.735	0.934	6.761	3.693	0.010	0.000	0.008	0.000	0.262	23.06	M
13387	1943	0.325	0.006	4.274	0.003	0.378	0.162	0.855	0.173	0.030	0.000	0.131	0.032	6.37	S
13387	1944	0.298	0.220	0.194	0.831	0.014	0.074	0.004	0.008	0.106	0.000	0.000	0.000	1.75	S
13387	1945	0.182	8.919	22.112	2.929	1.483	6.807	5.211	7.935	0.001	0.000	0.000	0.101	55.68	H
13387	1946	0.113	1.719	0.551	2.905	48.046	30.532	0.850	0.067	0.000	0.000	0.001	0.150	84.93	H
13387	1947	1.116	0.144	1.368	6.053	10.159	0.274	6.287	2.395	0.000	0.000	0.000	0.000	27.80	M
13387	1948	0.252	0.000	1.134	0.071	0.018	0.725	0.058	0.042	0.033	0.000	0.000	2.023	4.36	S
13387	1949	0.012	1.459	1.792	0.596	2.286	0.829	0.110	1.229	0.005	0.000	0.000	0.028	8.35	S
13387	1950	0.045	0.325	1.806	3.759	9.028	5.386	3.841	0.275	0.001	0.000	0.000	0.052	24.52	M
13387	1951	0.032	16.876	0.594	1.582	1.056	10.782	0.279	1.410	0.032	0.040	0.001	0.267	32.95	M
13387	1952	0.371	0.709	1.391	0.542	0.299	0.257	1.091	0.001	0.002	0.001	0.000	0.008	4.67	S
13387	1953	2.338	0.228	2.021	0.108	0.246	2.817	0.289	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	8.05	S
13387	1954	0.002	2.809	0.126	12.302	9.201	2.124	0.001	0.083	0.001	0.000	0.000	0.002	26.65	M
13387	1955	0.178	3.893	13.957	9.882	2.687	13.055	2.741	0.291	0.000	0.000	0.012	0.112	46.81	H
13387	1956	0.759	0.005	0.129	0.006	0.868	0.127	0.379	0.300	0.007	0.000	0.002	0.163	2.75	S
13387	1957	0.122	0.481	0.479	0.466	0.174	1.338	0.084	0.037	0.008	0.000	0.000	0.001	3.19	S
13387	1958	0.026	0.001	30.737	6.233	3.151	2.885	0.829	0.327	0.000	0.000	0.000	0.129	44.32	H
13387	1959	1.734	3.304	5.515	6.519	11.334	9.470	0.808	1.646	0.957	0.000	0.000	0.011	41.30	M
13387	1960	6.276	4.357	4.339	2.177	0.170	1.102	1.674	2.736	0.084	0.000	0.000	0.424	23.34	M
13387	1961	0.333	6.254	2.652	6.688	1.165	13.403	2.099	0.102	0.438	0.000	0.000	0.003	33.14	M
13387	1962	1.824	1.002	3.413	15.271	23.211	4.157	8.180	0.301	0.103	0.000	0.000	0.092	57.55	H
13387	1963	0.009	6.622	22.160	0.572	18.944	13.622	1.705	0.035	0.008	0.000	0.000	0.034	63.71	H
13387	1964	0.012	0.653	0.701	2.573	2.470	3.238	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.249	9.90	S
13387	1965	12.465	5.268	4.275	24.427	32.292	0.021	7.624	0.005	0.047	0.000	0.000	0.025	86.45	H
13387	1966	1.454	0.404	0.016	0.965	3.953	0.248	0.714	1.067	0.077	0.000	0.000	0.000	8.90	S
13387	1967	0.441	3.177	0.075	0.000	13.678	2.040	0.432	0.002	0.006	0.000	0.010	0.008	19.87	S
13387	1968	0.086	2.228	2.866	10.540	24.775	18.643	0.267	0.619	0.018	0.021	0.001	0.343	60.41	H
13387	1969	1.066	7.908	1.134	43.342	0.474	0.723	0.108	0.533	0.771	0.000	0.000	0.000	56.06	H
13387	1970	0.000	0.418	0.436	8.962	0.002	0.646	3.079	2.509	0.505	0.000	0.000	0.000	16.56	S
13387	1971	0.000	0.004	0.363	7.163	10.880	5.032	0.158	0.026	0.001	0.003	0.000	0.019	23.65	M
13387	1972	7.208	1.244	3.747	5.982	0.123	1.000	0.002	2.044	0.136	0.005	0.000	0.000	21.49	S
13387	1973	0.148	0.273	1.282	1.406	2.551	2.349	3.185	0.041	0.409	0.000	0.000	0.000	11.64	S
13387	1974	0.000	0.717	0.056	0.666	2.379	11.370	0.148	0.653	0.010	0.000	0.000	0.001	16.00	S
13387	1975	0.054	0.026	2.201	0.272	2.574	1.187	6.592	0.195	0.073	0.001	0.003	1.538	14.72	S
13387	1976	3.914	5.593	30.768	16.846	27.882	0.145	0.000	0.001	0.075	0.001	0.000	0.003	85.23	H
13387	1977	2.189	3.427	11.974	2.679	15.685	2.763	9.414	2.617	0.201	0.000	0.000	0.010	50.96	H
13387	1978	0.140	0.373	15.969	19.457	28.896	8.150	5.824	0.001	0.002	0.000	0.000	0.580	79.40	H
13387	1979	12.458	0.124	0.570	0.738	1.090	2.309	1.243	1.191	0.041	0.000	0.000	0.002	19.77	S
13387	1980	0.600	1.165	0.021	0.007	0.180	0.446	1.571	0.071	0.001	0.000	0.001	0.292	4.36	S
13387	1981	0.048	0.005	13.920	3.386	2.192	0.128	0.051	0.002	0.002	0.000	0.000	0.666	20.40	S
13387	1982	0.046	2.853	1.572	0.031	0.437	0.002	2.659	0.060	0.000	0.000	0.004	0.000	7.66	S
13387	1983	0.619	10.425	5.767	3.140	1.703	12.113	2.615	1.501	0.509	0.000	0.000	0.000	38.39	M
13387	1984	0.302	4.819	0.519	18.902	13.165	0.221	5.695	0.966	0.029	0.000	0.000	0.007	44.62	H
13387	1985	0.000	1.512	3.241	2.794	13.638	0.855	1.097	0.056	0.000	0.000	0.000	1.923	25.12	M
13387	1986	0.299	0.338	0.239	5.305	5.790	0.124	7.128	0.000	0.003	0.017	0.000	0.003	19.25	S
13387	1987	1.166	0.720	9.653	13.985	1.381	0.020	0.805	0.408	1.426	0.002	0.000	0.000	29.57	M
13387	1988	0.561	2.533	0.030	0.366	1.267	0.252	1.954	0.433	0.030	0.000	0.002	0.210	7.64	S
13387	1989	0.436	8.581	41.156	4.696	0.129	0.728	7.532	0.012	0.000	0.000	0.000	0.002	63.27	H
13387	1990	1.457	0.618	0.427	0.575	5.937	4.995	0.418	0.002	0.007	0.000	0.000	0.026	14.46	S
13387	1991	0.251	0.111	0.387	0.079	0.124	0.052	0.715	0.394	0.798	0.000	0.014	0.018	2.94	S
13387	1992	0.247	0.028	0.497	0.130	0.172	0.043	0.805	1.483	0.304	0.000	0.000	0.285	4.00	S
13387	1993	8.575	2.075	0.077	2.754	7.898	0.082	0.029	1.218	0.000	0.000	0.000	0.000	22.71	M
13387	1994	0.619	0.243	0.591	0.373	1.184	0.060	0.009	0.023	0.054	0.000	0.000	0.011	3.17	S
13387	1995	0.002	4.330	13.813	46.457	4.351	1.084	1.319	2.836	0.000	0.000	0.000	0.799	74.99	H
13387	1996	0.165	0.243	21.563	13.028	0.172	0.005	0.498	0.337	0.027	0.021	0.008	0.121	36.19	M
13387	1997	0.760	25.644	13.780	7.099	4.660	0.401	1.330	4.210	0.001	0.000	0.000	0.789	58.67	H
13387	1998	0.006	0.184	0.324	0.177	0.067	0.563	1.033	0.304	0.002	0.000	0.000	0.933	2.66	S
13387	1999	5.865	0.019	0.760	0.075	0.046	0.090	3.677	0.187	0.001	0.000	0.000	0.008	10.73	S
13387	2000	0.288	2.856	17.907	12.314	18.125	12.777	0.028	0.593	0.005	0.000	0.000	0.218	65.11	H
13387	2001	5.535	0.469	0.607	2.138	0.130	4.381	1.130	0.010	0.000	0.000	0.000	0.182	14.58	S
13387	2002	0.565	2.051	4.180	3.431	7.462	1.391	0.873	0.003	0.000	0.000	0.001	0.022	19.98	S
13387	2003	18.630	8.466	3.049	2.375	6.951	3.292	0.033	0.976	0.001	0.000	0.021	0.000	43.79	H
13387	2004	10.054	0.074	0.051	0.000	0.020	0.083	0.044	0.145	0.009	0.000	0.000	0.000	10.48	S
13387	2005	2.381	0.356	0.786	0.591	1.000	3.507	0.043	0.000	1.305	0.000	0.000	0.136	10.11	S
MIN		0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	
MED		2.13	2.74	5.41	6.33	6.43	3.75	2.08	0.74	0.13	0.00	0.00	0.21	29.96	
MAX		22.77	25.64	41.16	46.46	48.05	30.53	10.97	7.93	1.43	0.05	0.13	2.02	237.13	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 7.12% 9.15% 18.06% 21.13% 21.47% 12.51% 6.93% 2.47% 0.44% 0.01% 0.01% 0.69% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

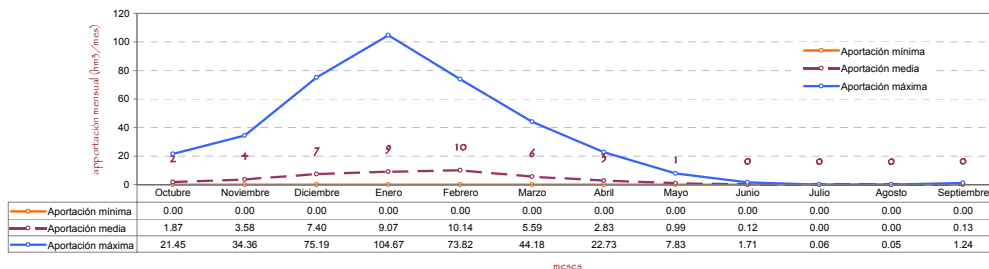
MODELO SIMPA

RIO GUADAJIRA

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13393	1940	7.076	1.497	0.076	40.727	11.857	11.146	14.951	2.001	0.031	0.005	0.000	0.001	89.37	H
13393	1941	0.002	3.896	0.033	0.183	0.495	4.779	5.311	0.015	0.005	0.000	0.000	0.104	14.82	S
13393	1942	0.565	0.219	2.361	3.624	0.336	4.822	9.015	0.006	0.000	0.004	0.000	0.108	21.06	S
13393	1943	0.236	0.001	4.867	0.002	0.524	0.033	0.369	0.076	0.196	0.000	0.054	0.057	6.41	S
13393	1944	0.127	0.033	0.065	0.170	0.008	0.014	0.001	0.012	0.033	0.000	0.000	0.000	0.46	S
13393	1945	0.200	12.430	25.170	3.295	1.176	4.012	8.003	7.295	0.000	0.000	0.000	0.049	61.63	M
13393	1946	0.282	1.209	0.146	2.282	73.825	44.182	0.737	0.254	0.000	0.000	0.000	0.022	122.94	H
13393	1947	0.731	0.099	1.268	13.587	17.497	0.328	7.034	7.834	0.000	0.000	0.000	0.000	48.38	M
13393	1948	0.196	0.000	2.055	0.020	0.007	0.521	0.049	0.091	0.029	0.000	0.000	1.137	4.10	S
13393	1949	0.023	2.342	4.599	0.508	5.589	1.884	0.069	1.514	0.003	0.001	0.000	0.022	16.56	S
13393	1950	0.055	0.116	3.127	2.483	12.534	10.958	5.971	0.296	0.000	0.000	0.000	0.035	35.57	S
13393	1951	0.018	32.775	0.220	6.290	1.392	23.114	0.369	7.276	0.016	0.000	0.001	0.010	71.48	M
13393	1952	0.153	0.322	1.626	0.461	0.416	0.480	2.108	0.001	0.003	0.036	0.000	0.001	5.61	S
13393	1953	3.346	0.028	0.932	0.038	0.095	2.243	0.340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.02	S
13393	1954	0.018	2.220	0.174	11.405	13.995	1.268	0.010	0.047	0.000	0.000	0.055	0.000	29.19	S
13393	1955	0.297	5.596	16.907	8.493	2.891	21.801	5.389	0.088	0.000	0.000	0.000	0.089	61.55	M
13393	1956	1.289	0.012	0.018	0.001	0.665	0.117	1.097	0.208	0.027	0.000	0.000	0.764	4.20	S
13393	1957	0.129	0.164	0.340	0.452	0.146	0.549	0.011	0.006	0.004	0.000	0.000	0.000	1.80	S
13393	1958	0.007	0.003	58.635	8.975	5.812	5.683	1.013	0.448	0.000	0.000	0.000	0.012	80.59	M
13393	1959	0.935	3.372	3.600	10.774	21.988	19.569	3.654	4.402	1.304	0.000	0.000	0.045	69.64	M
13393	1960	6.853	6.084	2.871	1.167	0.033	0.885	1.568	2.234	0.091	0.000	0.000	0.184	21.97	S
13393	1961	0.158	16.301	7.940	18.721	5.194	26.710	6.162	0.017	0.458	0.000	0.000	0.001	81.66	M
13393	1962	0.917	1.003	11.385	22.222	41.398	6.201	22.729	0.397	0.003	0.006	0.000	0.004	106.27	H
13393	1963	0.027	8.710	38.653	0.105	42.480	15.325	1.062	0.019	0.016	0.000	0.000	0.013	106.41	H
13393	1964	0.003	0.195	0.195	1.196	2.936	5.909	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.236	10.67	S
13393	1965	21.447	9.230	10.473	50.941	67.376	0.131	11.494	0.048	0.039	0.000	0.000	0.012	171.19	H
13393	1966	0.863	0.140	0.004	0.723	5.063	0.153	0.332	0.525	0.038	0.000	0.000	0.000	7.84	S
13393	1967	0.226	2.837	0.037	0.000	18.575	1.336	0.224	0.001	0.003	0.000	0.015	0.003	23.26	S
13393	1968	0.052	1.226	2.102	9.243	40.566	27.194	0.310	0.747	0.001	0.003	0.007	0.404	81.85	M
13393	1969	0.612	9.791	0.383	67.029	0.438	2.117	0.092	0.281	1.708	0.000	0.000	0.000	82.45	M
13393	1970	0.000	0.170	0.080	6.034	0.000	0.198	7.846	2.287	0.205	0.004	0.002	0.000	16.83	S
13393	1971	0.000	0.000	0.165	6.640	11.520	5.928	0.131	0.056	0.000	0.001	0.000	0.027	24.47	S
13393	1972	12.564	0.571	3.892	8.446	0.091	0.697	0.000	2.319	0.069	0.001	0.000	0.000	28.65	S
13393	1973	0.023	0.154	1.344	1.089	1.805	0.989	2.030	0.002	0.160	0.000	0.000	0.000	7.60	S
13393	1974	0.000	0.615	0.083	0.673	2.573	21.127	0.988	0.655	0.001	0.000	0.000	0.001	26.72	S
13393	1975	0.002	0.004	1.407	0.105	1.686	1.546	5.676	0.841	0.016	0.014	0.000	1.239	12.54	S
13393	1976	2.489	4.114	32.618	25.057	35.106	0.152	0.000	0.000	0.132	0.000	0.000	0.001	99.67	H
13393	1977	1.445	2.323	16.138	3.316	23.994	2.790	8.552	2.872	0.475	0.000	0.000	0.001	61.91	M
13393	1978	0.052	0.131	19.972	35.434	46.406	13.686	11.370	0.009	0.000	0.005	0.000	0.777	127.84	H
13393	1979	12.660	0.016	0.112	0.154	0.332	0.579	0.221	0.435	0.008	0.000	0.000	0.013	14.53	S
13393	1980	0.380	0.995	0.000	0.000	0.182	0.197	0.834	0.008	0.002	0.006	0.000	0.131	2.74	S
13393	1981	0.001	0.000	12.942	5.656	0.920	0.196	0.082	0.016	0.000	0.000	0.000	0.136	19.95	S
13393	1982	0.015	2.235	0.259	0.001	0.394	0.000	1.307	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	4.22	S
13393	1983	0.121	21.499	6.933	2.021	2.485	16.265	1.365	0.518	0.194	0.000	0.000	0.010	51.41	M
13393	1984	0.079	4.058	0.075	28.184	12.827	0.049	2.425	0.616	0.045	0.000	0.000	0.003	48.36	M
13393	1985	0.000	0.592	2.550	1.343	15.607	1.140	0.876	0.024	0.000	0.000	0.000	0.429	22.56	S
13393	1986	0.101	0.267	0.028	3.216	5.807	0.030	4.368	0.000	0.010	0.059	0.000	0.035	13.92	S
13393	1987	1.042	0.683	15.334	16.535	1.356	0.004	0.799	1.129	1.265	0.001	0.000	0.000	38.15	S
13393	1988	0.354	3.304	0.000	0.064	0.279	0.066	1.148	0.369	0.003	0.000	0.000	0.009	5.59	S
13393	1989	0.414	17.814	75.192	9.734	0.010	1.317	11.967	0.009	0.000	0.000	0.000	0.004	116.46	H
13393	1990	1.198	0.787	0.282	0.327	8.932	8.740	0.328	0.000	0.007	0.000	0.000	0.126	20.73	S
13393	1991	0.171	0.021	0.189	0.007	0.050	0.003	0.394	0.106	1.109	0.000	0.019	0.018	2.09	S
13393	1992	0.198	0.000	0.133	0.019	0.016	0.003	0.323	0.617	0.135	0.000	0.000	0.311	1.76	S
13393	1993	14.126	1.929	0.011	1.957	11.494	0.077	0.026	1.372	0.000	0.000	0.000	0.000	30.99	S
13393	1994	0.345	0.134	0.560	0.169	0.938	0.039	0.001	0.000	0.091	0.000	0.000	0.000	2.28	S
13393	1995	0.000	6.848	22.570	104.669	5.018	1.409	1.267	3.751	0.000	0.000	0.000	0.540	146.07	H
13393	1996	0.130	0.060	39.183	25.774	0.011	0.000	0.185	0.144	0.011	0.002	0.006	0.164	65.67	M
13393	1997	0.311	34.361	13.810	7.606	10.188	0.236	0.409	6.438	0.000	0.000	0.000	0.257	73.62	M
13393	1998	0.000	0.011	0.083	0.013	0.001	0.182	0.081	0.161	0.002	0.000	0.000	0.522	1.06	S
13393	1999	10.428	0.011	0.181	0.045	0.000	0.030	7.667	0.768	0.000	0.000	0.000	0.002	19.13	S
13393	2000	0.141	1.687	11.610	12.017	31.885	20.884	0.001	1.514	0.000	0.000	0.000	0.284	80.02	M
13393	2001	4.537	0.568	0.608	1.671	0.015	9.274	3.227	0.016	0.000	0.000	0.000	0.286	20.20	S
13393	2002	0.053	1.726	6.566	3.131	17.913	3.060	1.100	0.001	0.000	0.000	0.000	0.013	33.56	S
13393	2003	9.474	6.315	3.169	1.720	22.804	9.584	0.120	2.288	0.000	0.000	0.015	0.000	55.49	M
13393	2004	2.248	0.040	0.001	0.000	0.000	0.022	0.002	0.063	0.005	0.000	0.000	0.000	2.38	S
13393	2005	1.729	0.070	0.339	0.440	0.991	5.239	0.123	0.000	0.248	0.002	0.000	0.059	9.24	S
MIN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
MED		1.87	3.58	7.40	9.07	10.14	5.59	2.83	0.99	0.12	0.00	0.00	0.13	41.73	
MAX		21.45	34.36	75.19	104.67	73.82	44.18	22.73	7.83	1.71	0.06	0.05	1.24	387.30	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 4.49% 8.57% 17.74% 21.73% 24.29% 13.40% 6.78% 2.38% 0.30% 0.01% 0.01% 0.32% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

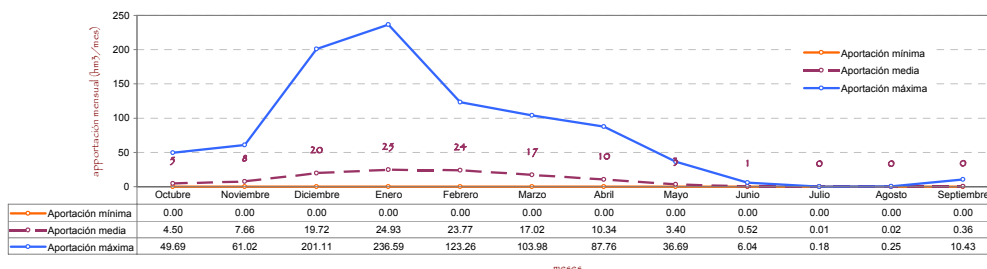
MODELO SIMPA

RIO MATACHEL II

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13397	1940	3.280	0.271	0.098	47.079	34.407	29.481	24.602	1.935	1.698	0.065	0.001	0.012	142.93	M
13397	1941	0.039	5.066	0.513	0.455	0.850	21.047	19.996	0.025	0.005	0.000	0.006	0.134	48.14	M
13397	1942	5.946	0.493	17.078	9.819	1.122	22.017	27.172	0.290	0.003	0.001	0.000	0.228	84.17	M
13397	1943	0.629	0.021	8.555	0.125	4.154	2.121	2.759	0.190	0.712	0.000	0.161	0.020	19.45	M
13397	1944	0.182	0.148	0.411	0.506	0.095	0.118	0.006	0.024	0.111	0.000	0.001	0.000	1.60	S
13397	1945	0.143	13.354	29.269	2.318	4.664	17.341	17.530	31.509	0.364	0.000	0.000	0.086	116.58	M
13397	1946	0.163	1.346	0.235	0.903	103.671	103.980	4.120	0.074	0.001	0.000	0.015	0.045	214.55	H
13397	1947	0.503	0.221	1.105	19.050	48.037	1.514	21.943	36.688	0.000	0.000	0.001	0.000	129.06	M
13397	1948	0.098	0.002	2.645	0.090	0.026	1.906	0.240	0.147	0.092	0.001	0.003	0.337	5.59	S
13397	1949	0.013	0.820	4.238	0.485	5.764	7.079	0.176	4.991	0.016	0.003	0.003	0.085	23.67	M
13397	1950	0.717	0.121	4.009	6.292	28.608	25.399	11.070	2.614	0.002	0.000	0.001	0.073	78.91	M
13397	1951	0.060	48.975	0.100	16.453	0.967	85.816	1.786	31.056	0.741	0.005	0.012	0.007	185.98	M
13397	1952	0.278	0.863	7.278	0.761	5.312	10.859	39.847	0.001	0.076	0.001	0.000	0.000	65.28	M
13397	1953	6.638	0.008	3.757	0.065	0.086	2.777	0.729	0.001	0.000	0.000	0.000	0.005	14.06	M
13397	1954	0.009	0.371	0.137	24.675	40.393	6.540	0.117	0.287	0.001	0.000	0.188	0.002	72.72	M
13397	1955	3.007	18.151	36.608	20.936	12.567	72.910	19.722	0.003	0.000	0.000	0.050	0.125	184.08	M
13397	1956	0.653	0.060	0.123	0.041	0.341	0.212	2.788	1.015	0.084	0.000	0.002	0.597	5.91	S
13397	1957	0.490	0.461	0.320	1.634	0.690	4.309	0.332	0.039	0.029	0.000	0.003	0.000	8.31	S
13397	1958	0.019	0.002	146.816	36.346	20.688	34.560	5.587	6.238	0.000	0.000	0.000	0.087	250.34	H
13397	1959	3.684	2.069	7.230	37.467	100.712	61.544	2.333	10.598	3.469	0.000	0.001	0.006	229.11	M
13397	1960	49.693	22.397	24.464	11.357	0.083	19.405	8.441	2.624	0.616	0.036	0.000	0.569	139.68	H
13397	1961	0.300	31.928	44.138	67.501	7.560	72.096	37.078	0.178	1.099	0.000	0.000	0.115	261.99	H
13397	1962	4.058	2.445	37.415	128.409	123.265	26.645	87.762	1.932	0.967	0.000	0.000	0.036	412.93	H
13397	1963	0.017	15.443	119.020	0.202	106.232	62.594	3.973	0.007	0.345	0.000	0.000	0.119	307.95	H
13397	1964	0.002	0.294	0.402	3.672	10.699	11.208	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.562	26.84	M
13397	1965	35.276	21.044	9.827	77.813	108.824	2.017	24.458	0.097	0.144	0.000	0.055	0.085	277.84	H
13397	1966	1.591	0.514	0.006	1.885	12.217	1.001	0.286	0.560	1.495	0.000	0.000	0.000	19.56	M
13397	1967	0.467	5.000	0.128	0.000	45.940	6.540	1.257	0.005	0.033	0.000	0.234	0.003	59.61	M
13397	1968	0.060	0.713	0.686	21.316	92.941	90.282	4.622	1.107	0.007	0.013	0.087	0.418	212.25	H
13397	1969	2.429	33.263	0.833	213.289	2.105	5.525	0.080	0.338	1.467	0.000	0.000	0.000	259.33	H
13397	1970	0.000	0.467	0.512	26.624	0.001	0.414	45.837	10.587	0.348	0.039	0.046	0.000	84.87	M
13397	1971	0.002	0.001	0.296	6.953	18.563	24.854	0.184	0.056	0.000	0.002	0.001	0.529	51.44	M
13397	1972	21.348	1.483	21.035	16.564	1.710	3.649	0.001	2.800	0.174	0.001	0.000	0.000	68.76	M
13397	1973	0.012	0.036	1.008	0.186	0.544	1.288	9.486	0.000	2.660	0.000	0.000	0.000	15.22	M
13397	1974	0.000	0.286	0.011	2.824	14.890	51.806	5.395	2.597	0.007	0.000	0.000	0.000	77.82	M
13397	1975	0.001	0.030	1.349	0.085	1.099	0.374	22.178	1.199	0.132	0.002	0.001	3.788	30.24	M
13397	1976	2.209	1.035	62.856	81.975	71.823	0.381	0.000	0.002	0.087	0.024	0.003	0.001	220.40	H
13397	1977	1.719	4.784	40.712	8.561	67.538	6.210	28.661	8.350	6.038	0.000	0.000	0.058	172.63	M
13397	1978	0.041	0.206	17.244	75.712	84.475	23.691	19.191	0.085	0.000	0.023	0.000	0.600	221.27	H
13397	1979	34.620	0.002	0.092	0.108	0.046	0.106	0.061	0.606	0.000	0.000	0.017	0.022	35.68	M
13397	1980	0.512	1.825	0.000	0.000	0.048	0.087	0.698	0.006	0.011	0.030	0.016	0.047	3.28	S
13397	1981	0.005	0.000	36.838	16.239	4.952	0.613	2.401	0.017	0.000	0.000	0.011	0.074	61.15	M
13397	1982	0.021	8.427	0.323	0.001	0.485	0.001	0.916	0.021	0.000	0.000	0.032	0.000	10.23	S
13397	1983	0.376	39.473	6.908	5.623	5.646	29.027	7.909	6.481	2.053	0.000	0.000	0.001	103.49	M
13397	1984	0.161	27.610	0.241	55.202	34.064	1.358	12.668	5.166	0.011	0.000	0.000	0.016	136.50	M
13397	1985	0.000	0.192	11.991	3.552	30.461	4.642	3.653	0.011	0.002	0.003	0.000	0.691	55.20	M
13397	1986	0.071	0.279	0.071	5.600	14.863	0.068	3.755	0.001	0.001	0.179	0.002	0.042	24.93	M
13397	1987	5.312	1.628	80.183	59.697	3.319	0.025	0.606	4.909	2.948	0.000	0.000	0.000	158.63	M
13397	1988	0.249	14.890	0.005	0.153	0.368	0.101	2.923	0.282	0.117	0.000	0.000	0.106	19.20	M
13397	1989	0.311	59.685	201.111	36.950	0.168	2.345	37.587	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	338.19	H
13397	1990	0.917	0.348	0.225	0.184	13.730	19.853	1.165	0.001	0.004	0.000	0.000	0.021	36.45	M
13397	1991	0.348	0.016	0.276	0.024	0.460	0.013	0.205	0.237	5.658	0.000	0.252	0.007	7.49	S
13397	1992	0.651	0.005	0.067	0.025	0.013	0.092	2.131	0.982	0.244	0.000	0.000	0.023	4.23	S
13397	1993	12.123	3.805	0.030	4.306	33.904	0.065	0.056	0.666	0.000	0.000	0.000	0.001	54.96	M
13397	1994	0.108	0.121	0.166	0.087	0.579	0.048	0.002	0.003	0.287	0.001	0.000	0.000	1.40	S
13397	1995	0.014	24.794	72.939	236.587	11.116	5.748	2.004	8.838	0.005	0.000	0.000	0.130	362.18	H
13397	1996	0.407	0.092	107.501	89.851	0.233	0.003	0.829	0.132	0.018	0.017	0.009	4.222	199.51	M
13397	1997	0.319	61.020	48.535	53.476	44.773	1.820	1.573	20.026	0.002	0.000	0.000	1.102	232.64	H
13397	1998	0.000	0.009	0.126	0.060	0.005	0.499	0.074	0.028	0.001	0.000	0.001	0.493	1.30	S
13397	1999	25.312	0.090	0.645	0.293	0.005	0.289	52.691	6.070	0.007	0.000	0.000	0.000	85.40	M
13397	2000	0.224	1.977	25.060	72.215	40.604	55.438	0.072	0.922	0.003	0.000	0.000	1.186	197.70	M
13397	2001	8.451	5.417	5.820	9.007	0.014	21.946	40.343	0.049	0.000	0.000	0.000	10.425	101.47	M
13397	2002	0.134	3.102	25.930	16.727	51.881	27.630	5.653	0.027	0.000	0.000	0.002	0.004	131.09	M
13397	2003	15.565	16.245	24.060	8.966	92.983	29.334	0.548	8.207	0.001	0.000	0.149	0.000	196.06	M
13397	2004	44.742	0.033	0.038	0.000	0.002	0.038	0.013	0.110	0.000	0.000	0.003	0.001	44.98	M
13397	2005	0.462	0.088	0.103	0.347	0.217	2.493	0.059	0.027	0.192	0.004	0.005	0.046	4.04	S
MIN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
MED		4.50	7.66	19.72	24.93	23.77	17.02	10.34	3.40	0.52	0.01	0.02	0.36	112.25	
MAX		49.69	61.02	201.11	236.59	123.26	103.98	87.76	36.69	6.04	0.18	0.25	10.43	917.00	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 4.01% 6.82% 17.57% 22.21% 21.17% 15.16% 9.21% 3.02% 0.47% 0.01% 0.02% 0.32% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

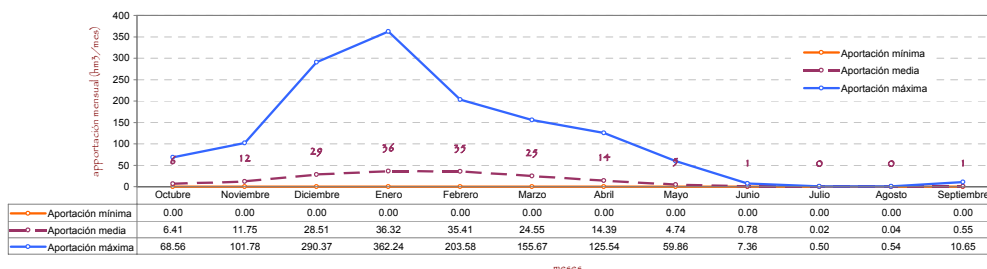
MODELO SIMPA

RIO MATACHEL III

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13398	1940	4.898	0.480	0.117	83.879	47.711	46.853	46.510	3.308	1.709	0.095	0.001	0.016	235.58	M
13398	1941	0.040	9.792	0.594	0.760	1.701	33.466	35.451	0.035	0.008	0.000	0.007	0.289	82.14	M
13398	1942	6.238	0.690	18.413	11.741	1.617	26.682	32.433	0.387	0.004	0.024	0.000	0.730	98.96	M
13398	1943	1.136	0.022	14.361	0.158	4.409	2.397	3.627	0.283	0.937	0.000	0.230	0.024	27.58	M
13398	1944	0.389	0.257	0.736	0.806	0.120	0.163	0.009	0.034	0.182	0.000	0.001	0.000	2.70	S
13398	1945	0.233	21.165	45.515	3.028	5.275	21.032	23.981	36.449	0.366	0.501	0.000	0.228	157.77	M
13398	1946	0.271	2.061	0.344	2.106	172.592	155.669	4.281	0.122	0.001	0.000	0.018	0.147	337.61	M
13398	1947	0.860	0.368	1.361	25.200	71.813	1.868	37.441	59.862	0.000	0.000	0.001	0.000	198.77	M
13398	1948	0.177	0.002	3.874	0.119	0.032	2.572	0.319	0.236	0.144	0.002	0.003	0.669	8.15	S
13398	1949	0.016	2.037	5.437	0.581	6.783	7.492	0.224	5.253	0.019	0.003	0.003	0.169	28.02	M
13398	1950	0.877	0.137	5.192	7.138	33.770	29.738	14.572	2.659	0.003	0.000	0.001	0.153	94.24	M
13398	1951	0.073	80.762	0.125	23.761	1.261	115.540	1.997	38.295	0.772	0.062	0.014	0.023	262.69	M
13398	1952	0.691	1.023	7.877	0.966	5.389	11.052	44.924	0.002	0.359	0.009	0.000	0.030	72.32	M
13398	1953	8.038	0.011	3.902	0.069	0.104	4.113	0.893	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	17.13	S
13398	1954	0.018	1.571	0.202	37.854	57.487	9.196	0.236	0.329	0.001	0.000	0.260	0.007	107.16	M
13398	1955	3.992	24.538	74.658	32.305	17.376	125.458	28.664	0.126	0.000	0.000	0.059	0.347	307.52	M
13398	1956	1.866	0.125	0.240	0.089	0.689	0.358	4.160	2.065	0.170	0.000	0.002	1.190	10.95	S
13398	1957	0.616	0.666	0.434	3.229	0.900	6.640	0.456	0.057	0.091	0.000	0.004	0.000	13.09	S
13398	1958	0.039	0.002	218.334	54.313	32.988	44.713	5.958	7.618	0.000	0.000	0.000	0.177	364.14	H
13398	1959	5.977	2.936	11.455	52.831	129.529	90.845	4.995	18.941	4.659	0.000	0.001	0.022	322.19	M
13398	1960	68.560	33.811	38.410	16.448	0.097	23.737	13.665	4.829	0.744	0.039	0.000	1.253	201.59	M
13398	1961	0.535	43.777	55.870	101.704	14.252	114.960	45.314	0.253	1.428	0.000	0.000	0.454	378.55	H
13398	1962	7.408	4.827	58.124	178.618	203.583	39.310	125.538	3.192	0.986	0.000	0.000	0.080	621.67	H
13398	1963	0.037	33.111	181.858	0.238	173.491	81.066	4.999	0.017	0.457	0.000	0.000	0.165	475.44	H
13398	1964	0.003	0.617	0.582	4.265	14.710	19.676	0.001	0.001	0.006	0.000	0.001	1.486	41.35	M
13398	1965	44.943	26.157	12.754	120.380	170.993	0.268	46.057	0.174	0.206	0.000	0.064	0.158	422.15	H
13398	1966	2.286	0.619	0.008	2.375	14.504	1.039	0.565	1.149	1.633	0.000	0.000	0.000	24.18	M
13398	1967	0.805	8.497	0.168	0.000	66.689	7.407	1.317	0.014	0.036	0.000	0.317	0.024	85.27	M
13398	1968	0.148	1.973	1.449	29.246	135.503	126.586	6.962	1.742	0.011	0.015	0.330	1.324	305.29	M
13398	1969	3.206	54.895	1.139	323.699	3.052	10.944	0.120	0.488	2.612	0.000	0.000	0.000	400.16	H
13398	1970	0.002	0.663	0.587	36.810	0.001	0.491	58.624	13.080	0.438	0.088	0.053	0.000	110.84	M
13398	1971	0.003	0.002	0.655	13.789	28.504	30.192	0.254	0.084	0.008	0.003	0.001	1.466	74.96	M
13398	1972	31.708	1.845	25.018	19.223	1.784	3.884	0.003	4.060	0.335	0.003	0.000	0.000	87.86	M
13398	1973	0.050	0.132	1.966	0.308	0.838	1.524	11.264	0.001	5.411	0.000	0.000	0.000	21.50	S
13398	1974	0.000	0.824	0.019	4.162	19.458	86.778	6.763	2.991	0.014	0.000	0.000	0.001	121.01	M
13398	1975	0.006	0.052	2.449	0.139	1.543	0.658	32.230	1.548	0.186	0.022	0.001	4.493	43.31	M
13398	1976	3.862	2.628	110.482	121.922	121.367	1.083	0.000	0.003	0.150	0.029	0.003	0.011	361.54	H
13398	1977	2.771	6.871	55.662	10.374	97.093	8.608	38.566	11.726	6.986	0.000	0.000	0.141	238.80	M
13398	1978	0.087	0.371	34.893	112.867	135.208	40.518	33.965	0.085	0.006	0.024	0.000	0.845	358.87	H
13398	1979	55.253	0.002	0.189	0.134	0.083	0.180	0.097	1.134	0.002	0.000	0.019	0.023	57.12	M
13398	1980	0.885	2.732	0.000	0.000	0.093	0.176	2.472	0.009	0.011	0.052	0.024	0.234	6.69	S
13398	1981	0.008	0.000	51.054	22.167	6.505	0.737	2.787	0.027	0.000	0.001	0.012	0.237	83.54	M
13398	1982	0.035	9.735	0.437	0.001	0.688	0.004	1.237	0.029	0.000	0.000	0.040	0.000	12.21	S
13398	1983	0.700	63.276	11.400	8.886	8.854	55.019	9.190	7.105	4.753	0.000	0.000	0.013	169.20	M
13398	1984	0.369	35.272	0.324	80.134	44.773	2.153	14.828	5.525	0.029	0.000	0.000	0.020	183.43	M
13398	1985	0.000	0.382	13.954	4.029	41.726	5.285	4.398	0.042	0.002	0.004	0.000	1.469	71.29	M
13398	1986	0.207	0.434	0.137	7.357	19.714	0.101	7.523	0.004	0.002	0.210	0.003	0.069	35.76	M
13398	1987	7.084	2.010	104.656	79.674	4.545	0.026	1.664	8.082	7.361	0.000	0.000	0.000	215.10	M
13398	1988	0.388	20.654	0.005	0.187	0.447	0.152	3.463	0.759	0.117	0.000	0.000	0.167	26.34	M
13398	1989	0.564	94.651	290.371	58.808	0.195	4.031	54.097	0.037	0.000	0.000	0.000	0.002	502.76	H
13398	1990	1.374	0.608	0.348	0.261	17.972	23.598	1.175	0.001	0.005	0.000	0.000	0.032	45.37	M
13398	1991	0.497	0.034	0.498	0.030	0.634	0.022	0.351	0.460	7.010	0.000	0.331	0.027	9.89	S
13398	1992	0.874	0.008	0.102	0.029	0.023	0.109	2.732	2.120	0.327	0.000	0.000	0.049	6.37	S
13398	1993	17.260	4.532	0.031	4.830	42.605	0.066	0.070	0.887	0.000	0.018	0.000	0.001	70.30	M
13398	1994	0.246	0.180	0.343	0.103	0.732	0.071	0.007	0.008	0.482	0.001	0.000	0.005	2.18	S
13398	1995	0.016	32.623	108.573	362.238	15.846	10.044	4.811	11.338	0.005	0.000	0.000	0.314	545.81	H
13398	1996	0.566	0.162	135.768	125.964	0.233	0.003	0.946	0.207	0.037	0.032	0.017	0.704	264.64	M
13398	1997	0.502	101.781	64.584	66.206	58.188	1.846	1.852	32.165	0.002	0.000	0.000	3.689	330.82	M
13398	1998	0.004	0.049	0.216	0.075	0.005	0.733	0.215	0.109	0.002	0.000	0.001	0.834	2.24	S
13398	1999	39.600	0.101	0.754	0.353	0.005	0.373	66.982	7.357	0.008	0.000	0.000	0.000	115.53	M
13398	2000	0.329	4.444	38.792	94.358	77.655	77.691	0.072	1.050	0.005	0.000	0.000	1.618	296.01	M
13398	2001	16.789	5.930	6.200	10.683	0.016	27.911	44.024	0.072	0.000	0.000	0.000	10.650	122.28	M
13398	2002	0.179	4.699	30.186	20.109	80.747	31.373	6.674	0.027	0.000	0.000	0.002	0.025	174.02	M
13398	2003	24.912	20.847	27.230	12.410	120.210	40.699	0.693	12.383	0.003	0.000	0.545	0.000	259.93	M
13398	2004	49.859	0.109	0.050	0.000	0.003	0.059	0.045	0.204	0.000	0.000	0.004	0.030	50.36	M
13398	2005	1.511	0.093	0.200	0.452	0.311	3.196	0.064	0.037	0.390	0.006	0.006	0.149	6.41	S

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 3.92% 7.19% 17.44% 22.22% 21.66% 15.02% 8.80% 2.90% 0.48% 0.01% 0.02% 0.34% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

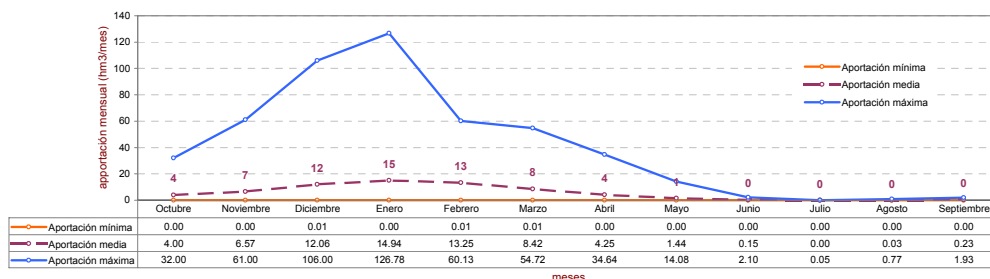
RIO BURDALO

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13408	1940	7.871	3.571	0.574	73.314	32.157	21.145	13.454	4.434	0.030	0.008	0.000	0.038	156.60	M
13408	1941	0.007	9.602	0.094	1.610	3.778	15.083	17.560	0.174	0.071	0.000	0.016	0.589	48.58	M
13408	1942	3.837	4.893	9.194	20.045	6.511	20.541	9.173	0.004	0.000	0.004	0.000	1.596	75.80	M
13408	1943	1.511	0.030	1.892	0.055	0.871	0.204	2.863	0.232	0.137	0.000	0.111	0.041	7.95	S
13408	1944	4.660	0.959	3.127	2.483	0.882	0.542	0.024	0.049	0.098	0.000	0.000	0.000	12.82	S
13408	1945	0.158	9.826	18.052	2.623	0.671	5.025	16.787	7.211	0.002	0.000	0.000	0.001	60.36	M
13408	1946	0.158	0.600	0.100	1.109	50.369	54.721	1.203	0.301	0.000	0.000	0.008	0.054	108.62	M
13408	1947	1.089	0.266	1.404	10.928	13.484	1.394	4.562	14.082	0.000	0.000	0.000	0.000	47.21	M
13408	1948	0.085	0.005	1.786	0.634	0.226	1.298	0.223	0.029	0.018	0.002	0.017	1.097	5.42	S
13408	1949	0.078	6.758	16.253	5.128	2.827	1.120	0.571	1.321	0.083	0.000	0.000	0.058	34.20	M
13408	1950	0.402	0.183	4.829	7.046	12.047	13.991	1.455	0.213	0.007	0.000	0.000	0.047	40.22	M
13408	1951	0.183	46.952	0.332	6.318	0.953	20.826	0.528	7.313	0.049	0.000	0.029	0.216	83.70	M
13408	1952	0.323	2.637	0.763	3.364	1.290	1.192	3.226	0.029	0.001	0.000	0.000	0.047	12.85	S
13408	1953	3.586	0.111	5.679	1.034	0.762	4.523	0.148	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	15.87	M
13408	1954	0.000	14.159	0.430	38.167	27.138	2.007	0.133	0.286	0.000	0.000	0.060	0.000	82.38	M
13408	1955	0.827	5.533	41.721	29.150	5.257	39.766	11.721	0.020	0.000	0.000	0.008	0.356	134.36	M
13408	1956	4.718	0.515	0.298	0.016	1.325	0.945	1.557	2.997	0.064	0.000	0.000	0.486	12.92	S
13408	1957	0.026	1.490	0.419	5.914	0.502	7.588	0.456	0.103	0.026	0.000	0.002	0.000	16.53	M
13408	1958	0.020	0.005	58.594	5.620	6.242	10.669	1.935	0.470	0.000	0.000	0.000	0.146	83.70	M
13408	1959	4.276	2.345	5.582	22.537	38.543	18.737	0.934	0.630	0.040	0.000	0.000	0.005	93.63	M
13408	1960	27.360	10.858	5.932	2.279	0.021	0.190	2.108	3.747	0.092	0.009	0.000	0.206	52.80	M
13408	1961	0.316	29.014	7.818	11.082	5.250	28.386	2.357	0.003	0.306	0.012	0.000	0.422	84.97	M
13408	1962	7.295	0.676	6.512	52.811	37.944	6.920	34.638	0.581	0.148	0.003	0.000	0.118	147.65	M
13408	1963	0.049	21.114	49.590	0.310	60.132	13.699	0.183	0.031	0.150	0.000	0.000	0.062	145.32	M
13408	1964	0.001	0.720	0.725	3.659	11.173	9.079	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	1.435	26.80	M
13408	1965	12.133	8.083	5.405	28.224	40.480	6.002	24.145	0.143	0.052	0.000	0.000	0.120	124.78	M
13408	1966	2.948	0.825	0.044	1.404	7.013	0.789	0.381	0.785	0.416	0.000	0.000	0.000	14.60	M
13408	1967	0.551	8.255	0.009	0.000	32.328	3.567	0.164	0.033	0.007	0.000	0.006	0.021	44.94	M
13408	1968	0.126	4.405	1.674	12.137	33.928	39.572	2.444	2.109	0.004	0.011	0.768	0.323	97.50	M
13408	1969	1.682	7.635	0.112	84.506	0.428	0.552	0.002	0.217	0.871	0.000	0.001	0.000	96.01	M
13408	1970	0.006	0.816	0.049	10.375	0.024	0.439	11.286	7.014	1.008	0.006	0.051	0.000	31.07	M
13408	1971	0.004	0.015	0.407	15.768	28.303	12.456	0.121	0.024	0.013	0.003	0.000	0.499	57.61	M
13408	1972	13.081	0.753	10.122	13.251	0.121	0.146	0.014	6.135	0.436	0.000	0.000	0.000	44.06	M
13408	1973	0.196	0.589	3.002	3.808	3.652	4.470	4.045	0.012	0.889	0.000	0.000	0.000	20.66	M
13408	1974	0.001	1.451	0.187	1.402	2.162	28.342	0.178	1.042	0.047	0.000	0.000	0.002	34.81	M
13408	1975	0.016	0.434	2.774	0.239	4.402	0.334	9.077	0.057	0.045	0.004	0.012	0.915	18.31	M
13408	1976	1.415	5.019	38.928	32.646	46.660	0.622	0.006	0.024	0.088	0.015	0.140	0.023	125.59	M
13408	1977	3.317	13.561	37.170	4.757	57.157	7.718	8.204	2.712	0.636	0.000	0.000	0.036	135.27	M
13408	1978	0.084	0.746	37.752	54.921	59.635	25.553	7.138	0.012	0.082	0.000	0.000	0.017	185.94	M
13408	1979	31.996	0.025	0.325	0.347	0.599	2.232	0.115	1.398	0.015	0.000	0.001	0.002	37.05	M
13408	1980	0.501	1.758	0.036	0.510	0.875	1.184	3.965	0.067	0.001	0.001	0.000	0.068	8.97	S
13408	1981	0.046	0.061	18.197	3.746	4.118	0.653	1.356	0.026	0.007	0.000	0.000	0.219	28.43	M
13408	1982	0.062	2.716	0.585	0.107	1.107	0.059	2.594	0.066	0.002	0.000	0.063	0.003	7.36	S
13408	1983	0.753	33.803	17.973	6.459	2.825	17.905	1.901	1.552	0.956	0.001	0.001	0.001	84.13	M
13408	1984	1.333	13.080	1.585	48.698	22.765	0.203	3.472	0.463	0.019	0.000	0.000	0.003	91.62	M
13408	1985	0.001	2.436	7.884	3.930	25.944	0.869	1.817	0.106	0.013	0.001	0.000	1.933	44.93	M
13408	1986	0.835	0.373	0.297	6.896	7.462	0.333	18.949	0.036	0.004	0.001	0.001	0.105	35.29	M
13408	1987	1.635	2.363	37.936	37.617	2.303	0.060	2.451	2.589	2.101	0.009	0.000	0.026	89.09	M
13408	1988	1.532	3.018	0.052	0.236	0.819	0.346	1.770	1.862	0.034	0.001	0.000	0.092	9.76	S
13408	1989	0.538	38.536	105.995	15.738	0.569	0.442	7.433	0.016	0.000	0.000	0.000	0.080	169.35	M
13408	1990	1.873	1.413	0.452	0.721	6.390	9.166	0.042	0.003	0.002	0.000	0.000	0.001	20.06	M
13408	1991	0.514	0.142	0.775	0.318	0.574	0.078	0.775	0.433	0.242	0.000	0.003	0.048	3.90	S
13408	1992	1.526	0.007	0.780	0.142	0.678	0.122	1.021	1.989	0.107	0.000	0.000	0.025	6.40	S
13408	1993	20.181	3.975	0.224	5.310	17.592	0.154	0.333	3.358	0.004	0.000	0.000	0.001	51.13	M
13408	1994	0.746	0.738	0.487	0.539	1.984	0.153	0.019	0.003	0.093	0.000	0.001	0.015	4.78	S
13408	1995	0.005	8.144	48.548	126.781	5.972	9.746	1.580	3.075	0.006	0.000	0.000	0.476	204.33	M
13408	1996	0.708	1.551	40.086	37.809	0.240	0.011	0.166	1.074	0.233	0.053	0.024	0.304	82.26	M
13408	1997	0.878	61.001	44.418	23.160	27.356	2.915	1.097	4.653	0.023	0.000	0.000	1.006	166.51	M
13408	1998	0.078	0.174	0.944	0.511	0.140	0.394	0.121	0.358	0.006	0.001	0.000	0.391	3.12	S
13408	1999	26.960	0.357	1.829	1.310	0.928	1.851	26.373	3.849	0.007	0.000	0.000	0.002	63.47	M
13408	2000	0.070	8.391	53.678	61.941	34.411	35.387	0.086	1.422	0.012	0.000	0.000	0.090	195.49	M
13408	2001	11.863	0.781	0.292	2.577	0.056	7.628	4.572	0.050	0.000	0.000	0.037	0.848	28.70	M
13408	2002	0.492	4.783	14.570	12.101	34.472	7.599	3.233	0.003	0.000	0.000	0.195	0.024	77.47	M
13408	2003	21.647	17.257	16.974	17.440	36.316	12.427	0.082	1.847	0.003	0.000	0.592	0.000	124.58	M
13408	2004	25.122	0.930	0.267	0.059	0.006	0.328	0.022	0.052	0.043	0.000	0.000	0.046	26.88	M
13408	2005	7.796	0.265	1.548	0.532	1.419	13.481	0.109	0.104	0.088	0.000	0.030	0.194	25.57	M

MIN	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
MED	4.00	6.57	12.06	14.94	13.25	8.42	4.25	1.44	1.44	0.15	0.00	0.03	0.23	65.35
MAX	32.00	61.00	106.00	126.78	60.13	54.72	34.64	14.08	2.10	0.05	0.77	1.93	494.20	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 6.12% 10.05% 18.46% 22.87% 20.28% 12.89% 6.50% 2.20% 0.23% 0.00% 0.05% 0.35% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

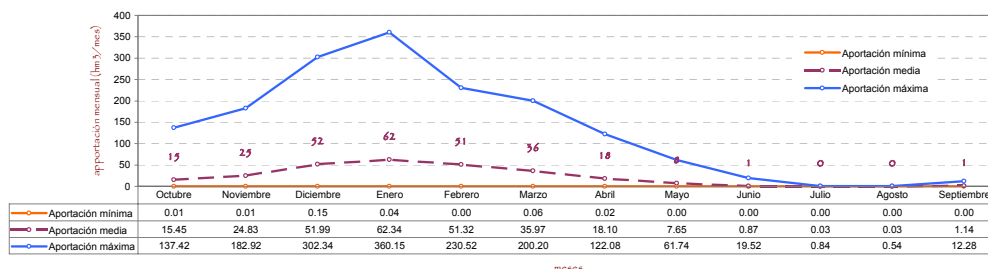
RIO RUECAS IV

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13414	1940	24.403	14.880	3.828	260.727	94.765	65.970	57.859	21.748	0.423	0.173	0.001	0.246	545.02	M
13414	1941	0.191	44.399	2.605	12.447	13.388	58.541	78.625	3.289	0.209	0.000	0.001	1.197	214.89	M
13414	1942	13.733	8.033	26.079	96.439	18.408	58.339	27.189	0.607	0.004	0.001	0.000	2.633	251.46	M
13414	1943	8.171	0.431	8.943	1.091	4.564	0.839	16.730	1.087	0.350	0.000	0.082	0.209	42.50	S
13414	1944	15.627	8.157	33.651	19.402	4.026	1.754	0.174	0.244	0.295	0.000	0.000	0.013	83.34	M
13414	1945	1.099	23.021	99.448	15.830	11.040	37.604	46.850	42.997	0.019	0.000	0.000	0.053	277.96	M
13414	1946	1.824	4.362	3.218	14.206	230.521	200.200	5.040	4.910	0.010	0.000	0.014	0.310	464.61	M
13414	1947	8.319	3.448	24.778	111.712	82.211	11.290	28.796	61.739	0.004	0.000	0.000	0.000	332.31	M
13414	1948	1.499	0.119	13.775	1.915	0.899	6.671	0.960	1.573	0.401	0.004	0.004	6.310	34.13	S
13414	1949	0.485	22.264	51.896	7.036	30.619	9.030	0.502	5.628	0.714	0.010	0.000	0.318	128.50	M
13414	1950	1.520	2.541	27.406	34.125	71.267	91.159	9.485	3.573	0.022	0.007	0.000	0.290	241.39	M
13414	1951	1.571	138.274	5.809	42.326	9.884	97.547	9.380	35.663	0.064	0.000	0.024	0.248	340.79	M
13414	1952	1.366	4.151	6.537	8.166	5.563	3.132	16.628	0.034	0.111	0.002	0.000	0.139	45.83	S
13414	1953	20.117	1.644	23.311	3.329	4.692	28.913	3.526	0.287	0.004	0.019	0.000	0.004	85.85	M
13414	1954	0.063	33.297	5.089	136.467	84.631	13.145	1.928	1.656	0.017	0.000	0.050	0.044	276.39	M
13414	1955	4.525	25.441	171.950	105.057	26.988	165.363	35.156	0.665	0.001	0.000	0.041	1.086	536.27	M
13414	1956	15.351	2.521	5.240	1.230	17.061	4.192	6.992	22.562	1.796	0.000	0.000	1.376	78.32	M
13414	1957	1.163	3.450	7.833	37.374	7.709	43.967	3.384	1.215	0.303	0.000	0.000	0.004	106.40	M
13414	1958	0.755	0.251	218.445	39.020	30.116	55.537	8.103	4.430	0.004	0.000	0.023	1.049	357.73	M
13414	1959	13.478	9.058	56.864	108.516	138.047	87.287	10.094	4.922	0.172	0.000	0.001	2.957	428.70	M
13414	1960	137.419	36.105	54.119	31.708	1.654	1.696	10.721	14.988	0.400	0.000	0.000	0.282	291.80	M
13414	1961	1.536	79.959	71.866	77.633	28.039	132.163	19.120	0.291	0.336	0.000	0.000	2.782	413.73	M
13414	1962	33.274	6.198	59.928	165.346	148.969	28.591	122.080	2.758	1.066	0.003	0.000	0.447	568.66	M
13414	1963	0.376	126.200	193.567	3.754	227.505	51.277	3.878	0.551	0.794	0.000	0.000	0.434	608.34	M
13414	1964	0.086	1.759	5.519	20.548	37.106	42.344	0.025	0.009	0.006	0.000	0.001	12.279	119.68	M
13414	1965	38.026	42.369	38.476	115.885	139.003	0.184	78.286	1.058	0.582	0.000	0.000	1.095	454.96	M
13414	1966	36.847	12.232	2.068	27.174	48.334	10.545	7.470	5.552	0.638	0.000	0.000	0.015	150.88	M
13414	1967	2.462	17.518	0.615	0.197	120.630	14.415	1.429	0.220	0.030	0.000	0.001	0.048	157.57	M
13414	1968	1.689	10.195	11.734	41.959	102.728	162.260	6.448	10.699	0.072	0.064	0.334	2.031	350.21	M
13414	1969	8.650	50.729	6.039	360.148	8.625	8.318	0.025	1.235	3.593	0.000	0.000	0.000	447.36	M
13414	1970	0.029	7.982	1.096	65.243	0.233	9.492	82.148	38.489	6.412	0.004	0.079	0.001	211.21	M
13414	1971	0.122	0.071	4.383	88.796	131.184	49.479	2.914	0.304	0.091	0.012	0.000	2.410	279.77	M
13414	1972	45.314	4.749	48.014	68.718	1.389	2.308	0.326	31.794	0.919	0.001	0.000	0.001	203.53	M
13414	1973	1.343	2.169	13.329	22.975	25.255	20.100	12.902	1.064	3.244	0.004	0.000	0.000	102.38	M
13414	1974	0.034	7.822	4.729	26.380	20.730	97.662	2.573	6.441	1.162	0.000	0.000	0.099	167.63	M
13414	1975	0.023	1.748	15.466	1.773	26.244	3.246	37.587	1.745	0.230	0.085	0.038	6.503	94.69	M
13414	1976	16.815	35.902	200.561	175.339	178.800	2.415	0.280	0.286	0.307	0.150	0.356	0.296	611.51	M
13414	1977	22.781	59.110	168.876	45.489	203.387	49.569	49.086	15.568	2.925	0.000	0.000	0.370	617.16	M
13414	1978	0.138	3.957	173.541	192.774	193.101	93.561	28.554	0.531	1.377	0.002	0.000	0.050	687.59	M
13414	1979	111.815	1.106	8.590	11.283	6.969	20.156	1.201	9.485	0.020	0.000	0.039	0.203	170.70	M
13414	1980	1.074	5.208	0.151	0.208	2.505	7.197	16.272	0.952	0.002	0.007	0.001	0.308	33.88	S
13414	1981	0.409	0.010	102.962	25.357	16.459	4.110	7.254	0.912	0.017	0.000	0.001	0.918	158.41	M
13414	1982	0.463	18.545	3.613	0.288	3.211	0.153	16.526	0.338	0.005	0.000	0.231	0.023	43.40	S
13414	1983	1.594	124.883	83.741	30.340	10.713	65.857	9.837	11.046	3.859	0.000	0.001	0.019	341.89	M
13414	1984	5.550	56.281	7.429	198.552	71.864	0.540	19.797	3.451	0.013	0.000	0.000	0.016	363.49	M
13414	1985	0.006	20.123	57.309	30.832	132.384	5.824	11.928	0.406	0.000	0.000	0.000	4.951	263.76	M
13414	1986	4.029	2.119	2.063	43.705	34.718	2.572	67.398	0.120	0.013	0.837	0.029	0.161	157.76	M
13414	1987	8.049	13.325	148.905	147.256	12.494	0.360	21.282	8.948	19.519	0.130	0.000	0.076	380.34	M
13414	1988	5.957	24.627	0.334	1.614	6.120	1.584	13.715	7.402	0.124	0.003	0.001	0.151	61.63	M
13414	1989	2.110	95.361	302.341	50.161	0.775	2.073	21.082	0.025	0.001	0.000	0.000	0.112	474.04	M
13414	1990	8.904	13.196	2.692	6.857	52.420	69.930	0.556	0.005	0.031	0.001	0.000	1.050	155.64	M
13414	1991	3.952	2.036	6.502	1.800	4.741	0.781	7.579	4.025	0.982	0.007	0.034	0.313	32.75	S
13414	1992	7.927	0.053	6.879	0.430	3.211	0.915	4.295	8.416	0.441	0.000	0.000	0.117	32.68	S
13414	1993	76.483	23.099	0.697	31.494	64.147	0.591	1.399	15.857	0.010	0.000	0.000	0.029	213.81	M
13414	1994	2.399	4.103	3.794	14.179	18.682	0.243	0.233	0.006	0.422	0.010	0.002	0.132	44.21	S
13414	1995	0.023	39.863	220.946	341.332	29.928	31.789	4.717	11.214	0.042	0.023	0.000	2.113	681.99	M
13414	1996	1.408	9.093	139.970	122.577	0.391	0.061	1.055	3.255	2.132	0.211	0.060	0.300	280.51	M
13414	1997	1.964	182.917	140.900	69.121	67.188	14.365	11.150	32.635	0.071	0.000	0.001	7.743	528.06	M
13414	1998	0.239	0.718	3.286	2.753	0.993	1.971	1.071	2.269	0.019	0.005	0.001	2.270	15.59	S
13414	1999	86.313	0.883	10.670	3.691	1.773	6.361	92.063	11.850	0.014	0.000	0.000	0.010	213.63	M
13414	2000	0.285	45.545	166.271	235.856	85.240	134.327	0.349	2.977	0.029	0.000	0.005	0.262	671.15	M
13414	2001	45.903	1.499	0.640	8.591	0.330	27.965	11.296	0.574	0.006	0.000	0.018	5.771	102.60	M
13414	2002	2.110	34.721	64.403	75.874	110.094	43.282	13.470	0.002	0.008	0.000	0.019	0.209	344.19	M
13414	2003	70.576	61.183	49.482	68.658	109.066	53.512	3.042	15.256	0.024	0.000	0.536	0.000	431.33	M
13414	2004	62.120	1.324	1.264	0.037	0.000	0.804	0.279	0.241	0.405	0.001	0.005	0.021	66.50	M
13414	2005	25.784	0.372	25.143	3.257	11.460	56.685	2.433	0.744	0.327	0.000	0.014	0.635	126.86	M

MIN	0.01	0.01	0.15	0.04	0.00	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
MED	15.45	24.83	51.99	62.34	51.32	35.97	18.10	7.65	0.87	0.03	0.03	0.03	1.14	269.73
MAX	137.42	182.92	302.34	360.15	230.52	200.20	122.08	61.74	19.52	0.84	0.54	12.28	1,630.53	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 5.73% 9.21% 19.28% 23.11% 19.03% 13.34% 6.71% 2.84% 0.32% 0.01% 0.01% 0.42% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RIO ZUJAR II

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13423	1940	40.153	43.155	5.043	328.577	399.868	136.117	218.336	33.386	9.731	0.440	0.005	4.867	1.219.68	H
13423	1941	0.086	110.439	6.691	17.260	34.639	201.623	171.315	1.023	0.085	0.000	0.001	2.885	546.05	M
13423	1942	89.924	25.183	136.557	100.157	8.495	226.482	154.532	1.722	0.286	0.092	0.000	2.290	745.72	M
13423	1943	10.728	0.623	96.636	2.940	16.173	3.876	30.793	6.516	20.777	0.012	0.129	3.510	192.71	M
13423	1944	9.643	7.881	10.932	21.162	0.466	5.896	0.045	0.075	1.923	0.000	0.000	0.007	58.03	M
13423	1945	0.929	12.503	147.103	20.541	18.699	133.225	115.297	116.246	0.155	0.000	0.000	1.801	566.50	M
13423	1946	0.970	21.364	4.783	54.319	915.421	711.964	39.695	12.322	0.180	0.058	0.165	0.437	1.761.68	H
13423	1947	4.596	6.082	19.482	199.387	255.600	17.095	82.627	236.012	0.075	0.000	0.000	0.001	820.96	M
13423	1948	8.093	0.033	52.361	7.079	2.106	8.795	16.275	8.906	12.907	0.034	0.097	15.658	132.34	M
13423	1949	0.426	39.610	47.914	6.120	51.941	38.495	5.687	34.984	0.021	0.000	0.121	1.514	226.83	M
13423	1950	8.597	23.207	176.212	156.953	360.970	387.984	185.090	38.411	0.238	0.032	0.004	3.682	1.341.38	H
13423	1951	2.118	413.048	13.426	164.083	26.250	433.518	23.548	117.473	0.584	0.167	12.192	0.014	1.206.42	H
13423	1952	4.811	62.415	62.186	3.469	17.656	2.766	88.285	0.081	0.360	0.114	0.001	0.282	242.43	M
13423	1953	45.355	0.319	3.873	1.627	5.177	44.910	7.261	0.044	0.327	0.078	0.001	0.003	108.97	M
13423	1954	0.009	20.424	7.523	440.997	383.198	73.593	7.879	7.043	0.870	0.000	0.009	0.669	942.21	M
13423	1955	42.844	84.172	430.794	142.067	36.366	570.412	187.379	1.065	0.233	0.003	0.380	4.177	1.499.68	H
13423	1956	12.452	1.440	2.791	5.672	47.086	9.962	50.107	95.390	11.755	0.002	0.147	2.458	239.26	M
13423	1957	8.863	18.566	31.969	120.720	22.726	90.589	15.472	15.358	1.327	0.000	0.001	0.029	325.62	M
13423	1958	1.729	0.271	938.437	187.163	122.135	159.194	20.554	52.077	0.018	0.002	0.176	2.092	1.483.85	H
13423	1959	24.794	53.856	208.049	270.635	685.139	483.088	30.815	19.678	12.161	0.000	0.022	0.520	1.788.76	H
13423	1960	442.888	225.777	276.857	154.559	15.910	35.267	28.006	62.525	2.955	1.162	0.002	17.666	1.263.58	H
13423	1961	13.483	312.677	594.333	361.362	103.799	619.147	371.243	8.527	6.686	0.000	0.000	2.469	2.393.73	H
13423	1962	43.246	29.697	282.090	665.061	881.367	178.893	439.590	37.164	28.066	1.550	0.001	5.895	2.593.22	H
13423	1963	1.543	217.599	760.178	5.118	844.477	271.627	29.098	0.597	7.928	0.499	0.012	3.311	2.141.99	H
13423	1964	0.196	12.234	11.309	59.226	123.882	147.296	0.775	0.030	0.021	0.001	0.000	41.764	396.73	M
13423	1965	172.613	113.370	92.494	624.278	467.908	9.921	328.319	1.062	2.619	0.008	0.011	3.420	1.816.02	H
13423	1966	53.579	85.314	1.639	84.561	199.854	21.556	6.846	35.924	17.484	0.000	0.000	0.006	506.76	M
13423	1967	6.033	97.660	4.764	1.244	413.467	97.771	44.550	2.949	1.784	0.007	0.077	0.070	670.37	M
13423	1968	2.808	76.382	69.433	272.793	673.413	719.137	61.679	27.322	0.554	0.780	12.191	34.800	1.951.29	H
13423	1969	17.004	321.415	44.554	1.210.514	25.497	40.274	0.736	6.898	26.533	0.009	0.000	0.000	1.693.43	H
13423	1970	0.008	6.365	2.239	197.243	0.324	53.072	245.402	161.826	11.005	0.201	0.103	0.009	677.80	M
13423	1971	0.053	0.263	22.453	148.653	266.762	171.378	8.529	3.105	0.139	0.044	0.000	22.344	643.72	M
13423	1972	154.676	36.529	138.200	128.995	6.072	22.715	0.618	63.742	2.310	0.094	0.000	0.000	553.95	M
13423	1973	8.629	3.523	59.439	10.420	47.978	49.794	142.979	0.343	33.438	0.000	0.001	0.000	356.54	M
13423	1974	0.249	4.311	3.168	28.055	75.117	419.041	23.961	31.002	0.931	0.000	0.015	0.070	585.92	M
13423	1975	0.013	1.201	11.391	5.295	35.757	5.879	127.390	7.832	4.025	3.191	0.174	64.586	266.73	M
13423	1976	54.726	69.829	624.583	668.342	655.152	25.004	0.354	2.913	2.353	0.084	1.935	0.110	2.105.39	H
13423	1977	23.998	69.553	387.236	147.773	621.072	90.282	276.089	56.106	68.346	0.000	0.028	0.994	1.741.48	H
13423	1978	0.131	6.824	311.615	752.258	772.134	260.997	157.496	5.787	1.654	0.626	0.000	4.549	2.273.17	H
13423	1979	331.640	2.873	7.404	6.274	16.665	14.910	1.254	18.538	0.047	0.000	0.008	1.527	401.14	M
13423	1980	7.361	44.520	0.645	0.081	3.282	7.778	56.274	2.125	0.376	0.817	0.035	1.148	124.44	M
13423	1981	0.021	0.012	352.909	61.982	77.000	18.113	32.111	3.306	0.012	0.137	0.055	0.371	546.03	M
13423	1982	1.713	89.159	14.905	0.498	8.671	2.123	27.609	0.446	0.044	0.000	0.756	0.000	145.92	M
13423	1983	0.186	153.090	128.558	68.638	64.485	340.552	118.243	134.821	6.170	0.000	0.160	0.025	1.014.93	M
13423	1984	6.830	169.122	9.651	307.536	185.590	4.626	91.128	28.761	0.268	0.000	0.000	0.221	803.73	M
13423	1985	0.005	16.733	152.518	52.840	399.028	47.003	92.518	7.233	0.052	0.006	0.000	0.711	768.65	M
13423	1986	21.706	6.482	5.859	123.848	123.232	17.777	79.590	1.493	0.152	11.648	0.403	0.999	393.19	M
13423	1987	74.075	17.430	419.994	357.812	39.131	5.884	28.665	44.533	63.989	0.029	0.000	0.001	1.051.54	M
13423	1988	10.784	46.227	1.719	9.207	19.410	4.627	41.352	13.202	0.739	0.005	0.022	2.019	149.31	M
13423	1989	1.910	265.036	714.403	248.864	2.986	11.295	121.900	0.558	0.021	0.087	0.052	0.212	1.367.32	H
13423	1990	22.673	13.209	7.465	8.645	129.138	167.922	2.077	0.445	0.658	0.007	0.000	1.017	353.26	M
13423	1991	14.633	2.709	11.954	4.350	32.273	5.203	16.010	32.344	33.841	0.040	0.039	0.578	153.97	M
13423	1992	54.446	0.304	13.677	1.666	1.550	2.312	39.544	24.466	1.962	0.002	0.000	0.041	139.97	M
13423	1993	103.140	15.900	3.982	39.883	108.468	2.644	10.534	8.594	0.024	0.002	0.000	1.840	295.01	M
13423	1994	2.195	4.611	5.083	9.741	11.862	2.640	0.594	0.117	1.131	0.012	0.002	0.548	38.54	S
13423	1995	0.060	172.378	663.983	1.039.784	124.339	91.174	17.777	95.282	0.360	0.049	0.004	37.093	2.242.28	H
13423	1996	4.258	7.558	738.831	758.870	4.377	0.916	8.489	8.870	2.501	1.504	0.542	1.011	1.537.73	H
13423	1997	6.041	327.590	291.637	185.846	198.353	23.528	25.938	172.015	0.518	0.001	0.068	6.134	1.237.67	H
13423	1998	0.273	0.692	3.478	0.020	3.680	15.349	2.639	1.347	0.255	0.014	0.000	0.218	41.97	S
13423	1999	225.027	3.406	33.366	10.648	2.488	3.379	309.801	15.242	0.024	0.000	0.024	0.027	603.41	M
13423	2000	5.633	43.468	151.546	583.882	111.217	529.028	6.143	15.056	0.102	0.003	0.000	10.461	1.456.54	H
13423	2001	79.591	25.651	17.098	38.371	0.506	78.755	73.523	0.683	0.060	0.000	0.022	22.234	336.49	M
13423	2002	7.083	44.838	111.423	156.826	317.057	95.133	36.890	0.114	0.011	0.000	0.351	0.538	770.26	M
13423	2003	264.178	114.965	103.081	91.595	441.485	281.265	41.196	69.349	0.317	0.000	1.684	0.025	1.409.14	H
13423	2004	91.121	0.517	2.898	0.569	2.013	4.181	1.354	0.977	0.052	0.000	0.000	0.041	103.72	M
13423	2005	18.333	1.071	11.208	16.274	23.934	61.536	11.962	2.510	0.302	0.084	0.316	6.830	154.36	M
MIN		0.00	0.01	0.05	0.08	0.32	0.92	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	2.07	
MED		40.42	64.01	152.73	181.36	183.22	133.60	76.36	30.54	6.16	0.36	0.49	5.32	874.57	
MAX		442.89	413.05	938.44	1.210.51	915.42	719.14	439.59	236.01	68.35	11.65	12.19	64.59	5.471.82	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL:	4.62%	7.32%	17.46%	20.74%	20.95%	15.28%	8.73%	3.49%	0.70%	0.04%	0.06%	0.61%	100%
-----------------------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

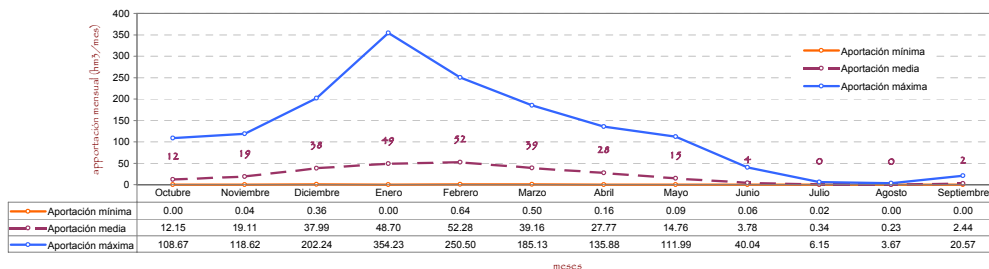
RIO BULLAQUE

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13450	1940	27.265	44.166	17.368	354.231	227.474	71.718	89.565	35.017	4.420	1.430	0.256	4.271	877.18	H
13450	1941	0.744	81.130	6.975	33.057	31.122	163.000	77.182	2.555	1.548	0.232	0.115	3.334	400.99	H
13450	1942	22.805	39.375	45.207	66.974	42.817	82.242	132.919	14.256	0.617	0.716	0.049	5.203	453.18	H
13450	1943	8.791	8.504	35.046	9.100	63.967	11.380	46.846	25.477	1.553	0.174	0.416	9.225	220.48	M
13450	1944	11.441	17.626	18.257	55.300	14.996	17.473	2.009	2.519	2.731	0.051	0.102	0.025	142.53	M
13450	1945	0.246	33.267	64.103	14.088	11.973	59.754	135.880	62.050	1.556	0.186	0.082	1.116	384.30	H
13450	1946	0.168	5.047	3.948	11.002	222.699	172.908	13.231	6.795	0.957	0.132	0.563	1.705	439.16	H
13450	1947	2.994	5.232	11.926	106.288	56.811	10.000	25.062	76.586	0.287	0.122	0.050	0.016	295.38	H
13450	1948	2.963	2.256	5.725	3.889	0.849	2.983	6.036	2.729	1.740	0.145	0.128	8.968	38.41	S
13450	1949	0.030	5.821	6.619	3.171	13.688	1.720	0.362	4.356	0.161	0.036	0.008	0.021	35.99	S
13450	1950	1.926	2.617	44.875	38.531	81.851	150.220	49.264	19.399	0.320	0.179	0.065	6.570	395.82	H
13450	1951	5.493	90.727	4.221	56.787	13.995	94.003	45.497	22.023	0.978	0.215	1.931	0.061	335.93	H
13450	1952	1.297	4.315	5.968	0.181	1.743	2.495	5.766	0.087	0.097	0.062	0.017	0.628	22.66	S
13450	1953	3.986	0.068	3.579	0.140	1.722	13.941	2.939	0.261	0.147	0.038	0.007	0.001	26.83	S
13450	1954	0.002	5.572	0.888	59.508	103.324	4.424	6.989	1.463	0.571	0.123	0.075	0.136	183.07	M
13450	1955	12.859	16.673	101.840	55.759	23.617	118.972	36.804	7.985	0.263	0.162	0.189	0.721	375.64	H
13450	1956	2.479	0.457	0.937	0.499	12.446	2.093	3.779	6.798	5.636	0.079	0.038	0.789	36.03	S
13450	1957	3.255	3.441	3.889	13.141	4.413	13.866	4.564	2.313	0.909	0.075	0.025	0.235	50.13	S
13450	1958	0.790	0.042	128.147	6.732	13.213	21.015	5.646	10.165	0.160	0.043	0.053	4.355	190.36	M
13450	1959	5.152	7.632	31.772	76.354	170.796	82.869	3.893	4.993	2.118	0.094	0.016	0.094	385.79	H
13450	1960	108.671	25.244	32.489	26.564	1.824	4.073	10.439	12.274	1.183	0.181	0.050	3.753	226.75	M
13450	1961	0.755	58.022	73.398	55.786	23.178	156.717	104.220	13.597	6.716	0.211	0.094	0.359	493.05	H
13450	1962	9.725	2.721	48.268	137.580	139.011	38.006	84.060	8.202	19.469	0.468	0.102	1.055	488.67	H
13450	1963	0.389	118.625	116.710	0.850	250.498	70.880	10.225	0.785	9.230	0.249	0.099	0.511	579.05	H
13450	1964	0.009	3.110	4.624	7.788	36.762	42.966	0.652	0.275	0.210	0.160	0.010	20.565	116.66	M
13450	1965	22.935	49.088	35.168	130.572	145.200	0.933	97.800	2.999	7.039	0.143	0.056	1.490	493.42	H
13450	1966	28.845	32.244	1.184	24.181	69.267	16.819	10.387	15.908	6.927	0.107	0.040	0.010	205.92	M
13450	1967	3.662	26.217	0.443	0.004	111.617	28.791	30.780	3.393	0.416	0.103	0.053	0.156	205.63	M
13450	1968	0.628	13.385	15.917	49.399	160.200	185.133	30.390	28.210	0.737	0.526	3.673	15.412	503.61	H
13450	1969	5.714	75.984	11.454	331.846	13.611	4.941	1.648	2.739	0.505	0.054	0.014	0.014	448.67	H
13450	1970	0.007	3.804	0.616	28.736	3.565	17.972	59.163	111.989	23.374	0.311	0.080	0.039	249.66	H
13450	1971	0.031	0.214	10.167	40.843	70.050	68.037	1.455	5.392	0.994	0.106	0.047	17.823	215.16	H
13450	1972	37.987	16.201	28.642	56.760	0.872	8.947	3.114	33.515	7.862	0.168	0.037	0.008	194.11	M
13450	1973	9.068	0.336	19.421	14.514	23.847	36.401	35.828	1.304	18.079	0.127	0.077	0.009	159.01	M
13450	1974	1.348	4.212	0.664	4.356	18.514	59.775	19.797	10.792	2.406	0.080	0.471	0.478	122.89	M
13450	1975	0.004	2.092	4.606	3.649	16.695	1.920	9.121	2.053	1.931	3.345	0.413	14.991	60.82	S
13450	1976	15.261	13.426	148.572	147.018	167.526	3.816	1.197	7.739	1.674	1.495	1.177	0.138	509.04	H
13450	1977	19.180	40.387	106.840	34.025	208.405	44.351	73.513	17.780	4.244	0.170	0.079	0.131	549.11	H
13450	1978	0.044	2.495	115.511	215.672	177.164	83.317	50.458	1.551	7.332	0.503	0.089	3.474	657.61	H
13450	1979	60.161	0.903	2.145	3.955	8.822	15.495	6.087	12.642	0.316	0.119	0.044	0.674	111.36	M
13450	1980	2.225	10.607	0.408	0.411	3.988	4.929	25.793	5.554	0.397	0.056	0.113	0.390	54.87	M
13450	1981	0.017	0.107	131.339	18.392	21.178	20.099	9.271	15.347	1.031	0.262	0.091	0.377	217.51	S
13450	1982	2.785	37.677	6.596	0.587	1.013	0.497	20.156	0.676	0.734	0.022	1.009	0.064	71.81	S
13450	1983	0.009	45.738	70.105	20.889	17.353	96.156	61.200	49.160	10.434	0.171	0.072	0.096	371.38	H
13450	1984	3.583	43.780	1.405	74.561	73.806	3.990	36.817	19.813	1.010	0.129	0.051	0.216	259.16	H
13450	1985	0.000	15.610	69.339	21.514	130.170	8.798	43.050	3.017	0.245	0.061	0.021	0.036	291.86	H
13450	1986	8.483	1.888	1.309	49.307	31.775	4.075	37.299	1.362	0.597	6.154	0.196	0.210	142.66	M
13450	1987	16.668	8.772	98.172	109.503	17.141	1.159	22.605	7.950	40.037	0.180	0.069	0.027	322.28	H
13450	1988	5.146	9.533	0.362	1.896	10.508	1.861	25.307	11.098	1.329	0.127	0.042	0.470	67.68	S
13450	1989	0.170	46.117	165.594	39.297	1.032	4.588	20.868	0.267	0.062	0.238	0.195	1.084	279.51	M
13450	1990	12.005	4.985	1.106	1.620	35.361	62.342	3.147	0.129	0.371	0.147	0.005	2.704	123.92	M
13450	1991	9.329	1.519	5.395	0.637	10.525	3.548	12.373	17.484	26.110	0.146	0.164	0.177	87.41	S
13450	1992	14.154	0.237	4.235	0.503	1.132	1.731	6.761	15.560	6.249	0.073	0.047	0.039	50.72	S
13450	1993	64.163	4.935	1.058	18.572	26.387	0.788	1.820	8.297	0.202	0.035	0.004	0.769	127.03	M
13450	1994	3.080	3.737	1.234	4.801	9.358	0.571	0.320	0.340	1.148	0.088	0.043	0.117	24.84	S
13450	1995	0.017	26.438	174.530	193.060	31.985	33.616	10.049	28.835	0.440	0.082	0.056	9.673	508.78	H
13450	1996	0.242	6.606	202.238	153.703	1.449	0.499	8.835	12.776	1.660	0.358	0.331	1.164	389.86	H
13450	1997	0.719	66.775	99.860	33.542	47.148	13.207	16.685	73.377	1.758	0.197	0.135	2.664	356.07	H
13450	1998	0.450	0.433	1.749	3.685	1.359	2.794	3.629	2.156	1.481	0.029	0.003	6.248	24.02	S
13450	1999	50.303	0.685	7.619	2.507	1.390	1.640	72.448	10.572	0.254	0.045	0.007	0.000	147.47	M
13450	2000	1.224	16.591	64.927	110.316	47.516	158.186	1.409	23.456	0.458	0.057	0.012	2.429	426.58	H
13450	2001	36.093	4.131	2.455	13.288	0.644	25.239	17.207	1.651	0.702	0.048	0.098	3.075	104.63	M
13450	2002	4.296	16.293	44.183	47.279	54.858	27.265	4.980	0.180	0.166	0.041	0.599	0.144	200.28	M
13450	2003	80.019	23.378	24.481	9.813	97.498	80.012	31.657	64.146	1.456	0.105	1.189	0.007	413.76	H
13450	2004	35.646	1.592	1.970	0.357	1.717	3.144	0.410	0.118	0.496	0.024	0.001	0.001	45.48	S
13450	2005	11.935	0.467	7.342	5.046	14.374	38.186	6.153	0.767	0.822	0.034	0.007	0.287	85.42	S

MIN	0.00	0.04	0.36	0.00	0.64	0.50	0.16	0.09	0.06	0.02	0.00	0.00	1.88
MED	12.15	19.11	37.99	48.70	52.28	39.16	27.77	14.76	3.78	0.34	0.23	2.44	258.71
MAX	108.67	118.62	202.24	354.23	250.50	185.13	135.88	111.99	40.04	6.15	3.67	20.57	1,537.70

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 4.70% 7.39% 14.68% 18.82% 20.21% 15.14% 10.74% 5.70% 1.46% 0.13% 0.09% 0.94% 100%

distribución mensual





SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

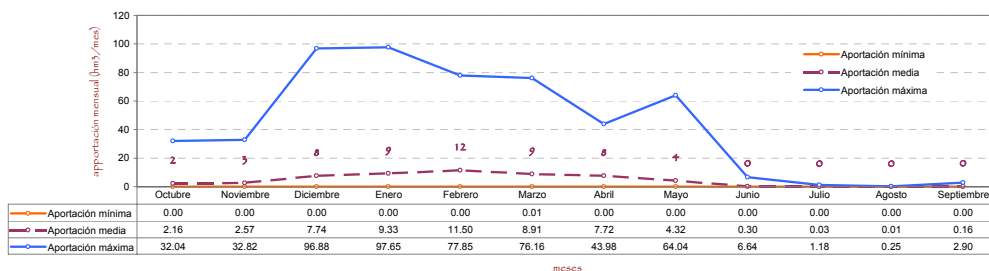
RIO JABALON III

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
13463	1940	1.324	0.364	0.007	56.667	77.845	6.127	43.983	13.280	0.642	0.038	0.000	0.147	200.42	H
13463	1941	0.006	12.039	0.013	0.150	0.379	13.223	4.139	0.033	0.001	0.000	0.000	0.271	30.26	M
13463	1942	1.111	1.040	0.336	0.817	0.308	2.129	7.485	0.056	0.000	0.000	0.000	0.248	13.53	M
13463	1943	0.496	0.024	2.136	0.013	0.950	0.108	0.582	0.310	0.154	0.000	0.000	0.561	5.33	M
13463	1944	0.129	0.141	0.093	0.405	0.005	0.105	0.000	0.001	0.108	0.000	0.000	0.000	0.99	S
13463	1945	0.019	0.206	1.439	0.151	0.025	4.144	31.949	9.894	0.030	0.000	0.000	0.009	47.87	M
13463	1946	0.093	0.466	0.495	2.101	58.721	49.314	0.842	0.566	0.000	0.030	0.016	0.002	112.65	M
13463	1947	0.511	0.056	0.047	5.536	4.753	0.480	1.815	11.016	0.000	0.000	0.000	0.005	24.22	M
13463	1948	1.066	0.006	0.237	0.044	0.002	0.059	0.012	2.760	0.054	0.002	0.001	0.088	4.33	M
13463	1949	0.011	0.428	0.167	0.041	0.090	0.081	0.060	0.128	0.000	0.000	0.000	0.010	1.02	S
13463	1950	0.101	0.019	0.441	1.334	4.648	20.479	11.017	3.965	0.004	0.000	0.002	2.902	44.91	M
13463	1951	0.325	16.399	0.156	1.308	0.197	15.395	23.433	11.817	0.011	0.028	0.047	0.000	69.12	M
13463	1952	0.033	0.084	0.808	0.011	0.002	0.008	0.160	0.000	0.109	0.009	0.000	0.016	1.24	S
13463	1953	0.670	0.015	0.170	0.020	0.177	1.198	0.743	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	3.00	M
13463	1954	0.032	0.343	0.065	4.615	10.404	3.848	0.500	0.401	0.179	0.000	0.001	0.031	20.42	M
13463	1955	2.100	0.136	7.420	11.131	0.136	13.158	19.078	0.342	0.000	0.000	0.026	0.007	53.54	M
13463	1956	0.177	0.027	0.024	0.022	0.079	0.031	0.257	1.117	0.029	0.000	0.000	0.009	1.77	M
13463	1957	0.264	0.248	0.500	0.241	0.008	1.330	1.257	0.198	0.001	0.000	0.000	0.000	4.05	M
13463	1958	0.152	0.007	68.535	2.903	0.394	1.906	0.030	8.543	0.008	0.000	0.006	0.161	82.65	M
13463	1959	1.288	0.247	3.874	8.555	73.491	62.981	2.616	0.072	1.912	0.000	0.000	0.066	155.10	H
13463	1960	32.039	4.982	31.511	11.835	0.054	4.406	0.807	0.897	0.002	0.012	0.000	0.901	83.44	M
13463	1961	0.228	11.826	40.184	7.668	1.496	76.158	43.107	2.198	0.070	0.000	0.000	0.104	183.04	H
13463	1962	5.054	0.692	8.542	53.063	68.948	6.383	24.855	0.926	2.241	0.061	0.000	0.691	171.46	H
13463	1963	0.006	8.333	32.094	0.064	63.006	51.817	0.971	0.014	0.423	0.001	0.000	0.005	156.73	H
13463	1964	0.010	0.428	0.361	1.684	3.139	5.149	0.011	0.005	0.000	0.000	0.000	0.539	11.33	M
13463	1965	2.453	6.494	3.421	43.531	51.621	1.159	25.816	0.310	0.004	0.000	0.000	0.107	133.92	H
13463	1966	1.407	0.020	0.000	0.499	4.801	0.175	0.028	0.067	0.660	0.000	0.000	0.000	7.66	M
13463	1967	0.008	8.080	0.009	0.000	19.031	6.033	2.759	0.078	0.163	0.000	0.000	0.000	36.16	M
13463	1968	0.030	0.896	1.335	19.251	48.648	55.475	25.174	0.956	0.011	0.002	0.245	0.400	152.42	H
13463	1969	0.420	5.720	2.144	63.774	0.232	4.436	0.013	0.012	0.003	0.000	0.000	0.002	76.76	M
13463	1970	0.008	0.095	0.131	1.467	0.086	3.159	3.930	43.226	0.193	0.000	0.000	0.020	52.31	M
13463	1971	0.002	0.209	1.600	3.080	15.085	20.870	4.120	0.441	0.009	0.002	0.001	0.088	45.51	M
13463	1972	2.204	0.362	0.154	0.377	0.024	0.406	0.025	0.072	0.663	0.001	0.000	0.000	4.29	M
13463	1973	20.399	0.035	7.390	0.025	6.986	9.933	34.494	0.000	0.646	0.000	0.001	0.000	79.91	M
13463	1974	0.913	0.017	0.001	0.030	0.136	3.401	0.722	3.939	0.294	0.000	0.000	0.008	9.46	M
13463	1975	0.001	0.012	0.302	0.027	0.546	0.018	1.370	0.044	0.117	0.326	0.000	0.250	3.01	M
13463	1976	2.948	0.434	30.218	50.123	50.903	4.784	0.000	4.098	0.004	0.004	0.005	0.001	143.52	H
13463	1977	1.053	0.375	9.524	1.941	38.740	5.087	42.372	13.465	0.064	0.000	0.000	0.004	112.63	M
13463	1978	0.001	0.010	1.288	22.242	53.142	20.076	12.450	3.265	0.238	0.028	0.000	0.107	112.85	M
13463	1979	11.126	0.003	0.036	0.022	0.134	0.533	0.485	3.087	0.037	0.000	0.000	0.007	15.47	M
13463	1980	0.149	1.398	0.009	0.000	0.069	0.083	9.643	0.013	0.041	0.005	0.005	0.066	11.48	M
13463	1981	0.002	0.000	16.928	3.332	1.912	1.678	0.267	2.579	0.014	0.008	0.001	0.009	26.73	M
13463	1982	2.526	32.823	0.358	0.001	0.256	0.254	1.072	0.004	0.002	0.000	0.004	0.002	37.30	M
13463	1983	0.001	6.932	15.185	0.851	0.988	18.411	31.852	29.483	0.003	0.000	0.000	0.003	103.71	M
13463	1984	0.095	5.914	0.022	2.585	1.493	0.016	2.169	0.556	0.022	0.000	0.000	0.013	12.89	M
13463	1985	0.000	0.749	2.907	2.149	32.209	0.827	22.534	0.208	0.226	0.000	0.000	0.056	61.87	M
13463	1986	0.965	0.011	0.030	2.488	2.384	0.014	0.603	0.001	0.000	1.182	0.001	0.006	7.69	M
13463	1987	4.421	1.690	13.613	5.792	0.159	0.029	3.379	5.139	2.316	0.000	0.000	0.000	36.54	M
13463	1988	0.402	1.236	0.021	0.071	0.401	0.349	0.752	1.571	0.056	0.000	0.002	0.470	5.33	M
13463	1989	0.006	9.508	16.474	6.497	0.037	1.704	9.592	0.015	0.001	0.002	0.013	0.054	43.90	M
13463	1990	1.090	0.441	0.020	0.019	1.029	3.012	0.097	0.004	0.003	0.005	0.000	0.186	5.91	M
13463	1991	1.635	0.104	0.152	0.003	4.361	0.204	0.071	0.042	6.641	0.001	0.000	0.006	13.22	M
13463	1992	7.570	0.001	0.072	0.001	0.005	0.039	0.645	0.709	0.241	0.000	0.000	0.000	9.28	M
13463	1993	0.786	0.071	0.002	0.388	1.655	0.007	0.174	0.129	0.000	0.000	0.000	0.000	3.21	M
13463	1994	1.850	0.259	0.017	0.025	0.022	0.012	0.011	0.005	0.076	0.000	0.000	0.008	2.29	M
13463	1995	0.002	3.387	27.643	97.654	16.328	12.503	9.635	15.957	0.016	0.000	0.048	1.029	184.20	H
13463	1996	0.066	3.545	96.881	90.613	0.529	0.032	0.885	0.771	0.163	0.000	0.013	0.268	193.77	H
13463	1997	0.022	14.428	58.409	3.142	11.198	0.395	1.054	13.652	0.383	0.000	0.000	0.033	102.72	M
13463	1998	0.003	0.002	0.219	0.057	0.026	0.220	0.023	0.042	0.170	0.000	0.000	0.052	0.81	S
13463	1999	5.322	0.040	0.250	0.072	0.024	0.075	19.242	2.439	0.000	0.000	0.000	0.000	27.46	M
13463	2000	0.309	0.347	1.722	12.823	1.274	26.973	0.078	5.676	0.001	0.000	0.000	0.124	49.33	M
13463	2001	4.875	1.272	0.334	1.262	0.003	4.989	6.486	0.161	0.000	0.000	0.000	0.063	19.45	M
13463	2002	0.168	1.811	0.717	7.100	12.048	2.024	0.579	0.223	0.029	0.000	0.009	0.013	24.72	M
13463	2003	17.558	2.299	1.301	1.522	10.803	43.149	14.483	64.041	0.074	0.000	0.000	0.000	155.23	H
13463	2004	2.108	0.000	0.211	0.000	0.009	0.011	0.024	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	2.37	M
13463	2005	0.212	0.096	0.068	0.330	0.452	0.673	0.746	0.034	0.193	0.000	0.000	0.087	2.89	M

MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
MED	2.16	2.57	7.74	9.33	11.50	8.91	7.72	4.32	0.30	0.03	0.01	0.16	54.74	
MAX	32.04	32.82	96.88	97.65	77.85	76.16	43.98	64.04	6.64	1.18	0.25	2.90	532.39	

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 3.94% 4.70% 14.14% 17.04% 21.01% 16.28% 14.11% 7.89% 0.55% 0.05% 0.01% 0.29% 100%

distribución mensual





proyectos 2015

Cristina de Rojas Ortega

Caracterización del período de cese de caudal...

máster universitario
en hidrología
y gestión de recursos hídricos

266

SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

TRAMO BAJO DEL RÍO GUADIMAR Y AFLUENTES POR SU M.D.

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511002001	1940	12,018	4,474	2,555	178,910	75,801	25,843	54,203	7,095	6,440	5,727	5,083	4,783	382,93	H
ES0511002001	1941	4,439	7,896	3,740	3,596	2,926	46,536	27,713	3,436	3,083	3,082	2,497	2,540	111,48	M
ES0511002001	1942	27,832	15,288	30,591	21,561	3,060	50,599	30,790	3,339	3,009	2,688	2,494	2,438	193,69	H
ES0511002001	1943	2,125	2,103	2,181	2,104	1,796	1,742	1,745	1,712	1,711	1,711	1,752	1,126	21,81	S
ES0511002001	1944	1,150	1,285	1,171	2,552	1,128	1,081	1,056	1,056	1,066	1,056	1,056	1,056	14,71	S
ES0511002001	1945	1,056	17,199	28,305	4,927	4,039	33,068	27,272	47,204	2,125	2,090	1,769	1,768	170,82	H
ES0511002001	1946	1,736	1,394	1,378	8,364	134,650	111,948	5,259	4,423	4,031	3,710	3,388	3,068	283,35	H
ES0511002001	1947	4,360	2,796	3,822	32,143	57,155	4,191	4,701	11,950	2,745	2,745	2,424	2,354	131,39	M
ES0511002001	1948	2,034	2,033	8,723	2,688	2,354	2,385	2,858	1,963	1,964	1,769	1,448	4,931	35,15	S
ES0511002001	1949	1,448	1,610	10,219	5,411	2,386	5,024	1,378	3,699	1,378	1,377	1,056	0,987	35,97	S
ES0511002001	1950	1,027	0,996	5,812	3,156	17,533	32,647	2,805	2,413	2,090	2,020	1,698	1,706	73,90	M
ES0511002001	1951	1,698	72,368	2,538	21,324	3,089	65,780	4,224	13,532	2,740	2,356	2,286	2,286	194,22	H
ES0511002001	1952	2,009	3,699	4,079	16,672	8,134	29,436	66,518	2,290	2,095	1,773	1,703	1,702	140,11	M
ES0511002001	1953	2,501	1,381	22,057	2,972	2,783	23,856	2,390	1,700	1,379	1,309	1,309	1,309	64,95	M
ES0511002001	1954	1,308	1,323	1,012	16,255	20,267	27,581	3,088	2,400	1,953	1,953	1,952	1,631	80,72	M
ES0511002001	1955	10,543	22,955	36,734	17,311	24,425	91,381	27,000	4,220	3,898	3,575	3,253	2,738	248,09	H
ES0511002001	1956	2,431	2,370	2,050	2,025	1,704	1,724	4,213	1,701	1,379	1,379	1,309	1,309	23,59	S
ES0511002001	1957	1,347	1,522	1,036	2,202	1,116	5,129	0,794	0,793	0,793	0,793	0,793	0,722	17,04	S
ES0511002001	1958	0,727	0,739	144,728	21,368	10,469	19,397	8,910	26,113	3,379	3,058	2,736	2,415	244,04	H
ES0511002001	1959	2,760	3,569	2,915	33,634	119,479	55,367	9,504	6,016	4,428	3,842	3,520	3,198	248,23	H
ES0511002001	1960	83,112	28,944	8,603	5,534	4,106	19,265	4,369	3,528	2,749	2,749	2,427	2,444	167,83	H
ES0511002001	1961	2,115	97,400	95,025	45,943	10,317	135,218	24,258	8,465	7,839	6,774	6,131	5,793	445,28	H
ES0511002001	1962	13,116	5,127	80,170	210,107	79,749	38,054	65,800	10,676	9,116	8,467	7,432	6,823	534,64	H
ES0511002001	1963	6,145	19,267	191,963	16,638	141,117	52,084	15,051	10,027	9,009	8,154	7,120	6,728	483,30	H
ES0511002001	1964	6,084	5,550	9,943	13,261	19,955	24,735	4,657	4,142	3,750	3,429	3,428	6,903	105,84	M
ES0511002001	1965	61,444	36,339	9,387	36,532	64,537	6,198	13,195	5,038	4,646	4,325	4,003	3,941	249,59	H
ES0511002001	1966	4,698	4,237	3,219	3,605	12,509	3,015	2,899	2,712	2,632	2,241	2,241	2,240	46,25	S
ES0511002001	1967	3,579	21,062	2,884	2,814	73,903	18,309	10,204	3,849	3,849	3,457	2,942	2,620	149,47	M
ES0511002001	1968	2,636	25,606	5,530	74,636	136,986	122,779	10,971	8,148	7,268	6,507	5,793	5,477	412,34	H
ES0511002001	1969	6,010	12,945	4,806	256,392	10,539	9,624	7,127	6,650	11,820	5,289	4,897	4,576	340,68	H
ES0511002001	1970	4,060	3,707	5,781	22,664	3,668	3,605	65,517	38,416	4,766	3,920	3,598	3,598	163,30	H
ES0511002001	1971	3,279	2,885	2,929	31,209	57,270	66,176	5,059	4,631	4,309	3,918	3,597	3,288	188,55	M
ES0511002001	1972	23,175	3,849	36,191	26,778	5,305	5,693	3,206	4,794	2,884	2,884	2,492	2,298	119,55	M
ES0511002001	1973	2,299	2,312	2,311	2,120	2,039	4,523	10,188	1,906	1,914	1,906	1,836	1,836	35,19	S
ES0511002001	1974	1,642	1,654	1,321	3,727	9,732	22,502	2,821	2,327	1,963	1,963	1,963	1,642	53,26	S
ES0511002001	1975	1,572	1,571	5,358	1,612	3,598	2,575	16,619	2,116	1,893	1,893	1,572	8,805	49,18	S
ES0511002001	1976	4,250	9,068	85,581	99,537	77,643	6,163	5,516	4,873	4,560	4,159	3,322	3,321	307,99	H
ES0511002001	1977	4,727	14,558	104,546	6,161	70,677	6,841	16,944	7,983	3,870	3,585	3,263	2,942	246,10	H
ES0511002001	1978	2,646	2,550	23,661	55,247	85,965	27,418	11,862	5,205	4,562	4,241	3,655	3,654	230,67	H
ES0511002001	1979	38,427	3,527	3,205	2,932	2,727	2,659	2,301	2,324	2,298	1,977	1,906	1,907	66,19	M
ES0511002001	1980	1,969	12,833	1,906	1,906	1,642	1,647	1,692	1,321	1,321	1,320	1,320	1,250	30,13	S
ES0511002001	1981	1,250	1,250	26,811	43,967	4,443	6,009	2,651	2,286	2,285	1,964	1,898	1,894	96,71	M
ES0511002001	1982	1,699	10,806	1,410	1,378	1,388	1,378	1,446	1,378	1,308	0,986	0,986	0,986	25,15	S
ES0511002001	1983	0,991	135,022	27,071	4,391	4,097	23,768	7,640	3,976	2,680	2,415	2,094	2,093	216,24	H
ES0511002001	1984	1,773	49,352	3,409	84,414	29,099	4,677	11,157	4,048	3,714	3,321	2,999	2,678	200,64	H
ES0511002001	1985	2,356	4,485	26,961	3,835	33,443	13,934	8,096	2,363	2,355	1,964	1,964	1,963	103,72	M
ES0511002001	1986	2,565	2,708	1,660	46,614	35,797	2,768	2,700	2,284	2,284	1,963	1,981	1,963	105,29	M
ES0511002001	1987	6,172	8,043	211,328	92,119	8,545	6,233	5,585	10,859	4,936	4,228	3,585	3,585	365,22	H
ES0511002001	1988	3,335	28,568	3,266	3,094	2,730	2,359	8,107	2,231	2,035	2,035	1,965	1,675	61,40	S
ES0511002001	1989	4,066	130,879	312,382	45,871	8,567	7,635	13,088	6,245	5,601	4,764	4,371	4,049	547,52	H
ES0511002001	1990	5,319	3,852	3,364	3,037	27,485	46,492	7,538	3,333	3,012	2,690	2,690	2,620	111,43	M
ES0511002001	1991	5,407	2,299	2,440	2,104	1,808	1,712	1,733	1,713	1,783	1,712	1,391	1,324	25,43	S
ES0511002001	1992	3,467	1,321	1,321	1,321	1,320	1,145	1,118	2,041	1,056	1,056	1,056	1,056	17,28	S
ES0511002001	1993	31,484	10,847	1,380	3,160	14,095	1,314	1,327	1,057	0,987	0,987	0,987	0,987	68,61	M
ES0511002001	1994	1,006	1,271	0,796	0,861	1,871	0,723	0,722	0,722	0,722	0,722	0,722	0,726	10,86	S
ES0511002001	1995	0,722	3,983	139,803	318,791	15,903	10,837	6,813	16,200	5,130	4,486	4,164	3,483	530,32	H
ES0511002001	1996	3,149	3,374	259,400	112,191	8,330	7,339	6,810	5,664	5,144	4,500	4,178	3,952	424,03	H
ES0511002001	1997	3,504	61,674	108,738	64,879	38,377	7,196	5,670	6,352	4,705	4,313	3,797	3,486	312,69	H
ES0511002001	1998	3,083	3,083	2,779	2,548	2,370	2,657	2,368	2,047	1,783	1,783	1,782	1,477	27,76	S
ES0511002001	1999	32,789	2,173	2,203	2,259	1,782	1,783	17,624	11,958	1,782	1,782	1,712	1,712	79,56	M
ES0511002001	2000	1,711	2,302	80,110	115,522	15,025	68,433	5,405	4,762	4,370	4,048	3,726	3,500	308,91	H
ES0511002001	2001	3,965	8,861	13,219	8,267	2,652	16,505	14,259	2,429	2,107	2,035	2,635	2,635	79,04	M
ES0511002001	2002	1,730	11,589	37,074	17,354	31,358	15,937	18,160	3,266	2,944	2,943	2,622	2,300	147,28	M
ES0511002001	2003	58,760	37,159	67,587	5,874	91,313	19,244	5,748	8,597	4,705	4,119	3,797	3,475	310,38	H
ES0511002001	2004	15,829	3,084	2,765	2,762	2,415	2,372	2,047	1,863	1,783	1,782	1,782	1,461	39,95	S
ES0511002001	2005	5,158	1,392	1,525	15,086	5,123	27,226	9,174	2,104	2,034	1,712	1,712	1,712	73,96	M

	MIN	MED	MAX
Octubre	0,72	8,53	83,11
Noviembre	0,74	15,32	135,02
Diciembre	0,80	35,44	312,38
Enero	0,86	35,15	318,79
Febrero	1,12	26,63	141,12
Marzo	0,72	22,93	135,22
Abril	0,72	11,42	66,52
Mayo	0,72	6,00	47,20
Junio	0,72	3,33	11,82
Julio	0,72	2,96	8,47
Agosto	0,72	2,70	7,43
Septiembre	0,72	2,77	8,81



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RÍO CARBONES AGUAS ABAJO DEL ARROYO SALADO DE JARDA HASTA LA DESEMBOCADURA

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511002008	1940	41,191	6,885	3,524	229,485	216,531	72,213	55,180	7,878	6,985	6,360	5,631	5,394	657,26	H
ES0511002008	1941	4,778	18,188	4,200	4,391	4,811	27,554	22,456	4,060	3,808	3,489	3,297	2,932	103,96	H
ES0511002008	1942	9,967	3,307	8,796	21,582	4,036	46,152	23,768	3,695	3,306	2,888	2,828	2,450	132,78	H
ES0511002008	1943	2,331	2,110	38,000	2,279	9,557	12,396	13,812	1,988	1,908	1,706	1,439	1,313	88,84	M
ES0511002008	1944	1,300	1,275	1,143	13,244	0,946	1,239	0,853	0,849	0,798	0,790	0,633	0,633	23,70	M
ES0511002008	1945	0,506	0,798	23,320	13,537	8,756	104,664	45,988	38,403	2,980	2,750	2,551	2,222	246,48	H
ES0511002008	1946	2,045	2,356	1,955	42,364	207,580	154,435	6,773	5,525	5,033	4,431	4,031	3,792	440,32	H
ES0511002008	1947	3,430	3,259	7,895	115,320	38,276	4,414	7,213	18,251	3,512	3,257	2,983	2,790	210,60	H
ES0511002008	1948	2,504	2,385	2,167	2,443	1,906	1,713	1,544	1,524	1,236	1,232	1,231	2,521	22,41	M
ES0511002008	1949	1,228	1,085	1,077	0,862	0,880	2,103	0,807	0,692	0,584	0,584	0,584	0,617	11,10	S
ES0511002008	1950	0,545	0,553	1,730	22,974	96,576	102,050	12,304	3,159	2,869	2,463	2,222	2,161	249,61	H
ES0511002008	1951	1,752	55,733	6,072	6,253	3,549	35,110	8,601	13,512	2,414	2,218	2,073	1,801	139,09	H
ES0511002008	1952	1,750	1,628	1,942	1,173	1,171	7,074	11,993	1,458	1,174	1,103	0,974	0,916	32,36	M
ES0511002008	1953	0,942	0,714	1,148	0,822	1,177	29,643	1,458	1,079	1,003	0,939	0,939	0,645	40,50	M
ES0511002008	1954	0,646	2,990	0,597	47,498	105,013	46,014	4,848	2,787	2,515	2,262	2,069	1,720	218,96	H
ES0511002008	1955	6,773	4,181	6,185	8,371	12,046	128,026	34,689	4,045	3,718	3,242	2,989	2,940	217,21	H
ES0511002008	1956	2,476	2,325	2,063	1,976	1,793	1,803	2,182	3,943	1,382	1,319	1,102	1,046	23,41	M
ES0511002008	1957	1,354	2,562	13,564	3,948	1,175	10,099	1,882	1,167	1,032	0,971	0,916	0,907	39,58	M
ES0511002008	1958	0,859	0,854	292,533	20,921	9,275	17,070	5,682	3,270	2,205	2,006	1,945	1,819	358,44	H
ES0511002008	1959	1,510	1,688	15,227	19,654	206,817	193,963	8,602	5,100	4,605	4,005	3,702	3,297	468,17	H
ES0511002008	1960	168,716	32,540	48,171	32,578	5,444	5,268	4,261	9,676	3,759	3,386	3,192	3,058	320,05	H
ES0511002008	1961	2,749	164,564	155,523	73,161	19,683	140,581	47,545	7,532	6,717	6,161	5,564	4,983	634,76	H
ES0511002008	1962	9,176	6,575	160,538	244,304	204,113	42,902	47,322	9,515	8,173	7,365	6,712	6,171	752,87	H
ES0511002008	1963	5,537	68,648	313,238	44,977	186,460	69,986	19,755	8,332	7,348	6,636	6,047	5,670	742,63	H
ES0511002008	1964	5,209	4,925	5,409	14,477	25,971	22,616	4,413	4,064	3,641	3,522	3,118	7,497	104,86	H
ES0511002008	1965	11,366	17,343	15,202	115,814	133,059	5,910	11,022	4,457	4,196	3,713	3,520	3,082	328,68	H
ES0511002008	1966	5,594	3,384	2,450	9,656	43,393	4,541	2,484	2,339	2,461	1,864	1,862	1,805	81,83	M
ES0511002008	1967	1,573	27,208	1,723	1,594	92,176	35,549	12,571	2,916	2,607	2,325	2,139	2,073	184,45	H
ES0511002008	1968	1,675	6,164	20,538	159,195	176,002	183,026	26,140	6,642	5,906	5,300	4,895	4,519	600,00	H
ES0511002008	1969	5,611	27,479	21,802	384,585	9,158	24,378	6,772	5,131	4,660	4,386	3,924	3,675	501,56	H
ES0511002008	1970	3,255	3,073	12,413	61,941	3,405	13,280	82,657	59,780	4,547	4,126	3,863	3,400	255,74	H
ES0511002008	1971	3,152	2,785	3,032	24,737	46,375	47,589	4,183	3,611	3,124	3,045	2,591	2,427	146,65	H
ES0511002008	1972	14,196	3,896	14,270	19,893	5,904	10,228	2,456	2,471	2,103	1,910	1,795	1,519	80,64	M
ES0511002008	1973	1,335	1,340	6,136	2,047	8,369	7,430	44,616	2,093	1,913	1,467	1,408	1,349	79,50	M
ES0511002008	1974	1,164	1,114	1,108	0,959	2,107	54,024	5,468	1,583	1,361	1,352	1,293	1,087	72,62	M
ES0511002008	1975	0,866	0,817	4,358	2,114	29,366	12,193	51,815	3,279	2,112	1,902	1,711	1,681	112,21	H
ES0511002008	1976	4,682	1,437	91,807	155,519	84,965	5,186	4,673	4,048	3,665	3,208	3,022	2,775	364,99	H
ES0511002008	1977	2,688	4,518	34,188	3,843	84,956	18,645	40,016	7,485	3,884	3,378	3,053	2,781	209,44	H
ES0511002008	1978	2,616	2,410	30,113	155,176	182,998	45,902	13,034	5,577	5,101	4,631	4,257	3,679	455,49	H
ES0511002008	1979	89,989	4,695	4,167	3,985	3,605	5,224	2,993	2,956	2,500	2,309	2,231	1,829	126,48	H
ES0511002008	1980	1,841	2,735	1,723	1,366	1,367	1,330	2,295	1,058	1,034	0,904	0,882	0,884	17,42	S
ES0511002008	1981	0,613	0,613	92,648	42,707	19,157	4,087	5,672	2,295	1,883	1,697	1,554	1,456	174,38	H
ES0511002008	1982	1,273	68,768	4,901	1,870	1,659	1,549	1,903	1,398	1,210	1,207	1,023	0,788	87,55	M
ES0511002008	1983	0,732	97,924	44,637	5,303	9,120	41,482	6,867	16,198	2,862	2,662	2,463	2,007	232,26	H
ES0511002008	1984	1,952	76,415	3,143	64,009	76,062	4,740	9,100	4,528	3,526	3,124	2,938	2,533	252,07	H
ES0511002008	1985	2,349	7,714	22,864	22,335	100,029	41,103	22,625	4,749	3,861	3,386	3,269	2,875	237,16	H
ES0511002008	1986	2,665	2,525	2,109	43,031	44,389	3,462	3,898	2,760	2,569	2,314	2,098	1,977	113,80	H
ES0511002008	1987	8,609	2,279	110,492	100,936	22,686	4,117	4,049	3,468	3,228	2,819	2,625	2,569	267,88	H
ES0511002008	1988	4,007	4,862	2,001	2,248	9,791	2,540	3,734	1,850	1,741	1,460	1,394	1,416	37,04	M
ES0511002008	1989	1,517	212,543	178,499	78,878	5,764	5,069	21,848	4,502	4,218	3,807	3,555	3,095	523,30	H
ES0511002008	1990	4,466	3,662	2,674	2,344	27,884	69,896	7,180	3,529	3,037	2,816	2,534	2,367	132,39	H
ES0511002008	1991	12,016	2,377	2,043	2,005	2,260	2,526	2,385	1,678	1,763	1,188	1,185	1,125	32,55	M
ES0511002008	1992	6,135	1,131	1,081	0,891	0,817	0,694	0,798	0,754	0,673	0,610	0,608	0,584	14,78	S
ES0511002008	1993	0,699	1,526	0,802	2,722	14,280	1,039	0,785	0,688	0,663	0,605	0,477	0,476	24,76	M
ES0511002008	1994	0,443	0,566	0,424	0,446	0,395	0,379	0,346	0,342	0,346	0,342	0,346	0,129	4,50	S
ES0511002008	1995	0,066	0,185	75,684	242,705	32,109	12,515	6,340	9,982	3,748	3,367	4,258	2,777	393,74	H
ES0511002008	1996	2,368	3,290	299,549	157,792	7,373	5,982	5,288	7,136	4,164	3,701	3,510	3,077	503,23	H
ES0511002008	1997	2,873	94,009	175,031	43,549	43,583	8,224	6,983	11,838	4,758	4,292	3,972	3,521	402,63	H
ES0511002008	1998	3,236	3,056	2,921	3,141	3,748	5,043	3,324	1,893	1,755	1,535	1,479	1,368	32,50	M
ES0511002008	1999	53,407	2,487	7,638	5,391	2,527	2,343	27,372	3,695	1,617	1,542	1,407	1,129	110,56	H
ES0511002008	2000	1,147	1,244	72,968	104,076	13,738	89,632	4,800	4,068	3,681	3,143	2,958	2,557	304,01	H
ES0511002008	2001	3,459	2,373	5,322	4,753	2,968	13,090	7,148	2,160	1,778	1,591	1,569	1,792	48,00	M
ES0511002008	2002	1,294	19,420	34,436	50,557	68,108	29,686	23,707	4,015	3,591	3,132	2,937	2,543	243,43	H
ES0511002008	2003	32,127	6,300	30,926	7,366	54,506	55,151	14,982	19,500	4,128	3,655	3,222	3,036	234,90	H
ES0511002008	2004	3,127	2,578	2,877	2,486	7,200	4,753	2,337	1,539	1,521	1,230	1,102	1,102	31,98	M
ES0511002008	2005	1,609	1,049	1,044	5,908	8,694	27,198	3,259	1,708	1,427	1,422	1,230	1,021	55,57	M

MIN	0,07	0,19	0,42	0,45	0,40	0,38	0,35	0,34	0,35	0,34	0,35	0,13	3,75
MED	8,83	16,99	38,75	46,79	43,33	33,18	13,69	5,96	2,99	2,69	2,50	2,35	218,07
MAX	168,72	212,54	313,24	384,59	216,53	193,96	82,66	59,78	8,17	7,37	6,71	7,50	1.661,76

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 4,05% 7,79% 17,77% 21,46% 19,87% 15,21% 6,28% 2,73



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RÍO GUADALBULLÓN DESDE LAS INFANTAS HASTA EL EMBALSE DE MENGIBAR

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511007022	1940	8.567	6.866	2.500	131.783	135.989	25.646	47.723	19.167	8.982	6.333	4.493	3.288	401.34	H
ES0511007022	1941	2.662	1.934	1.558	1.297	1.222	10.975	23.675	3.973	2.756	2.191	1.560	1.172	54.98	S
ES0511007022	1942	1.406	0.928	0.753	0.775	0.601	1.809	1.212	0.638	0.585	0.412	0.349	0.391	9.86	S
ES0511007022	1943	1.096	0.435	26.898	3.452	10.298	12.617	5.541	2.723	1.915	1.566	1.114	0.914	68.57	M
ES0511007022	1944	0.624	0.536	0.364	3.093	0.777	0.595	0.477	0.295	0.298	0.295	0.213	0.213	7.78	S
ES0511007022	1945	0.146	1.131	9.844	2.937	1.624	33.413	46.475	23.132	7.997	5.412	3.899	2.735	138.75	H
ES0511007022	1946	2.156	17.132	10.635	57.155	172.142	86.723	21.819	13.981	8.951	6.419	4.600	3.390	405.10	H
ES0511007022	1947	3.901	2.146	6.304	85.125	27.521	9.057	6.742	19.842	5.233	3.635	2.671	1.976	174.15	H
ES0511007022	1948	1.433	1.133	0.929	0.766	0.640	0.450	0.982	0.530	0.530	0.401	0.290	4.970	13.05	S
ES0511007022	1949	0.714	0.731	0.479	0.407	1.408	0.569	0.386	0.342	0.267	0.213	0.213	0.212	5.94	S
ES0511007022	1950	0.277	0.205	3.607	13.782	44.046	65.073	16.422	8.391	5.365	3.783	2.605	2.100	165.66	H
ES0511007022	1951	1.567	26.855	4.197	12.772	4.207	14.488	16.805	16.656	4.305	2.917	1.919	1.600	108.29	H
ES0511007022	1952	1.018	0.947	21.353	2.370	1.625	1.072	0.819	0.400	0.427	0.373	0.245	0.219	30.96	S
ES0511007022	1953	0.741	0.158	0.698	0.495	2.617	23.319	4.680	2.151	1.552	1.147	0.734	0.484	38.78	S
ES0511007022	1954	0.335	1.032	0.362	16.782	55.804	17.056	7.185	4.346	3.034	2.084	1.494	1.052	110.57	H
ES0511007022	1955	3.076	0.970	8.429	2.768	1.973	30.058	49.210	7.461	5.148	3.568	2.538	1.688	116.89	H
ES0511007022	1956	1.231	0.922	0.712	0.709	0.883	1.767	2.049	4.221	1.128	0.810	0.533	0.426	15.39	S
ES0511007022	1957	1.210	4.557	9.712	7.980	2.574	13.515	9.667	3.162	2.214	1.505	1.000	0.696	57.79	S
ES0511007022	1958	0.500	0.378	99.162	18.447	11.798	13.163	5.877	11.956	3.923	2.779	2.142	1.554	171.68	H
ES0511007022	1959	2.800	2.534	18.628	32.663	136.330	139.919	20.732	12.694	8.949	6.113	4.521	3.341	389.22	H
ES0511007022	1960	35.391	16.595	54.313	39.195	9.756	6.780	4.894	3.543	2.804	2.078	1.570	1.248	178.17	H
ES0511007022	1961	1.157	13.422	19.503	17.475	10.443	71.173	21.289	8.065	5.764	4.062	3.047	2.243	177.64	H
ES0511007022	1962	4.911	6.525	64.554	96.131	156.589	27.049	26.819	15.644	8.678	6.151	4.480	3.990	421.52	H
ES0511007022	1963	2.754	16.748	82.140	9.089	53.721	61.057	16.893	8.350	5.970	4.386	3.134	2.544	266.79	H
ES0511007022	1964	1.815	1.744	4.002	10.746	6.376	14.466	3.173	2.162	1.579	1.304	0.867	4.998	53.23	S
ES0511007022	1965	2.717	21.854	14.132	73.966	107.733	13.517	18.205	7.826	5.504	4.061	2.952	2.475	274.94	H
ES0511007022	1966	2.715	1.442	1.160	1.640	5.275	2.626	1.504	1.133	0.734	0.519	0.510	0.428	19.69	S
ES0511007022	1967	0.419	4.337	0.825	0.578	22.998	10.106	11.556	3.041	2.034	1.499	1.181	0.747	59.32	S
ES0511007022	1968	0.627	6.595	23.808	109.719	113.404	94.681	34.751	14.860	9.262	6.603	4.858	3.650	422.82	H
ES0511007022	1969	5.379	11.232	21.802	155.231	12.422	15.901	7.606	5.128	3.586	2.848	2.087	1.578	244.80	H
ES0511007022	1970	1.299	1.232	0.843	19.972	3.068	30.267	33.533	52.160	9.610	6.362	4.558	3.295	166.20	H
ES0511007022	1971	2.530	1.883	1.696	14.804	31.325	41.880	10.146	10.351	4.331	3.059	2.338	1.741	126.08	H
ES0511007022	1972	4.561	1.507	1.243	10.623	5.158	10.243	2.196	2.480	1.434	0.900	0.755	0.662	41.76	S
ES0511007022	1973	1.136	0.573	5.405	0.874	18.253	17.345	64.337	7.576	5.197	3.876	2.787	2.169	129.53	H
ES0511007022	1974	1.420	1.267	1.023	0.665	1.306	18.474	3.433	3.403	1.557	1.050	0.905	0.586	35.09	S
ES0511007022	1975	0.450	0.387	0.311	0.459	7.828	1.386	15.815	4.871	1.894	1.279	0.961	0.579	36.22	S
ES0511007022	1976	2.328	1.397	68.046	74.019	56.790	12.530	7.776	5.458	3.954	2.769	2.132	1.472	238.67	H
ES0511007022	1977	1.410	1.465	4.845	4.127	34.310	18.458	20.295	18.973	5.507	3.817	2.784	2.011	118.00	H
ES0511007022	1978	1.447	1.101	5.234	37.277	87.754	41.933	15.142	7.712	5.227	3.812	2.691	2.440	211.77	H
ES0511007022	1979	7.071	1.961	1.655	1.189	1.310	3.189	1.158	4.964	0.782	0.689	0.626	0.450	25.04	S
ES0511007022	1980	0.434	1.316	0.959	0.433	0.252	0.343	3.333	1.027	0.626	0.423	0.424	0.414	9.98	S
ES0511007022	1981	0.243	0.213	34.757	7.342	7.906	3.626	2.937	1.818	1.215	0.938	0.726	0.403	62.12	M
ES0511007022	1982	0.409	41.751	11.242	3.352	3.080	2.526	2.104	0.945	0.641	0.518	0.438	0.245	67.25	M
ES0511007022	1983	0.245	19.209	33.945	10.289	10.777	47.614	16.157	29.796	6.803	4.611	3.309	2.375	185.13	H
ES0511007022	1984	1.691	19.278	2.774	15.585	48.911	8.599	7.240	4.552	2.377	1.681	1.195	0.974	114.86	H
ES0511007022	1985	0.604	5.973	6.380	27.366	67.719	15.118	35.728	7.524	5.056	3.491	2.463	1.974	179.40	H
ES0511007022	1986	2.038	1.077	1.863	30.088	37.347	6.353	5.856	3.233	2.192	1.941	1.113	0.847	93.95	M
ES0511007022	1987	1.142	1.393	15.962	7.751	3.762	1.953	4.219	1.688	1.204	0.690	0.597	0.595	40.96	S
ES0511007022	1988	0.887	0.470	0.367	0.225	0.548	0.456	1.638	0.431	0.164	0.163	0.154	0.169	5.67	S
ES0511007022	1989	0.229	1.558	30.811	9.253	3.698	2.539	7.010	2.308	1.494	1.176	0.751	0.518	61.35	M
ES0511007022	1990	0.967	1.129	0.506	0.388	4.334	10.682	2.328	1.579	1.084	0.756	0.576	0.378	24.71	S
ES0511007022	1991	3.590	1.018	0.583	0.390	1.843	1.582	0.874	0.327	2.894	0.532	0.381	0.273	14.29	S
ES0511007022	1992	4.163	0.769	0.757	0.381	0.140	0.092	2.448	0.641	0.340	0.077	0.077	0.077	9.96	S
ES0511007022	1993	1.902	0.503	0.226	4.129	7.776	1.357	1.482	0.712	0.499	0.296	0.287	0.168	19.34	S
ES0511007022	1994	0.206	0.166	0.078	0.117	0.095	0.138	0.077	0.068	0.084	0.068	0.068	0.068	1.23	S
ES0511007022	1995	0.000	0.353	31.145	78.819	35.406	21.225	11.812	23.484	5.557	3.800	2.579	3.357	217.54	H
ES0511007022	1996	1.428	6.888	97.467	119.965	13.747	8.877	6.576	4.919	3.118	2.153	1.635	1.490	268.26	H
ES0511007022	1997	0.882	63.615	85.628	20.122	20.328	9.371	8.720	22.332	4.543	3.456	2.366	1.840	243.20	H
ES0511007022	1998	1.312	1.089	0.758	1.634	1.614	3.441	0.641	0.503	0.447	0.356	0.356	0.303	12.45	S
ES0511007022	1999	8.612	1.458	5.530	1.519	1.030	1.103	20.536	4.938	1.477	1.025	0.698	0.486	48.41	S
ES0511007022	2000	0.473	3.562	43.773	64.092	26.173	56.860	9.029	14.001	5.045	3.510	2.593	1.767	230.88	H
ES0511007022	2001	2.738	1.289	4.232	2.426	0.956	5.533	12.137	1.914	1.092	0.698	0.434	0.425	33.87	S
ES0511007022	2002	0.379	5.951	9.650	31.941	70.508	39.667	9.343	5.792	3.817	2.616	1.927	1.287	182.88	H
ES0511007022	2003	6.345	3.934	6.494	7.690	16.875	27.017	14.261	22.308	4.719	3.151	2.223	1.599	116.62	H
ES0511007022	2004	1.184	0.792	0.629	0.436	1.107	1.761	0.536	0.256	0.245	0.215	0.206	0.172	7.54	S
ES0511007022	2005	0.388	0.149	0.707	4.156	12.647	19.619	5.962	2.368	1.187	0.878	0.551	0.271	48.88	S

	MIN	0.00	0.15	0.08	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.96
	MED	2.42	5.60	15.62	23.08	26.64	19.88	12.15	7.63	3.29	2.31	1.67	1.43	121.71
	MAX	35.39	63.62	99.16	155.23	172.14	139.92	64.34	52.16	9.61	6.60	4.86	5.00	808.03

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 1.99% 4.60% 12.83% 18.96% 21.89% 16.33% 9.98% 6.27% 2.70% 1.90% 1.38% 1.17% 100%



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

TRAMO BAJO DEL RÍO GUADAJÓZ

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (mm)	PATRÓN
ES0511014002	1940	68,518	17,144	5,429	385,963	349,382	52,708	105,932	20,442	9,128	7,946	6,757	5,812	1,035,16	H
ES0511014002	1941	5,101	10,223	3,824	3,653	4,773	36,727	52,145	2,910	2,574	2,274	2,046	1,752	128,00	S
ES0511014002	1942	5,705	1,822	9,308	20,337	1,593	29,837	23,378	3,687	1,022	0,794	0,724	0,733	98,94	S
ES0511014002	1943	0,715	0,458	23,688	2,035	8,227	15,110	4,017	3,586	2,593	1,647	1,410	1,287	64,77	S
ES0511014002	1944	1,134	0,971	0,820	3,865	0,863	0,897	0,695	0,625	0,564	0,399	0,397	0,397	11,63	S
ES0511014002	1945	0,312	0,577	12,863	2,391	1,178	86,120	55,532	49,917	4,406	3,759	3,125	2,757	222,94	S
ES0511014002	1946	2,432	30,958	8,028	107,928	406,063	259,935	25,633	10,551	8,590	7,331	6,399	5,539	879,39	H
ES0511014002	1947	7,330	4,439	20,483	230,219	67,605	8,437	14,899	45,639	6,941	6,079	5,147	4,621	421,84	H
ES0511014002	1948	4,178	3,423	5,214	3,105	2,653	1,951	3,364	2,101	1,311	1,013	1,013	1,341	30,67	S
ES0511014002	1949	0,686	2,377	1,472	1,742	7,066	2,290	1,449	1,233	0,693	0,693	0,526	0,787	21,01	S
ES0511014002	1950	0,469	0,448	5,413	44,200	162,650	172,827	52,092	17,806	6,740	5,650	5,016	4,559	477,87	H
ES0511014002	1951	4,848	113,800	7,154	22,573	6,718	59,532	19,462	81,306	5,440	4,806	4,196	3,547	333,38	M
ES0511014002	1952	3,076	3,064	39,784	5,062	3,627	3,840	2,896	2,190	1,786	1,724	1,487	1,162	69,70	S
ES0511014002	1953	2,230	0,940	2,073	1,485	13,459	68,084	5,971	2,864	2,399	1,993	1,695	1,625	104,82	S
ES0511014002	1954	1,397	7,381	2,119	78,201	179,315	56,059	7,265	5,240	4,480	3,843	3,379	2,988	351,67	M
ES0511014002	1955	14,112	6,025	41,997	19,846	11,895	169,582	121,017	7,674	6,749	5,650	5,086	4,235	413,87	M
ES0511014002	1956	3,660	3,310	2,978	2,693	3,558	4,452	12,647	26,793	3,209	2,645	2,180	1,882	70,01	S
ES0511014002	1957	6,176	11,222	23,289	16,194	4,307	25,238	10,115	3,420	2,884	2,586	2,083	1,785	109,30	S
ES0511014002	1958	1,735	1,487	350,255	39,253	20,710	26,298	9,533	24,298	5,206	4,274	3,739	3,349	490,14	H
ES0511014002	1959	4,648	4,308	34,385	65,668	347,168	367,527	17,430	11,075	9,543	8,182	7,083	6,061	883,08	H
ES0511014002	1960	172,164	90,088	142,605	94,260	10,657	8,992	7,907	7,631	5,871	5,009	4,384	5,026	554,59	H
ES0511014002	1961	3,487	95,155	119,510	78,103	33,030	223,261	61,248	8,271	7,388	6,207	5,512	4,694	645,87	H
ES0511014002	1962	18,079	13,467	169,108	268,876	355,604	43,275	62,108	17,421	10,399	9,100	7,838	7,352	982,63	H
ES0511014002	1963	5,959	71,872	287,364	10,496	226,361	155,658	32,888	10,106	8,618	7,518	6,489	5,794	829,12	H
ES0511014002	1964	4,871	5,573	9,247	26,195	17,958	36,622	9,907	4,161	3,793	3,099	2,701	13,953	138,08	S
ES0511014002	1965	10,242	34,158	23,389	172,872	209,903	9,545	36,552	8,291	6,829	5,896	4,973	4,560	527,21	H
ES0511014002	1966	6,247	4,067	3,310	4,823	20,879	8,837	4,764	4,750	2,634	2,304	2,006	1,907	66,53	S
ES0511014002	1967	1,632	18,907	2,290	1,936	93,833	80,871	22,998	4,662	4,028	3,502	2,938	2,570	240,17	M
ES0511014002	1968	2,248	11,121	48,506	210,926	263,110	220,273	47,416	13,267	9,050	7,791	6,762	8,059	848,53	H
ES0511014002	1969	28,848	40,943	49,012	415,496	11,763	29,115	12,515	8,000	7,380	5,643	4,887	4,262	617,86	H
ES0511014002	1970	3,865	3,427	3,661	71,192	4,440	45,454	101,765	103,621	9,267	6,514	5,745	4,883	363,83	M
ES0511014002	1971	4,287	3,732	3,479	21,691	36,773	54,238	6,563	12,694	4,518	4,080	3,446	3,233	158,73	S
ES0511014002	1972	10,076	3,007	4,504	21,706	7,365	20,356	3,198	4,986	2,750	2,293	1,995	1,758	83,99	S
ES0511014002	1973	1,465	1,303	10,263	2,141	25,736	21,653	99,908	4,344	3,827	3,157	2,690	2,322	178,81	S
ES0511014002	1974	1,934	1,696	1,390	1,456	4,005	45,268	10,790	5,440	3,179	2,182	1,756	1,715	80,84	S
ES0511014002	1975	1,487	1,250	1,737	1,262	28,826	4,247	110,599	4,687	3,062	2,647	2,350	1,998	164,06	S
ES0511014002	1976	14,621	7,403	236,869	232,147	146,666	13,465	9,240	8,188	6,891	6,029	5,167	4,542	691,23	H
ES0511014002	1977	4,168	5,613	47,009	11,147	126,541	37,582	62,731	27,463	8,199	6,701	5,839	4,878	347,87	M
ES0511014002	1978	4,413	3,788	37,970	137,380	203,000	81,056	22,054	9,497	8,134	7,118	6,157	5,889	526,46	H
ES0511014002	1979	86,770	6,168	5,807	5,266	5,764	13,576	4,384	10,269	3,044	2,579	2,342	1,945	147,91	S
ES0511014002	1980	1,717	2,756	1,993	1,250	1,022	1,151	6,132	0,994	0,862	0,695	0,625	0,626	19,82	S
ES0511014002	1981	0,625	0,397	82,514	25,328	31,478	10,729	5,396	3,732	3,134	2,737	2,439	1,946	170,46	S
ES0511014002	1982	1,817	105,410	14,341	4,303	3,829	5,828	7,652	2,579	2,182	2,015	1,722	1,487	153,17	S
ES0511014002	1983	1,320	117,176	67,215	15,337	23,506	103,811	56,764	57,765	6,859	5,900	5,038	4,423	465,11	H
ES0511014002	1984	3,771	94,788	5,428	70,552	179,152	12,153	16,735	9,111	6,347	5,485	4,790	4,095	412,41	M
ES0511014002	1985	3,531	16,976	25,359	49,317	163,456	35,070	55,007	10,223	7,414	6,288	5,654	4,623	382,92	M
ES0511014002	1986	5,254	3,811	3,373	65,120	97,393	5,741	14,125	4,704	4,070	3,742	2,947	2,511	212,79	S
ES0511014002	1987	7,195	4,705	101,434	71,484	9,282	4,374	13,215	5,952	3,524	2,915	2,617	2,220	228,92	M
ES0511014002	1988	4,601	4,346	1,424	1,388	3,836	3,596	7,332	1,346	0,932	0,932	0,695	0,852	31,28	S
ES0511014002	1989	0,614	90,351	142,721	53,051	4,462	3,822	59,775	4,092	3,370	2,806	2,470	2,145	369,68	M
ES0511014002	1990	4,332	3,785	2,358	1,519	31,978	71,980	4,464	2,854	2,459	2,159	1,823	1,651	131,36	S
ES0511014002	1991	24,476	4,189	2,024	1,426	7,146	2,617	6,905	0,982	5,774	0,866	0,634	0,634	57,67	S
ES0511014002	1992	13,568	1,267	1,284	0,862	0,862	0,745	2,868	1,095	0,467	0,465	0,465	0,298	24,25	S
ES0511014002	1993	14,323	5,385	0,792	14,426	46,277	2,286	2,921	1,675	1,426	1,259	1,128	0,870	92,77	S
ES0511014002	1994	0,986	0,810	0,583	0,701	0,780	0,927	0,588	0,228	0,230	0,228	0,228	0,167	6,46	S
ES0511014002	1995	0,000	0,772	107,497	275,251	87,506	35,265	12,942	47,770	7,694	6,762	5,919	6,134	593,51	H
ES0511014002	1996	4,568	13,687	314,327	295,109	11,623	8,902	7,779	7,595	5,822	5,126	4,276	4,042	682,86	H
ES0511014002	1997	3,381	181,407	263,990	41,022	49,202	9,862	9,964	37,524	6,115	5,253	4,488	3,806	616,01	H
ES0511014002	1998	3,329	2,862	2,414	3,166	2,957	3,044	1,537	1,214	1,153	0,916	0,756	0,757	24,11	S
ES0511014002	1999	51,304	2,698	23,867	5,769	3,206	2,643	46,169	10,276	2,986	2,521	2,153	1,759	155,35	S
ES0511014002	2000	2,149	7,858	97,015	135,546	34,586	140,420	8,723	18,811	6,377	5,551	4,619	4,089	465,74	H
ES0511014002	2001	7,237	3,527	11,465	7,039	2,915	18,944	23,437	2,789	2,058	1,690	1,521	1,268	83,89	S
ES0511014002	2002	1,735	14,921	32,877	61,598	147,353	93,016	13,598	6,413	5,481	4,786	4,091	3,414	389,28	M
ES0511014002	2003	28,776	9,760	30,926	21,863	62,822	68,918	23,059	61,200	7,422	5,194	4,429	3,795	328,16	M
ES0511014002	2004	3,950	2,873	2,895	2,302	7,000	3,576	1,986	1,287	1,153	0,986	0,855	0,771	29,63	S
ES0511014002	2005	4,021	0,583	3,903	15,685	29,205	37,362	8,861	3,277	2,199	1,799	1,432	1,266	109,59	S

MIN	0,00	0,40	0,58	0,70	0,78	0,75	0,59	0,23	0,23	0,23	0,23	0,17	4,88
MED	10,97	20,37	47,75	61,91	67,85	49,81	25,65	13,74	4,59	3,81	3,29	3,14	312,87
MAX	172,16	181,41	350,26	415,50	406,06	367,53	121,02	103,62	10,40	9,10	7,84	13,95	2.158,84

DISTRIBUCIÓN MENSUAL: 3,51



proyectos 2015

Cristina de Rojas Ortega

Caracterización del período de cese de caudal...

máster universitario
en hidrología
y gestión de recursos hídricos



270

SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RÍO VIAR AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE MELONARES

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511100063	1940	19,702	8,408	2,132	353,375	159,874	60,697	95,757	12,347	9,958	5,660	4,170	3,275	735,36	H
ES0511100063	1941	2,185	48,493	3,280	2,983	4,704	143,079	109,845	6,640	5,145	3,655	2,640	2,155	334,80	H
ES0511100063	1942	74,745	20,849	82,660	58,766	7,180	180,663	109,726	7,248	5,135	4,140	3,125	2,140	556,38	H
ES0511100063	1943	1,641	1,142	6,581	1,135	8,485	2,196	2,998	1,172	0,641	0,635	0,637	0,116	27,38	S
ES0511100063	1944	0,118	0,122	0,116	0,129	0,605	0,116	0,110	0,110	0,110	0,110	0,105	0,105	1,86	S
ES0511100063	1945	0,107	23,692	61,400	5,599	16,465	40,495	49,153	156,924	8,006	5,565	4,080	3,090	374,58	H
ES0511100063	1946	2,103	2,435	1,643	8,261	258,804	330,761	9,625	7,116	5,130	4,135	2,650	2,151	634,81	H
ES0511100063	1947	1,684	1,174	1,472	33,660	119,091	6,306	10,882	58,687	5,115	3,630	2,640	2,140	246,48	M
ES0511100063	1948	1,652	1,145	8,594	1,155	0,657	1,702	0,656	0,650	0,640	0,120	0,120	1,069	18,16	S
ES0511100063	1949	0,610	0,128	17,294	4,148	5,296	10,178	1,620	9,215	1,100	1,100	0,605	0,616	51,91	S
ES0511100063	1950	0,610	0,614	5,108	10,853	48,350	82,347	19,940	4,890	3,585	2,595	2,100	1,711	182,70	M
ES0511100063	1951	1,111	164,724	3,667	43,055	5,797	225,324	7,585	28,313	5,650	4,110	3,115	2,125	494,58	H
ES0511100063	1952	2,954	10,278	35,661	38,019	40,728	79,116	212,164	6,085	4,575	3,085	2,590	1,605	436,86	H
ES0511100063	1953	20,486	1,603	45,529	2,612	2,093	16,009	3,441	2,090	1,595	1,100	1,100	0,605	98,26	S
ES0511100063	1954	0,605	0,628	0,611	50,430	93,598	38,750	6,411	5,005	3,582	2,590	2,090	1,595	205,90	M
ES0511100063	1955	13,099	97,702	122,645	84,057	79,708	218,694	68,128	10,064	7,580	5,600	4,110	3,101	714,49	H
ES0511100063	1956	2,623	1,609	1,615	1,111	0,627	0,643	6,150	1,120	0,610	0,610	0,610	1,718	19,05	S
ES0511100063	1957	2,075	1,237	1,164	5,802	1,456	17,082	2,084	1,570	1,075	1,075	0,580	0,575	35,78	S
ES0511100063	1958	0,577	0,576	314,874	46,407	23,862	66,795	18,193	32,459	5,075	3,585	2,595	2,102	517,10	H
ES0511100063	1959	2,630	7,551	13,669	85,287	202,857	103,639	12,045	13,844	8,913	4,095	3,105	2,110	459,75	H
ES0511100063	1960	119,492	67,351	29,701	17,803	5,615	42,212	12,263	11,352	3,630	2,636	2,140	1,817	316,01	H
ES0511100063	1961	1,188	238,513	202,223	122,618	28,890	265,542	74,725	10,786	8,208	5,695	4,700	3,219	966,31	H
ES0511100063	1962	26,406	9,392	122,620	302,023	156,039	55,134	182,847	12,945	8,289	6,225	4,735	3,248	889,90	H
ES0511100063	1963	2,827	20,029	294,850	15,775	232,088	132,857	18,221	9,101	6,286	4,770	3,775	2,781	743,36	H
ES0511100063	1964	2,280	1,808	3,329	32,186	47,463	49,672	5,725	4,215	3,221	2,230	1,730	3,804	157,66	M
ES0511100063	1965	96,163	39,714	15,438	79,103	140,532	9,250	30,462	6,683	5,193	3,705	2,710	2,221	431,17	H
ES0511100063	1966	15,991	12,432	2,210	11,354	54,132	12,334	3,796	2,806	2,348	1,680	1,185	1,185	121,45	M
ES0511100063	1967	2,925	11,746	1,686	1,180	135,121	18,730	11,617	4,155	3,167	2,175	1,655	1,155	195,31	M
ES0511100063	1968	1,168	40,833	6,178	98,010	236,588	167,376	19,569	9,841	6,693	4,710	3,715	2,735	597,42	H
ES0511100063	1969	5,984	21,566	3,454	416,310	12,907	17,490	5,759	5,472	16,136	2,235	1,736	1,730	510,78	H
ES0511100063	1970	1,210	0,794	0,955	21,150	1,695	1,739	98,656	57,830	5,512	4,175	3,183	2,190	199,09	M
ES0511100063	1971	1,690	1,195	1,198	27,077	83,120	82,162	6,378	4,672	3,670	2,675	2,180	1,730	217,75	M
ES0511100063	1972	67,437	4,491	62,563	45,530	7,829	11,506	4,160	15,045	3,209	2,670	2,175	1,650	228,27	M
ES0511100063	1973	1,155	0,665	1,875	1,327	1,930	7,519	36,992	4,125	3,318	2,140	1,645	1,150	63,84	S
ES0511100063	1974	1,125	0,632	0,630	2,599	20,716	61,947	12,403	7,465	2,610	2,115	1,620	1,125	114,99	M
ES0511100063	1975	1,120	0,626	3,734	0,646	9,363	2,000	36,789	6,895	2,637	1,620	1,621	41,520	108,57	S
ES0511100063	1976	13,871	13,729	140,171	153,062	140,012	9,595	7,115	5,135	4,140	2,655	2,135	1,635	493,26	H
ES0511100063	1977	4,788	18,573	179,230	14,204	124,128	12,054	36,941	18,351	11,710	4,640	3,150	2,655	430,42	H
ES0511100063	1978	2,161	1,661	53,215	152,135	125,421	54,250	47,286	8,155	5,670	4,676	3,165	2,699	460,49	H
ES0511100063	1979	64,332	4,185	3,190	2,202	2,171	1,677	1,672	1,215	1,170	0,675	0,675	0,670	83,83	S
ES0511100063	1980	0,187	19,827	1,165	0,665	0,640	0,640	0,157	0,640	0,922	0,140	0,140	0,140	25,26	S
ES0511100063	1981	0,140	0,140	89,375	44,895	6,730	5,554	4,931	2,610	2,115	1,620	1,127	1,125	160,36	M
ES0511100063	1982	0,605	28,930	1,598	1,595	1,101	0,605	1,002	0,600	0,600	0,600	0,600	0,105	37,94	S
ES0511100063	1983	0,105	161,112	37,483	5,272	7,990	64,819	16,261	8,069	4,631	3,095	2,595	1,605	313,04	H
ES0511100063	1984	1,609	88,540	3,625	148,493	79,091	7,095	21,231	5,136	3,621	2,630	2,135	1,635	364,84	M
ES0511100063	1985	1,140	1,814	51,204	6,741	79,726	16,716	13,075	5,522	3,620	2,625	2,130	3,442	187,76	M
ES0511100063	1986	1,263	1,203	1,138	45,645	41,810	4,622	5,474	3,115	2,125	1,676	1,688	1,132	110,89	S
ES0511100063	1987	11,302	14,318	323,849	173,075	10,520	6,141	4,647	11,247	4,384	2,165	1,665	1,665	564,98	H
ES0511100063	1988	1,956	57,126	2,161	3,206	8,134	1,639	21,689	2,343	1,630	1,135	1,130	0,638	102,79	S
ES0511100063	1989	1,382	173,120	461,605	63,954	9,155	6,708	34,724	5,680	4,190	3,175	2,180	1,680	767,55	H
ES0511100063	1990	9,920	4,080	1,676	1,678	29,401	82,974	12,204	4,645	3,160	2,665	2,165	1,670	156,24	M
ES0511100063	1991	4,052	1,179	1,177	0,645	0,665	0,646	0,670	0,642	1,654	0,640	0,640	0,143	12,75	S
ES0511100063	1992	2,686	0,635	0,637	0,635	0,635	0,118	0,176	0,618	0,605	0,110	0,110	0,112	7,08	S
ES0511100063	1993	65,122	39,872	3,080	11,117	61,871	4,565	3,579	2,839	2,085	1,590	1,095	1,095	197,91	M
ES0511100063	1994	0,604	0,617	0,578	0,106	2,487	0,575	0,575	0,080	0,081	0,080	0,080	0,080	5,94	S
ES0511100063	1995	0,075	59,712	197,416	486,128	19,303	11,802	7,927	19,336	5,095	3,610	2,615	2,133	815,15	H
ES0511100063	1996	1,642	1,285	415,696	203,125	8,841	6,665	4,725	3,685	2,667	1,670	1,170	1,376	652,55	H
ES0511100063	1997	0,675	147,719	143,296	107,458	99,236	10,928	7,255	32,018	5,695	4,205	3,185	2,190	563,86	H
ES0511100063	1998	1,690	1,195	0,708	0,731	0,722	1,083	0,704	0,185	0,160	0,155	0,155	0,165	7,85	S
ES0511100063	1999	46,544	2,215	2,946	2,312	1,702	1,172	68,941	16,980	3,615	2,625	2,130	1,630	152,81	M
ES0511100063	2000	1,135	3,865	123,014	208,501	42,248	144,506	9,198	6,690	5,150	3,660	2,670	3,088	553,73	H
ES0511100063	2001	10,843	13,198	11,038	21,038	3,755	24,180	32,878	5,123	3,620	2,630	2,135	17,803	148,24	M
ES0511100063	2002	2,122	17,435	108,347	38,345	103,865	54,050	24,068	7,615	5,630	4,145	3,150	2,160	370,93	H
ES0511100063	2003	92,779	69,954	112,405	21,358	192,303	35,530	10,528	14,905	6,160	4,155	3,160	2,170	565,41	H
ES0511100063	2004	46,545	3,157	2,410	1,871	2,165	2,116	1,179	1,147	0,640	0,640	0,145	0,145	62,16	S
ES0511100063	2005	0,787	1,494	1,706	9,440	7,912	36,599	5,816	3,120	2,132	1,635	1,135	0,642	72,42	S

MIN	0,08	0,12	0,12	0,11	0,61	0,12	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	1,85
MED	13,51	27,54	59,96	60,02	52,55	48,06	25,96	11,16	4,03	2,64	2,02	2,50	309,94	
MAX	119,49	238,51	461,61	486,13	258,80	330,76	212,16	156,92	16,14	6,23	4,			



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RÍO JÁNDULA AGUAS ABAJO DE LA LOMA DE LAS BUENAS HIEBAS

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (mm3)	PATRÓN
ES0511100070	1940	86.595	13.979	0.109	381.920	268.403	39.899	145.288	40.226	0.759	0.162	0.162	0.188	977.69	H
ES0511100070	1941	0.144	33.850	0.144	0.176	0.267	44.368	34.635	0.126	0.126	0.126	0.126	3.302	117.39	S
ES0511100070	1942	11.448	0.638	15.764	14.794	0.108	37.444	28.204	0.123	0.090	0.090	1.039	1.039	109.83	S
ES0511100070	1943	11.537	0.072	33.795	0.072	5.298	0.082	6.246	0.802	0.073	0.089	1.347	0.536	59.95	S
ES0511100070	1944	0.311	0.685	0.188	12.325	0.054	0.169	0.054	0.054	0.156	0.054	0.054	0.054	14.16	S
ES0511100070	1945	0.040	0.708	24.794	0.614	0.041	52.977	87.139	40.569	0.054	0.054	0.054	0.056	207.10	S
ES0511100070	1946	0.054	8.155	0.090	26.088	329.704	278.756	7.457	0.504	0.126	0.126	0.126	0.126	651.31	M
ES0511100070	1947	0.651	0.118	6.848	108.194	53.667	0.475	5.106	36.624	0.126	0.108	0.108	0.108	212.13	S
ES0511100070	1948	2.274	0.108	1.377	0.196	0.090	0.116	0.470	1.374	0.882	0.090	0.076	1.059	8.11	S
ES0511100070	1949	0.072	2.228	1.503	0.098	0.819	0.243	0.069	0.205	0.054	0.054	0.054	0.092	5.49	S
ES0511100070	1950	0.130	0.078	9.025	20.462	65.991	152.299	40.663	14.484	0.078	0.072	0.054	4.815	308.15	S
ES0511100070	1951	0.524	118.561	1.693	8.432	0.120	70.150	20.427	53.128	0.078	0.054	0.157	0.076	273.40	S
ES0511100070	1952	0.161	0.320	15.498	0.914	0.042	0.630	3.275	0.036	0.059	0.036	0.036	0.036	21.04	S
ES0511100070	1953	3.186	0.036	0.586	0.040	0.072	8.014	0.138	0.036	0.059	0.036	0.036	0.036	12.26	S
ES0511100070	1954	0.018	4.723	0.159	78.999	104.473	31.079	1.565	0.040	0.126	0.036	0.036	0.047	221.30	S
ES0511100070	1955	25.447	5.668	79.788	49.227	0.278	113.837	52.937	0.054	0.054	0.054	0.054	0.079	327.48	S
ES0511100070	1956	0.185	0.037	0.036	0.044	1.323	0.342	3.446	17.147	0.042	0.036	0.036	0.042	22.72	S
ES0511100070	1957	5.518	1.896	13.852	8.959	1.952	33.074	3.798	0.057	0.036	0.036	0.018	0.018	69.21	S
ES0511100070	1958	0.041	0.018	304.902	21.111	1.628	13.285	0.077	16.270	0.054	0.054	0.258	0.124	357.82	S
ES0511100070	1959	4.002	0.799	41.174	70.692	254.440	160.362	12.576	0.174	5.079	0.108	0.108	0.108	549.62	M
ES0511100070	1960	220.387	56.999	105.492	51.602	0.144	0.236	0.270	9.996	0.126	0.126	0.108	0.524	446.01	S
ES0511100070	1961	0.824	84.904	184.472	56.307	11.296	197.960	67.422	0.507	0.174	0.126	0.126	0.712	604.83	M
ES0511100070	1962	35.485	5.256	92.504	172.529	183.813	23.444	51.124	0.345	1.501	0.232	0.162	0.407	566.80	M
ES0511100070	1963	0.162	109.640	203.187	0.162	196.556	125.561	13.065	0.290	0.807	0.180	0.180	0.180	649.97	M
ES0511100070	1964	0.162	1.034	0.732	15.551	50.872	43.089	0.164	0.144	0.126	0.126	0.126	17.074	129.20	S
ES0511100070	1965	12.502	27.840	13.994	146.466	162.978	0.144	47.357	0.147	0.145	0.126	0.126	0.576	412.40	S
ES0511100070	1966	15.210	3.677	0.111	5.002	48.911	1.595	0.756	0.350	2.435	0.090	0.090	0.090	78.32	S
ES0511100070	1967	0.100	46.187	0.081	0.072	119.723	43.203	15.157	0.274	0.089	0.072	0.072	0.072	225.10	S
ES0511100070	1968	0.081	23.868	10.248	93.827	184.704	178.549	49.418	4.453	0.225	0.128	0.249	10.136	555.89	M
ES0511100070	1969	15.164	65.835	17.104	321.976	1.135	11.440	0.161	0.452	0.168	0.108	0.108	0.108	433.76	S
ES0511100070	1970	0.108	0.185	1.002	34.497	0.906	16.568	45.279	64.344	0.314	0.129	0.108	0.112	163.55	S
ES0511100070	1971	0.090	0.104	1.363	17.243	88.986	76.261	3.098	1.358	0.090	0.090	0.090	1.191	189.96	S
ES0511100070	1972	30.847	1.747	3.037	12.182	0.899	7.353	0.224	4.594	0.789	0.054	0.054	0.054	61.83	S
ES0511100070	1973	33.667	0.104	49.649	2.533	37.213	26.418	115.477	0.081	3.909	0.054	0.054	0.054	269.21	S
ES0511100070	1974	0.149	0.072	0.054	0.132	1.294	33.121	2.511	4.478	1.249	0.036	0.036	0.036	43.17	S
ES0511100070	1975	0.036	0.036	1.036	0.236	10.308	0.233	36.178	5.573	0.067	0.384	0.036	0.271	54.39	S
ES0511100070	1976	30.650	6.463	175.515	139.805	123.781	1.128	0.090	3.373	0.093	0.076	0.078	0.072	481.12	S
ES0511100070	1977	2.359	2.680	57.298	7.414	133.943	22.764	53.755	19.136	1.066	0.072	0.072	0.072	300.63	S
ES0511100070	1978	0.072	0.073	61.076	124.119	142.509	62.463	24.498	1.290	0.128	0.276	0.090	0.141	416.74	S
ES0511100070	1979	95.551	0.138	1.669	0.179	0.336	5.215	0.105	1.619	0.072	0.072	0.072	0.072	105.10	S
ES0511100070	1980	0.255	12.142	0.072	0.054	0.105	0.182	16.986	0.062	0.070	0.054	0.054	0.054	30.09	S
ES0511100070	1981	0.054	0.054	76.952	16.255	12.269	1.657	0.384	0.460	0.054	0.057	0.054	0.039	108.29	S
ES0511100070	1982	3.593	105.314	2.522	0.054	4.334	0.283	12.341	0.036	0.036	0.036	0.040	0.036	128.63	S
ES0511100070	1983	0.036	55.850	35.273	2.529	6.433	54.651	45.972	43.774	0.054	0.054	0.054	0.054	244.73	S
ES0511100070	1984	0.078	77.660	0.056	28.835	25.965	0.074	5.231	1.210	0.072	0.054	0.054	0.054	139.34	S
ES0511100070	1985	0.054	3.570	20.837	8.928	133.706	9.150	53.893	0.384	0.072	0.072	0.072	0.101	230.84	S
ES0511100070	1986	9.378	0.116	0.059	48.971	29.632	0.283	6.149	0.054	0.054	8.656	0.054	0.055	103.46	S
ES0511100070	1987	39.908	4.411	138.261	63.893	2.294	0.083	9.542	17.202	6.189	0.054	0.054	0.054	281.95	S
ES0511100070	1988	2.944	3.002	0.054	0.066	2.636	0.280	0.871	1.510	0.061	0.036	0.036	2.472	13.97	S
ES0511100070	1989	0.078	62.259	75.082	27.704	0.036	0.229	7.382	0.036	0.036	0.036	0.038	0.050	172.97	S
ES0511100070	1990	17.637	6.063	0.036	0.042	21.686	37.667	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.199	83.51	S
ES0511100070	1991	12.361	0.325	0.084	0.036	15.805	0.051	0.514	0.138	28.634	0.036	0.036	0.037	58.06	S
ES0511100070	1992	39.054	0.036	0.111	0.036	0.018	0.018	5.359	9.941	0.018	0.018	0.018	0.018	54.65	S
ES0511100070	1993	29.507	4.138	0.018	8.751	21.957	0.018	0.687	0.040	0.018	0.018	0.018	0.029	65.20	S
ES0511100070	1994	0.864	1.545	0.018	0.309	0.021	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	2.88	S
ES0511100070	1995	0.002	21.262	103.487	220.083	45.285	27.285	19.863	41.251	0.423	0.036	0.043	8.995	488.02	S
ES0511100070	1996	0.187	25.882	303.081	218.142	4.742	0.319	4.213	9.595	0.503	0.072	0.072	0.387	567.20	M
ES0511100070	1997	0.926	100.846	158.158	44.591	47.947	2.019	9.320	51.188	0.368	0.090	0.073	0.084	415.61	S
ES0511100070	1998	0.078	0.096	0.242	2.441	3.549	11.657	2.489	0.054	0.054	0.054	0.054	0.453	21.22	S
ES0511100070	1999	65.259	0.736	11.260	4.295	2.220	0.305	114.673	4.752	0.036	0.036	0.036	0.036	203.64	S
ES0511100070	2000	0.149	9.065	60.342	118.175	18.615	125.491	0.414	1.665	0.072	0.054	0.054	5.146	339.24	S
ES0511100070	2001	24.065	7.264	11.225	13.401	2.550	20.113	30.868	1.190	0.036	0.036	0.036	0.141	110.93	S
ES0511100070	2002	0.140	32.741	40.587	44.156	88.465	17.159	4.389	0.060	0.054	0.054	0.054	0.065	227.92	S
ES0511100070	2003	79.377	39.860	16.943	10.186	68.737	52.803	17.180	68.026	0.207	0.054	0.054	0.054	353.48	S
ES0511100070	2004	18.080	0.122	1.316	0.387	3.557	3.639	0.377	0.036	0.036	0.036	0.036	0.038	27.66	S
ES0511100070	2005	7.653	0.075	5.715	7.673	35.028	33.508	8.624	0.479	0.278	0.036	0.037	0.114	99.22	S

	MIN	MED	MAX
	0.00	0.02	0.02
	15.12	18.24	39.28
	220.39	118.56	304.90
	0.04	43.87	381.92
	0.02	48.28	329.70
	0.02	35.05	278.76
	0.02	20.57	145.29
	0.02	9.06	68.03
	0.02	0.90	28.63
	0.02	0.21	8.66
	0.02	0.09	1.



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RÍO GENIL AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE LA CORDOBILLA

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511100076	1940	118,502	46,322	28,857	652,137	874,973	161,208	232,185	90,192	64,055	50,888	44,707	39,841	2,403,87	H
ES0511100076	1941	35,829	33,264	29,019	27,052	27,141	76,374	88,892	29,439	26,599	23,857	21,473	19,035	437,97	S
ES0511100076	1942	23,065	19,881	18,823	31,699	15,723	53,858	39,169	17,345	14,616	13,324	12,242	11,875	271,62	S
ES0511100076	1943	11,355	10,877	219,305	25,080	52,008	57,609	35,749	22,059	19,596	16,938	15,013	14,662	500,25	S
ES0511100076	1944	12,197	13,333	11,237	26,213	10,555	9,717	9,258	8,311	8,206	7,368	7,046	5,785	129,23	S
ES0511100076	1945	5,170	5,702	41,760	14,523	13,314	203,345	196,849	130,634	36,043	29,555	24,728	21,211	722,83	S
ES0511100076	1946	18,338	60,547	28,525	199,714	1,057,106	528,359	82,686	63,592	52,142	43,743	37,732	33,089	2,205,57	H
ES0511100076	1947	30,256	25,707	58,439	440,486	139,433	49,398	68,489	114,812	37,897	32,399	27,668	24,431	1,049,42	S
ES0511100076	1948	22,160	19,753	20,611	16,968	15,890	13,731	16,416	12,112	10,141	9,657	9,141	16,490	183,07	S
ES0511100076	1949	9,898	14,099	10,078	10,816	22,211	10,788	8,620	7,162	5,291	5,279	5,039	9,070	118,35	S
ES0511100076	1950	6,271	5,007	15,500	105,915	263,953	308,077	87,549	47,552	31,660	26,650	22,473	22,194	942,80	S
ES0511100076	1951	19,335	179,861	30,919	40,205	27,642	62,195	67,245	98,118	26,922	22,443	21,493	17,154	613,53	S
ES0511100076	1952	15,286	13,893	38,915	23,729	18,460	20,931	13,537	11,312	10,048	9,303	8,622	8,098	192,13	S
ES0511100076	1953	10,783	7,326	15,843	7,417	14,373	122,967	32,955	17,422	14,641	12,471	11,294	9,458	276,99	S
ES0511100076	1954	8,037	12,434	15,023	130,097	375,391	86,475	39,538	29,081	24,609	21,412	18,745	15,911	776,75	S
ES0511100076	1955	51,555	27,828	57,934	46,224	37,400	291,438	265,918	51,262	43,195	36,744	31,915	28,288	969,70	S
ES0511100076	1956	24,870	22,956	20,621	19,605	19,148	22,143	27,374	48,237	18,261	15,852	13,979	12,438	265,48	S
ES0511100076	1957	21,723	33,073	61,312	41,552	22,344	65,493	38,178	23,191	20,260	17,786	15,172	13,502	373,59	S
ES0511100076	1958	12,380	11,580	783,896	111,252	69,999	65,485	35,891	68,368	30,800	25,329	22,618	20,668	1,258,27	M
ES0511100076	1959	19,529	21,405	79,042	112,469	639,566	940,514	103,157	70,127	59,542	49,088	42,553	36,848	2,174,84	H
ES0511100076	1960	390,129	145,572	272,739	162,357	58,480	49,839	42,160	40,261	32,795	29,490	26,146	27,420	1,272,39	M
ES0511100076	1961	21,945	245,746	390,186	139,998	85,621	516,585	164,314	64,406	53,728	46,453	40,878	36,070	1,805,93	H
ES0511100076	1962	83,567	104,288	568,591	780,151	961,537	177,638	156,010	96,001	75,190	65,489	57,398	52,810	3,178,67	H
ES0511100076	1963	45,282	171,948	810,781	83,256	460,627	289,405	101,920	72,655	62,452	54,891	48,905	44,781	2,246,90	H
ES0511100076	1964	40,190	40,254	46,023	79,588	72,695	81,595	39,235	33,987	30,278	27,675	25,481	45,109	562,11	S
ES0511100076	1965	45,054	104,446	72,833	339,633	442,548	67,944	74,341	51,005	43,523	37,061	32,461	29,110	1,339,96	M
ES0511100076	1966	35,076	26,619	24,289	26,652	71,919	29,361	25,763	20,325	20,284	16,930	15,351	14,877	327,45	S
ES0511100076	1967	13,474	82,262	15,751	14,089	235,750	203,502	75,098	33,503	28,779	23,784	21,038	18,407	765,44	S
ES0511100076	1968	16,707	39,337	122,945	362,387	599,214	455,681	135,549	82,770	58,751	49,482	43,705	44,470	2,011,00	H
ES0511100076	1969	81,374	122,480	103,470	1,196,808	78,651	118,808	67,297	53,214	46,686	39,741	35,426	31,875	1,975,83	H
ES0511100076	1970	28,918	26,656	30,016	142,596	31,830	106,072	304,547	201,611	52,152	43,030	37,928	32,902	1,038,26	S
ES0511100076	1971	29,833	25,220	27,141	68,608	128,164	159,884	45,111	45,321	31,556	27,467	24,415	23,112	635,83	S
ES0511100076	1972	55,503	27,098	25,278	58,128	38,357	83,164	29,597	31,044	23,267	19,248	17,857	15,573	424,11	S
ES0511100076	1973	33,222	17,152	76,078	24,040	87,834	59,448	158,641	33,666	29,583	24,860	21,403	19,177	587,10	S
ES0511100076	1974	16,985	15,629	13,192	12,380	16,078	123,037	59,853	33,544	23,417	16,004	13,981	12,982	357,08	S
ES0511100076	1975	11,102	10,261	13,884	15,500	55,728	30,087	190,843	40,854	25,633	19,419	17,044	14,717	445,07	S
ES0511100076	1976	43,061	28,063	558,064	541,156	332,075	72,777	52,228	44,210	37,542	32,144	28,671	25,678	1,795,67	H
ES0511100076	1977	28,291	26,653	118,355	46,986	293,032	144,196	148,851	100,501	49,604	40,418	35,536	29,602	1,062,03	S
ES0511100076	1978	27,026	23,902	86,392	415,146	672,510	243,766	113,079	63,842	54,041	46,466	40,602	36,109	1,822,88	H
ES0511100076	1979	176,420	42,135	32,873	34,536	34,706	45,757	26,847	38,089	23,191	21,388	19,672	16,631	512,25	S
ES0511100076	1980	15,971	30,317	15,737	14,320	12,681	15,668	46,881	15,196	13,084	11,790	10,953	10,784	213,38	S
ES0511100076	1981	8,144	7,217	303,804	130,416	105,840	62,814	44,241	28,419	23,415	20,635	17,564	14,854	767,36	S
ES0511100076	1982	13,513	283,501	48,562	26,804	25,896	29,248	21,161	15,910	14,391	12,834	11,831	10,244	513,90	S
ES0511100076	1983	9,186	295,672	181,175	46,352	65,171	216,751	85,607	130,757	42,722	36,258	30,308	25,666	1,165,63	M
ES0511100076	1984	23,319	206,414	32,169	132,751	321,656	59,283	56,999	46,849	33,000	28,501	25,822	22,430	989,19	S
ES0511100076	1985	20,519	49,080	49,696	127,039	451,438	139,302	120,535	50,030	40,738	34,606	30,356	26,514	1,139,85	M
ES0511100076	1986	28,976	23,705	19,819	254,697	249,826	49,070	44,762	33,712	29,546	26,321	23,123	21,047	804,60	S
ES0511100076	1987	27,392	21,773	189,153	174,779	67,676	31,017	47,585	26,899	22,938	19,492	18,189	16,448	663,34	S
ES0511100076	1988	22,357	20,089	13,187	13,624	36,095	19,076	25,584	17,368	11,874	10,461	9,865	13,569	213,15	S
ES0511100076	1989	10,037	365,903	459,110	158,645	45,020	40,032	106,059	36,896	29,793	26,189	22,183	19,741	1,322,61	M
ES0511100076	1990	26,815	21,597	21,183	16,228	47,117	137,625	31,845	22,343	19,945	16,959	15,173	13,842	390,67	S
ES0511100076	1991	41,071	17,217	13,591	12,161	19,549	19,018	17,346	9,206	11,366	7,715	6,869	6,278	181,39	S
ES0511100076	1992	39,425	8,791	11,506	6,677	8,804	9,664	11,533	8,120	5,329	4,562	4,284	3,999	122,69	S
ES0511100076	1993	18,407	19,645	5,973	25,843	80,192	13,540	11,790	9,348	8,116	7,521	6,813	5,463	212,65	S
ES0511100076	1994	5,460	5,679	4,715	4,354	4,044	4,313	3,683	3,242	3,337	1,958	1,954	1,163	43,90	S
ES0511100076	1995	0,854	2,044	223,972	748,298	209,227	100,554	56,219	115,431	41,810	35,376	29,255	26,340	1,589,38	H
ES0511100076	1996	21,863	57,076	873,296	731,854	79,598	62,937	54,482	44,979	38,756	33,691	29,912	27,188	2,055,63	H
ES0511100076	1997	23,585	245,876	533,022	111,260	167,563	54,348	47,269	63,972	37,934	33,006	29,017	24,838	1,371,69	M
ES0511100076	1998	22,454	20,540	18,654	18,926	16,448	19,427	14,439	13,302	12,425	10,385	9,489	9,253	185,74	S
ES0511100076	1999	106,212	18,217	34,922	16,797	14,784	12,253	84,430	33,144	17,837	15,057	13,707	11,274	378,63	S
ES0511100076	2000	11,136	16,875	265,854	294,562	76,118	245,319	48,216	46,038	33,804	28,996	24,135	20,932	1,111,99	M
ES0511100076	2001	38,962	19,600	28,543	18,677	15,009	49,856	68,635	22,297	18,113	15,192	13,708	12,247	320,84	S
ES0511100076	2002	10,674	81,232	80,738	147,345	296,130	159,654	71,119	40,119	34,009	28,709	25,085	21,656	996,47	H
ES0511100076	2003	85,115	52,766	104,773	42,402	135,756	233,042	89,281	110,937	44,865	36,844	31,173	27,332	994,29	S
ES0511100076	2004	24,526	20,206	24,468	17,131	22,519	23,499	15,166	13,278	12,136	10,872	9,997	9,770	203,57	S
ES0511100076	2005	10,055	8,626	8,156	19,998	35,910									



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RÍO GUADALIMAR DESDE EL ARROYO FUENTE ALAMO HASTA AL EMBALSE DE MENGBAR

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511100079	1940	100.056	49.587	13.822	677.029	751.140	163.792	345.143	206.699	51.276	23.872	14.197	14.061	2.410,67	H
ES0511100079	1941	7.243	14.949	5.870	14.062	32.622	191.339	188.756	34.633	17.417	10.122	7.007	12.377	536,40	S
ES0511100079	1942	26.921	6.962	44.776	75.635	21.181	83.000	68.578	16.640	7.880	5.287	4.037	3.829	364,73	S
ES0511100079	1943	8.301	3.446	217.622	29.320	51.692	33.913	51.932	25.929	10.439	5.581	4.067	4.508	446,75	S
ES0511100079	1944	2.614	2.888	8.709	38.125	15.699	11.378	6.632	3.894	3.835	2.114	1.761	1.741	99,39	S
ES0511100079	1945	1.785	11.404	113.703	31.820	18.434	217.531	451.423	229.895	50.525	24.632	12.866	7.277	1.171,30	M
ES0511100079	1946	9.072	78.212	90.255	226.744	1.092.151	825.422	129.166	69.072	33.323	18.974	11.544	7.733	2.591,67	H
ES0511100079	1947	15.225	5.831	24.143	423.010	191.213	50.186	70.697	185.915	26.865	14.981	8.155	6.008	1.022,23	S
ES0511100079	1948	60.845	13.631	11.485	6.845	7.039	6.802	6.346	22.042	7.908	4.585	3.797	5.143	156,47	S
ES0511100079	1949	3.425	21.334	12.061	6.682	15.105	10.880	5.822	5.727	3.611	3.334	2.128	1.795	91,90	S
ES0511100079	1950	1.789	1.524	33.102	111.887	259.808	352.821	97.936	70.584	25.147	13.604	7.060	35.729	1.010,99	S
ES0511100079	1951	8.199	157.619	33.329	35.087	28.292	57.168	155.307	88.887	25.429	13.408	6.943	4.856	614,52	S
ES0511100079	1952	3.994	2.688	80.236	21.595	13.586	9.224	17.572	7.032	3.469	3.207	1.611	1.596	165,81	S
ES0511100079	1953	31.534	3.666	7.799	4.399	31.241	163.419	84.752	33.615	16.343	9.092	5.753	3.735	395,35	S
ES0511100079	1954	2.206	12.864	7.398	190.534	319.669	144.085	60.035	26.053	13.668	7.392	5.016	4.249	793,17	S
ES0511100079	1955	14.819	3.562	102.775	52.637	18.355	217.921	258.774	49.230	24.112	12.351	6.822	4.761	766,13	S
ES0511100079	1956	4.008	3.139	1.983	1.920	8.151	9.376	13.598	39.774	17.369	8.474	5.216	3.401	116,41	S
ES0511100079	1957	6.448	21.818	42.218	44.553	27.520	106.894	84.059	33.173	16.581	8.507	5.240	3.219	400,23	S
ES0511100079	1958	2.179	1.448	655.304	124.963	52.244	101.218	41.852	106.361	34.327	17.132	9.899	6.578	1.153,51	M
ES0511100079	1959	18.807	36.487	195.909	191.253	777.786	624.960	144.766	58.674	34.330	16.553	9.842	7.181	2.116,55	H
ES0511100079	1960	235.182	102.787	374.741	233.853	54.595	27.360	20.795	13.205	7.950	5.874	4.183	5.012	1.085,54	S
ES0511100079	1961	3.594	75.454	192.526	122.590	57.960	444.638	147.056	40.746	21.323	12.947	8.331	6.312	1.133,48	M
ES0511100079	1962	65.111	91.026	234.387	529.308	736.852	156.522	135.797	43.827	33.875	18.120	11.669	23.128	2.079,62	H
ES0511100079	1963	9.467	189.442	427.849	50.968	440.472	397.012	93.581	38.306	20.929	12.424	9.048	7.176	1.696,67	M
ES0511100079	1964	5.309	5.713	16.353	84.207	54.805	121.137	29.955	15.848	9.958	6.223	5.337	32.336	387,18	S
ES0511100079	1965	26.064	59.164	95.507	556.632	509.664	78.492	159.622	43.043	22.665	13.667	8.794	6.868	1.580,18	M
ES0511100079	1966	31.212	13.292	6.930	21.801	99.520	35.054	25.879	16.034	11.927	6.420	4.824	4.102	277,00	S
ES0511100079	1967	2.776	51.207	5.859	3.486	172.690	103.190	69.787	21.265	11.393	6.218	4.472	4.091	456,43	S
ES0511100079	1968	2.590	58.320	111.086	379.964	547.404	559.409	146.793	72.279	34.044	19.162	12.385	10.532	1.953,97	H
ES0511100079	1969	12.772	44.466	116.459	485.539	56.585	70.279	30.330	22.209	12.069	7.748	5.873	5.240	869,57	S
ES0511100079	1970	3.985	3.628	4.993	110.575	26.163	147.680	210.915	374.338	75.767	34.412	18.180	11.166	1.021,80	S
ES0511100079	1971	6.586	7.157	30.874	87.324	308.480	279.561	90.861	54.656	28.179	15.793	8.716	8.854	927,04	S
ES0511100079	1972	23.175	13.552	11.438	59.986	36.280	38.786	22.993	14.938	9.622	6.175	4.324	2.805	244,07	S
ES0511100079	1973	35.705	4.813	40.305	20.345	104.797	122.186	285.358	50.551	24.998	12.898	7.320	5.286	714,56	S
ES0511100079	1974	23.137	5.209	3.879	5.370	9.370	72.028	55.018	67.816	24.533	13.597	7.133	4.375	291,47	S
ES0511100079	1975	3.595	2.269	3.114	3.051	42.811	8.009	53.858	19.872	12.274	6.899	4.010	3.728	163,49	S
ES0511100079	1976	73.728	28.771	515.073	492.531	502.035	102.087	43.190	27.872	14.186	8.525	6.169	5.230	1.819,40	M
ES0511100079	1977	8.569	8.400	46.185	74.973	342.204	157.375	210.952	184.822	55.482	28.067	15.767	8.766	1.141,56	M
ES0511100079	1978	6.117	5.222	131.086	333.863	534.932	282.136	159.876	53.805	27.503	14.969	8.615	7.138	1.565,26	M
ES0511100079	1979	124.207	16.507	16.678	18.232	26.665	57.646	30.611	61.487	27.070	14.206	7.988	4.895	406,19	S
ES0511100079	1980	4.445	20.130	10.317	8.312	6.225	9.176	58.257	13.154	6.766	3.982	3.719	2.217	146,70	S
ES0511100079	1981	1.988	1.940	244.927	80.242	76.826	42.622	46.762	17.159	9.504	6.226	4.457	2.599	535,25	S
ES0511100079	1982	10.892	216.762	55.853	23.516	19.931	13.819	28.692	10.484	5.531	3.919	3.710	2.138	395,25	S
ES0511100079	1983	1.787	61.721	170.525	53.604	52.594	302.924	132.711	362.708	57.382	28.458	14.943	8.084	1.247,44	M
ES0511100079	1984	5.652	280.545	37.229	130.067	211.839	67.279	78.828	57.425	27.723	14.794	8.508	5.147	925,04	S
ES0511100079	1985	4.357	25.722	39.492	124.498	445.798	88.434	254.190	54.950	29.374	16.053	8.974	5.941	1.097,78	S
ES0511100079	1986	18.241	5.782	4.167	68.060	118.240	34.326	32.469	15.824	8.546	5.699	4.040	2.692	318,09	S
ES0511100079	1987	21.993	14.813	132.218	109.146	35.670	21.391	81.256	56.593	27.336	13.998	7.788	4.227	526,43	S
ES0511100079	1988	5.911	14.629	4.184	3.104	38.512	18.237	28.390	33.196	13.580	7.245	4.746	18.092	189,83	S
ES0511100079	1989	4.074	92.678	149.742	67.505	19.772	11.352	48.355	11.487	6.570	3.708	3.356	2.165	420,76	S
ES0511100079	1990	33.464	35.555	12.379	13.699	88.690	204.137	37.800	17.547	9.856	5.738	3.962	3.020	465,85	S
ES0511100079	1991	9.062	4.936	3.271	2.182	43.434	26.004	23.874	10.895	56.798	8.861	5.125	3.612	198,05	S
ES0511100079	1992	59.956	6.412	7.792	4.857	4.872	3.774	16.392	11.370	5.224	3.480	2.681	1.440	128,25	S
ES0511100079	1993	49.942	6.812	3.350	34.354	63.534	15.761	18.581	10.018	4.758	3.002	2.643	1.150	213,91	S
ES0511100079	1994	13.678	2.887	4.622	5.185	11.098	12.271	8.734	3.606	6.566	2.093	1.112	0.757	72,61	S
ES0511100079	1995	0.521	3.926	327.737	417.771	209.717	131.867	74.624	121.758	29.005	14.722	8.576	7.362	1.347,59	M
ES0511100079	1996	4.793	62.231	599.010	457.263	64.276	30.884	34.786	27.004	16.032	8.669	5.526	5.015	1.315,49	M
ES0511100079	1997	4.683	269.919	409.091	103.527	103.375	32.715	37.356	98.135	25.241	13.504	7.409	6.245	1.111,20	M
ES0511100079	1998	3.455	3.225	14.838	8.442	17.015	41.436	18.894	11.074	5.932	4.062	2.555	2.428	133,36	S
ES0511100079	1999	72.446	12.265	44.808	20.943	11.477	7.820	164.062	57.339	17.294	8.538	4.456	2.593	424,04	S
ES0511100079	2000	8.862	38.751	141.629	328.401	143.945	356.273	48.643	43.194	17.202	8.711	5.352	3.820	1.144,78	M
ES0511100079	2001	28.260	6.977	20.467	19.461	7.061	63.109	87.189	24.111	12.097	5.831	3.974	2.226	280,76	S
ES0511100079	2002	5.699	46.040	58.012	186.950	271.467	129.288	62.193	27.015	14.754	8.483	5.132	3.112	818,15	S
ES0511100079	2003	118.775	51.223	41.351	52.730	119.339	170.437	125.634	256.661	36.608	17.770	9.194	5.825	1.005,55	S
ES0511100079	2004	10.466	3.186	3.474	2.592	4.785	6.966	5.696	3.625	2.117	1.839	1.579	2.059	48,38	S
ES0511100079	2005	5.676	1.536	12.947	32.969	106.381	100.657	64.152	18.935	10.830	6.144	3.141	2.373	365,74	S

MIN	0.52	1.45	1.98	1.92	4.79	3.77	5.7
-----	------	------	------	------	------	------	-----



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RÍO GUADIANA MENOR AGUAS ABAJO DEL RÍO FARDES

COD_MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511100083	1940	33,011	31,859	20,321	485,758	568,904	167,632	226,524	121,296	71,276	54,068	43,430	36,566	1,860.65	H
ES0511100083	1941	31,309	26,723	23,952	23,850	42,933	170,896	140,136	42,410	31,475	25,883	21,442	19,307	600.32	M
ES0511100083	1942	17,056	15,515	14,380	17,729	18,627	21,307	19,052	16,600	13,591	11,554	10,683	9,472	185.57	S
ES0511100083	1943	8,724	8,571	145,559	21,888	27,210	34,607	32,704	20,116	15,661	12,835	10,627	11,196	349.70	S
ES0511100083	1944	8,127	7,886	13,749	57,636	17,339	14,315	10,994	8,459	7,848	6,395	5,765	5,095	163.61	S
ES0511100083	1945	5,110	7,220	35,502	33,207	21,595	88,394	270,652	84,931	48,898	34,809	25,093	19,911	675.32	M
ES0511100083	1946	15,296	81,624	70,028	262,976	632,889	307,268	114,810	93,594	60,727	46,219	36,438	29,404	1,751.27	H
ES0511100083	1947	26,471	22,397	32,283	239,484	110,870	60,711	106,913	87,276	43,303	33,808	26,825	22,385	812.73	H
ES0511100083	1948	43,587	23,048	19,556	20,075	44,979	27,782	50,022	20,963	18,784	15,265	12,642	12,249	308.95	S
ES0511100083	1949	11,304	13,928	15,319	13,030	16,020	15,420	12,307	10,701	9,155	7,618	7,057	6,115	137.97	S
ES0511100083	1950	6,701	5,120	12,262	57,102	101,823	129,904	88,766	45,677	31,446	22,073	17,014	20,188	538.08	M
ES0511100083	1951	13,271	51,434	51,881	60,017	40,824	53,809	145,051	65,179	31,576	23,566	19,115	15,464	571.19	M
ES0511100083	1952	12,311	11,080	26,312	19,854	16,277	15,877	13,088	9,580	7,933	7,184	5,009	5,003	149.51	S
ES0511100083	1953	5,547	8,670	10,798	8,725	63,198	18,588	89,200	35,160	24,363	17,599	13,912	11,232	416.99	S
ES0511100083	1954	8,808	7,981	10,786	71,474	160,880	68,541	54,306	34,366	24,242	17,356	13,635	11,270	483.65	S
ES0511100083	1955	12,917	11,411	24,461	30,405	22,260	64,696	137,317	43,283	29,563	21,045	16,201	12,370	425.93	S
ES0511100083	1956	10,590	9,022	8,024	7,511	9,542	12,762	14,565	31,412	18,751	13,333	9,754	7,699	152.97	S
ES0511100083	1957	9,334	21,399	34,815	31,850	22,777	46,408	48,547	31,371	21,542	15,258	12,078	8,578	303.96	S
ES0511100083	1958	7,596	6,239	166,036	95,010	59,496	86,640	41,282	130,002	38,967	27,417	20,474	15,478	694.64	M
ES0511100083	1959	13,721	24,521	78,414	83,397	267,010	419,110	127,326	70,761	52,959	36,777	28,596	22,749	1,225.34	H
ES0511100083	1960	59,786	48,358	186,000	127,758	52,287	36,488	27,067	22,435	17,345	13,993	12,149	10,445	614.11	M
ES0511100083	1961	8,928	27,890	81,276	47,493	38,234	194,954	150,166	48,496	30,088	22,669	17,798	14,252	682.24	M
ES0511100083	1962	31,387	51,204	198,896	282,848	620,561	124,076	102,847	78,005	51,565	40,482	31,855	27,071	1,640.80	H
ES0511100083	1963	22,539	28,912	193,770	44,274	126,574	146,138	64,926	43,608	31,148	23,752	19,486	16,382	761.51	H
ES0511100083	1964	14,210	13,131	22,243	53,620	43,566	69,752	29,035	20,789	16,171	12,815	10,990	13,087	318.80	S
ES0511100083	1965	18,320	37,994	52,549	181,290	237,040	72,297	66,387	45,910	31,216	23,311	17,525	13,488	797.33	H
ES0511100083	1966	15,238	13,409	10,406	10,932	24,956	21,013	20,402	13,257	12,004	8,349	6,777	5,546	162.29	S
ES0511100083	1967	4,688	7,672	5,353	3,818	37,727	51,588	33,312	17,773	12,740	9,494	6,888	5,714	196.77	S
ES0511100083	1968	4,286	24,889	111,108	278,830	268,760	319,917	140,357	92,236	55,168	40,915	31,904	25,873	1,394.24	H
ES0511100083	1969	43,689	37,052	62,913	407,718	66,755	70,331	52,953	38,007	28,618	23,229	19,405	17,480	868.15	H
ES0511100083	1970	15,221	13,043	11,871	54,808	23,836	84,914	119,145	166,880	59,159	41,689	30,667	24,391	645.62	M
ES0511100083	1971	18,730	17,499	39,798	73,090	126,059	148,271	65,237	55,903	37,441	27,696	21,147	17,467	648.34	H
ES0511100083	1972	25,976	45,618	18,470	39,898	45,275	86,835	34,865	25,399	19,736	15,479	12,718	10,921	381.19	S
ES0511100083	1973	82,856	14,451	59,470	20,762	97,274	91,376	229,738	50,850	34,413	24,914	19,734	16,413	742.25	M
ES0511100083	1974	14,100	11,927	10,716	10,239	13,301	51,844	46,896	45,377	27,207	18,546	13,921	11,329	275.40	S
ES0511100083	1975	9,225	8,406	6,708	6,734	10,502	9,947	40,258	35,014	17,598	11,553	9,278	7,195	172.42	S
ES0511100083	1976	13,519	16,675	131,923	169,296	144,087	68,703	44,811	31,174	22,159	15,618	11,744	9,593	679.30	M
ES0511100083	1977	9,692	8,275	20,612	40,305	90,967	85,334	77,743	104,263	50,314	32,907	23,397	17,088	560.90	M
ES0511100083	1978	12,606	10,020	16,883	67,771	194,304	110,772	75,132	48,072	31,798	22,300	16,683	13,630	619.97	M
ES0511100083	1979	18,297	15,346	15,574	16,093	25,624	29,421	22,948	33,945	22,691	15,655	11,535	8,151	235.28	S
ES0511100083	1980	6,708	6,758	12,303	9,661	8,071	8,654	20,103	12,670	8,632	5,982	5,239	3,896	108.68	S
ES0511100083	1981	3,116	2,850	106,157	84,114	62,298	35,192	32,507	22,006	15,444	10,827	8,441	6,773	389.73	M
ES0511100083	1982	6,095	65,155	38,755	20,774	18,664	21,139	15,636	11,899	8,686	7,128	5,897	4,547	224.40	S
ES0511100083	1983	3,925	50,534	73,830	39,866	34,663	112,523	82,681	162,998	51,699	35,017	24,310	17,875	689.92	M
ES0511100083	1984	13,284	40,396	26,460	40,564	132,625	66,446	50,947	47,308	31,993	23,261	16,961	13,008	503.25	M
ES0511100083	1985	10,583	16,314	18,229	79,072	232,102	76,240	109,427	49,371	31,236	22,448	15,950	12,739	673.71	M
ES0511100083	1986	16,766	9,294	7,215	41,644	80,809	32,105	24,831	18,093	12,476	9,385	7,600	6,421	266.64	S
ES0511100083	1987	6,120	7,931	23,496	37,522	28,675	19,519	21,843	18,932	15,342	11,567	7,834	6,160	204.94	S
ES0511100083	1988	4,926	4,628	3,290	2,676	14,352	34,517	17,972	23,200	14,529	9,815	7,710	10,383	148.00	S
ES0511100083	1989	5,918	31,314	99,666	42,740	23,816	24,477	41,962	20,075	12,505	9,681	8,235	7,562	327.95	S
ES0511100083	1990	7,704	8,471	9,894	11,304	26,852	46,188	27,231	17,428	12,367	9,533	7,397	5,399	189.27	S
ES0511100083	1991	4,296	4,226	4,103	6,057	20,402	22,567	15,553	13,036	25,408	10,244	7,616	6,010	139.52	S
ES0511100083	1992	6,636	5,773	5,259	5,501	16,765	5,932	7,522	9,729	7,104	5,684	4,317	3,338	83.56	S
ES0511100083	1993	3,778	3,791	2,864	6,731	29,161	13,569	11,048	9,290	6,922	4,896	4,118	2,200	98.37	S
ES0511100083	1994	3,109	2,575	2,187	2,094	2,379	3,937	4,167	2,706	2,394	1,358	1,253	0,632	28.79	S
ES0511100083	1995	0,561	0,566	45,319	154,396	123,917	83,670	57,034	56,483	32,476	22,724	15,697	12,530	605.37	M
ES0511100083	1996	9,901	15,308	131,746	220,028	59,868	40,507	38,133	29,507	22,348	15,912	11,868	28,145	623.27	M
ES0511100083	1997	8,700	46,142	147,856	46,947	45,102	32,350	28,114	47,596	26,970	18,846	13,323	10,834	472.78	S
ES0511100083	1998	7,979	6,198	5,408	7,016	10,093	24,092	15,825	10,976	8,188	5,706	4,360	3,365	109.21	S
ES0511100083	1999	10,425	8,233	19,983	14,824	11,247	8,180	17,063	23,606	14,556	9,210	6,384	4,159	147.87	S
ES0511100083	2000	10,031	8,676	73,438	94,417	70,072	79,824	43,141	33,205	22,619	15,963	12,067	8,009	472.26	S
ES0511100083	2001	11,913	8,975	13,414	10,656	9,365	18,931	31,554	18,729	13,269	9,026	6,899	4,418	157.15	S
ES0511100083	2002	4,104	11,636	19,057	56,317	119,622	65,675	40,612	30,374	21,832	15,703	11,636	7,962	404.53	S
ES0511100083	2003	13,741	17,814	19,721	24,883	39,833	63,550	67,332	75,987	38,129	26,415	18,487	13,331	419.22	S
ES0511100083	2004	10,180	8,064	7,305	5,932	9,295	11,799	8,610	6,946	4,823	3,550	2,799	2,808	82.11	S
ES0511100083	2005	2,663	2,559	6,176	13,122	29,723	29,900	30,194	21,187	13,989	9,908	6,804	4,919	171.14	S

MIN	0.56	0.57	2.19	2.09	2.38	3.94	4.17	2.71	2.39	1.36	1.25	0
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RIO CASTRIL AGUAS ABAJO DE LA PRESA DEL PORTILLO

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511100107	1940	1,655	2,510	1,563	32,391	37,030	19,328	21,153	15,030	10,028	6,500	4,000	2,753	153,94	M
ES0511100107	1941	1,750	1,016	0,755	0,585	2,049	11,485	9,857	5,296	3,500	2,250	1,250	1,001	40,79	S
ES0511100107	1942	0,505	0,250	0,260	1,578	2,064	2,893	2,511	2,000	1,250	0,750	0,500	0,250	14,81	S
ES0511100107	1943	0,250	0,250	3,908	2,750	2,649	4,059	4,422	3,363	2,255	1,500	1,000	0,554	26,96	S
ES0511100107	1944	0,513	0,522	1,606	4,107	3,102	2,841	2,000	1,250	1,000	0,500	0,250	0,250	17,94	S
ES0511100107	1945	0,262	0,885	6,260	6,870	4,889	10,745	16,784	15,029	11,250	7,250	4,500	3,000	87,72	S
ES0511100107	1946	1,750	4,141	7,167	15,480	51,404	33,861	23,966	16,572	11,000	7,000	4,500	2,750	179,59	M
ES0511100107	1947	2,008	1,250	3,237	22,865	17,106	11,932	10,644	9,198	7,000	4,500	2,750	1,750	94,24	S
ES0511100107	1948	2,652	2,500	1,796	1,338	1,601	1,604	1,786	1,550	1,250	1,000	0,500	0,256	17,83	S
ES0511100107	1949	0,250	1,161	1,806	1,531	2,408	2,819	2,031	1,527	1,000	0,750	0,500	0,251	16,03	S
ES0511100107	1950	0,279	0,014	1,558	7,101	10,991	13,192	11,663	9,061	6,500	4,000	2,750	2,154	69,26	S
ES0511100107	1951	1,764	3,959	6,899	8,355	7,479	7,037	12,663	9,360	6,250	4,007	2,801	1,750	72,32	S
ES0511100107	1952	1,000	0,750	2,828	3,890	3,195	2,954	2,161	1,500	1,000	0,750	0,250	0,250	20,53	S
ES0511100107	1953	0,291	0,280	0,309	0,909	5,975	12,309	11,936	8,788	5,750	3,500	2,250	1,500	53,80	S
ES0511100107	1954	1,000	0,778	1,385	12,621	22,463	16,353	12,764	8,542	5,500	3,500	2,250	1,500	88,66	S
ES0511100107	1955	1,015	0,513	2,862	3,588	3,329	7,426	13,508	10,644	7,000	4,250	2,750	1,750	58,64	S
ES0511100107	1956	1,250	0,751	0,502	0,521	1,115	1,904	2,632	5,384	5,044	3,250	2,000	1,255	25,61	S
ES0511100107	1957	1,045	2,452	3,437	5,371	5,391	7,334	9,224	8,012	5,250	3,250	2,250	1,250	54,27	S
ES0511100107	1958	1,000	0,500	11,551	14,903	10,895	12,449	9,888	13,155	9,250	6,000	3,750	2,252	95,59	S
ES0511100107	1959	1,753	2,931	10,651	14,373	26,503	39,810	25,046	16,515	10,774	6,750	4,250	2,750	162,11	M
ES0511100107	1960	4,859	6,881	20,968	18,044	12,268	7,750	5,000	3,500	2,250	1,250	1,000	0,503	84,27	S
ES0511100107	1961	0,250	1,285	4,410	5,212	5,868	13,113	14,642	9,548	6,000	4,000	2,500	1,500	68,33	S
ES0511100107	1962	1,708	4,681	13,325	20,692	45,298	23,952	17,380	12,588	8,593	6,000	3,750	2,525	160,49	M
ES0511100107	1963	1,750	2,038	9,479	8,004	12,012	16,843	12,938	9,000	5,500	3,500	2,250	1,500	84,81	S
ES0511100107	1964	1,000	0,756	1,198	5,072	6,156	7,898	6,260	4,000	2,500	1,750	1,000	1,030	38,62	S
ES0511100107	1965	1,406	3,506	8,147	24,202	30,577	19,257	14,854	11,635	7,250	4,750	3,000	2,000	130,58	S
ES0511100107	1966	1,789	1,758	1,250	1,293	3,345	4,350	3,829	2,782	2,005	1,500	1,000	0,501	25,40	S
ES0511100107	1967	0,250	0,519	0,500	0,250	2,588	5,353	5,373	4,250	2,750	1,750	1,000	0,750	25,33	S
ES0511100107	1968	0,250	2,977	11,551	25,618	24,516	32,420	23,053	16,318	11,000	7,000	4,500	3,001	162,20	M
ES0511100107	1969	2,227	2,339	4,388	20,773	12,074	9,288	7,362	5,251	3,500	2,250	1,500	1,000	71,93	S
ES0511100107	1970	0,750	0,250	0,254	3,279	3,791	6,907	10,227	14,286	12,589	8,750	5,500	3,500	70,08	S
ES0511100107	1971	2,250	1,764	2,689	7,465	14,777	17,380	13,935	10,935	8,026	5,250	3,250	2,012	89,73	S
ES0511100107	1972	2,122	2,138	2,014	3,961	6,207	7,552	6,195	4,258	3,031	2,014	1,250	0,750	41,48	S
ES0511100107	1973	1,223	0,750	1,747	2,281	6,845	9,251	14,271	11,253	7,250	4,500	3,000	2,000	64,37	S
ES0511100107	1974	1,291	1,000	0,750	0,500	1,301	5,393	7,137	6,967	5,783	4,000	2,500	1,750	38,37	S
ES0511100107	1975	1,000	0,750	0,250	0,250	1,026	1,261	3,089	4,716	3,750	2,250	1,500	1,000	20,84	S
ES0511100107	1976	2,117	3,610	17,288	21,312	25,202	19,201	12,750	8,503	5,750	3,500	2,250	1,500	122,98	S
ES0511100107	1977	1,088	0,809	2,485	6,926	11,747	14,274	14,829	17,688	13,624	9,000	5,750	3,750	101,97	S
ES0511100107	1978	2,255	1,500	2,374	8,090	21,671	18,439	16,726	12,560	8,000	5,000	3,250	2,021	101,89	S
ES0511100107	1979	2,089	2,601	3,054	3,084	3,674	4,945	5,126	6,614	6,004	3,750	2,500	1,500	44,94	S
ES0511100107	1980	1,000	0,760	1,977	2,254	1,754	1,816	3,245	3,250	2,006	1,250	1,000	0,500	20,81	S
ES0511100107	1981	0,250	0,250	15,371	14,945	11,951	8,933	6,607	5,137	3,500	2,250	1,500	1,000	71,69	S
ES0511100107	1982	0,520	4,437	6,950	5,500	4,105	3,677	3,538	2,750	1,750	1,250	0,751	0,500	35,73	S
ES0511100107	1983	0,250	1,937	5,865	7,444	7,495	14,229	13,351	20,566	13,753	9,000	5,500	3,500	102,89	S
ES0511100107	1984	2,250	5,369	6,304	7,897	22,579	16,219	12,936	10,677	8,000	5,250	3,250	2,000	102,73	S
ES0511100107	1985	1,250	1,356	2,392	9,256	25,494	15,733	14,746	11,191	7,276	5,000	3,000	2,000	98,53	S
ES0511100107	1986	1,794	1,008	0,772	3,334	8,579	7,255	5,250	3,750	2,500	1,500	1,000	0,750	37,49	S
ES0511100107	1987	0,520	0,821	3,218	6,547	6,666	4,789	4,626	4,522	3,757	3,000	1,750	1,250	41,47	S
ES0511100107	1988	0,750	0,502	0,250	0,250	1,239	2,118	2,609	3,372	3,000	1,750	1,250	0,759	17,85	S
ES0511100107	1989	0,500	0,792	3,267	4,918	4,000	2,750	2,903	2,507	1,750	1,000	0,750	0,529	25,67	S
ES0511100107	1990	0,508	1,032	1,779	2,284	4,280	7,355	7,061	4,523	3,000	2,000	1,250	0,750	35,82	S
ES0511100107	1991	0,503	0,510	0,502	0,500	1,396	2,885	3,606	3,279	2,914	2,250	1,500	1,000	20,85	S
ES0511100107	1992	0,763	0,750	1,037	1,250	1,014	0,763	1,527	2,274	1,754	1,250	0,750	0,500	13,63	S
ES0511100107	1993	0,500	0,501	0,250	1,277	3,830	3,756	3,031	2,500	1,750	1,000	0,750	0,250	19,40	S
ES0511100107	1994	0,316	0,264	0,250	0,264	0,516	1,022	1,250	0,750	0,505	0,250	0,250	0,000	5,64	S
ES0511100107	1995	0,000	0,000	6,128	15,156	22,395	16,854	13,870	11,764	8,750	5,750	3,500	2,530	106,70	S
ES0511100107	1996	2,000	2,627	11,102	21,368	14,753	9,750	7,520	7,004	5,250	3,250	2,000	1,305	87,93	S
ES0511100107	1997	1,000	5,690	12,858	11,518	9,713	7,752	7,005	8,187	7,000	4,500	2,750	1,750	79,72	S
ES0511100107	1998	1,000	0,750	0,500	0,752	1,511	4,527	4,500	3,000	2,000	1,250	0,750	0,501	21,04	S
ES0511100107	1999	1,024	1,500	3,354	4,256	3,250	2,500	4,020	5,783	4,500	2,750	1,750	1,000	35,69	S
ES0511100107	2000	1,059	1,786	8,596	14,626	14,496	14,401	11,500	8,023	5,500	3,500	2,250	1,250	86,99	S
ES0511100107	2001	1,002	0,750	1,117	1,773	1,756	2,515	4,679	5,000	3,500	2,250	1,500	0,750	26,59	S
ES0511100107	2002	0,750	1,515	3,546	7,636	12,469	11,385	9,591	7,786	5,500	3,500	2,250	1,250	67,18	S
ES0511100107	2003	1,523	2,266	3,147	5,479	7,493	9,578	10,404	12,083	9,750	6,250	3,750	2,500	74,22	S
ES0511100107	2004	1,500	1,000	0,519	0,500	0,676	1,527	1,752	1,250	0,750	0,500	0,250	0,250	10,47	S
ES0511100107	2005	0,250	0,250	1,265	2,871	5,409	7,726	7,923	6,258	4,251	2,750	1,750	1,002	41,71	S

	MIN	MED	MAX
Octubre	0,00	1,16	4,86
Noviembre	0,00	1,63	6,88
Diciembre	0,25	4,25	20,97
Enero	0,25	7,60	32,39
Febrero	0,52	10,17	51,40
Marzo	0,76	9,83	39,81
Abril	1,25	8,95	25,05
Mayo	0,75	7,51	20,57
Junio	0,51	5,32	13,75
Julio	0,25	3,44	9,00
Agosto	0,25	2,18	5,75
Septiembre	0,00	1,40	3,75
Total	4,78	63,45	234,18



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

RÍO GUADALQUIVIR AGUAS ABAJO DEL RÍO GUAJAJÓZ HASTA EL RÍO GENIL

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (hm3)	PATRÓN
ES0511100110	1940	499.465	183.839	71.569	3,742.708	3,390.947	783.328	1,494.237	631.567	236.961	153.941	115.314	97.469	11,401.35	M
ES0511100110	1941	76.917	207.589	66.534	70.354	117.449	798.409	785.857	144.234	98.300	73.412	59.073	64.207	2,562.34	M
ES0511100110	1942	193.208	57.936	217.932	255.418	84.392	485.000	345.487	79.195	53.670	43.049	36.941	32.405	1,884.63	M
ES0511100110	1943	58.062	26.515	584.556	89.321	155.313	146.807	165.913	83.113	48.469	35.134	30.236	27.809	1,451.25	M
ES0511100110	1944	21.031	22.310	37.783	192.766	54.869	43.884	29.377	21.458	20.736	15.636	13.708	12.913	486.47	M
ES0511100110	1945	11.883	38.023	416.652	136.036	86.364	942.505	1,351.885	964.989	187.962	116.845	78.112	57.030	4,388.29	M
ES0511100110	1946	48.025	289.637	248.212	1,012.294	5,020.614	3,727.754	493.121	296.502	181.026	129.217	95.897	76.079	11,618.38	M
ES0511100110	1947	84.741	57.635	155.625	1,886.010	902.493	211.642	299.306	619.405	136.310	96.638	71.156	58.607	4,579.57	M
ES0511100110	1948	155.679	66.149	66.447	48.657	72.328	53.975	77.306	65.241	44.698	32.732	27.441	38.539	749.19	M
ES0511100110	1949	26.845	62.928	61.147	41.251	85.873	54.453	35.349	37.069	24.162	21.922	17.590	17.161	485.75	M
ES0511100110	1950	16.849	15.057	117.203	411.448	1,139.573	1,698.219	463.397	233.426	113.307	75.203	53.487	90.250	4,427.42	M
ES0511100110	1951	45.449	994.343	152.800	305.245	142.268	969.931	511.215	570.951	113.229	76.277	55.423	42.520	3,979.65	M
ES0511100110	1952	38.616	33.608	289.203	83.906	67.801	77.236	215.755	46.847	33.908	27.957	20.894	17.663	1,455.59	M
ES0511100110	1953	75.162	24.741	46.026	31.936	197.374	553.474	251.342	112.967	68.398	45.389	34.225	24.485	1,963.32	M
ES0511100110	1954	18.672	52.417	31.531	992.709	1,656.920	676.216	207.655	115.843	77.141	52.676	40.815	33.268	3,955.86	M
ES0511100110	1955	158.199	180.808	774.056	546.532	213.808	1,671.253	1,158.492	191.722	121.165	81.017	58.871	45.522	5,201.45	M
ES0511100110	1956	38.426	30.081	26.824	23.742	44.151	46.614	72.566	207.330	62.974	40.039	28.760	23.010	644.52	M
ES0511100110	1957	45.688	88.174	172.446	183.358	96.010	411.480	223.092	110.167	66.234	43.320	30.575	21.928	1,492.47	M
ES0511100110	1958	18.569	15.200	3,578.867	589.282	269.425	565.268	175.682	451.660	137.658	87.024	61.748	46.807	5,997.19	M
ES0511100110	1959	71.563	112.342	641.501	923.991	3,656.009	3,044.861	523.127	253.053	181.394	113.935	84.848	66.264	9,672.89	M
ES0511100110	1960	1,721.580	736.732	1,496.306	945.790	215.760	174.716	120.855	131.864	67.139	53.886	44.967	43.356	5,752.95	M
ES0511100110	1961	37.369	1,116.220	1,634.376	961.038	381.118	2,780.187	949.274	199.463	134.234	95.994	75.482	61.235	8,425.99	M
ES0511100110	1962	300.333	256.689	1,707.787	3,223.531	3,607.908	733.921	986.742	276.260	187.920	135.673	104.754	107.350	11,628.87	M
ES0511100110	1963	77.490	1,003.824	3,012.103	227.303	2,829.054	1,863.941	421.904	192.869	132.410	99.050	80.872	68.502	10,009.32	M
ES0511100110	1964	57.656	59.820	94.541	377.084	416.498	574.125	129.602	84.426	63.254	49.167	41.478	166.247	2,113.90	M
ES0511100110	1965	187.931	342.143	405.832	2,126.615	2,427.006	294.015	646.322	184.368	121.272	87.091	65.498	54.408	6,942.50	M
ES0511100110	1966	131.468	106.154	44.888	113.609	451.676	132.960	93.939	65.023	53.588	36.039	29.794	26.527	1,285.67	M
ES0511100110	1967	24.314	218.962	30.633	22.553	1,116.434	636.153	325.838	88.337	59.149	41.696	32.382	27.438	2,623.89	M
ES0511100110	1968	24.316	273.347	459.301	1,947.930	2,959.158	2,755.113	736.982	324.177	182.939	128.221	97.485	105.295	9,994.26	M
ES0511100110	1969	205.374	471.176	414.689	4,446.727	257.627	305.364	166.758	122.336	94.917	68.490	56.392	51.054	6,660.96	M
ES0511100110	1970	43.602	39.843	38.763	521.603	97.619	493.575	1,100.627	1,384.950	250.285	148.310	100.319	73.981	4,293.48	M
ES0511100110	1971	55.133	50.714	108.000	399.282	1,245.597	1,149.600	275.955	219.609	122.315	84.091	60.433	56.393	3,827.12	M
ES0511100110	1972	298.986	122.950	218.623	382.157	172.062	278.780	103.823	131.829	60.030	44.500	35.891	28.507	1,878.14	M
ES0511100110	1973	188.892	32.726	298.190	87.121	474.730	473.216	1,416.306	180.828	115.517	72.118	52.270	41.429	3,433.34	M
ES0511100110	1974	56.538	31.914	27.166	34.126	122.528	586.896	205.179	202.298	93.782	57.698	39.035	29.008	1,486.47	M
ES0511100110	1975	24.061	19.248	33.486	20.440	196.065	59.214	720.145	118.349	59.259	38.183	29.624	58.223	1,376.30	M
ES0511100110	1976	217.522	121.644	2,315.561	2,403.368	1,978.511	324.268	183.637	130.654	87.410	60.723	47.982	40.026	7,911.31	M
ES0511100110	1977	45.937	77.499	687.890	249.985	1,677.540	551.220	834.512	579.482	219.009	122.950	83.084	59.181	5,188.29	M
ES0511100110	1978	46.025	38.932	719.371	1,994.436	2,318.027	1,080.484	653.643	209.713	132.167	91.955	66.199	56.399	7,407.35	M
ES0511100110	1979	919.743	83.062	82.472	79.326	103.320	211.585	98.383	186.774	88.158	55.742	39.956	29.418	1,977.94	M
ES0511100110	1980	27.885	110.778	52.470	35.050	30.010	39.593	158.787	47.504	28.743	20.353	18.899	14.774	584.85	M
ES0511100110	1981	12.599	11.792	1,090.642	457.987	353.654	163.635	135.849	74.328	49.571	36.417	28.504	21.187	2,436.17	M
ES0511100110	1982	31.739	915.564	191.298	83.541	73.988	65.676	125.857	40.907	27.440	22.474	19.796	13.460	1,611.74	M
ES0511100110	1983	11.948	1,009.244	774.928	254.124	268.007	1,332.057	607.223	1,051.184	199.060	120.564	79.459	53.900	5,960.70	M
ES0511100110	1984	42.856	1,157.350	126.077	1,047.493	1,205.741	265.794	315.412	204.629	113.923	75.347	54.113	40.195	4,648.93	M
ES0511100110	1985	33.494	106.623	327.294	433.496	1,898.114	398.650	772.786	196.002	120.943	81.300	57.571	45.178	4,471.45	M
ES0511100110	1986	74.838	40.044	30.419	722.198	761.475	132.416	189.731	72.333	48.631	49.363	30.695	24.403	2,176.55	M
ES0511100110	1987	212.139	77.588	1,826.860	1,122.152	179.040	95.886	213.289	170.937	113.015	55.582	38.292	29.520	4,937.30	M
ES0511100110	1988	52.786	74.341	25.196	20.498	93.042	78.788	90.571	91.949	49.926	32.012	24.896	42.938	676.94	M
ES0511100110	1989	21.002	1,268.558	1,737.728	670.331	107.302	82.876	346.778	74.121	51.019	38.071	31.882	26.086	4,455.75	M
ES0511100110	1990	115.715	111.150	47.378	49.261	416.488	1,007.832	131.821	75.779	51.344	38.037	29.780	24.100	2,098.69	M
ES0511100110	1991	110.400	27.732	22.277	18.919	132.541	74.702	86.559	40.945	203.988	34.231	24.213	18.001	794.51	M
ES0511100110	1992	231.218	25.198	26.856	21.281	30.308	16.282	53.812	53.262	22.319	15.692	12.615	9.139	517.98	M
ES0511100110	1993	228.447	104.436	20.955	191.170	418.406	63.070	61.722	42.150	26.196	18.815	15.494	10.416	1,201.28	M
ES0511100110	1994	26.137	16.874	13.148	19.404	26.651	28.577	21.825	11.276	15.571	7.038	5.335	3.488	195.32	M
ES0511100110	1995	1.735	116.910	1,623.730	3,537.800	911.257	567.655	310.874	557.645	129.954	83.981	58.211	74.659	7,974.41	M
ES0511100110	1996	41.303	199.672	3,912.599	2,974.230	277.297	162.509	172.007	136.576	86.872	58.288	44.606	57.524	8,123.48	M
ES0511100110	1997	36.233	1,546.901	2,418.881	652.703	776.372	188.938	187.318	505.182	120.977	82.435	58.584	47.291	6,621.82	M
ES0511100110	1998	36.165	31.351	45.043	53.896	74.346	145.012	68.088	41.066	29.170	21.855	17.469	18.715	582.18	M
ES0511100110	1999	530.138	51.984	208.825	108.239	61.331	43.845	935.347	193.449	67.339	42.208	29.305	20.623	2,292.63	M
ES0511100110	2000	34.324	118.905	1,034.848	1,913.637	568.805	1,838.114	206.907	192.082	96.775	64.807	48.820	45.758	6,163.78	M
ES0511100110	2001	142.727	68.428	157.270	191.088	59.378	403.072	406.136	102.059	55.872	36.437	28.668	27.952	1,679.09	M
ES0511100110	2002	27.525	231.449	539.841	805.647	1,527.817	673.481								



SERIE DE APORTACIONES

MODELO SIMPA

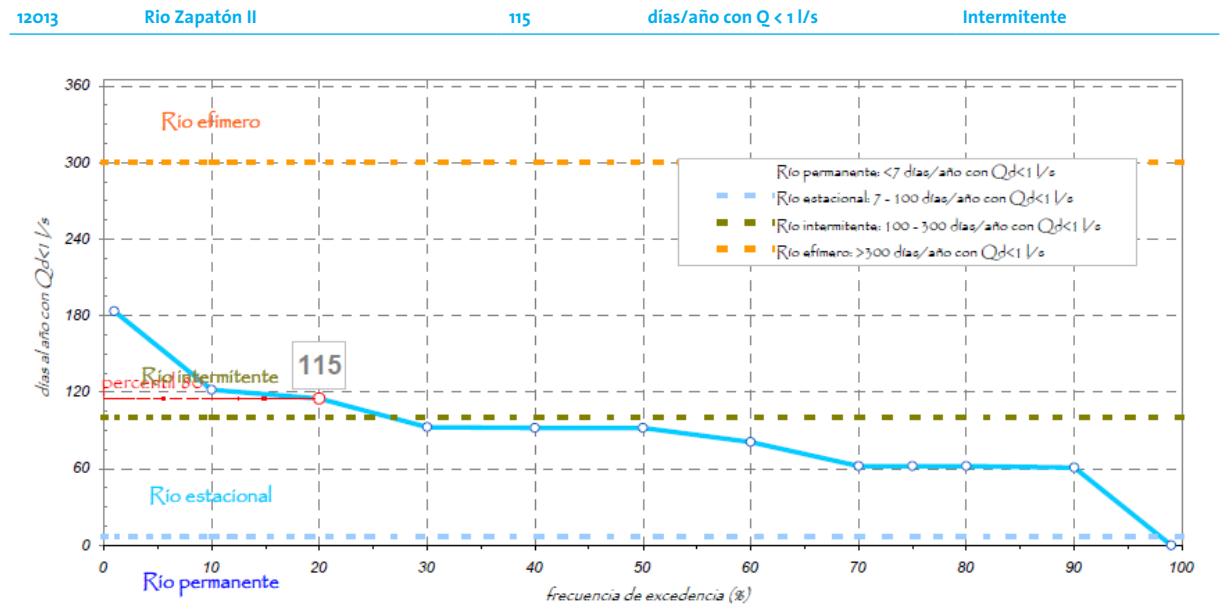
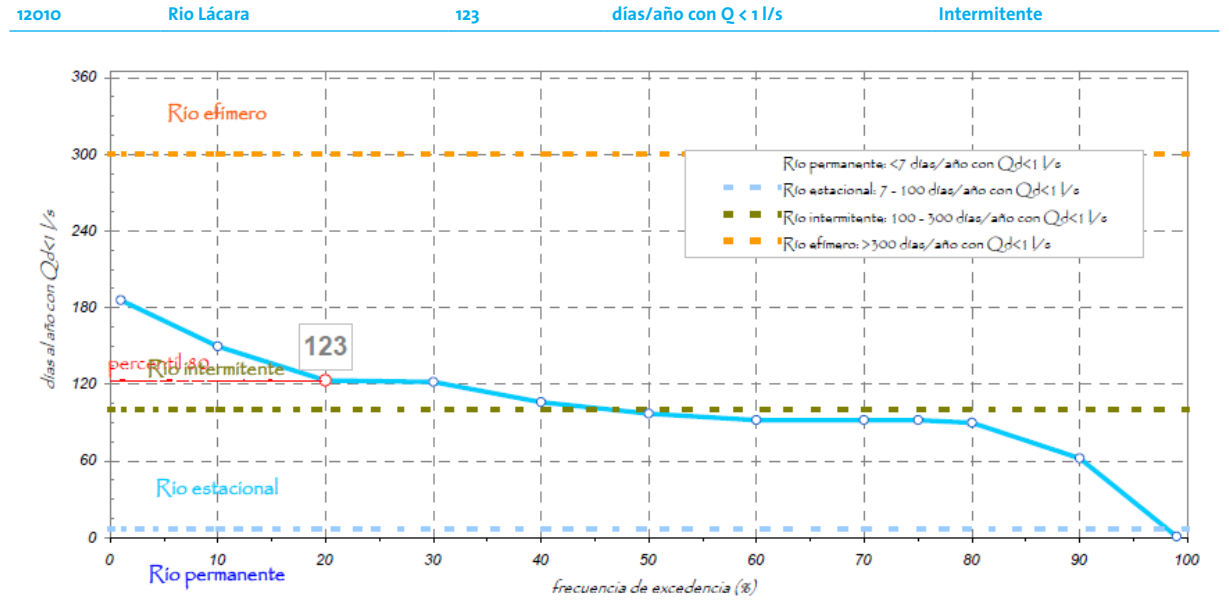
RÍO GUADALQUIVIR DESDE LA PRESA DE PEDRO MARÍN HASTA SOTOGORDO

COD. MASA	Año hidrológico	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total (mm3)	PATRÓN
ES0511100115	1940	50,203	50,503	32,630	690,488	820,202	259,009	350,869	196,871	115,156	79,042	59,335	47,806	2,752,11	H
ES0511100115	1941	39,755	33,717	30,298	29,861	52,841	217,300	193,304	69,498	47,369	35,937	28,468	24,819	803,17	M
ES0511100115	1942	23,947	19,878	25,003	47,301	34,941	43,420	41,674	28,094	20,457	16,413	14,539	12,352	328,02	S
ES0511100115	1943	11,478	11,859	212,630	44,779	54,344	74,824	65,792	37,859	25,610	18,954	15,199	15,238	588,57	M
ES0511100115	1944	10,891	10,827	22,339	105,364	32,464	25,268	17,657	12,716	11,731	8,890	7,723	7,053	272,92	S
ES0511100115	1945	6,872	14,973	104,967	60,888	37,939	197,899	438,449	199,594	95,026	60,017	39,797	29,215	1,285,64	H
ES0511100115	1946	22,404	114,377	130,303	430,051	1,193,766	636,213	219,940	156,097	97,516	68,813	51,688	39,954	3,161,12	H
ES0511100115	1947	36,044	29,325	54,372	487,851	197,864	106,256	152,211	132,842	68,766	49,151	36,168	29,244	1,380,09	H
ES0511100115	1948	65,902	35,169	28,097	26,208	52,116	34,722	57,251	30,088	25,726	19,954	16,129	15,790	407,15	S
ES0511100115	1949	14,645	23,036	25,315	20,561	34,453	26,310	18,892	17,179	12,874	10,958	9,396	8,078	221,70	S
ES0511100115	1950	8,751	6,825	26,911	126,693	232,252	272,120	151,220	89,221	56,993	37,159	26,118	31,692	1,065,96	H
ES0511100115	1951	21,478	111,492	87,667	106,255	72,827	95,321	229,614	114,132	55,341	37,198	27,439	21,303	980,07	H
ES0511100115	1952	16,672	14,375	66,896	38,839	31,159	25,653	21,736	10,314	10,443	10,314	6,757	6,672	266,24	S
ES0511100115	1953	8,426	12,377	16,223	15,397	141,191	239,839	142,967	65,703	40,816	27,267	20,136	15,329	745,67	M
ES0511100115	1954	11,407	11,794	16,853	199,709	334,726	145,697	99,565	60,151	39,546	26,467	19,920	16,179	982,01	H
ES0511100115	1955	17,313	16,652	53,374	52,694	38,682	145,977	277,081	87,009	53,395	34,609	24,590	18,235	819,61	M
ES0511100115	1956	15,181	12,037	10,539	9,842	15,931	23,064	27,445	72,052	35,239	22,188	15,324	11,433	270,28	S
ES0511100115	1957	12,941	36,668	59,401	75,168	45,161	106,154	98,214	61,750	38,141	24,711	18,243	12,383	588,94	M
ES0511100115	1958	10,183	8,063	357,416	201,552	111,620	178,328	79,920	228,043	72,129	46,127	32,145	23,193	1,348,72	H
ES0511100115	1959	21,881	47,756	213,902	194,124	628,103	812,544	242,601	129,665	87,709	58,257	42,689	33,100	2,512,33	H
ES0511100115	1960	121,899	107,403	413,066	256,867	104,550	65,558	46,799	36,520	27,373	21,319	17,763	10,548	1,234,17	H
ES0511100115	1961	12,967	45,997	138,972	105,652	76,914	373,059	236,132	88,653	54,977	38,047	28,320	22,212	1,221,90	H
ES0511100115	1962	47,540	99,779	316,192	523,920	1,070,190	227,960	194,097	127,467	85,174	62,673	47,178	39,860	2,842,03	H
ES0511100115	1963	33,388	54,779	394,576	89,005	287,538	320,261	137,456	81,658	53,746	38,834	30,821	25,444	1,547,51	H
ES0511100115	1964	21,185	19,694	35,575	102,134	79,717	132,464	56,399	36,696	26,589	20,144	16,423	24,705	571,73	S
ES0511100115	1965	31,059	78,069	138,737	514,765	517,647	146,703	154,465	89,034	56,715	40,057	29,134	22,572	1,818,96	H
ES0511100115	1966	29,487	24,757	17,932	23,210	57,274	47,847	41,987	26,249	21,337	14,952	11,998	9,631	326,66	S
ES0511100115	1967	7,795	14,289	10,550	7,251	87,382	93,287	70,117	36,436	23,585	16,258	11,732	10,037	388,72	S
ES0511100115	1968	7,142	49,329	199,084	532,873	493,755	605,239	257,974	159,525	93,208	64,996	47,965	37,255	2,548,35	H
ES0511100115	1969	55,493	61,564	121,640	681,823	122,329	122,830	88,141	61,944	43,616	33,287	27,103	24,034	1,443,80	H
ES0511100115	1970	20,511	17,430	15,979	122,242	47,162	173,251	224,453	366,508	125,498	76,541	51,331	38,150	1,279,06	H
ES0511100115	1971	27,728	26,036	57,414	145,777	282,564	312,939	130,341	111,611	66,399	45,429	32,122	26,122	1,264,48	H
ES0511100115	1972	37,207	56,628	28,681	85,393	81,936	127,568	58,564	40,652	30,391	22,520	17,741	14,420	601,70	M
ES0511100115	1973	92,778	20,702	75,608	36,313	181,827	157,456	439,396	101,926	62,482	41,108	30,319	24,216	1,264,13	H
ES0511100115	1974	22,120	17,943	15,373	15,914	24,391	128,548	85,468	84,729	50,790	31,940	21,702	16,522	515,44	S
ES0511100115	1975	13,123	11,301	9,046	10,185	21,245	18,666	76,161	59,364	32,000	18,531	14,153	11,092	294,87	S
ES0511100115	1976	34,453	38,392	364,793	429,153	391,151	150,736	89,466	59,049	39,541	26,622	19,752	16,096	1,659,26	H
ES0511100115	1977	14,941	14,943	52,386	108,051	207,786	188,993	177,951	230,375	103,143	61,646	40,871	27,966	1,229,05	H
ES0511100115	1978	20,085	16,063	44,586	181,494	437,519	259,933	175,037	98,642	60,148	39,228	27,471	21,581	1,381,79	H
ES0511100115	1979	35,300	32,693	31,682	31,596	46,003	67,341	49,580	86,876	46,185	28,755	19,619	13,475	489,11	S
ES0511100115	1980	11,205	11,550	29,164	17,797	14,780	19,983	48,063	25,553	15,976	10,397	9,274	6,549	220,29	S
ES0511100115	1981	5,312	4,965	224,426	142,498	122,100	65,135	59,278	39,680	25,616	17,762	13,534	9,900	730,21	M
ES0511100115	1982	9,322	131,694	87,662	42,484	34,057	37,925	32,792	22,197	14,360	11,395	9,264	6,832	439,98	S
ES0511100115	1983	5,831	70,077	135,969	103,638	72,556	259,202	176,984	348,395	104,459	63,789	40,902	27,850	1,409,65	H
ES0511100115	1984	20,247	130,365	58,300	118,618	259,134	144,105	101,816	100,509	57,797	38,109	25,965	18,727	1,073,69	H
ES0511100115	1985	15,157	24,094	40,454	151,401	426,672	142,860	228,377	94,988	58,841	39,252	26,064	20,211	1,268,37	H
ES0511100115	1986	24,087	15,100	11,436	72,874	170,973	64,878	52,551	32,977	21,230	15,230	11,863	9,601	502,80	S
ES0511100115	1987	10,090	18,583	74,329	107,841	62,465	40,266	57,572	47,613	36,893	23,849	15,021	10,717	505,24	S
ES0511100115	1988	8,619	8,877	6,812	5,064	22,905	45,861	33,814	46,493	25,999	16,179	12,070	14,783	247,48	S
ES0511100115	1989	9,390	48,082	155,095	80,073	42,742	36,893	64,036	31,890	18,948	13,502	11,597	9,778	522,03	S
ES0511100115	1990	12,905	18,771	21,593	22,560	68,689	120,656	58,611	33,373	21,993	15,344	11,368	7,936	413,79	S
ES0511100115	1991	6,870	7,488	7,189	9,241	32,418	37,932	32,004	22,576	42,262	18,253	12,351	9,364	237,95	S
ES0511100115	1992	13,898	10,931	10,718	9,878	21,039	9,905	17,142	18,918	12,246	9,048	6,766	4,784	145,27	S
ES0511100115	1993	7,996	7,746	5,300	19,363	59,371	27,390	23,494	17,765	11,748	7,881	6,723	3,423	198,20	S
ES0511100115	1994	5,233	4,444	4,189	4,766	6,118	11,756	9,404	5,776	4,549	3,046	2,318	1,316	62,92	S
ES0511100115	1995	0,879	0,949	160,258	334,386	260,167	174,668	114,192	118,476	61,965	39,578	26,040	20,449	1,312,01	H
ES0511100115	1996	16,361	38,898	291,837	440,416	120,425	74,253	83,970	59,859	39,756	26,497	18,893	35,311	1,246,48	H
ES0511100115	1997	12,698	155,446	325,930	109,490	96,102	66,134	65,612	104,357	53,419	34,915	23,125	18,010	1,065,24	H
ES0511100115	1998	12,935	10,552	11,759	17,315	24,267	53,080	31,508	20,869	14,443	10,040	7,312	5,795	219,88	S
ES0511100115	1999	25,522	19,436	64,712	34,132	23,076	15,803	60,078	53,986	30,296	17,764	11,330	7,263	363,40	S
ES0511100115	2000	15,145	22,540	148,085	236,303	149,086	214,367	89,307	65,495	41,988	27,226	19,617	13,777	1,042,94	H
ES0511100115	2001	19,088	15,806	24,237	22,048	17,049	39,969	71,387	39,772	24,771	15,292	11,246	7,005	307,67	S
ES0511100115	2002	7,633	30,549	55,579	154,270	236,881	129,322	81,681	58,260	38,433	26,089	18,493	12,336	849,53	M
ES0511100115	2003	28,835	36,689	45,263	69,607	81,197	133,465	127,866	157,419	72,628	45,203	29,275	20,640	848,09	M
ES0511100115	2004	14,975	11,933	10,837	9,899	16,608	22,085	14,997	10,929	7,330	5,598	4,468	4,403	133,15	S
ES0511100115	2005	4,559	4,517	22,312	31,996	83									



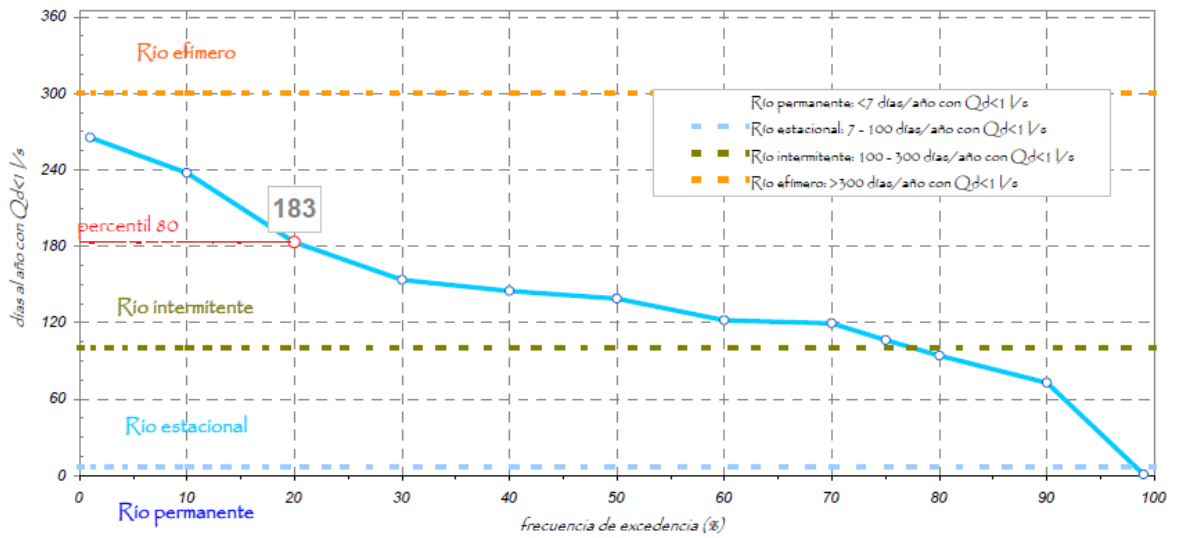
10.4. APÉNDICE 4: CLASIFICACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA

GUADIANA

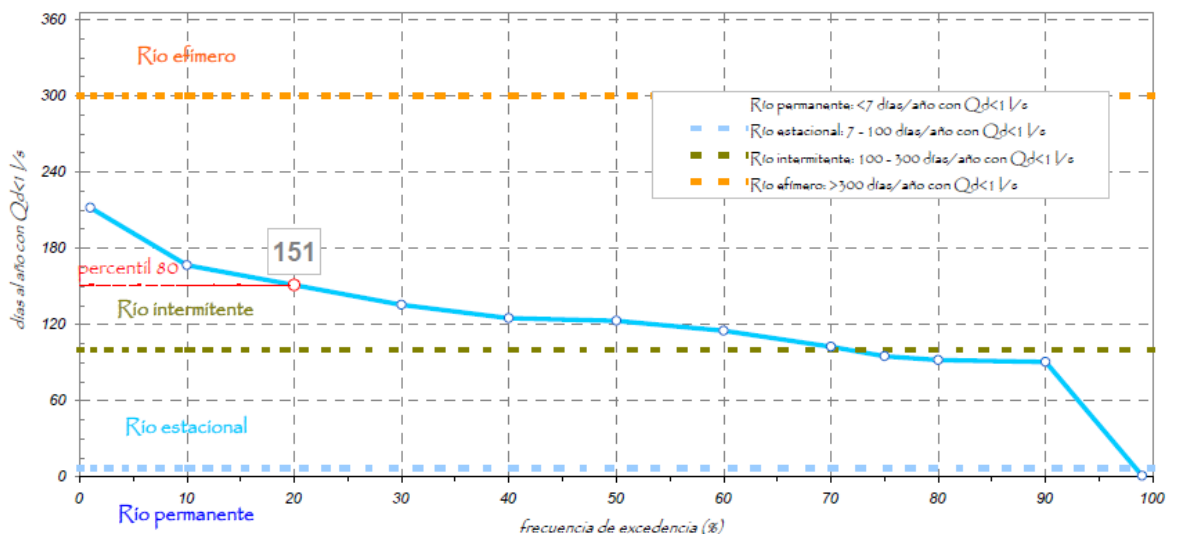




12024 Río Guadamatilla II 183 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Intermitente

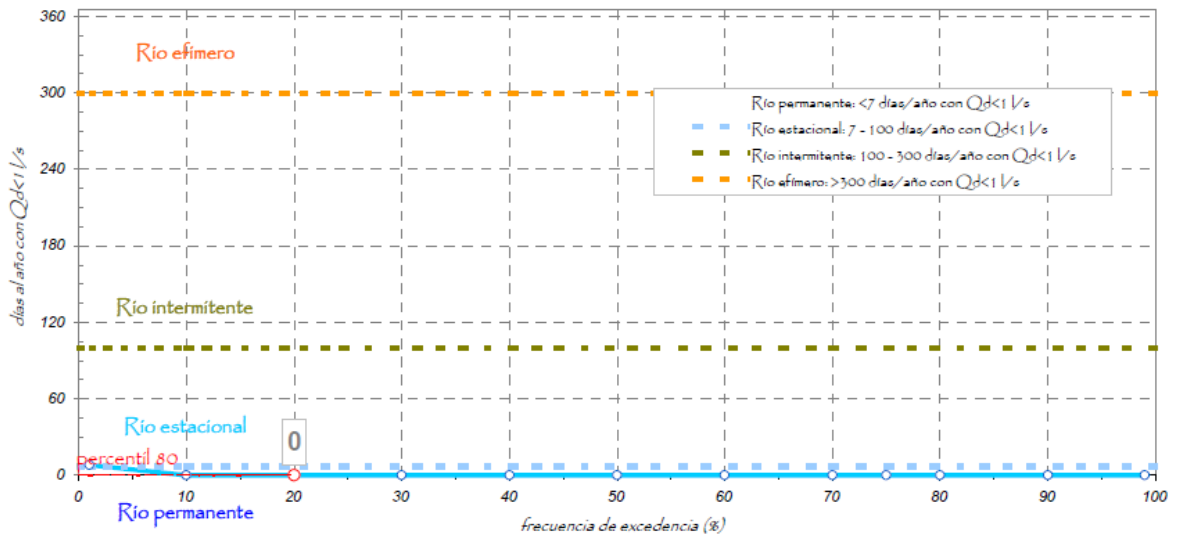


12027 Río Olivenza II 151 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Intermitente

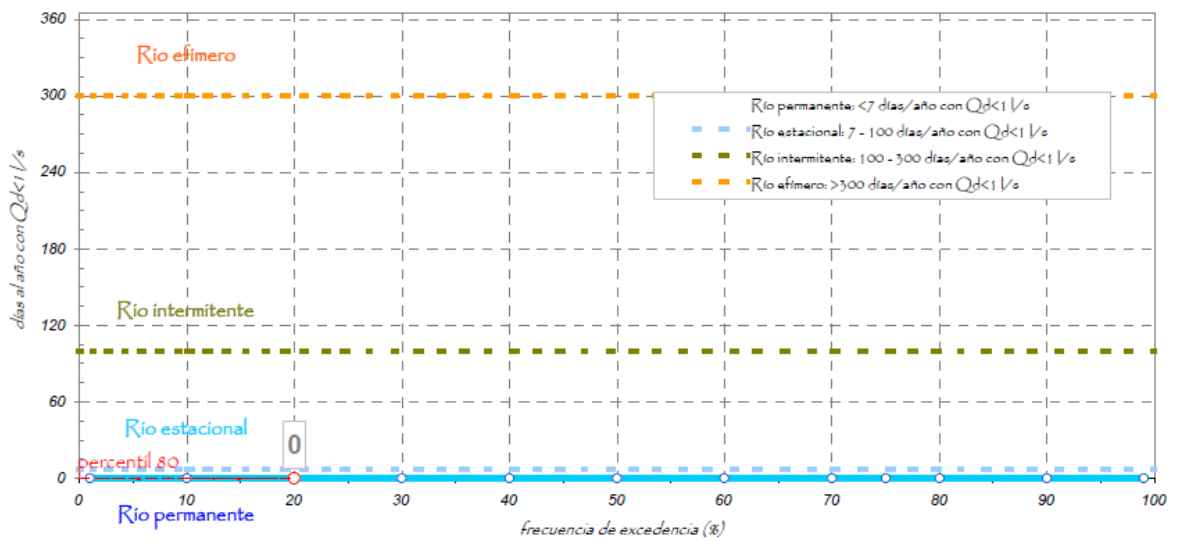




13353 Rio Guadiana IV o días/año con $Q_d < 1$ l/s Permanente



13354 Rio Guadiana VI o días/año con $Q_d < 1$ l/s Permanente





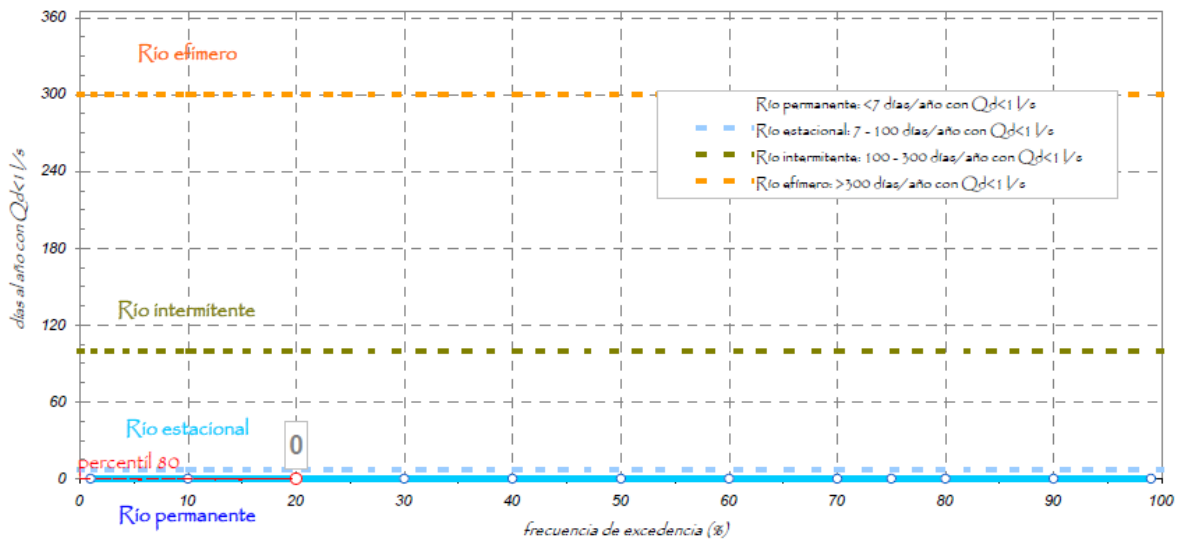
13355

Río Guadiana V

0

días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$

Permanente



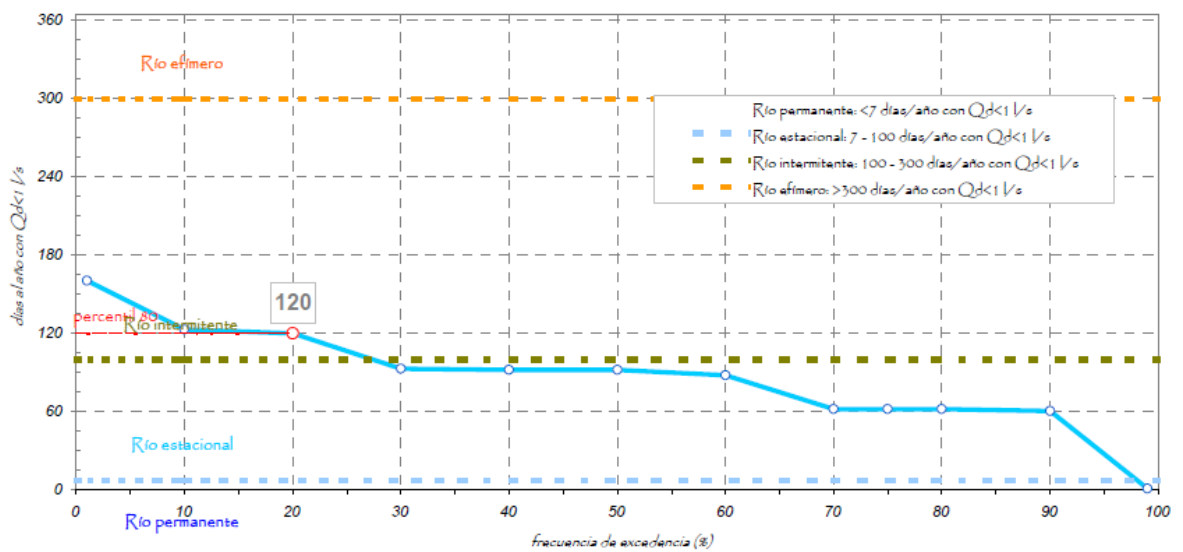
13387

Rivera de los Limonetes

120

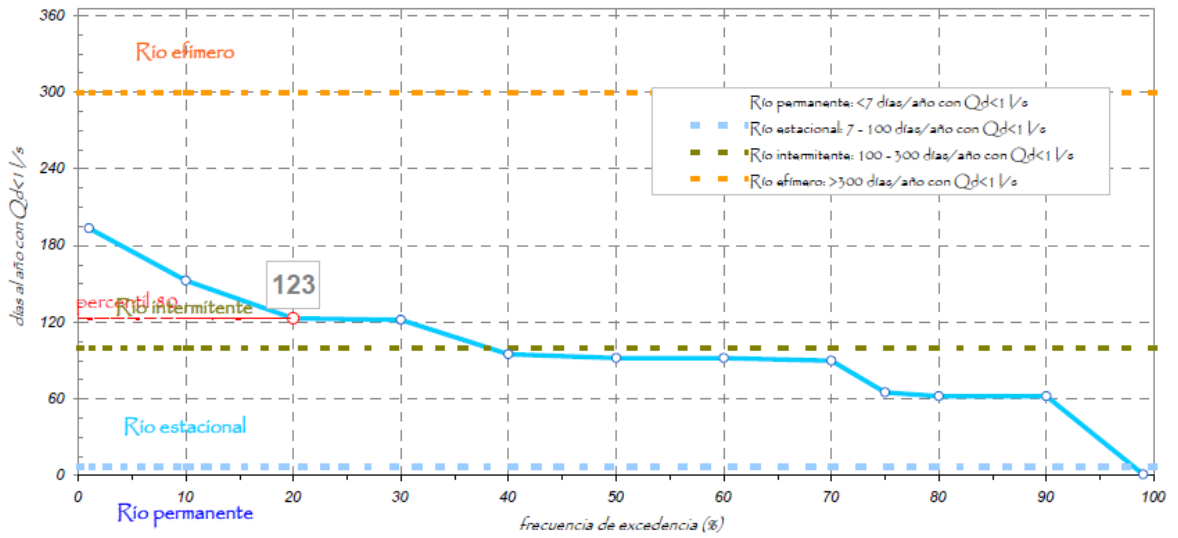
días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$

Intermitente

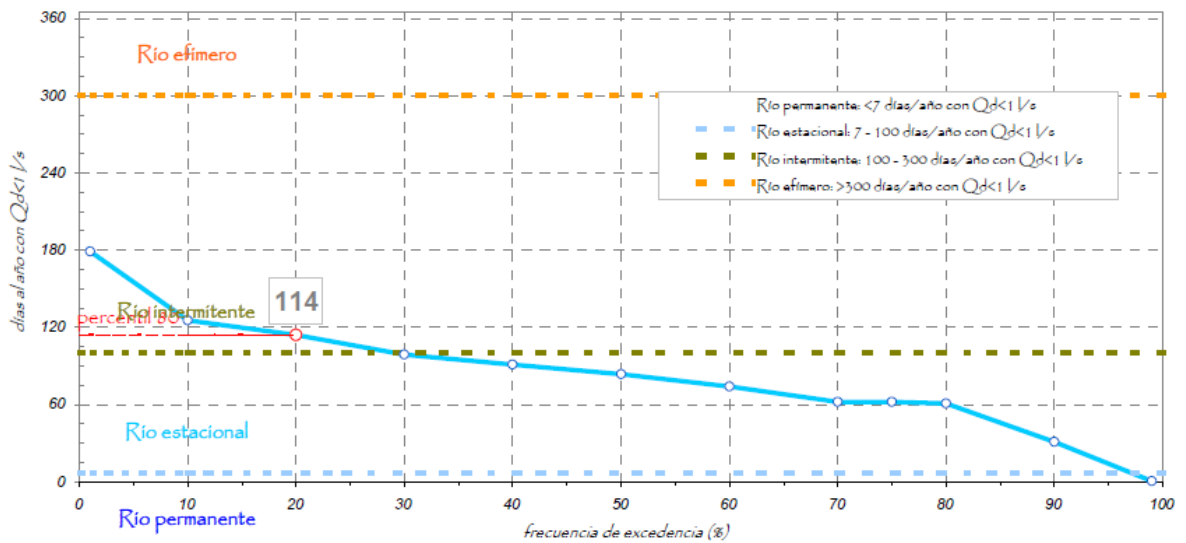




13393 Rio Guadajira 123 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Intermitente

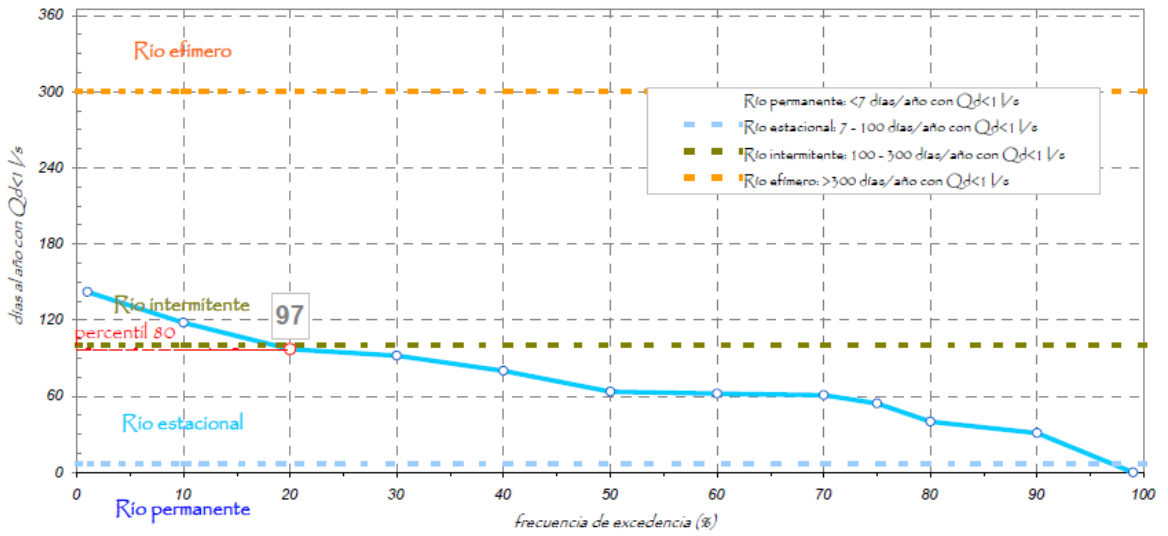


13397 Rio Matachel II 114 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Intermitente

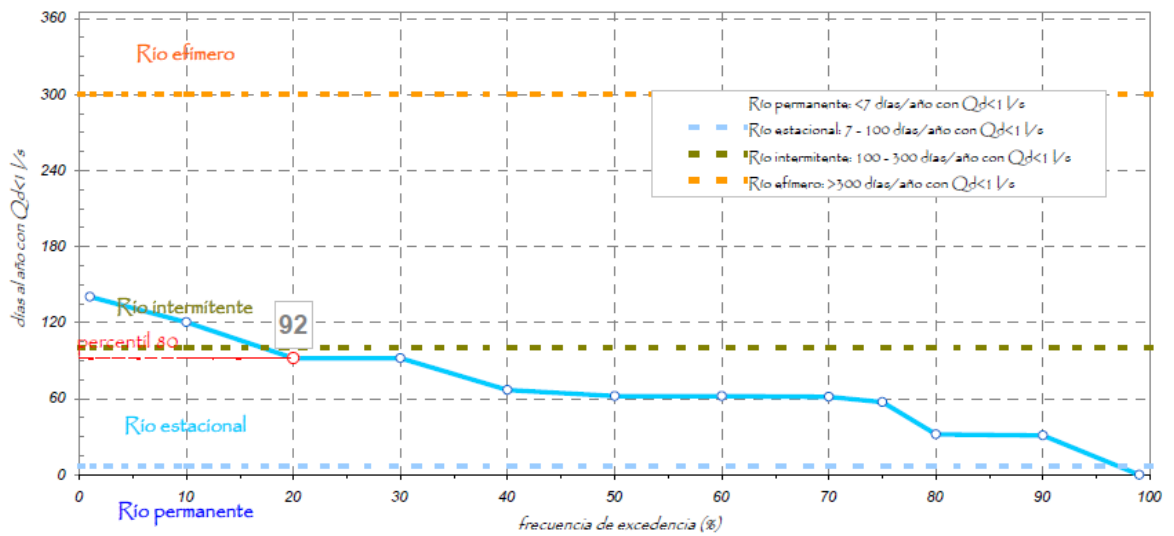




13398 Rio Matachel III 97 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Estacional

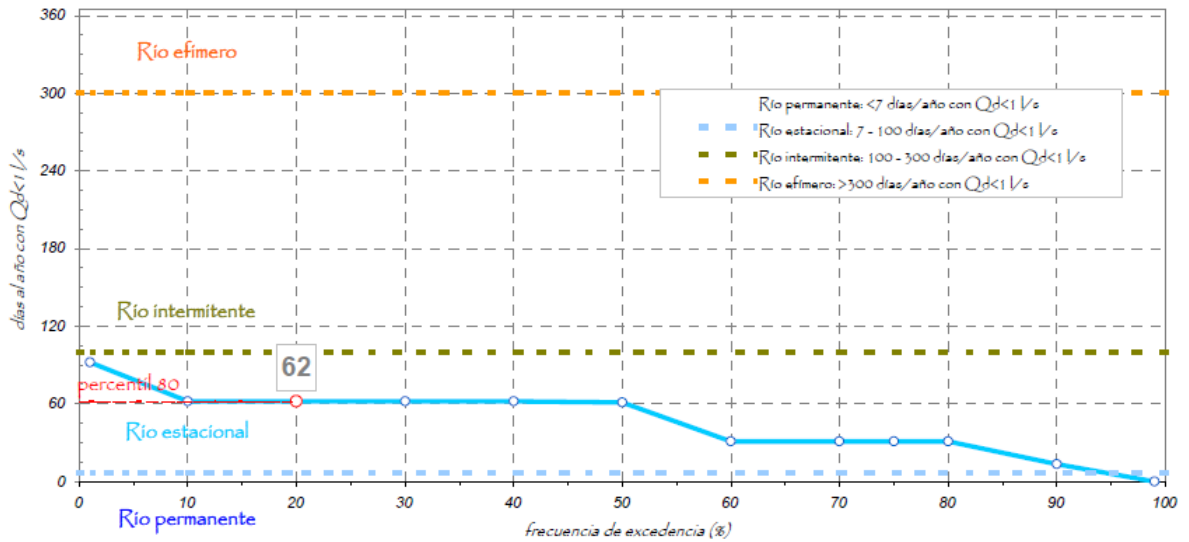


13408 Rio Búrdalo 92 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Estacional

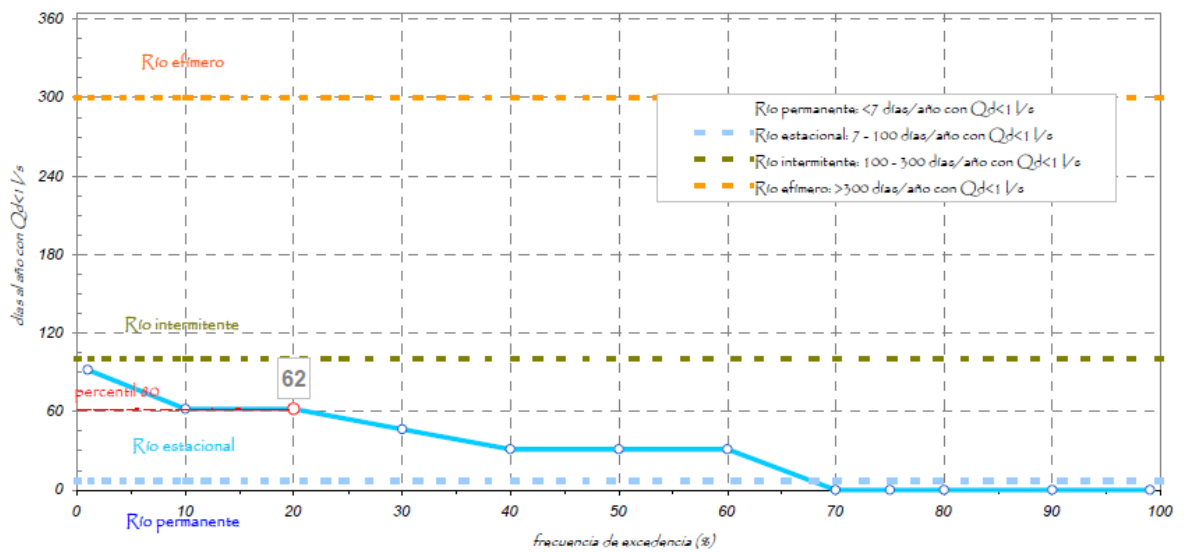




13414 Río Ruecas IV 62 días/año con $Q_d < 1 \text{ l/s}$ Estacional

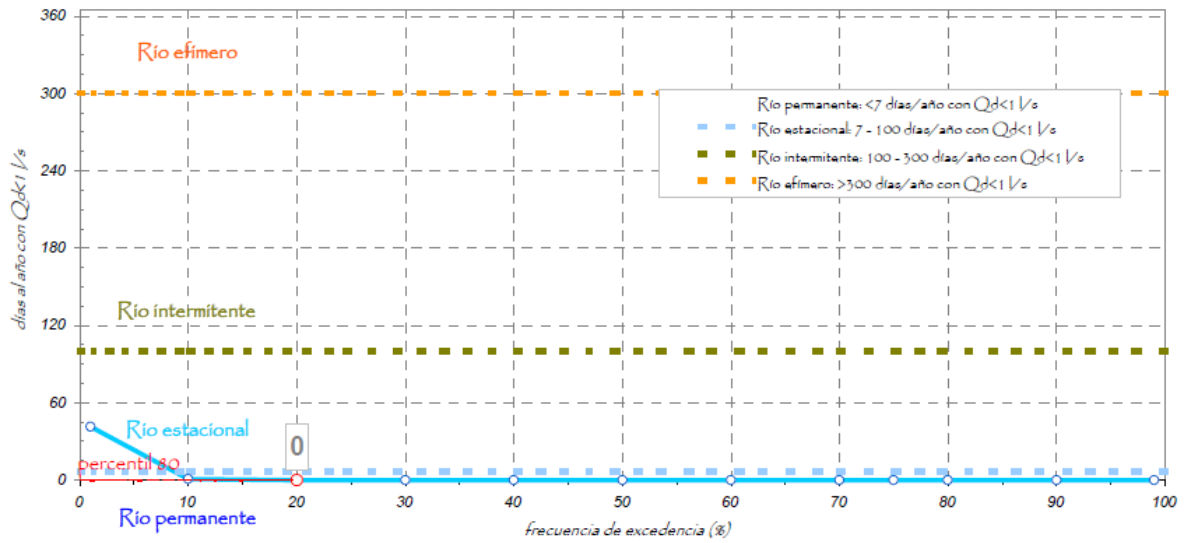


13423 Río Zújar II 62 días/año con $Q_d < 1 \text{ l/s}$ Estacional

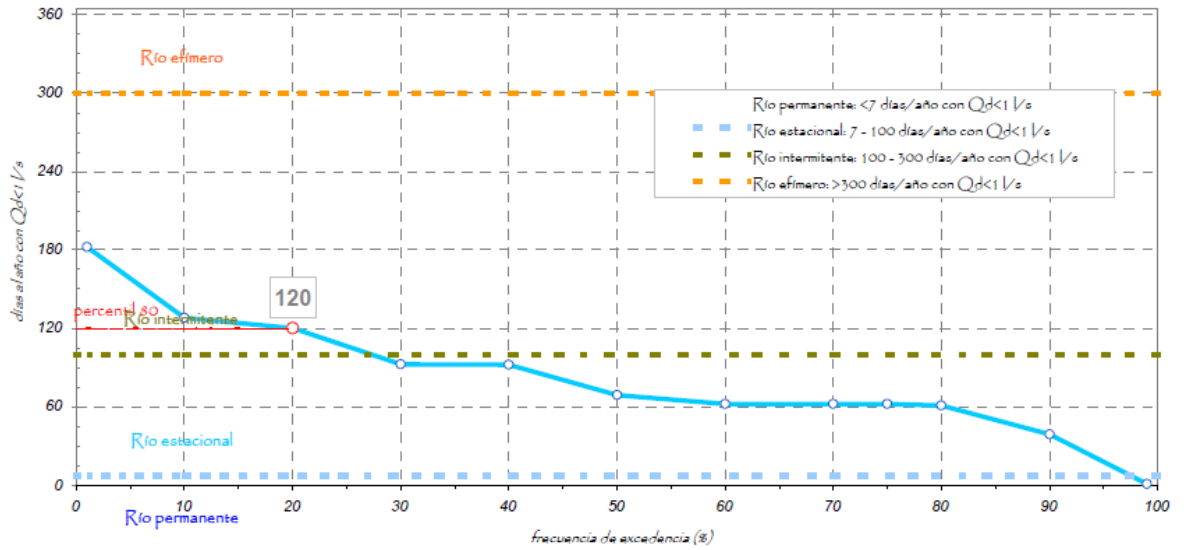




13450 Río Bullaque 0 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Permanente

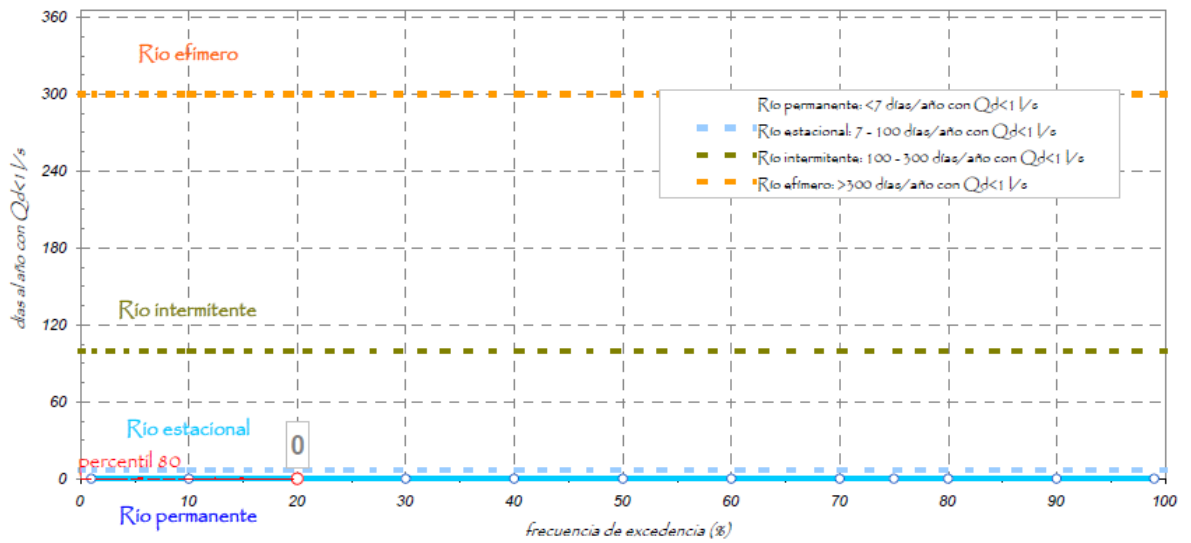


13463 Río Jabalón III 120 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Intermitente

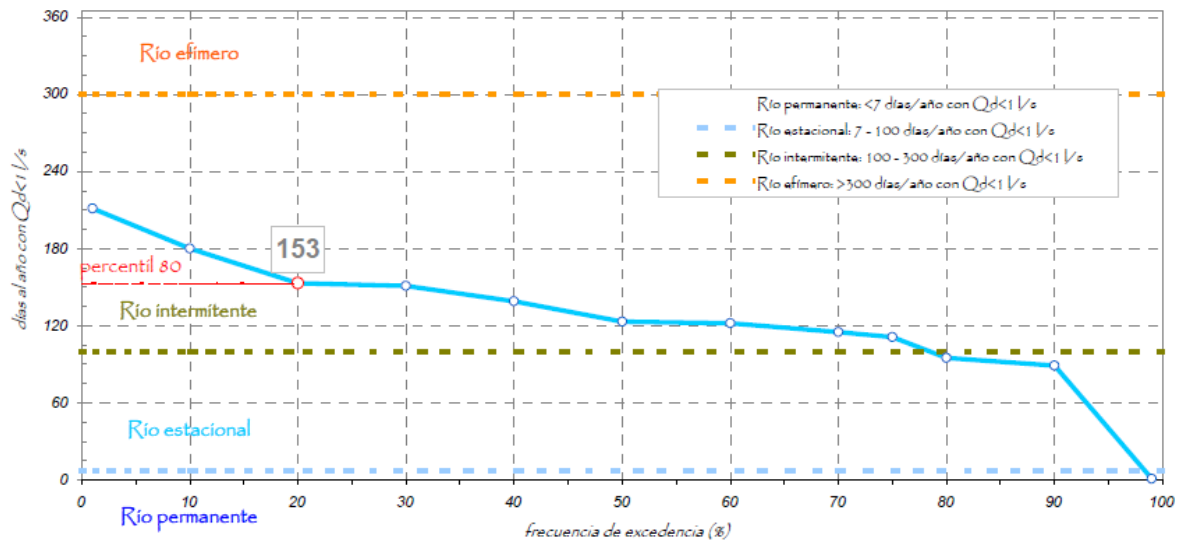




13218 Río Guadiana VII 0 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Permanente

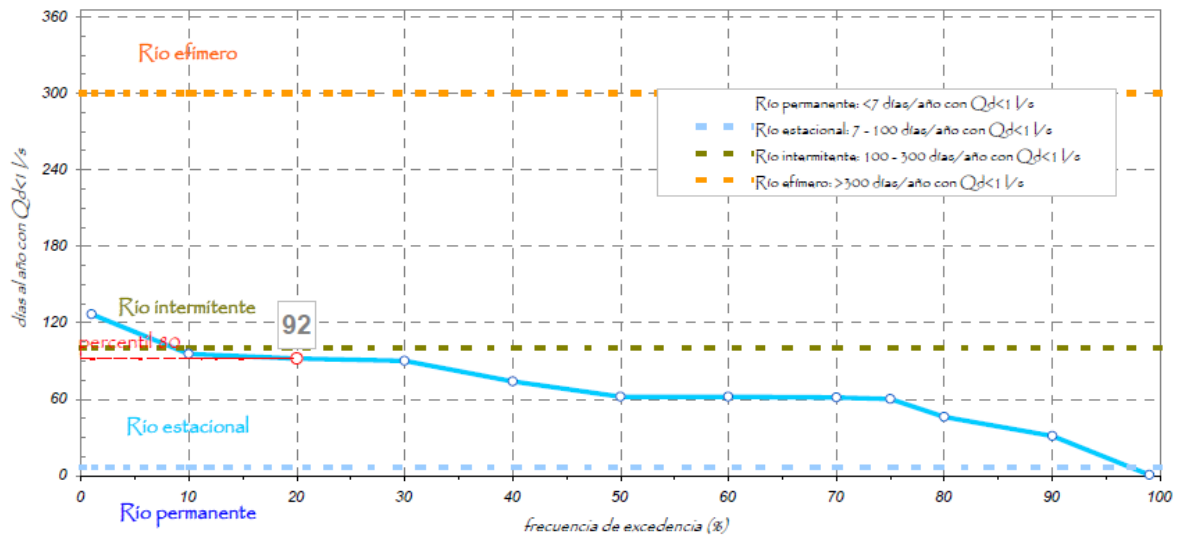


13366 Río Alcarache II 153 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Intermitente



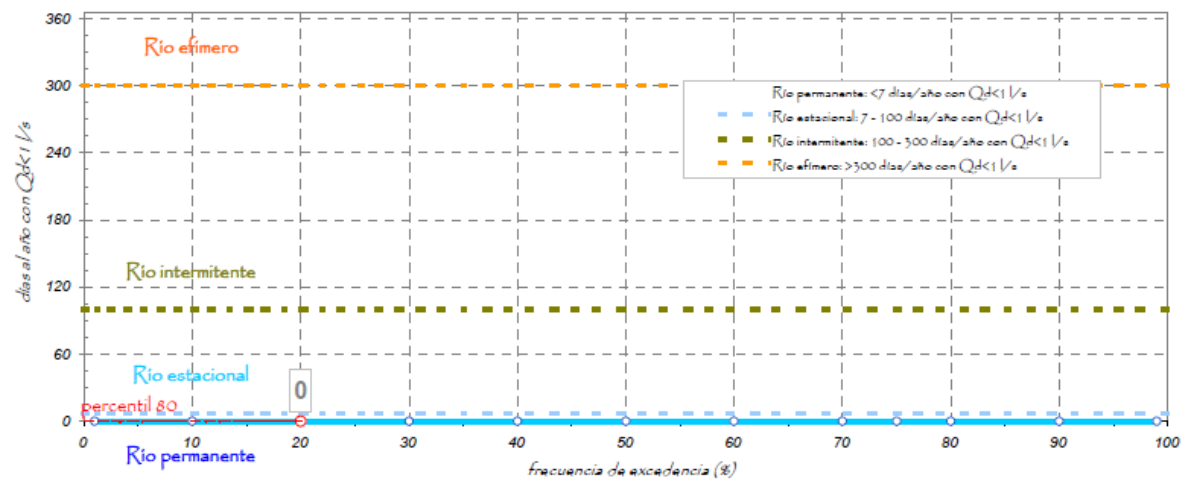


13359 Río Ardila II 92 días/año con $Q_d < 1 \text{ l/s}$ Estacional



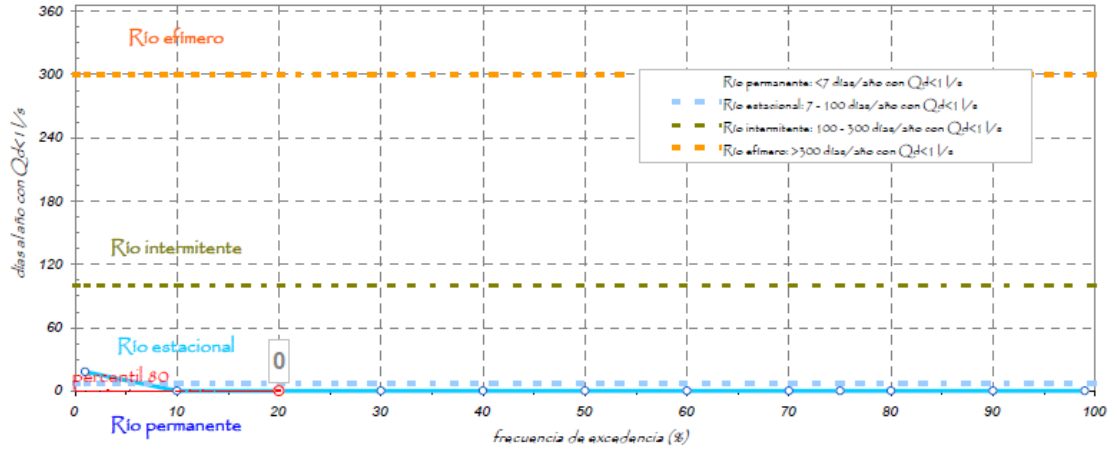
GUADALQUIVIR

ES0511002001 Tramo bajo del río Guadamar y afluentes por su margen derecha 0 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Permanente

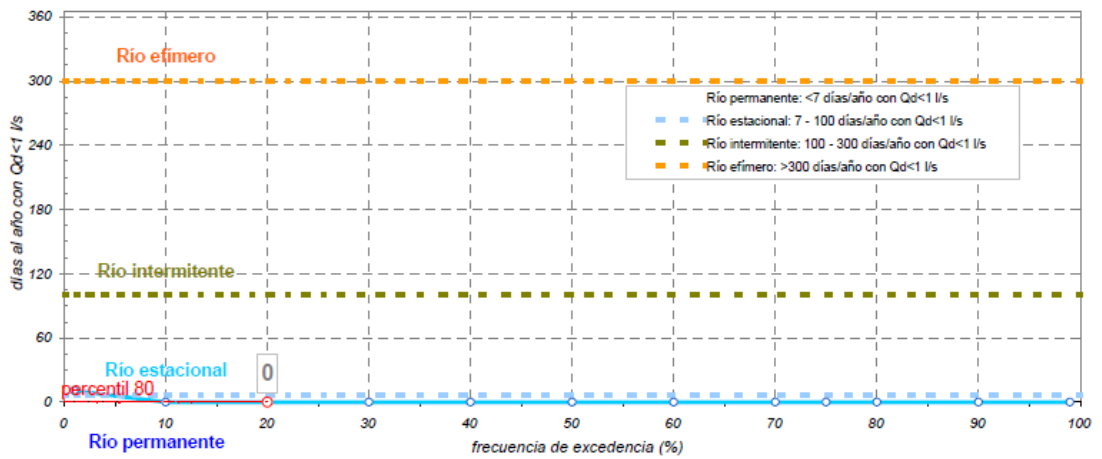




ES0511002008 **Río Corbones aguas abajo del arroyo Salado de Jarda hasta la desembocadura** o días/año con $Q < 1$ l/s Permanente



ES0511007022 **Río Guadalbullón desde las Infantas hasta el embalse de Mengíbar** o días/año con $Q < 1$ l/s Permanente



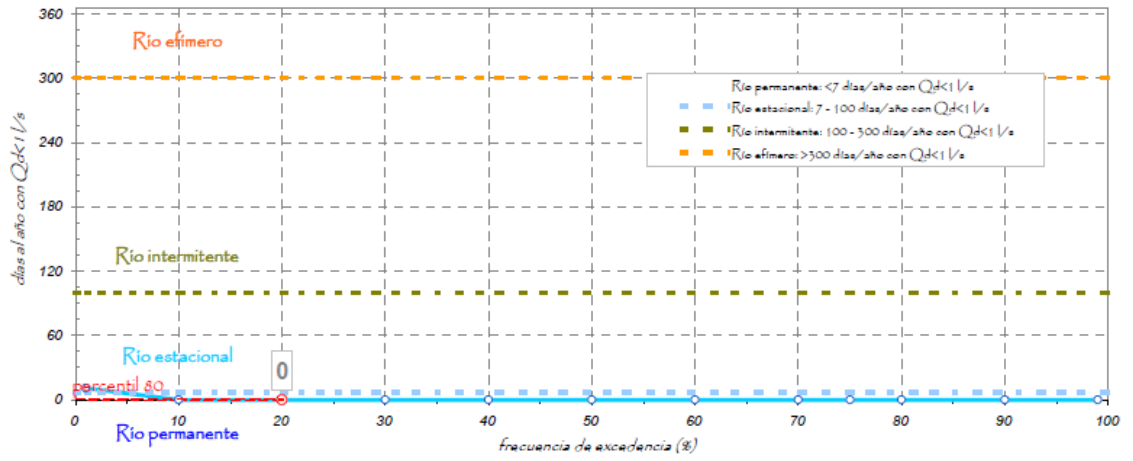


ES0511014002

Tramo bajo del río Guadajoz

o días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$

Permanente

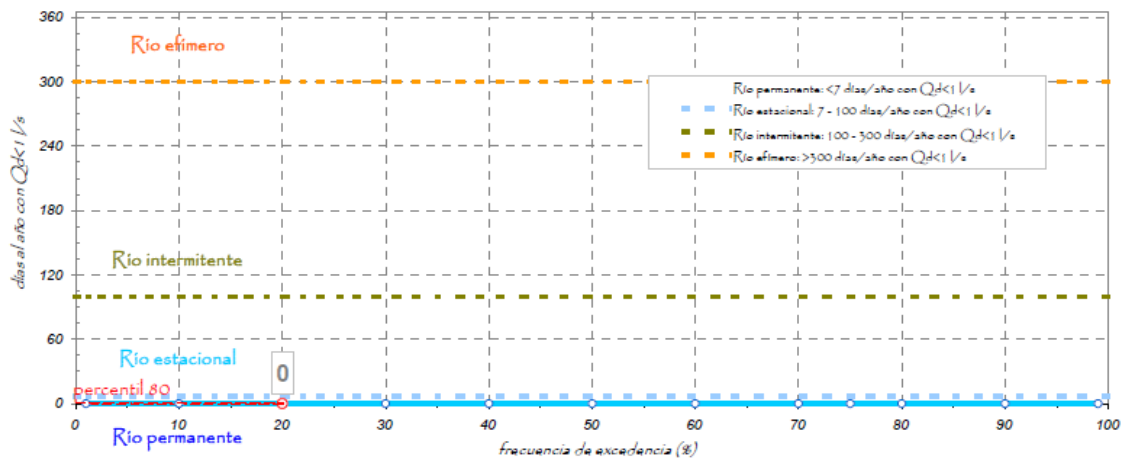


ES051100063

Río Viar aguas abajo de la presa de Melonares

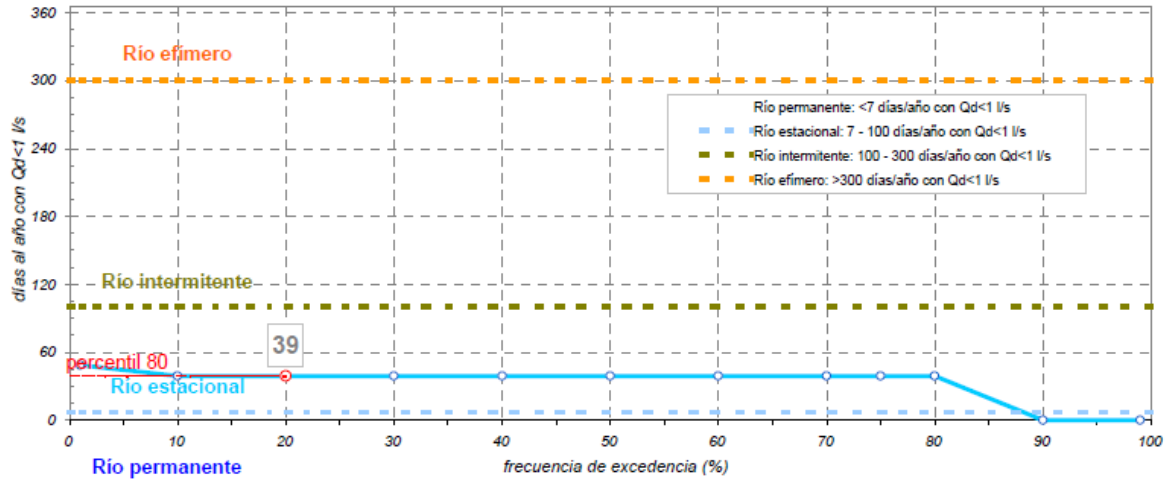
días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$

Permanente

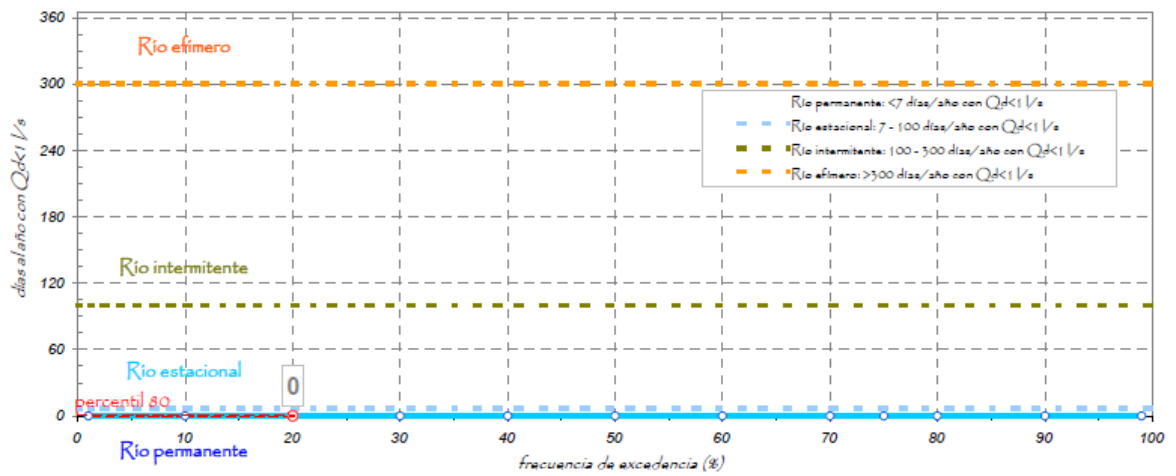




ES051100070 Río Jándula aguas abajo de la Loma de las Buenas Hierbas 39 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Estacional

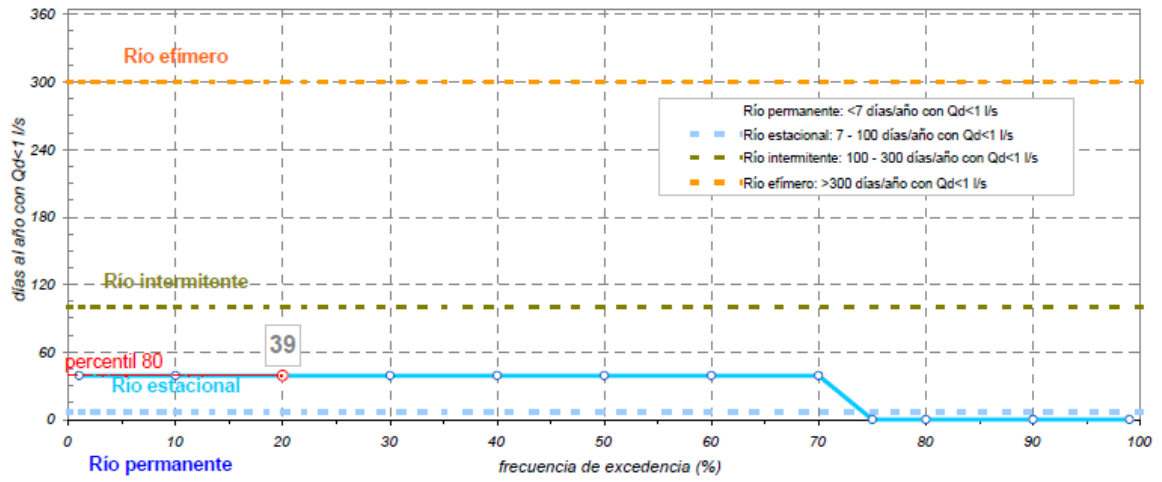


ES051100076 Río Genil aguas abajo del embalse de la Cordobilla 0 días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Permanente

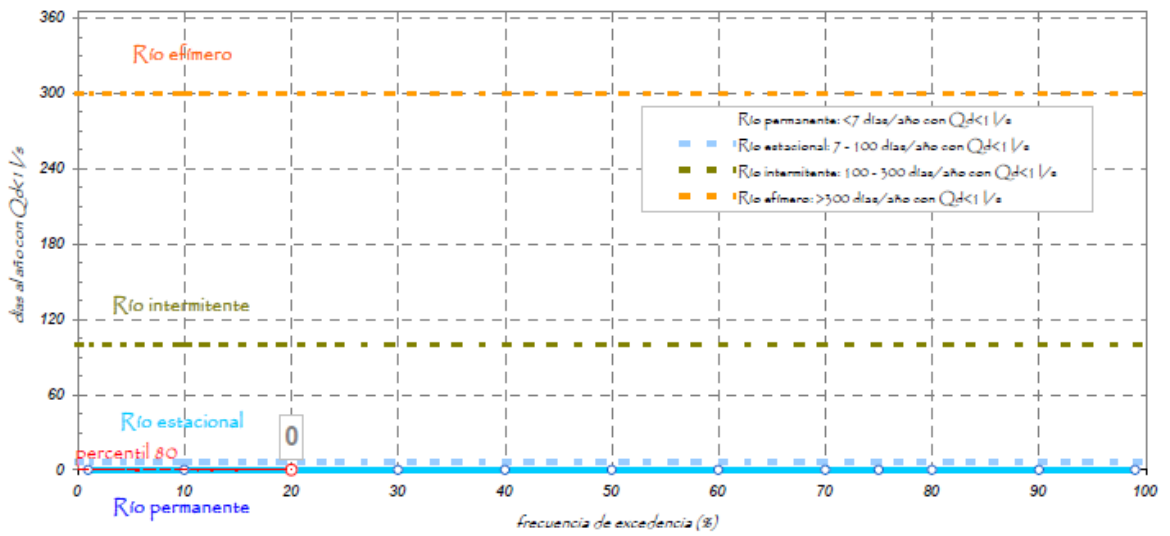




ES051100079 Río Guadalimar desde el arroyo de Fuente Álamo hasta el embalse de Mengíbar 39 días/año con $Q < 1$ l/s Estacional



ES051100083 Río Guadiana Menor aguas abajo del río Fardes 0 días/año con $Q < 1$ l/s Permanente



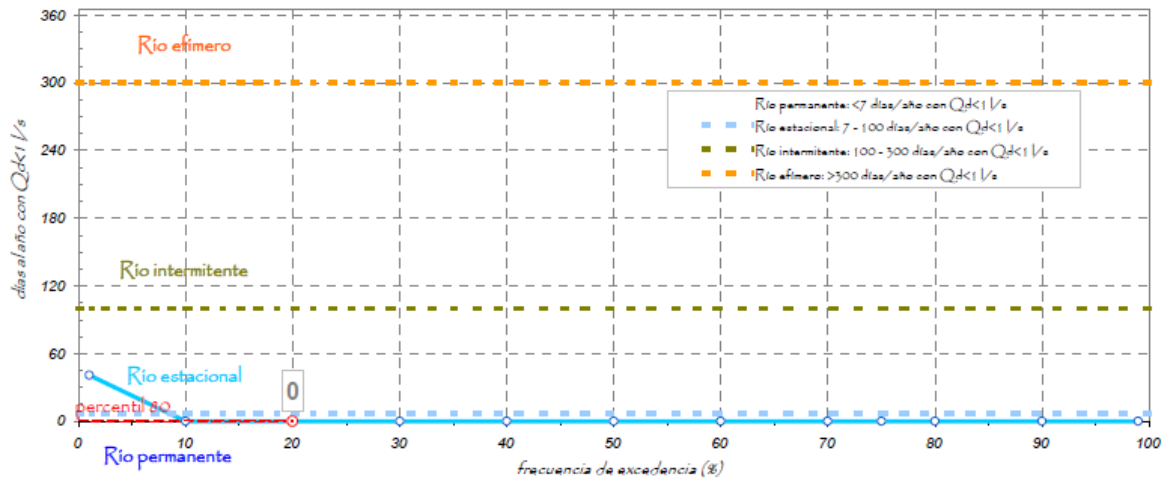


ES051100107

Río Castril aguas abajo de la presa del Portillo

o días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$

Permanente

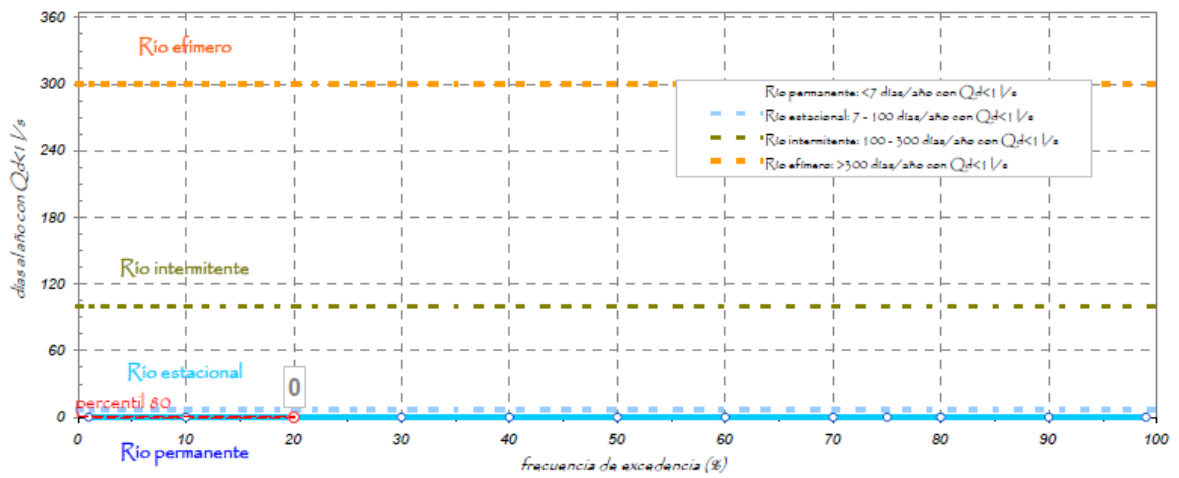


ES051100110

Río Guadalquivir aguas abajo del río Guadajoz hasta el río Genil

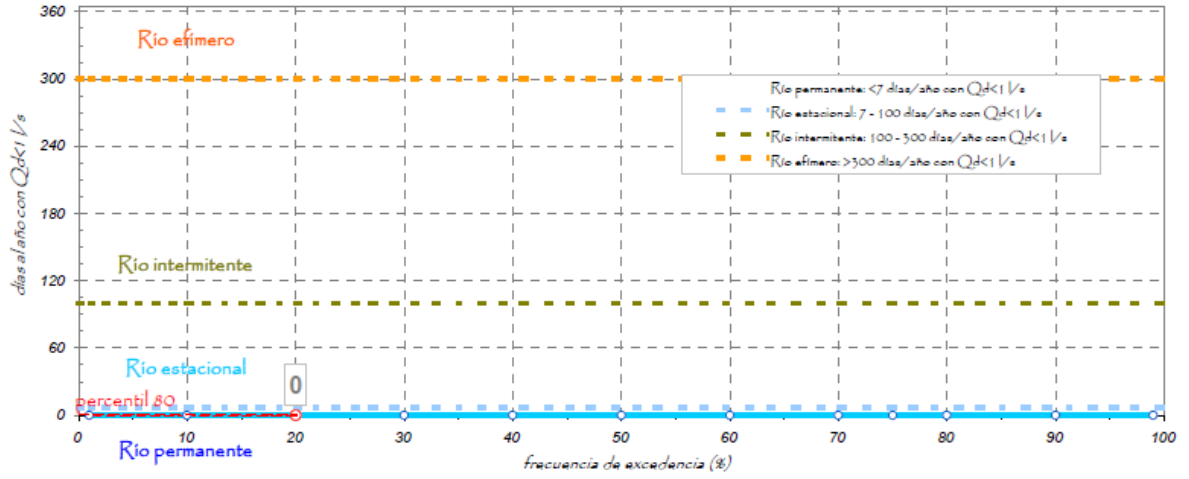
o días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$

Permanente





ES051100015 Río Guadalquivir desde la presa de Pedro Marín hasta Sotogordo o días/año con $Q < 1 \text{ l/s}$ Permanente





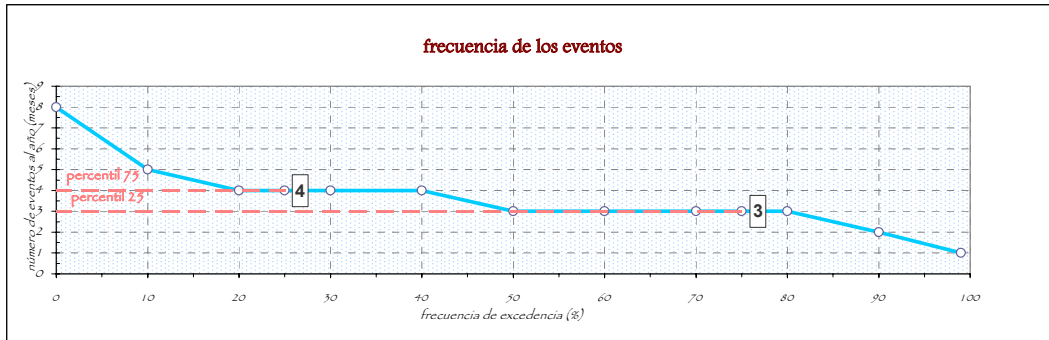
10.5. APÉNDICE 5: CARACTERIZACIÓN DEL CESE DE CAUDAL

CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **12010**
RIO LAGARA

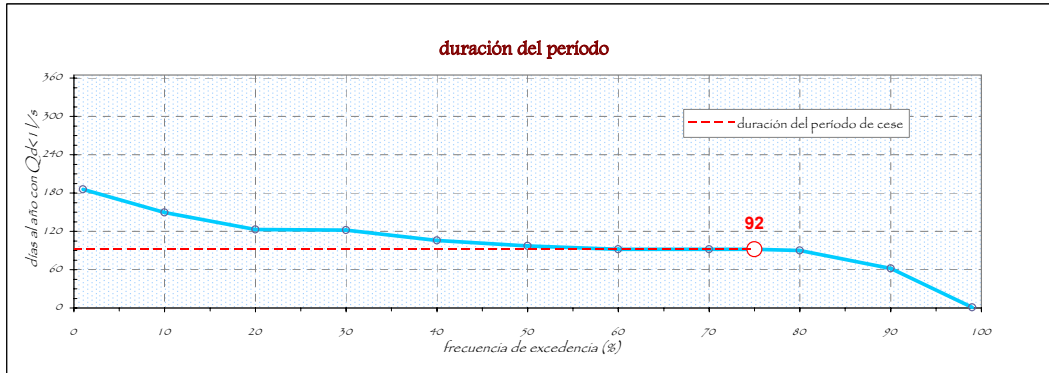
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 3 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 4 MESES AL AÑO

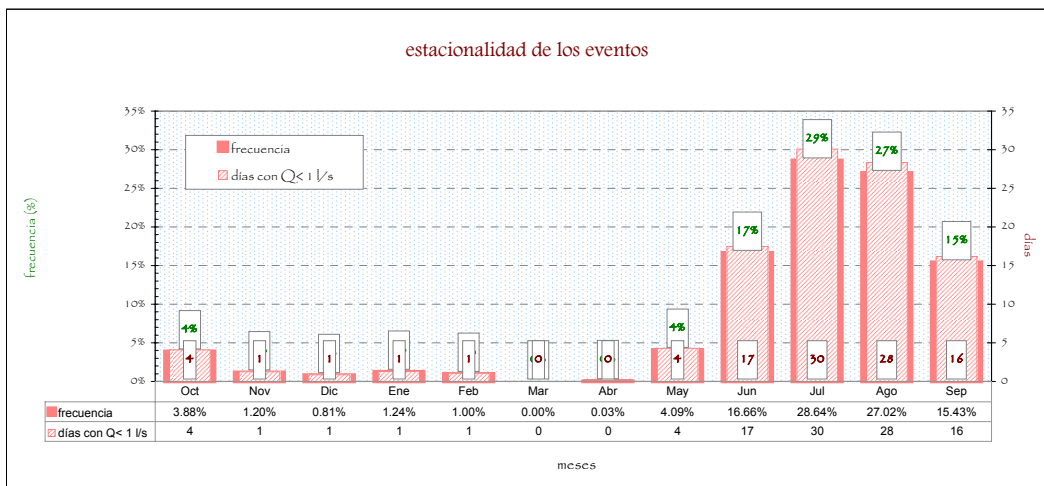


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 92 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

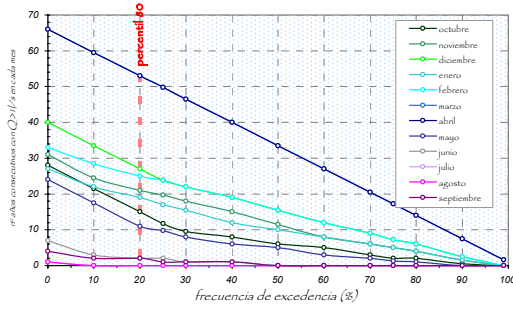




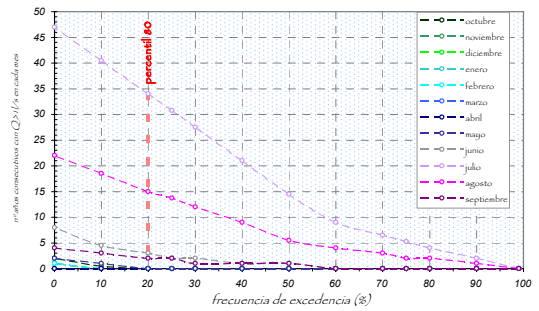
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA 12010
RIO LAGARA

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

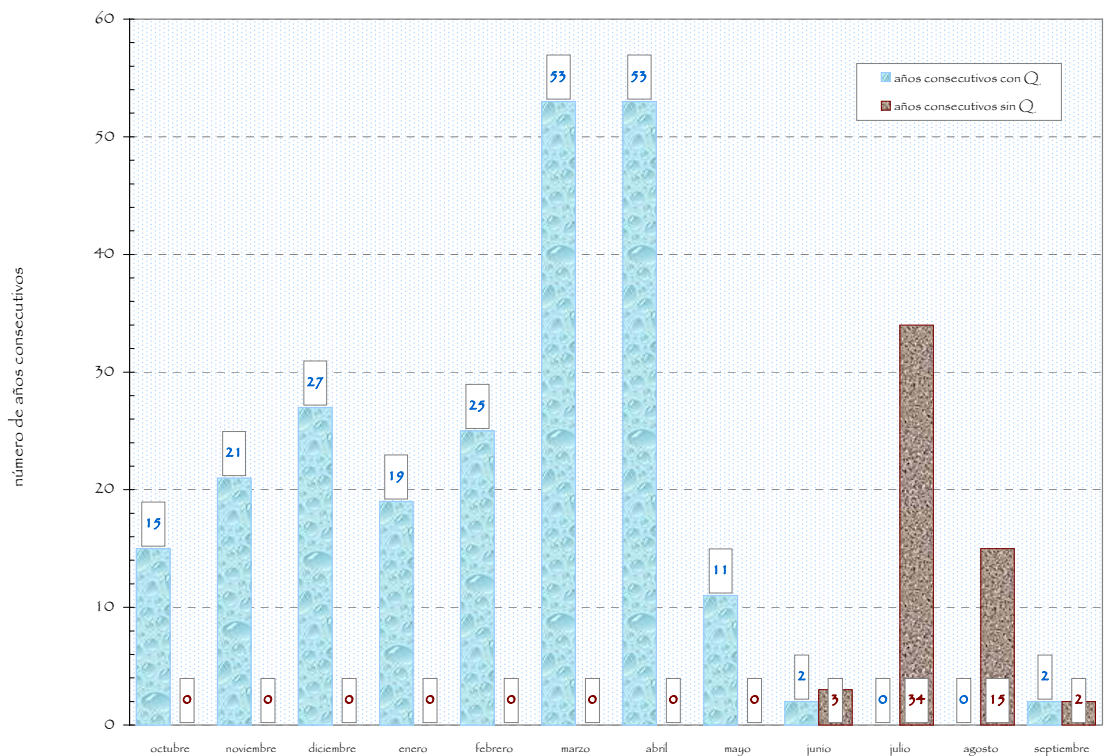


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q _c	15	21	27	19	25	53	53	11	2	0	0	2
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q _c	0	0	0	0	0	0	0	0	3	34	15	2

meses

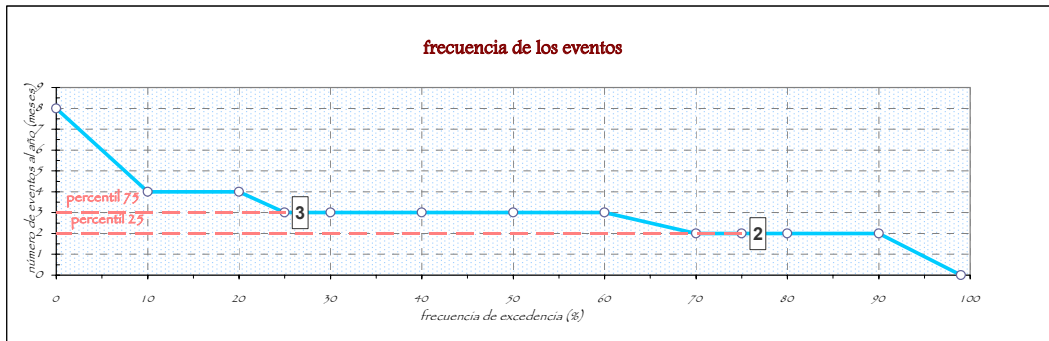


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **12013**
RIO ZAPATÓN II

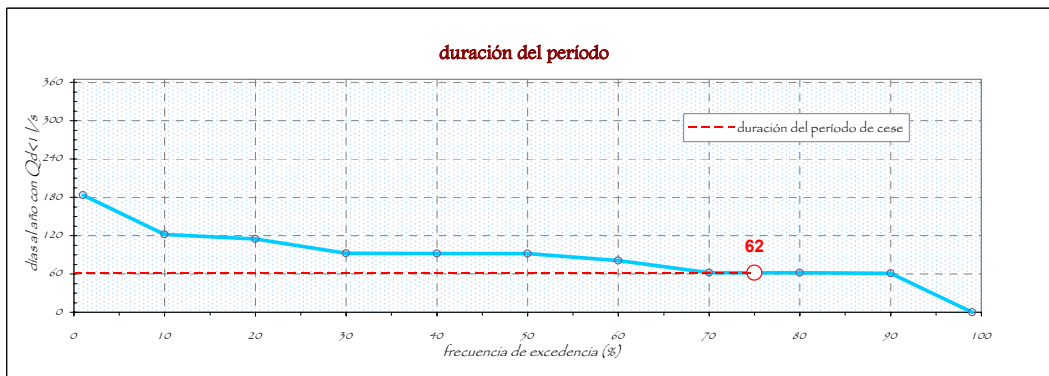
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 2 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 3 MESES AL AÑO

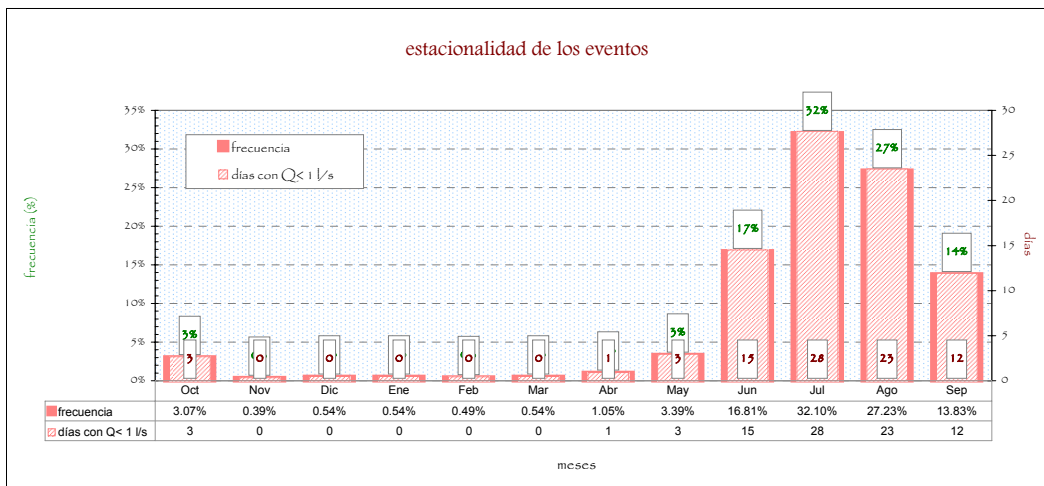


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 62 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

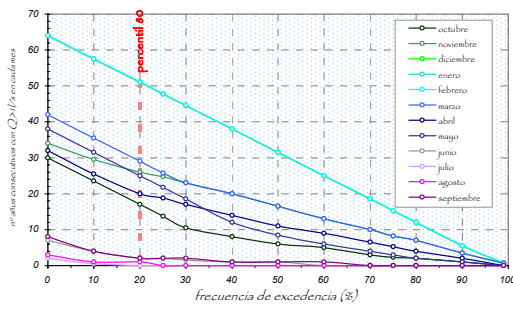




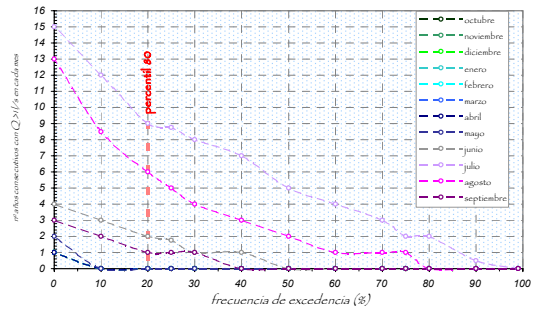
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **12013**
RIO ZAPATÓN II

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

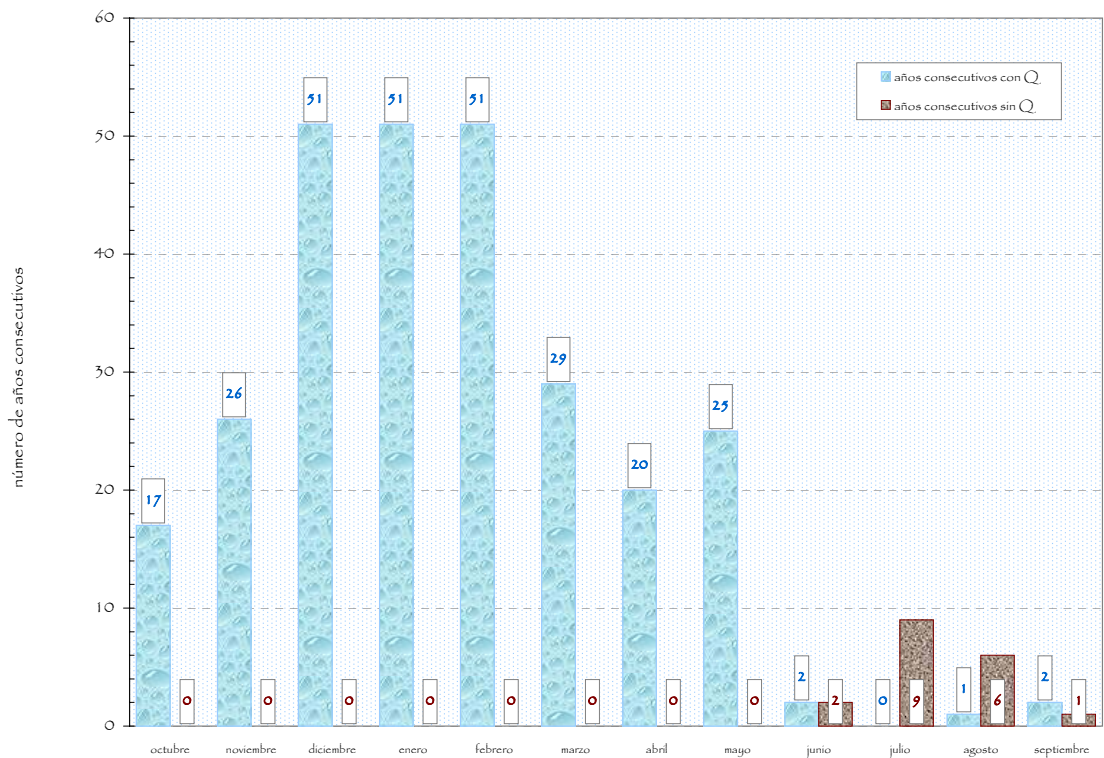


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	17	26	51	51	51	29	20	25	2	0	1	2
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9	6	1

meses

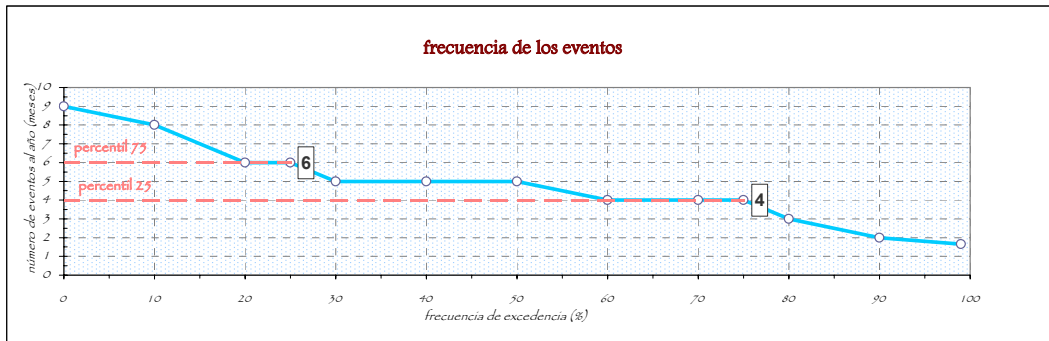


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **12024**
RIO GUADAMATILLA II

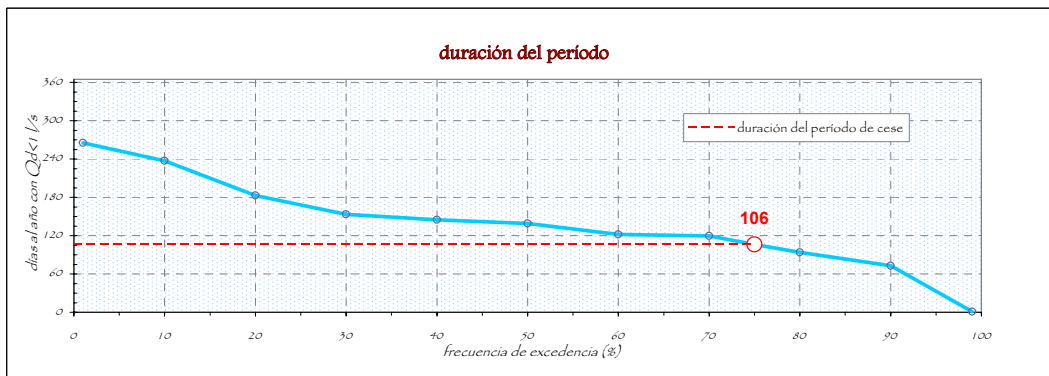
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 4 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 6 MESES AL AÑO

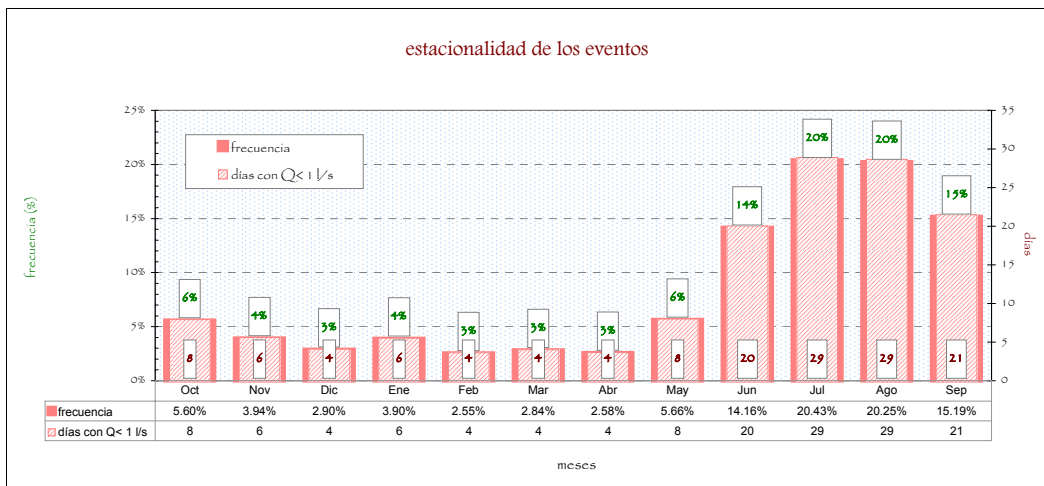


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 106,3 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

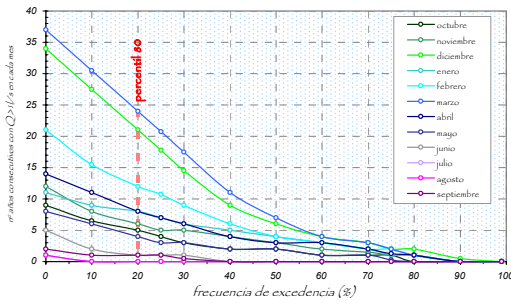




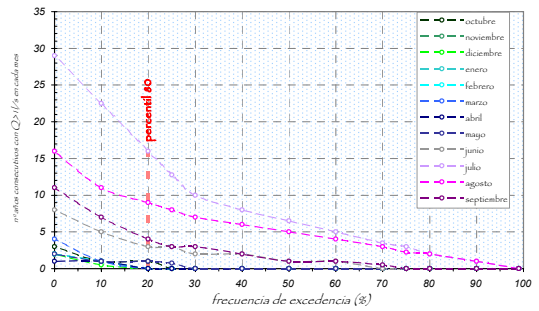
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **12024**
RIO GUADAMATILLA II

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

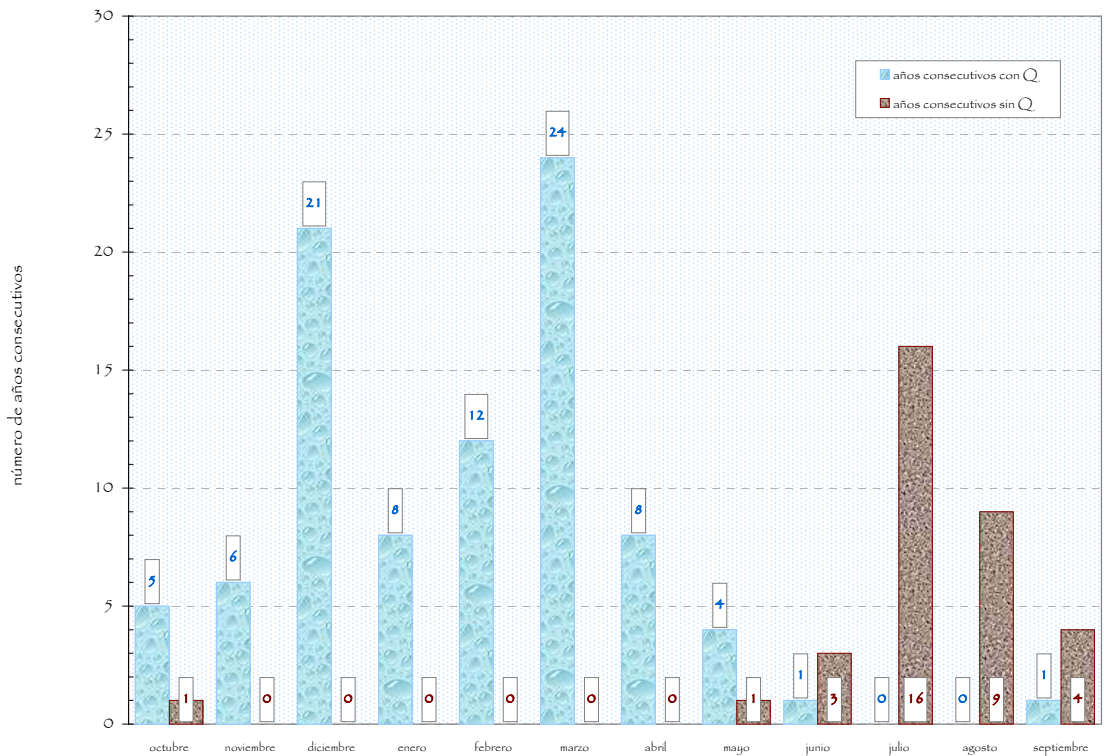


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	5	6	21	8	12	24	8	4	1	0	0	1
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	1	0	0	0	0	0	0	1	3	16	9	4

meses

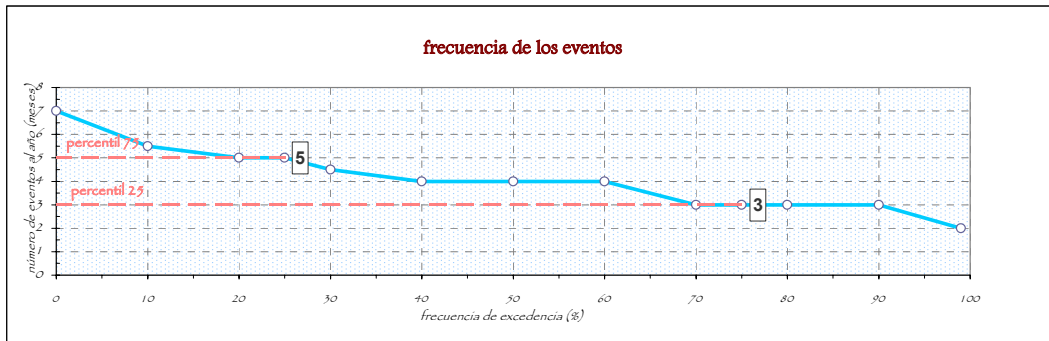


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **12027**
RIO OLIVENZA II

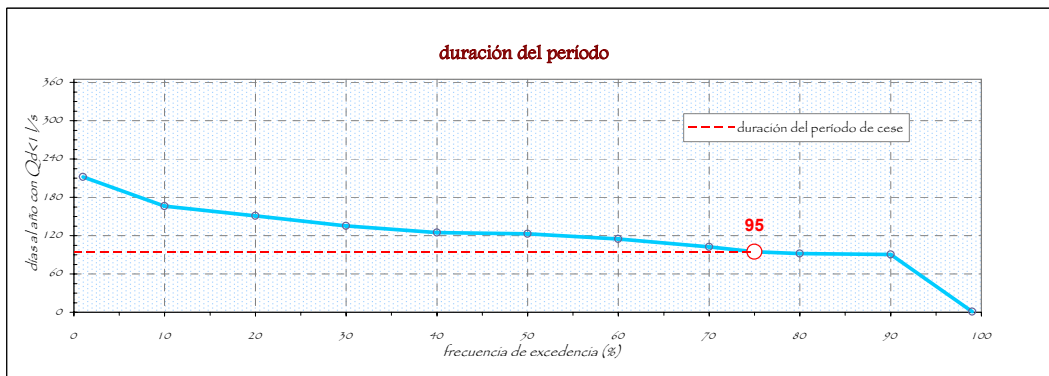
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 3 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 5 MESES AL AÑO

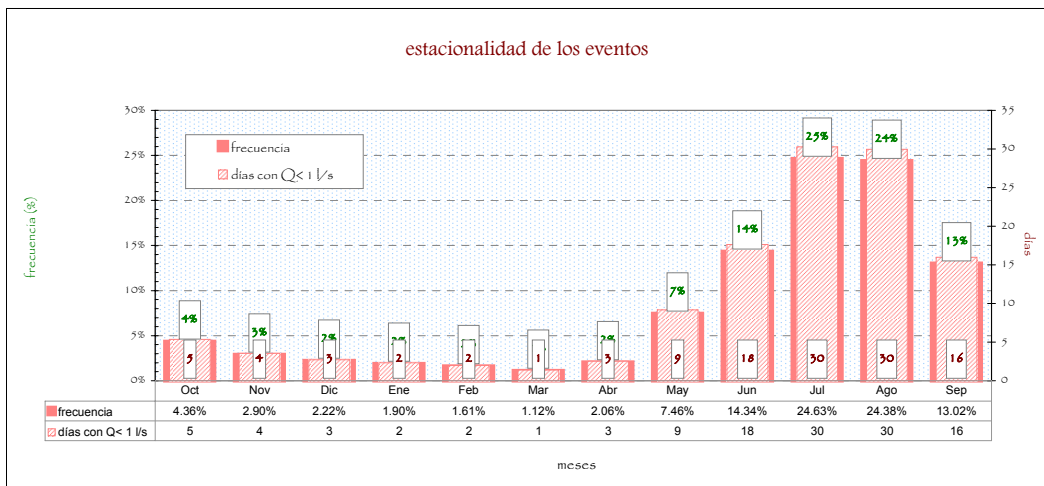


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 95 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

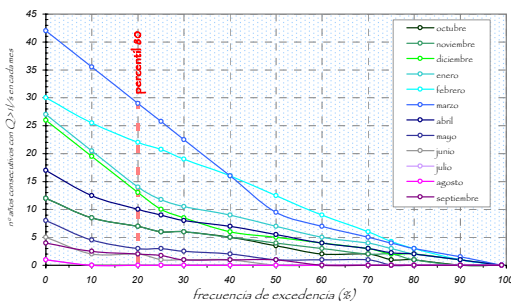




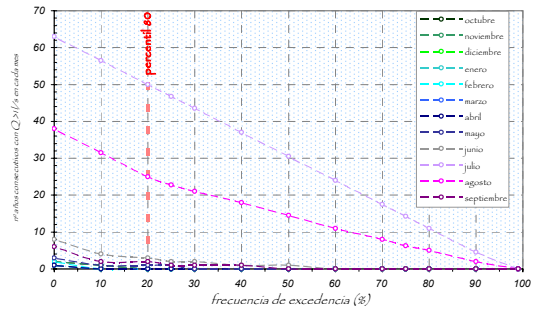
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **12027**
RIO OLIVENZA II

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

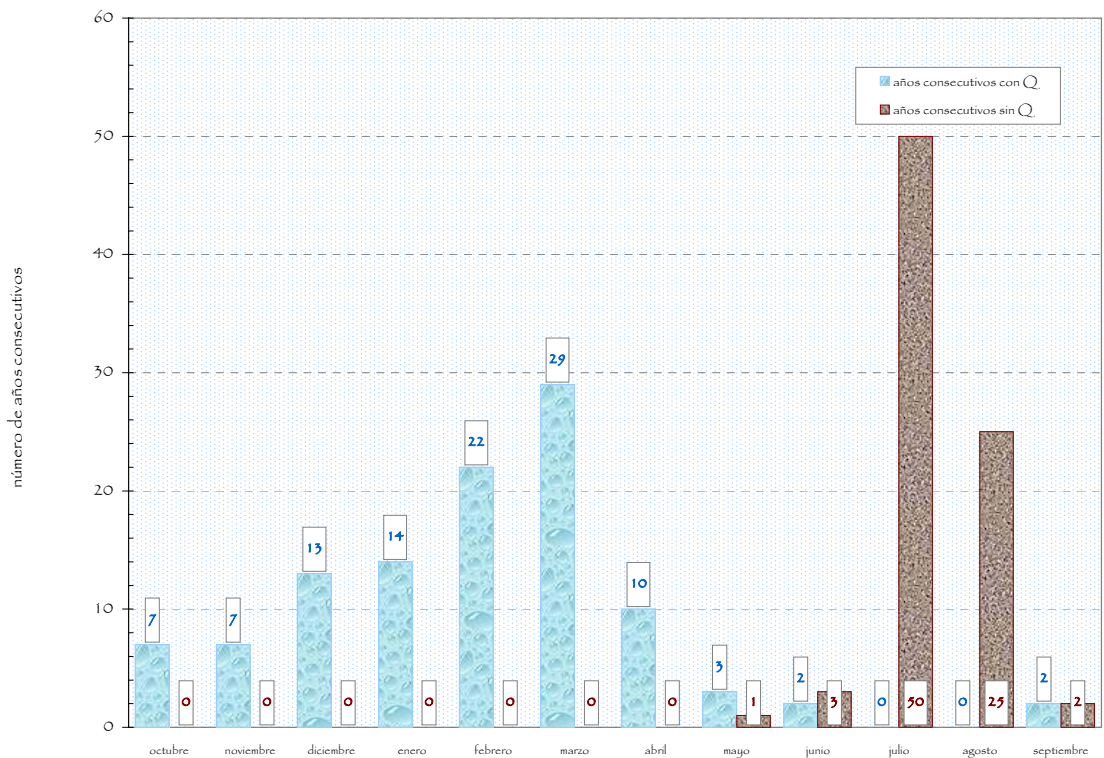


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	7	7	13	14	22	29	10	3	2	0	0	2
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	1	3	50	25	2

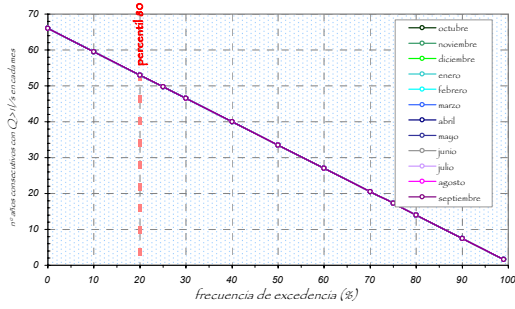
meses



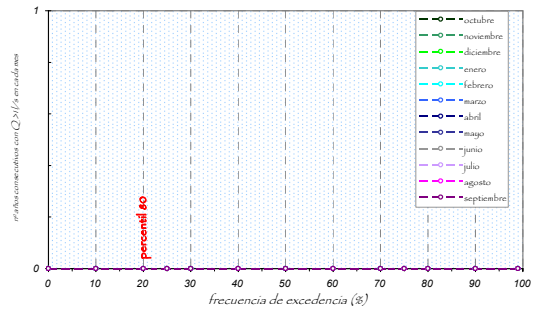
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA 13218
RIO GUADIANA VII

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

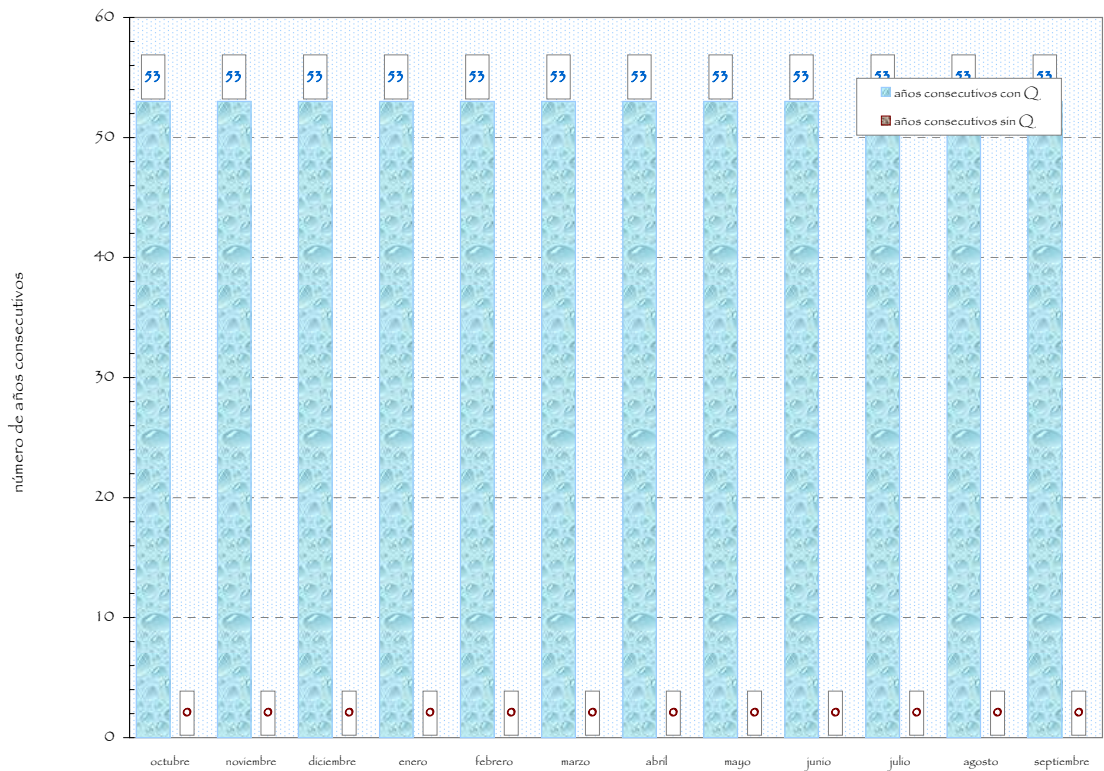


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
□ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

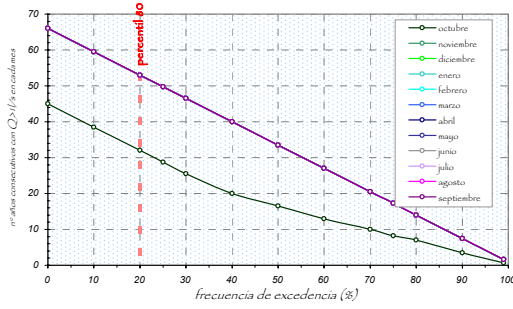
meses



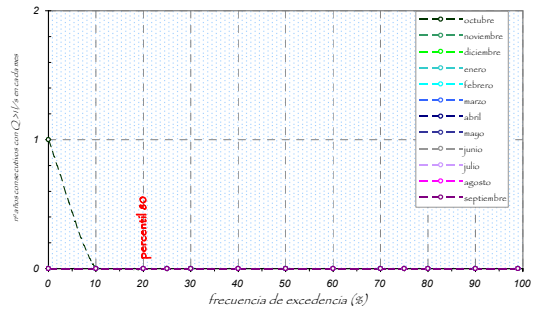
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13353**
RIO GUADIANA IV

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

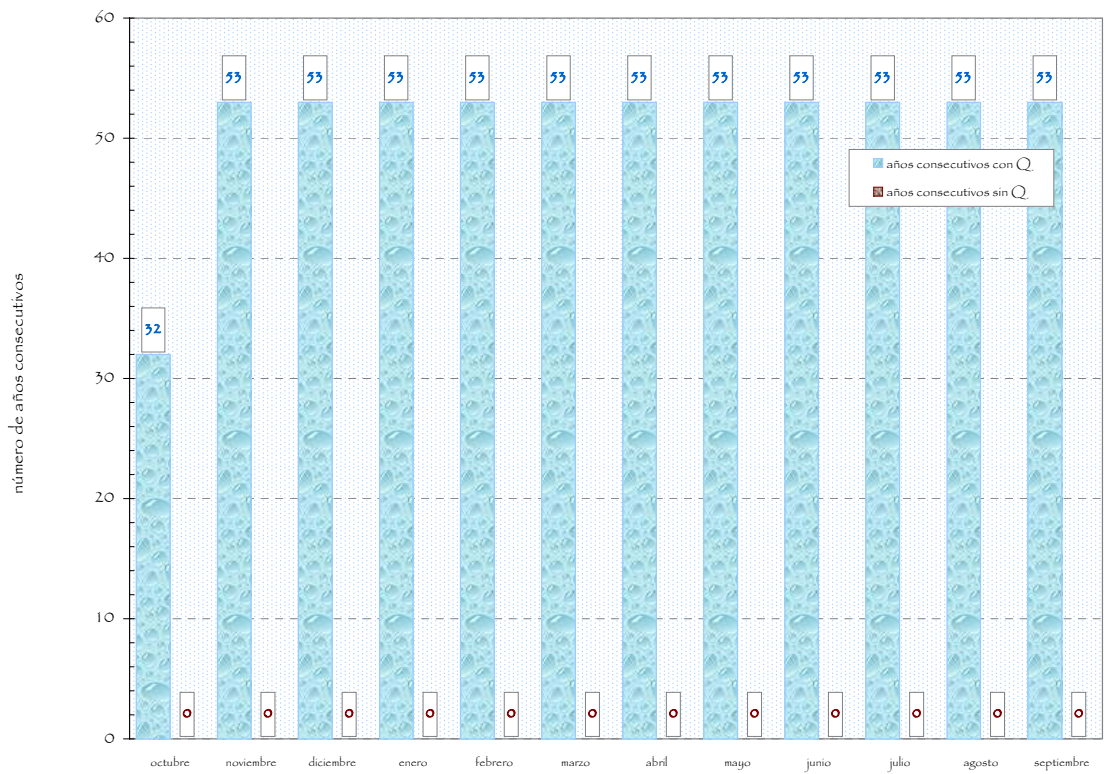


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	32	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

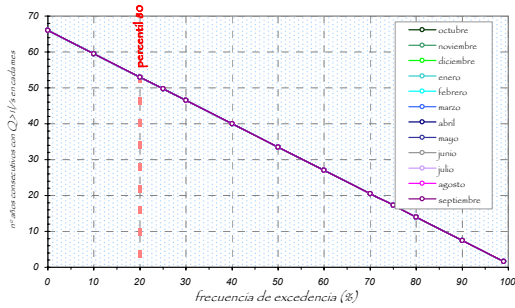
meses



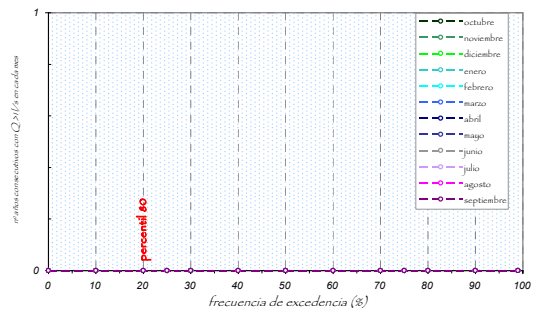
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13354**
RIO GUADIANA VI

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

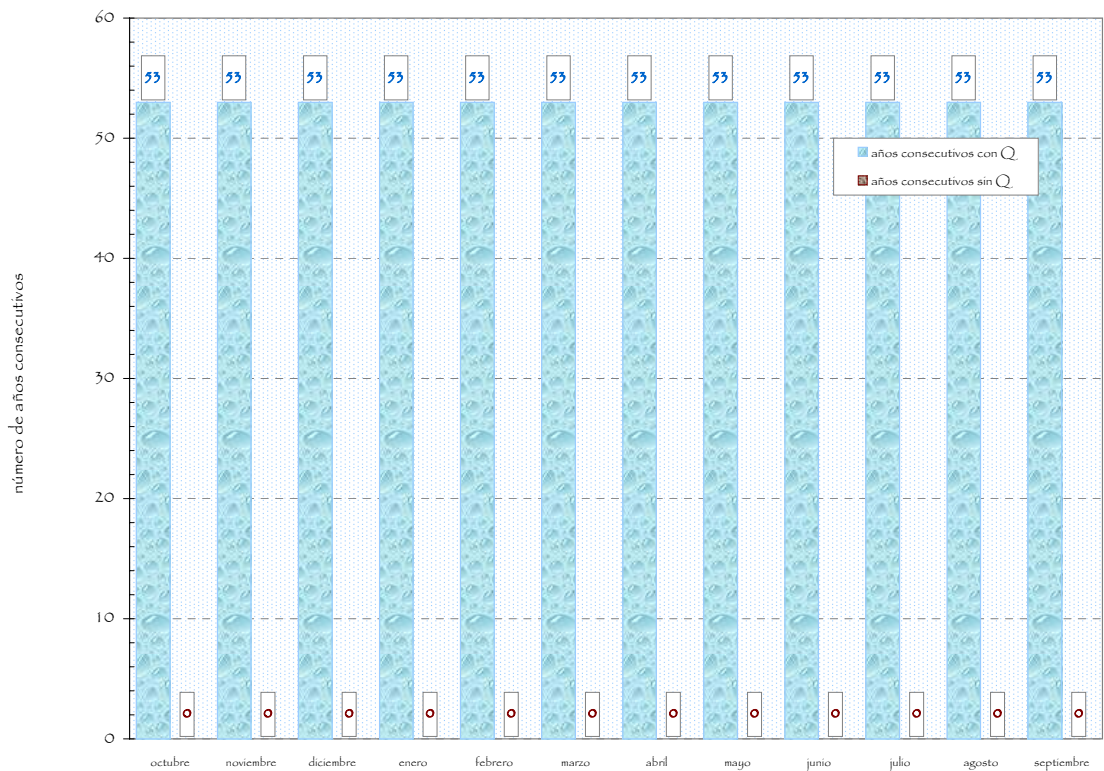


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

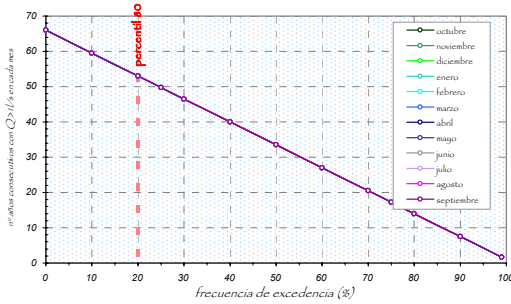
meses



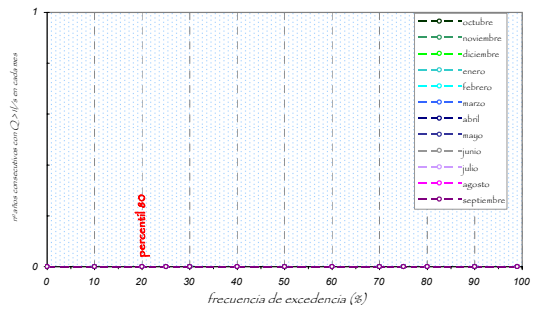
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13355**
RIO GUADIANA V

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

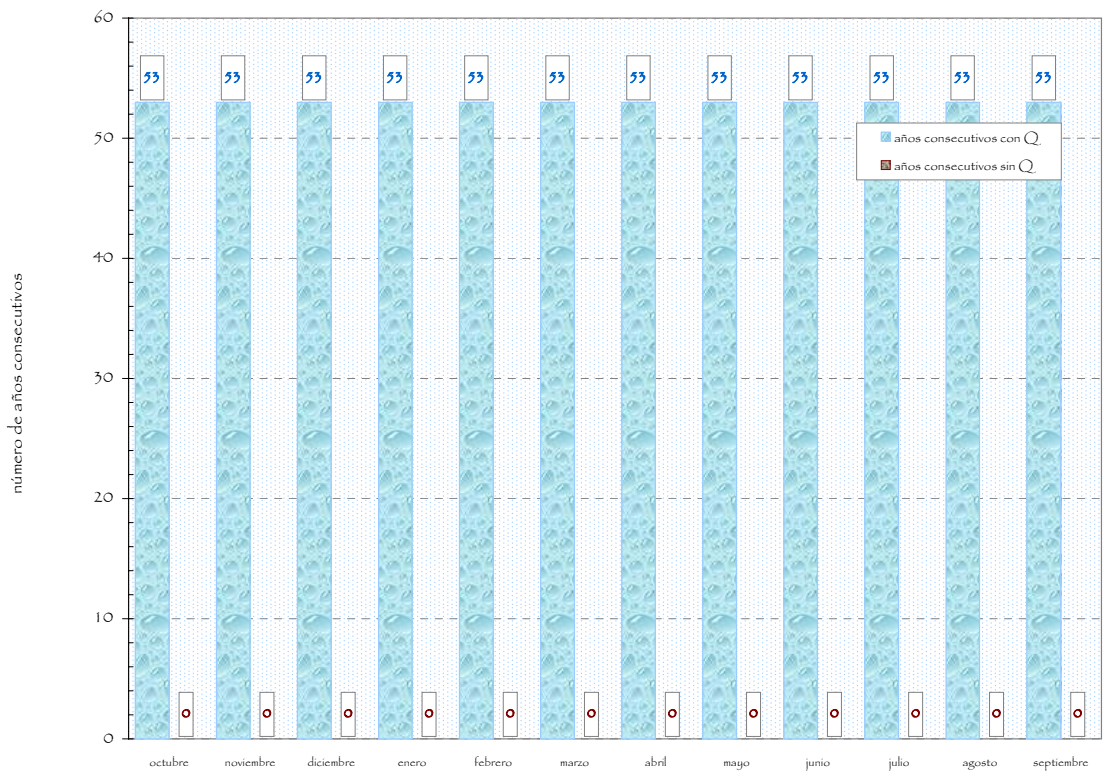


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

meses

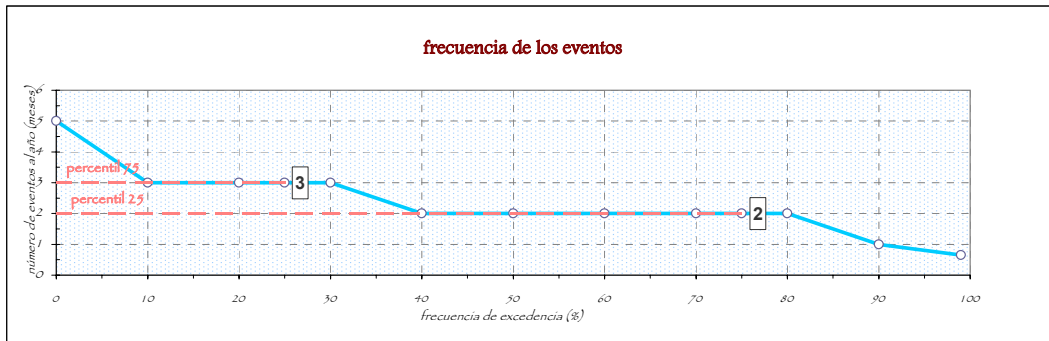


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13359**
RIO ARDILA II

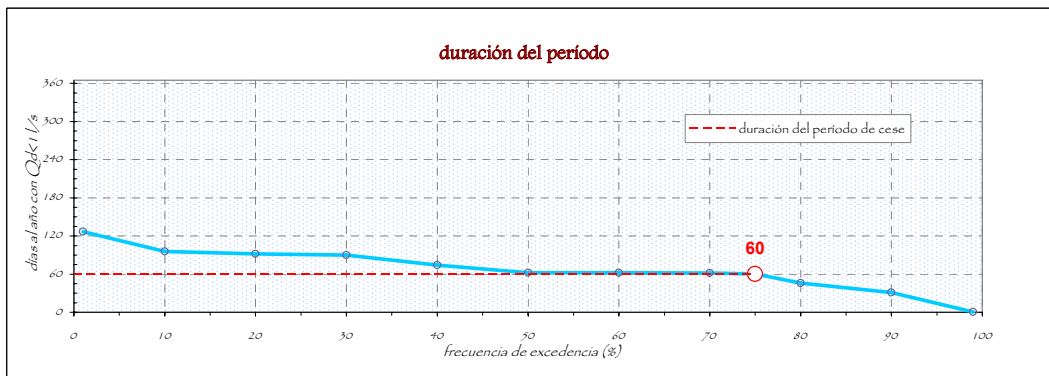
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 2 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 3 MESES AL AÑO

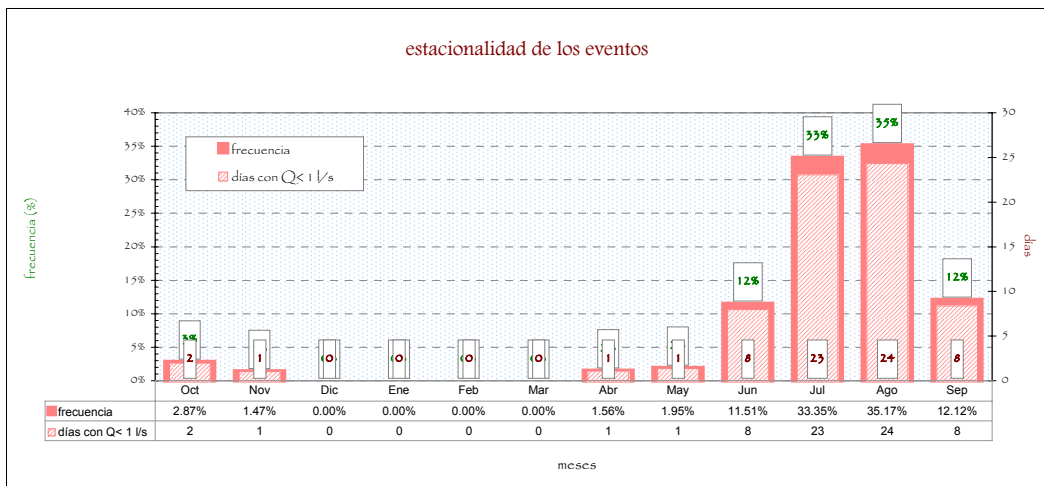


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 60.25 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

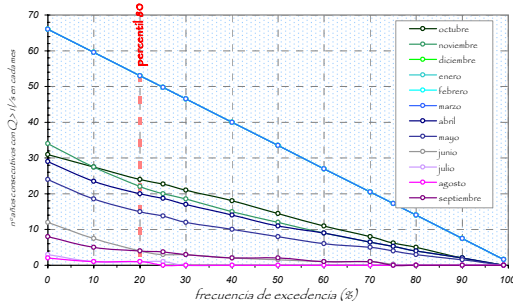




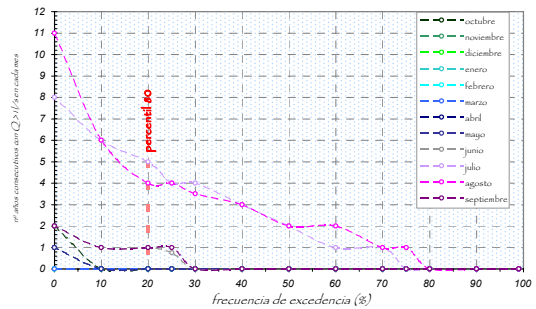
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13359**
RIO ARDILA II

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

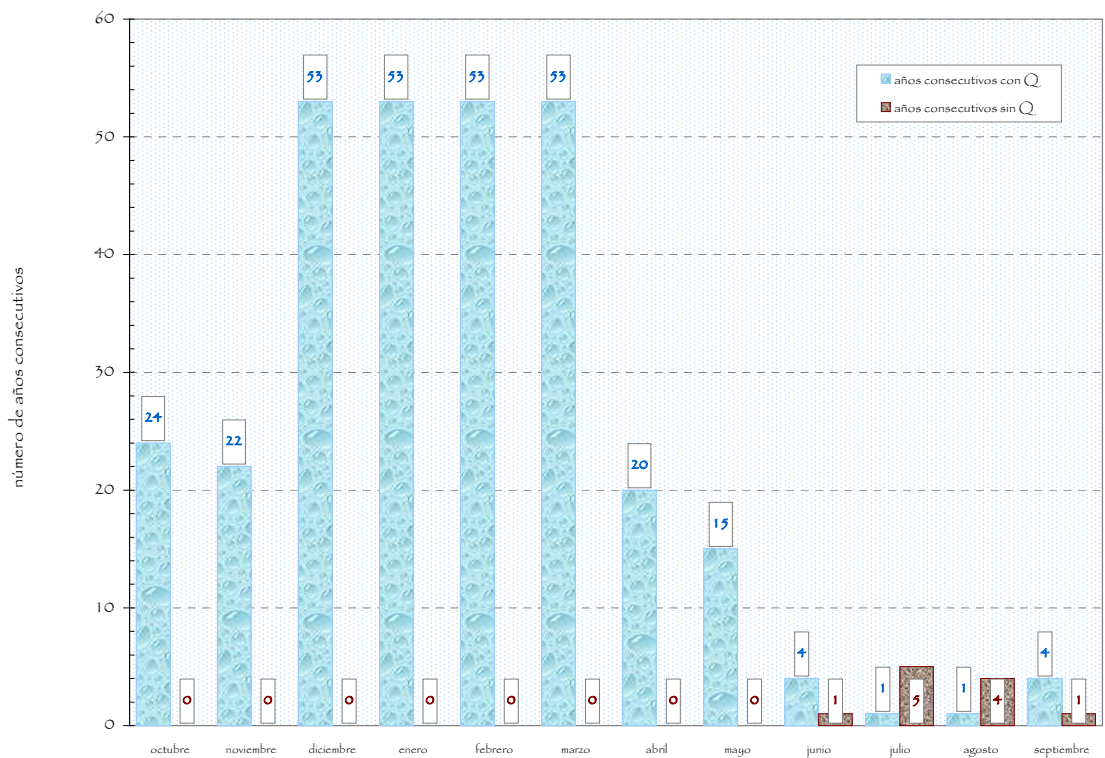


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	24	22	53	53	53	53	20	15	4	1	1	4
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	4	1

meses

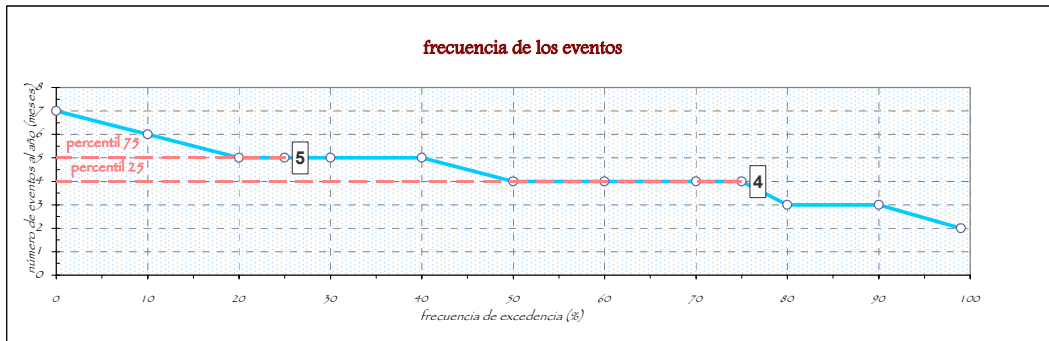


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13366**
RIO ALGARACHE II

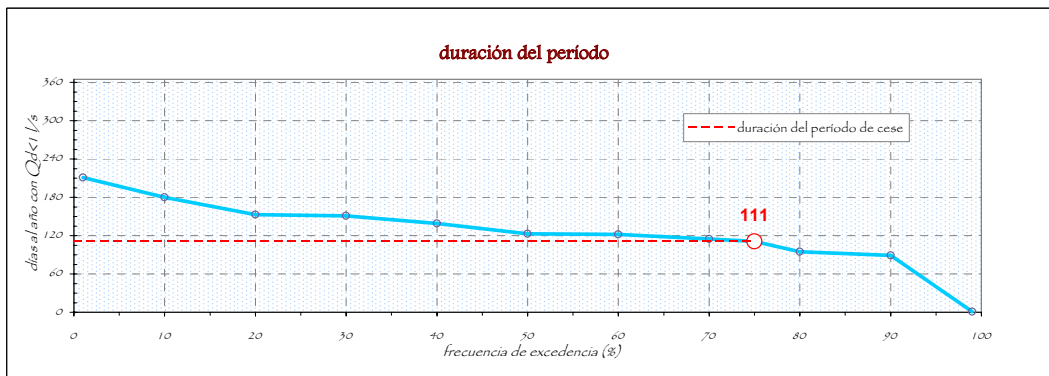
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 4 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 5 MESES AL AÑO

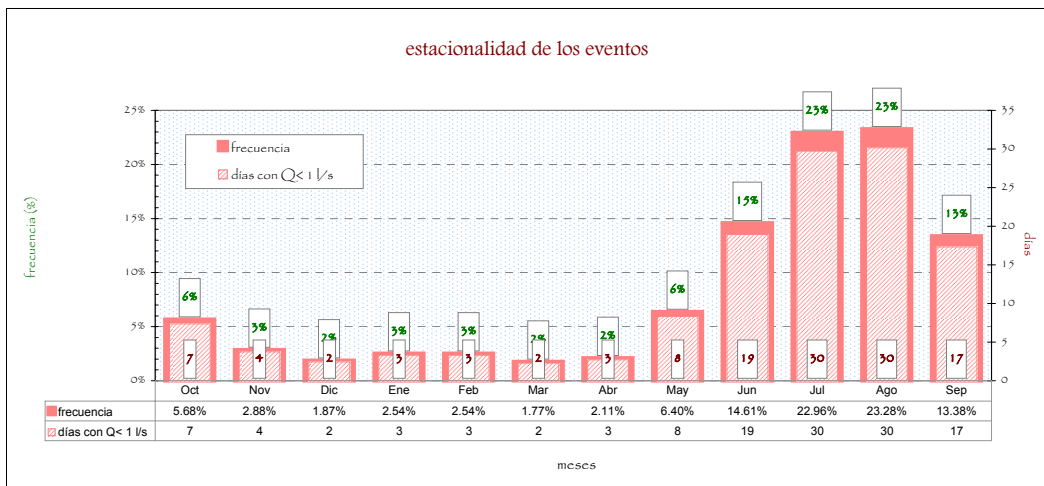


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 111 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

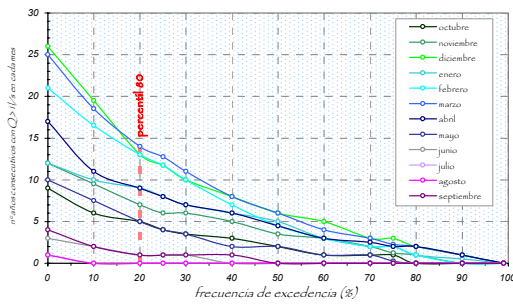




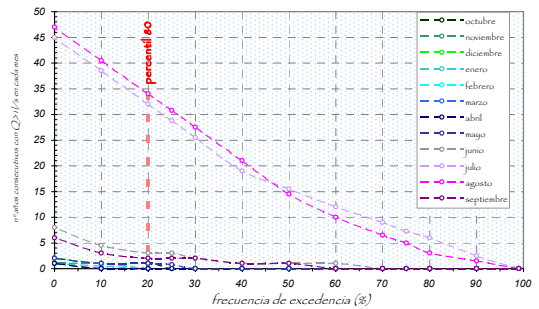
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13366**
RIO ALGARACHE II

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

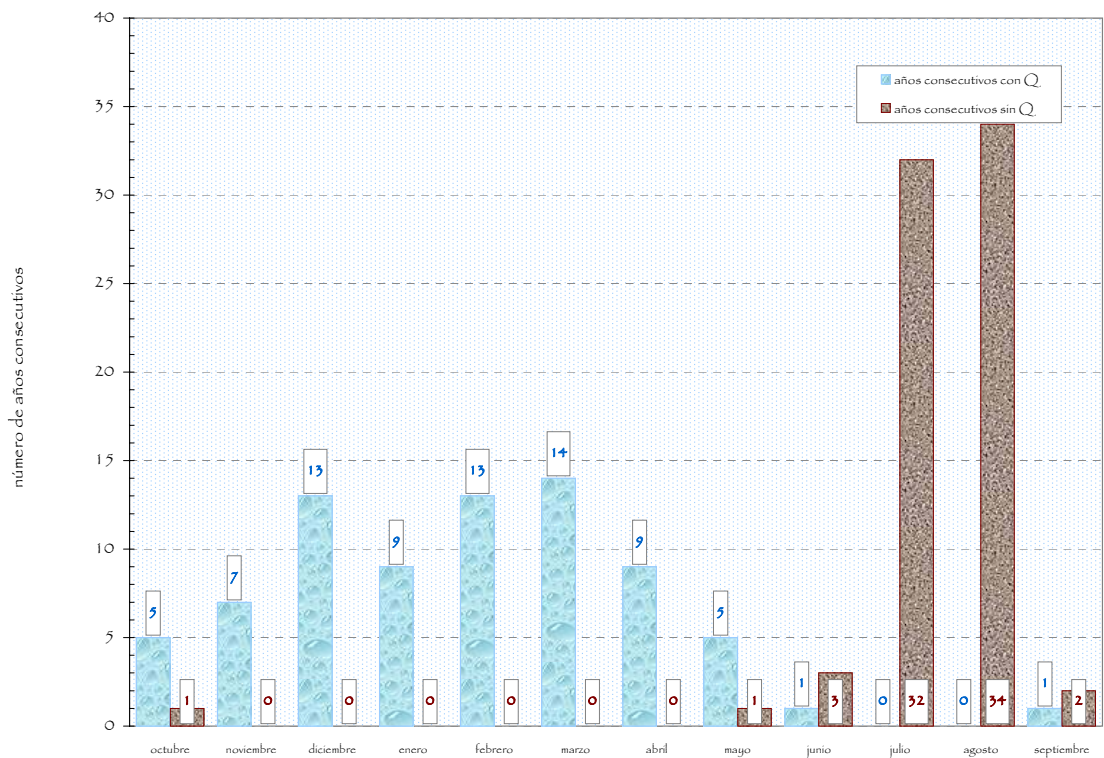


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	5	7	13	9	13	14	9	5	1	0	0	1
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	1	0	0	0	0	0	0	1	3	32	34	2

meses

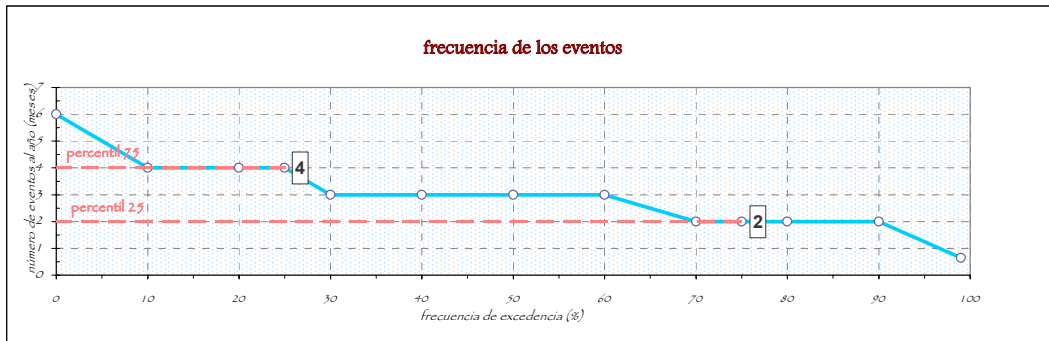


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13387**
RIVERA DE LOS LIMONETES

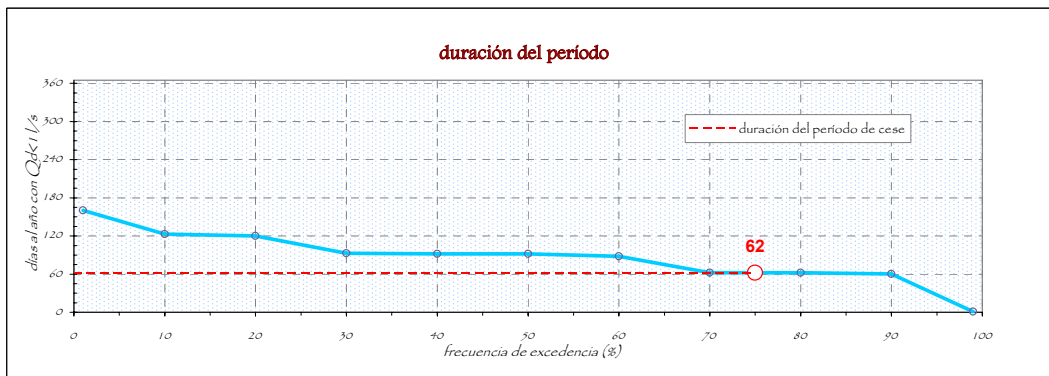
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 2 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 4 MESES AL AÑO

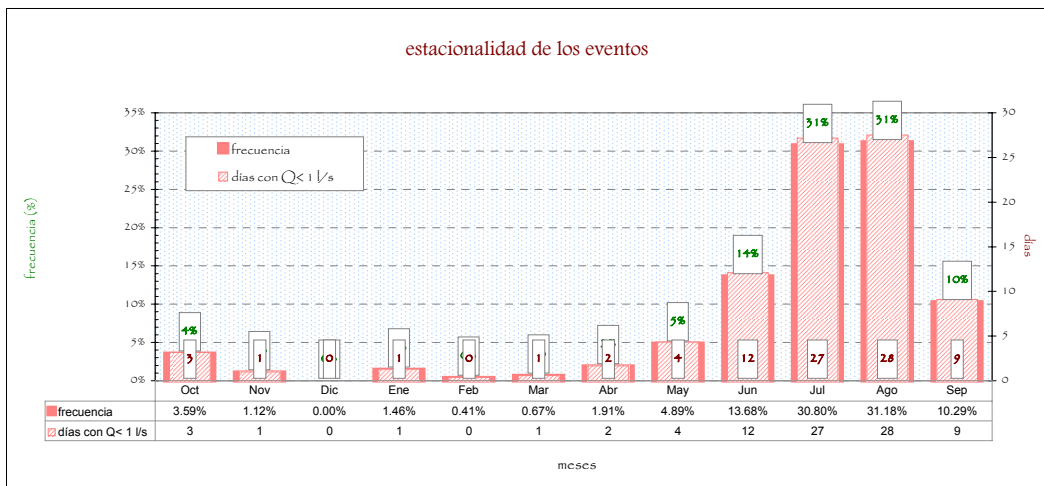


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 62 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

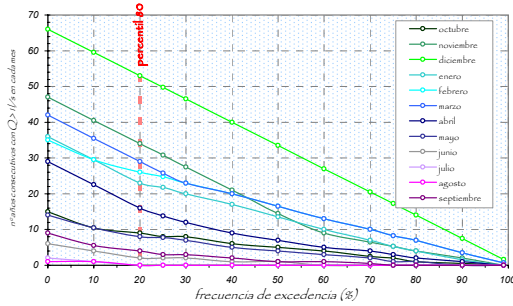




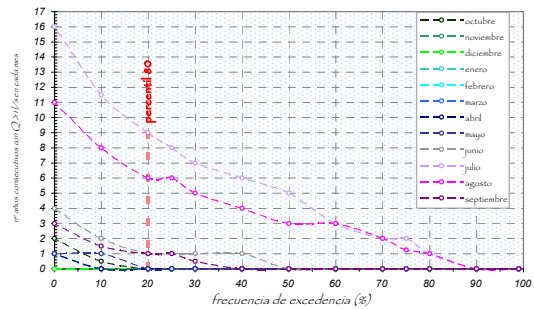
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13387**
RIVERA DE LOS LIMONETES

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

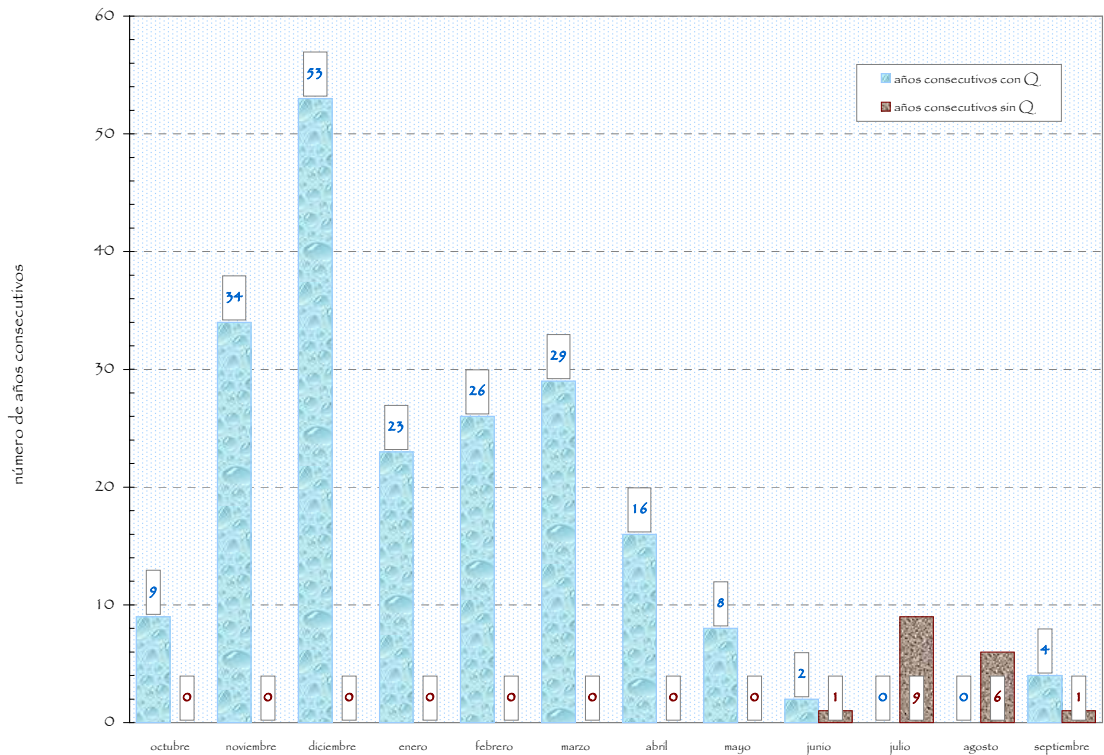


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	9	34	53	23	26	29	16	8	2	0	0	4
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	6	1

meses

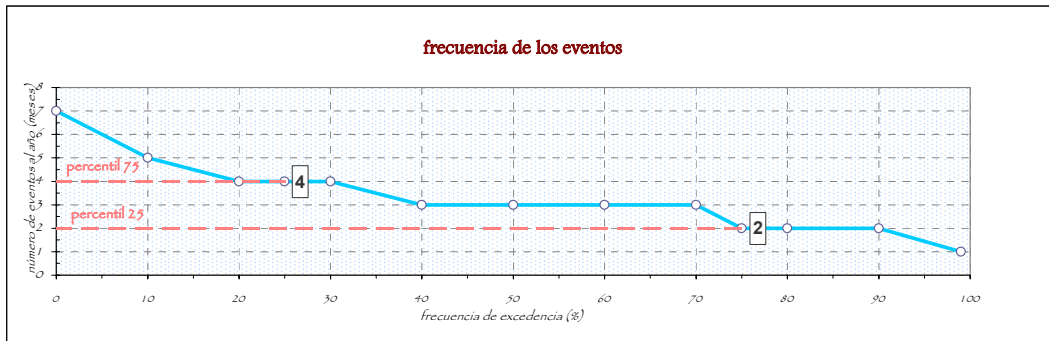


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13393**
RIO GUADAJIRA

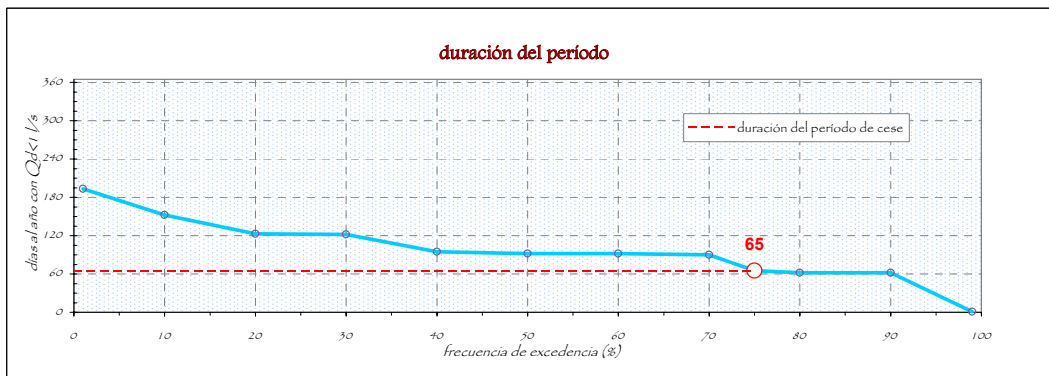
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 2 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 4 MESES AL AÑO

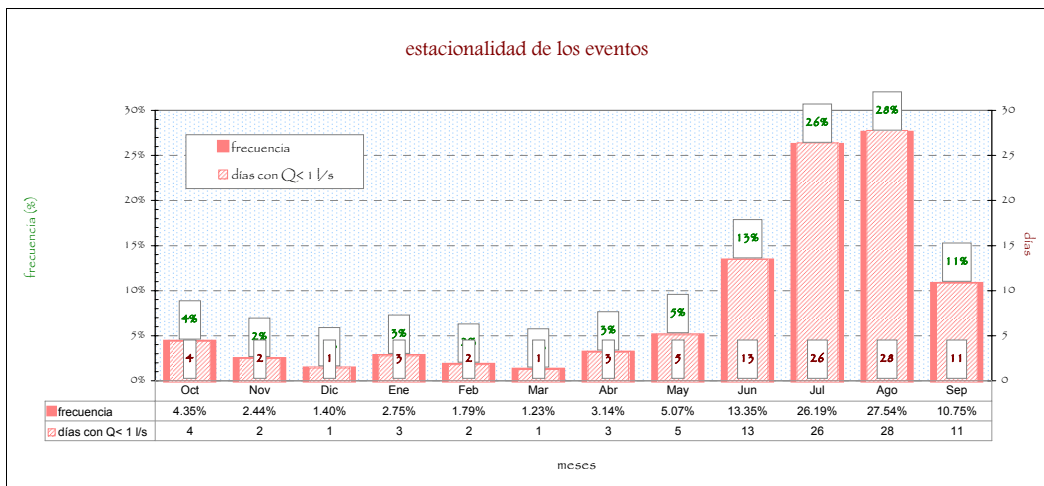


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 65.25 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

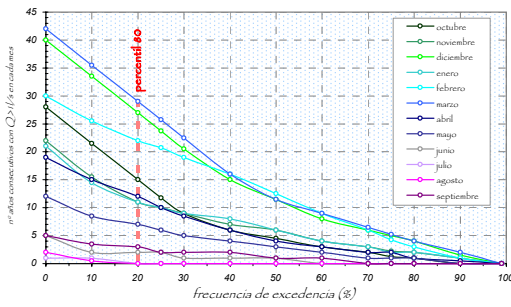




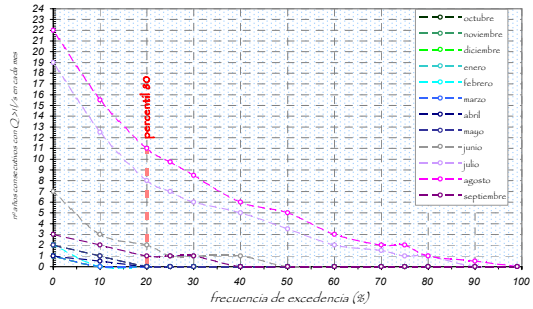
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13393**
RIO GUADAJIRA

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

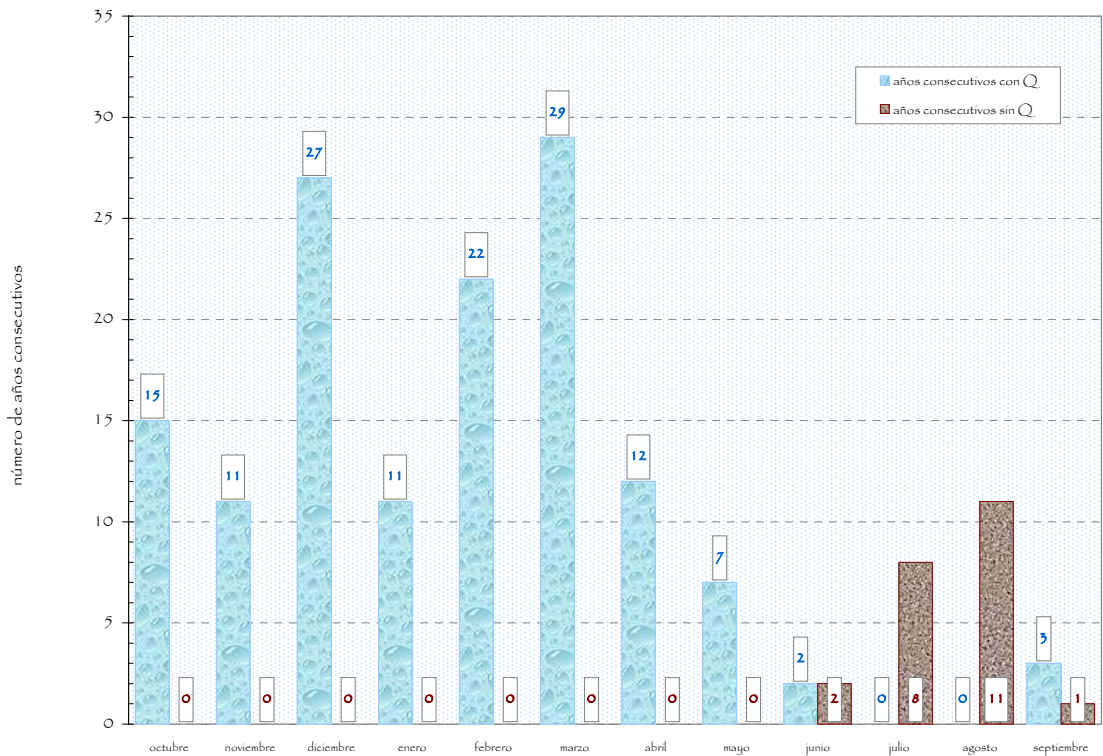


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	15	11	27	11	22	29	12	7	2	0	0	3
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	11	1

meses

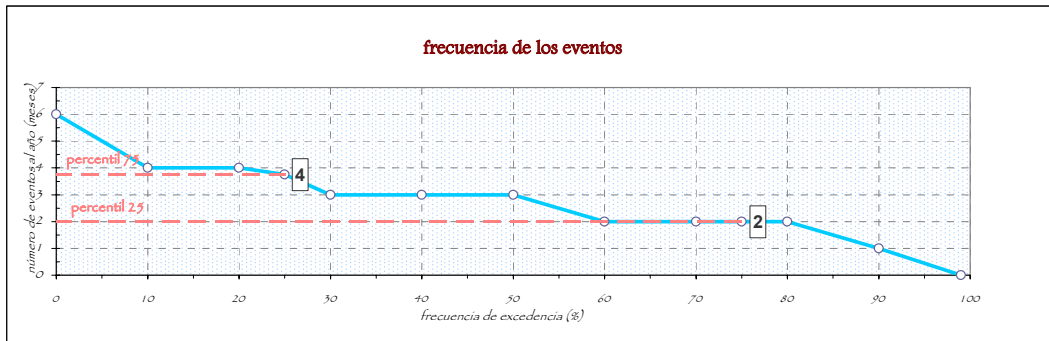


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13397**
RIO MATACHEL II

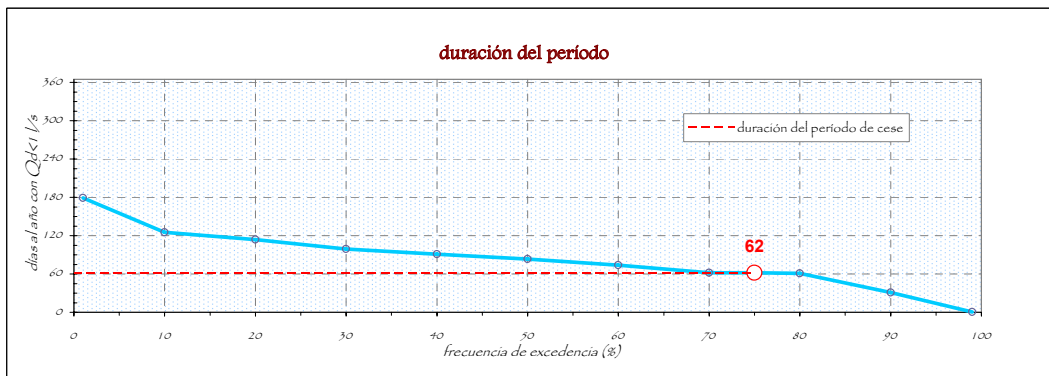
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 2 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 4 MESES AL AÑO

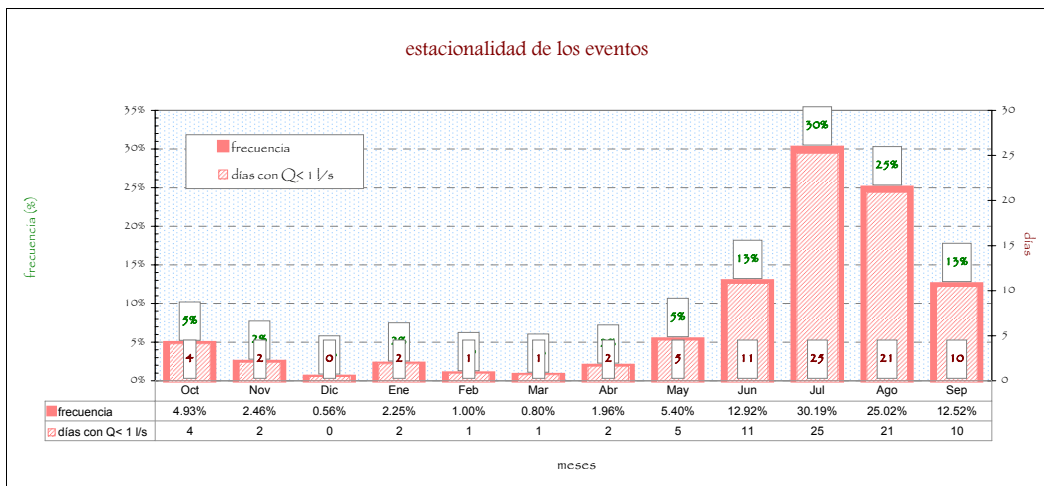


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 62 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

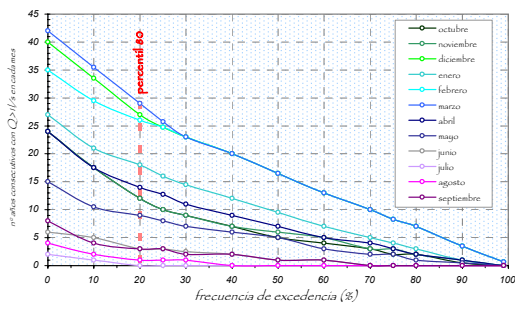




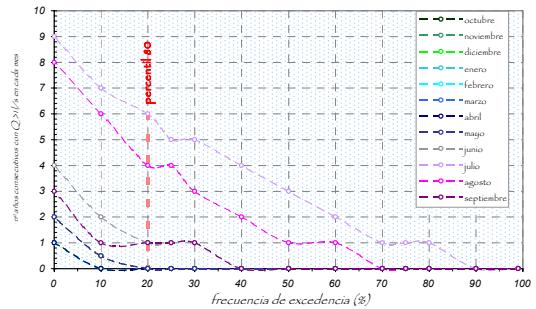
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13397**
RIO MATACHEL II

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

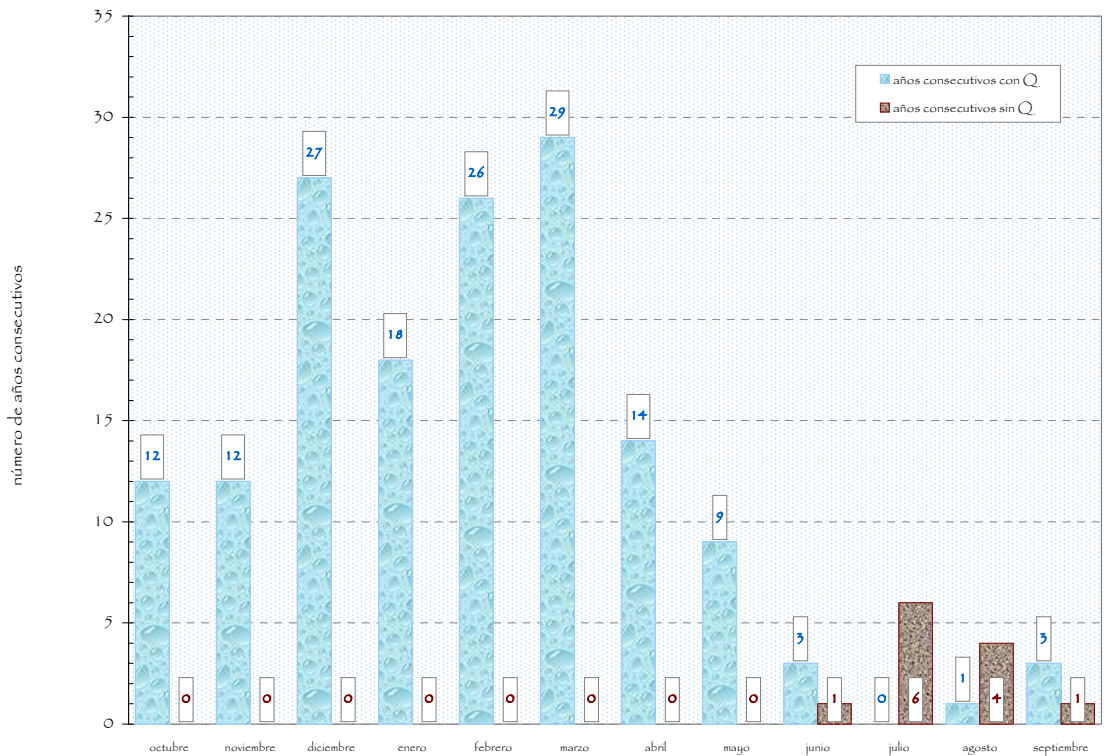


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	12	12	27	18	26	29	14	9	3	0	1	3
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	4	1

meses

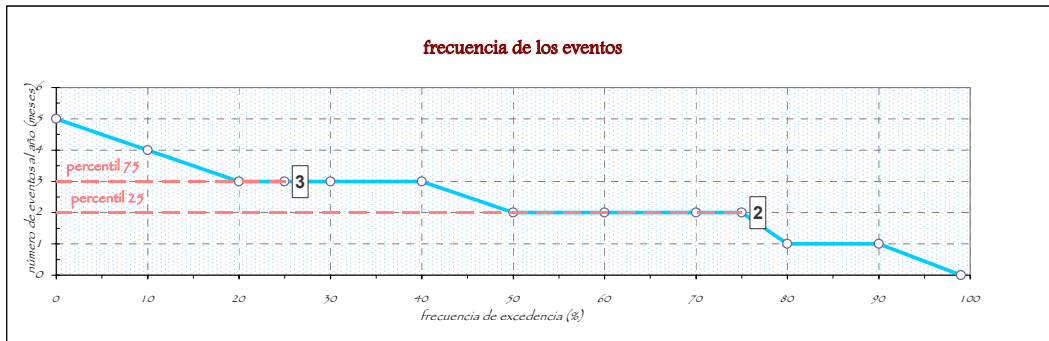


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13398**
RIO MATACHEL III

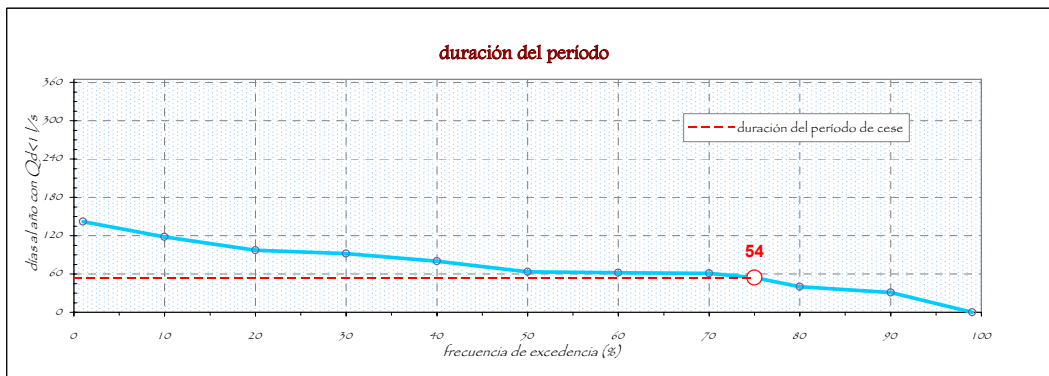
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 2 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 3 MESES AL AÑO

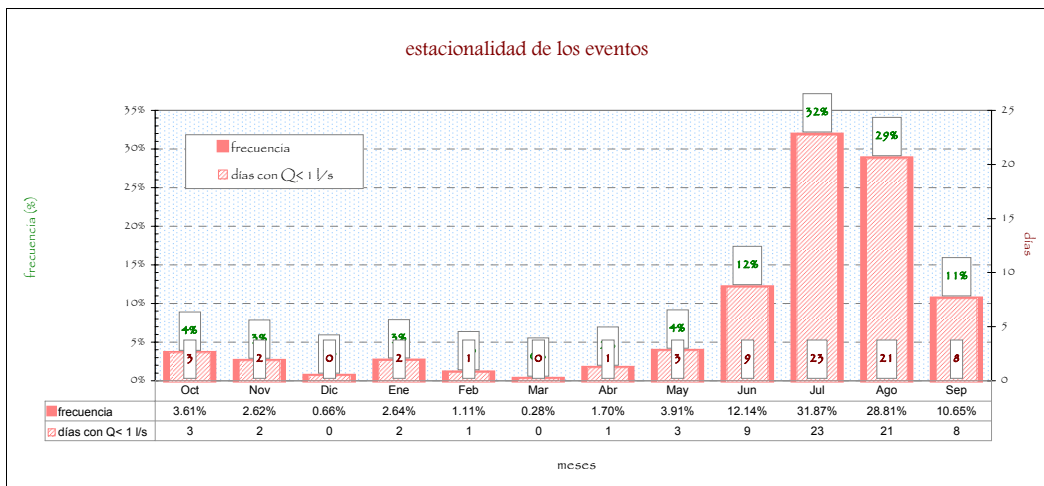


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 54.25 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

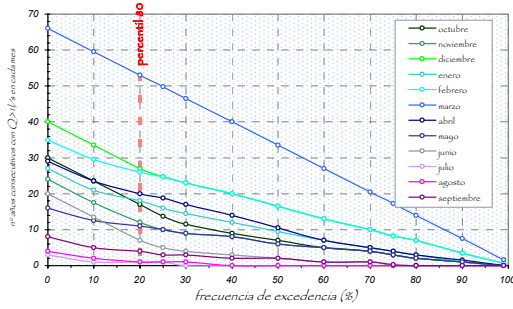




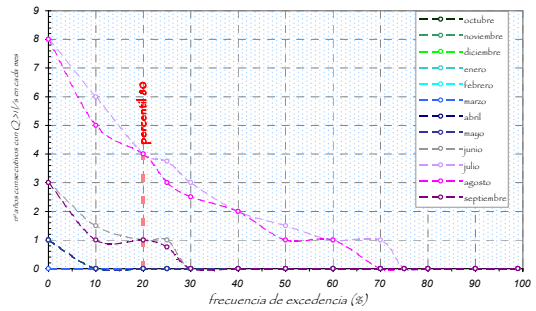
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13398**
RIO MATACHEL III

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

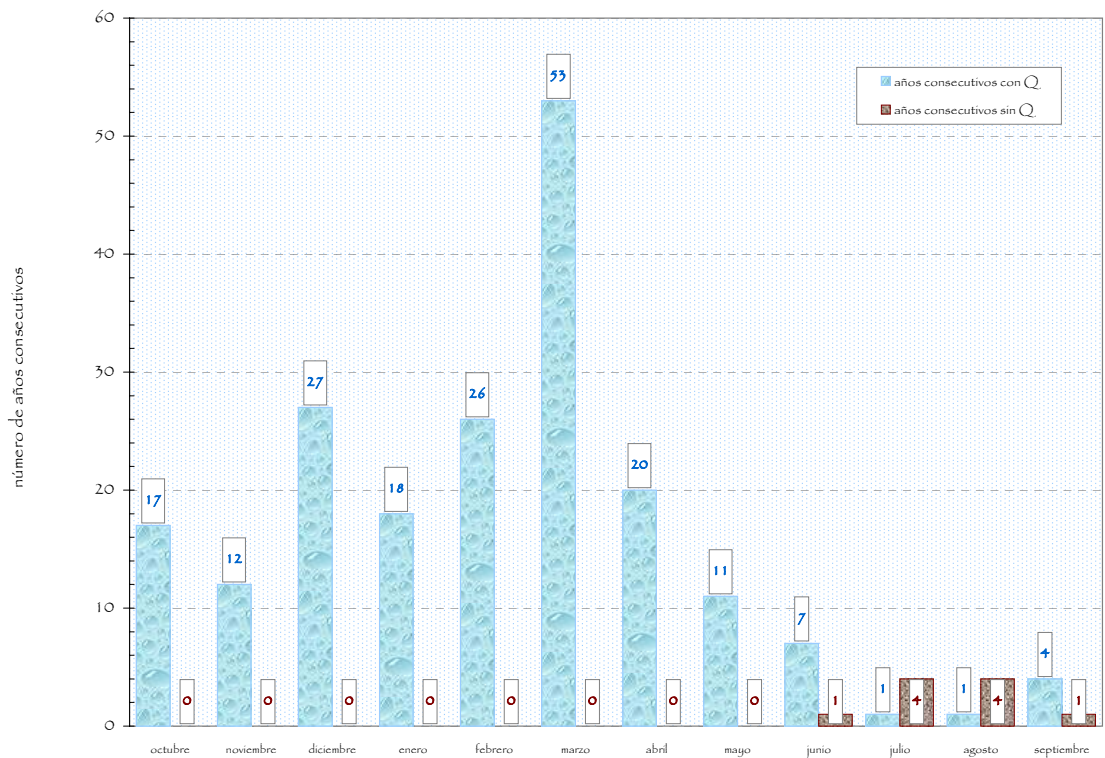


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	17	12	27	18	26	53	20	11	7	1	1	4
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	4	1

meses

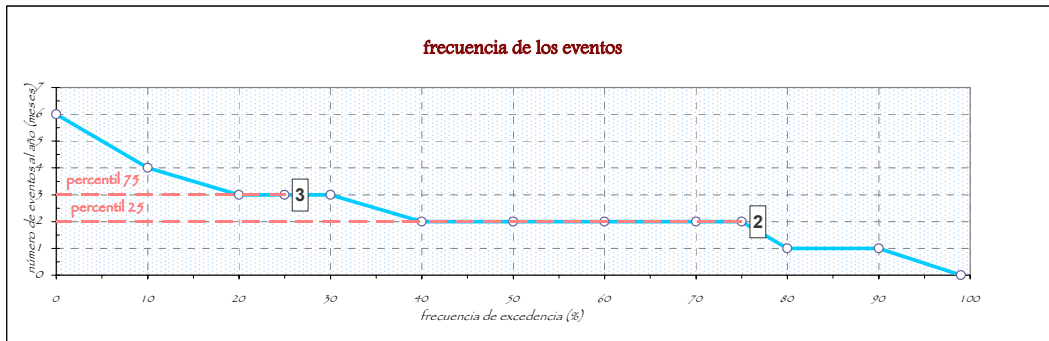


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13408**
RIO **BURDALO**

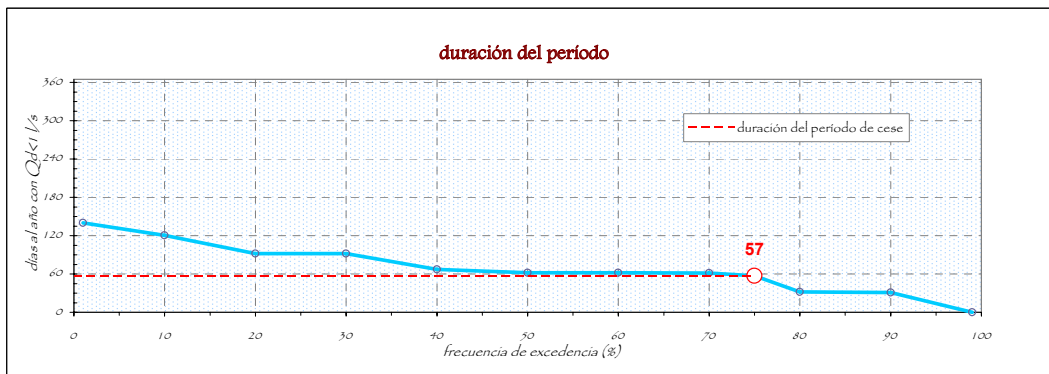
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 2 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 3 MESES AL AÑO

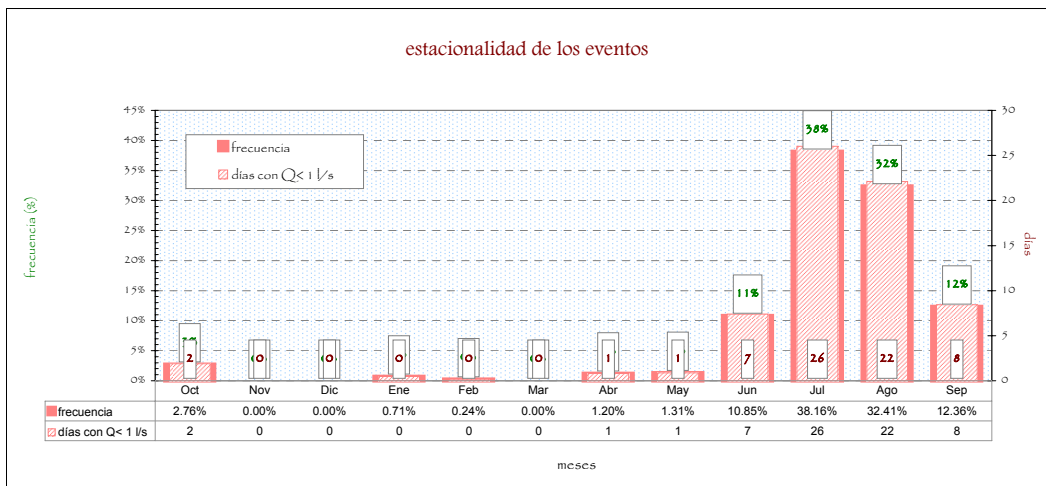


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 57.25 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

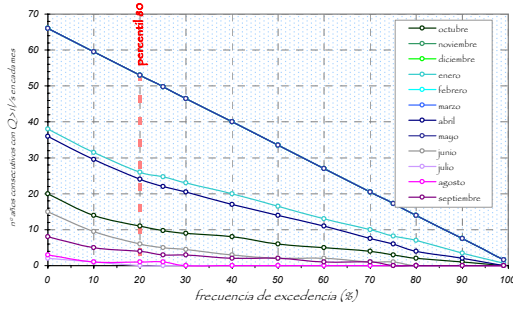




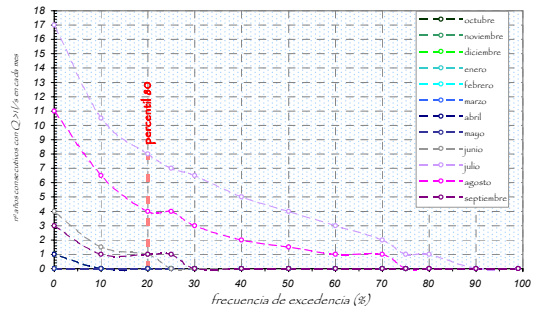
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA 13408
RIO BURDALO

número de años consecutivos con caudal
por meses

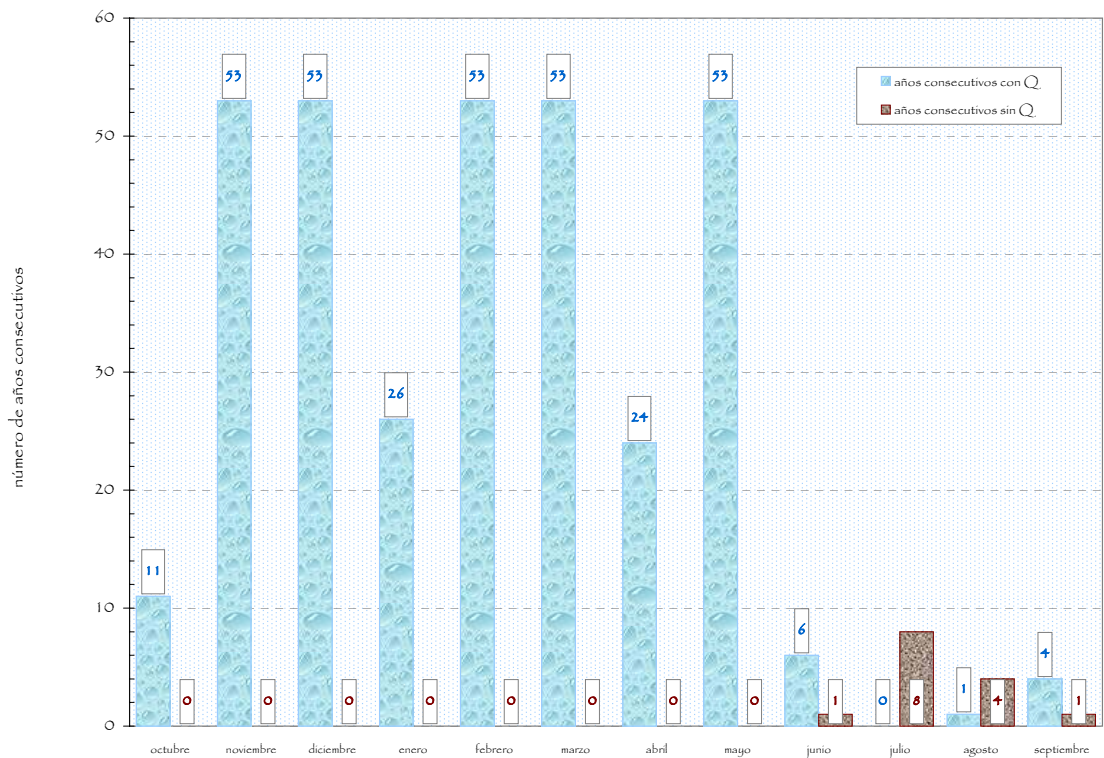


número de años consecutivos sin caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	11	53	53	26	53	53	24	53	6	0	1	4
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	4	1

meses

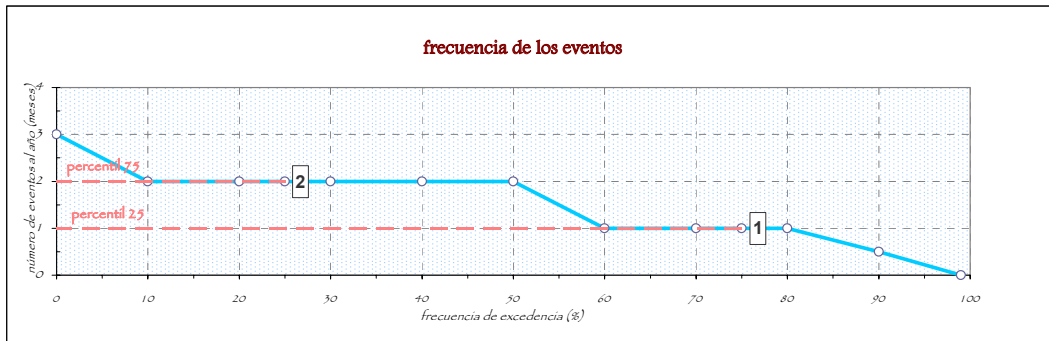


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13414**
RIO RUEGAS IV

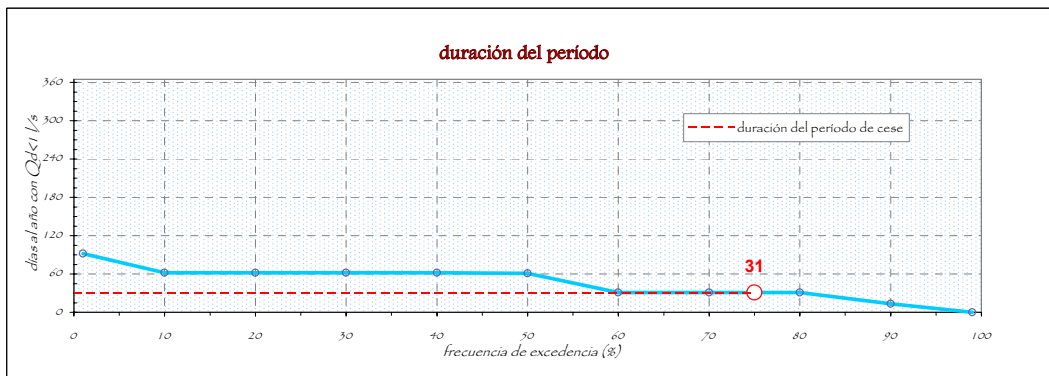
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 1 MES AL AÑO
PERCENTIL 75: 2 MESES AL AÑO

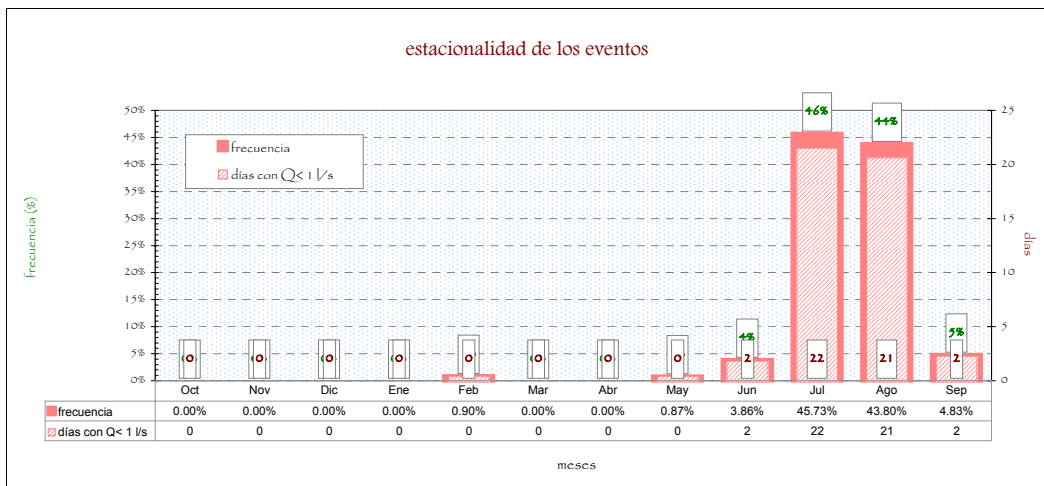


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 31 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

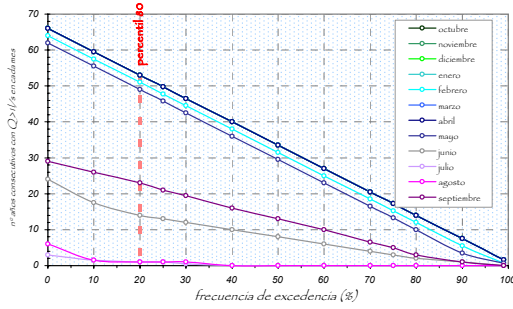




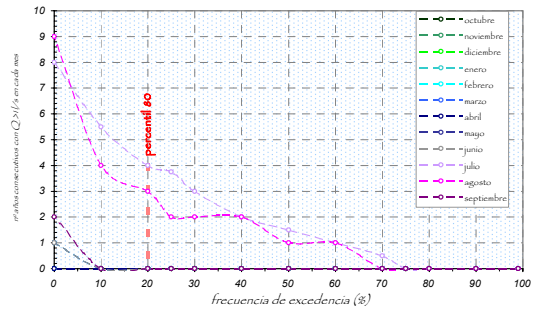
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13414**
RIO RUEGAS IV

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

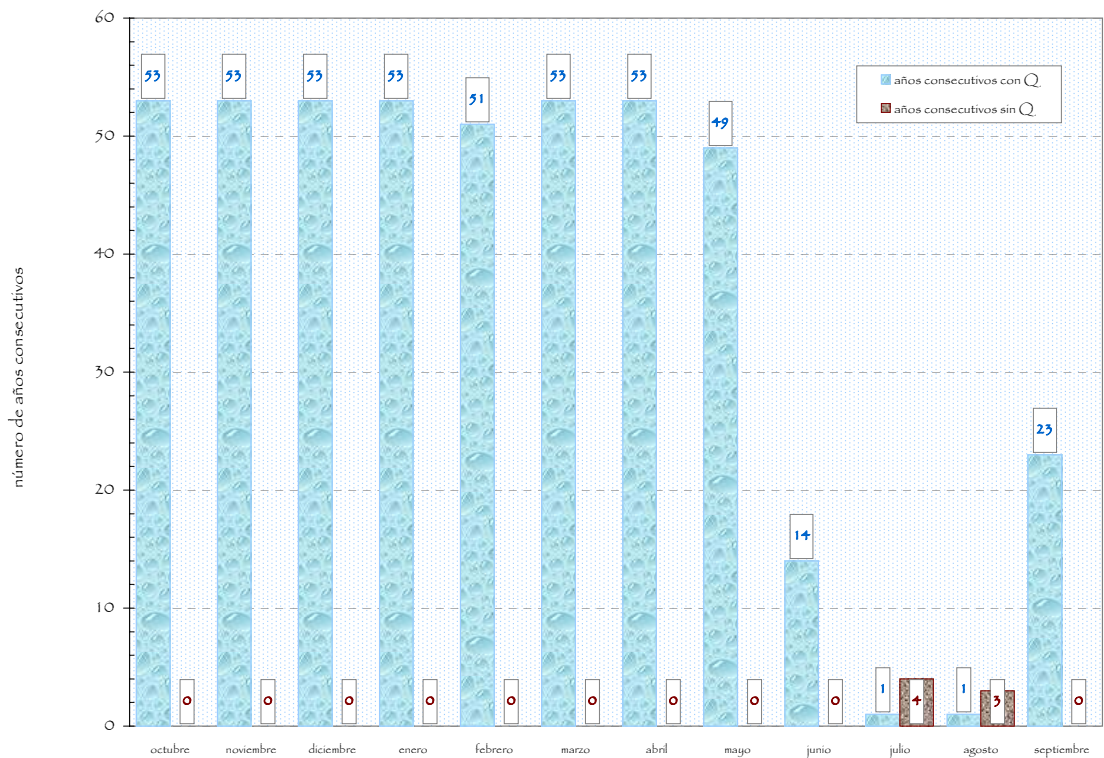


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	51	53	53	49	14	1	1	23
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0

meses

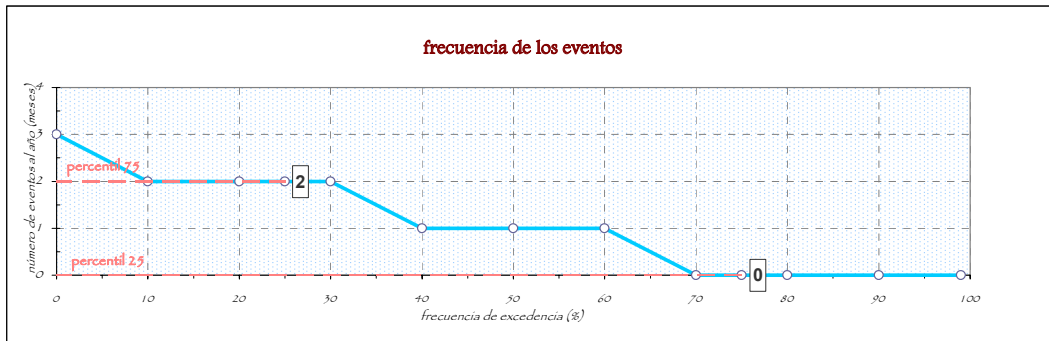


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13423**
RIO ZUJAR II

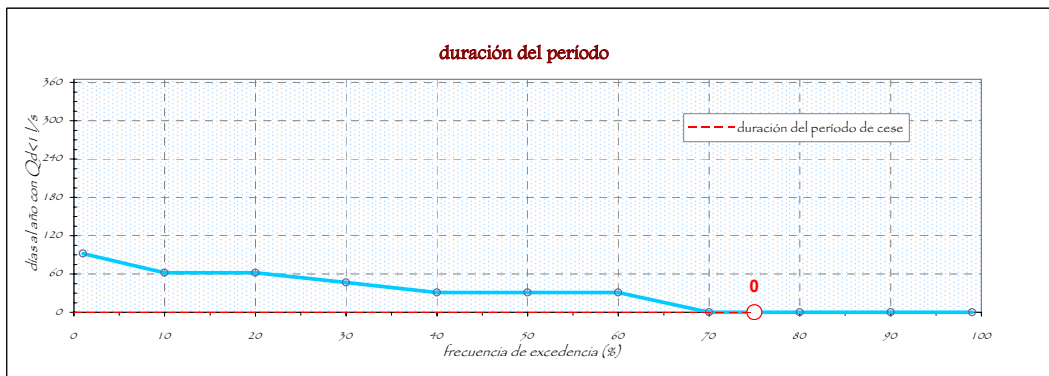
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 0 MES AL AÑO
PERCENTIL 75: 2 MESES AL AÑO

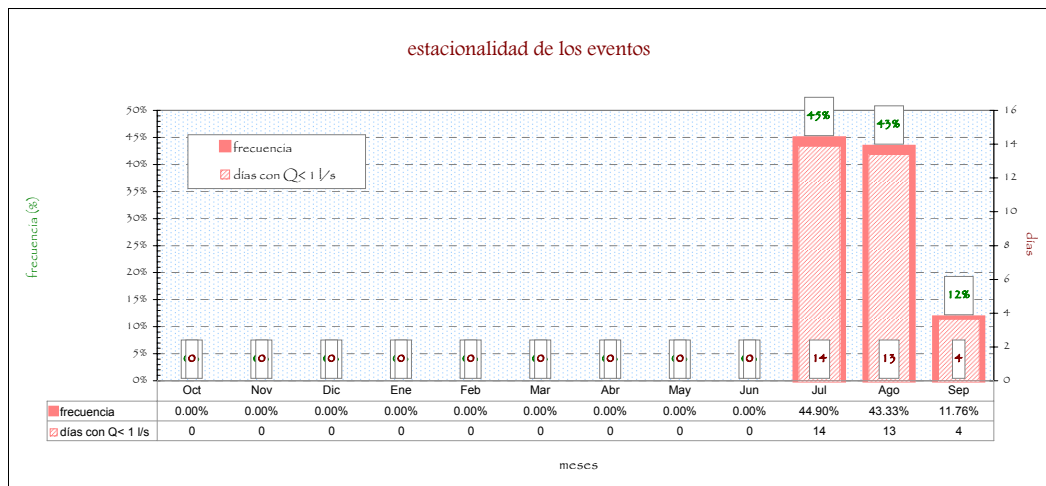


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 0 DÍAS AL AÑO



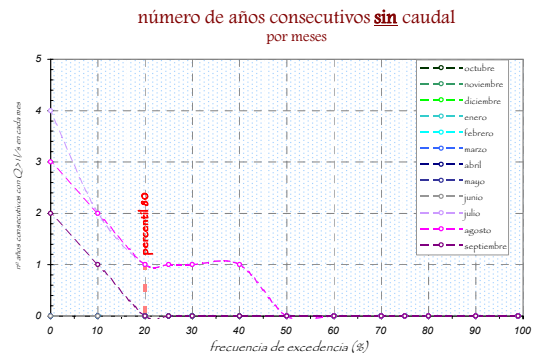
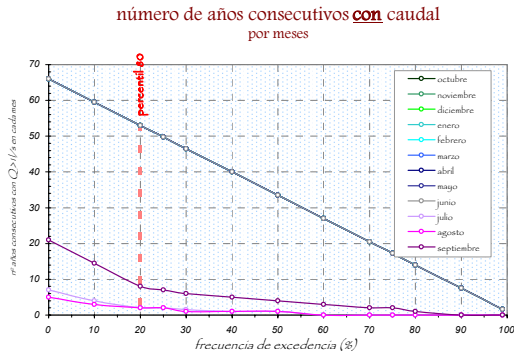
ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL





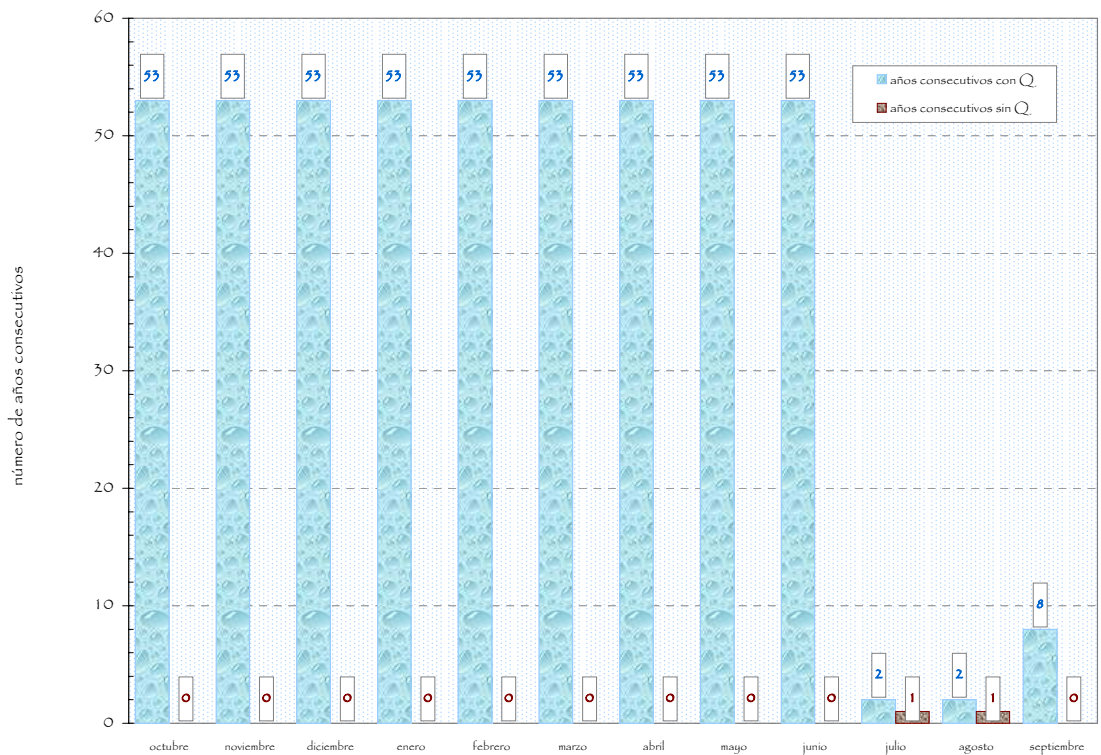
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13423**
RIO ZUJAR II



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	2	2	8
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

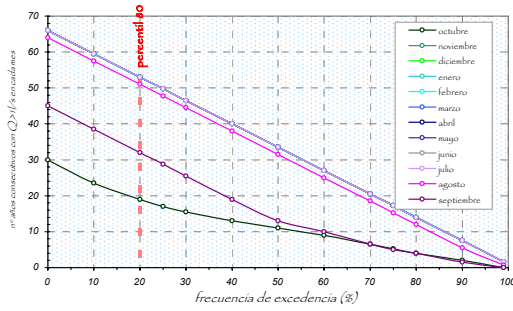
meses



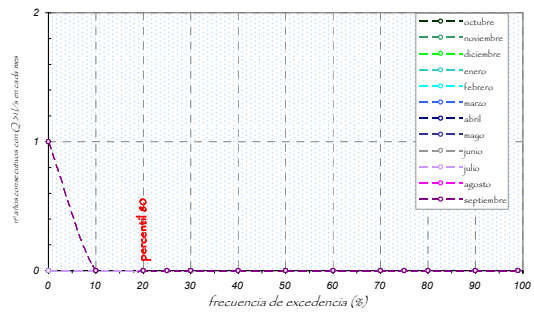
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13450**
RIO BULLAQUE

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

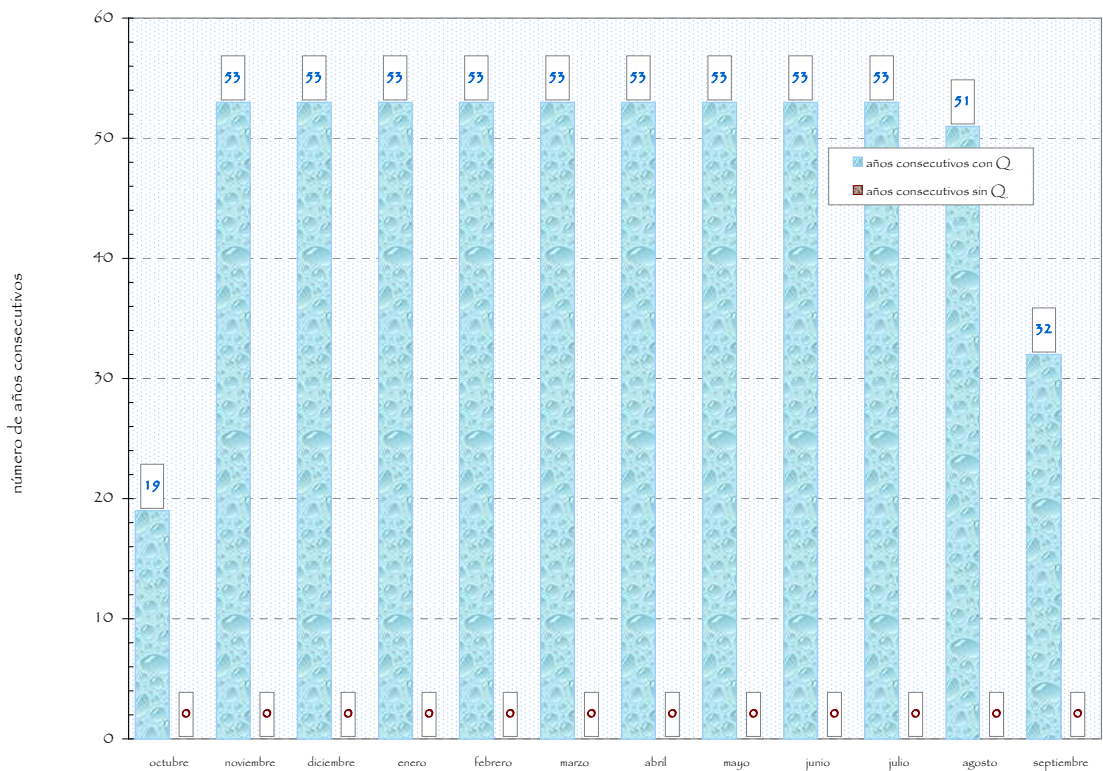


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	19	53	53	53	53	53	53	53	53	53	51	32
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

meses

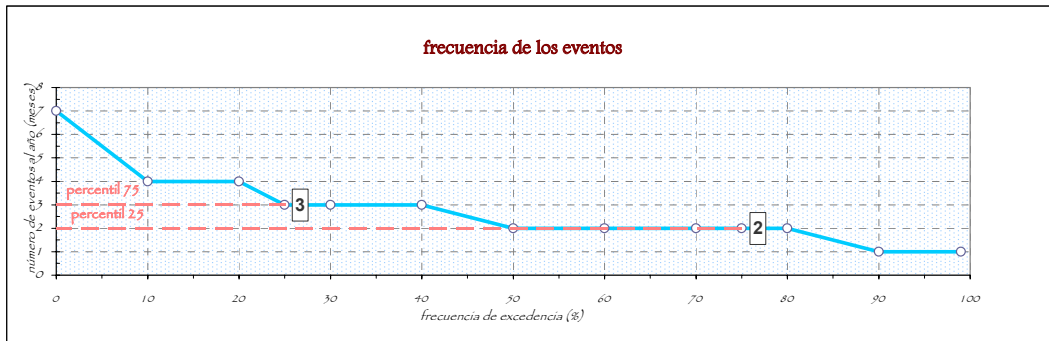


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13463**
RIO JABALON III

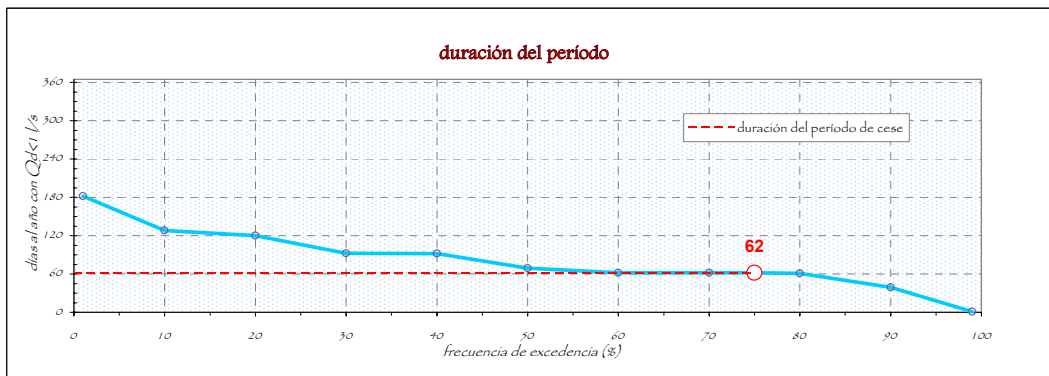
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 2 MESES AL AÑO
PERCENTIL 75: 3 MESES AL AÑO

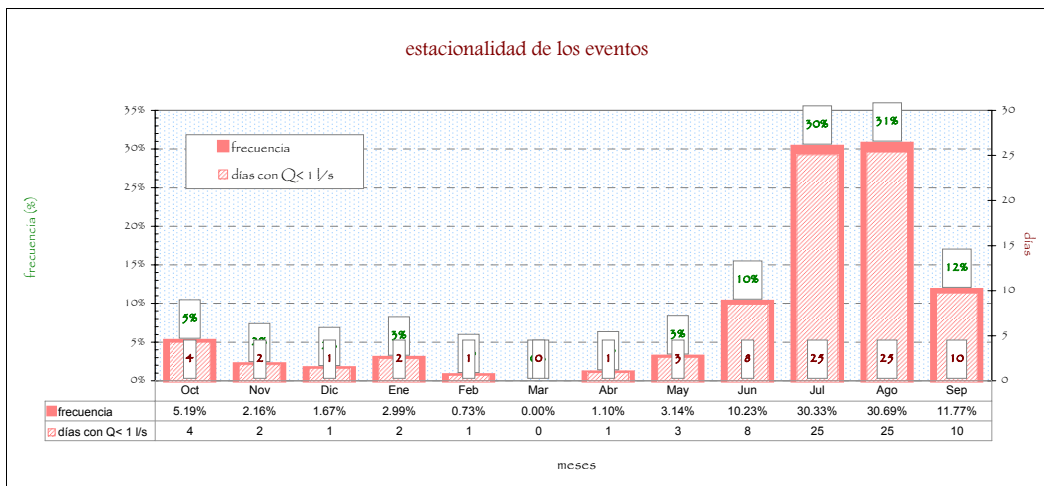


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 62 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

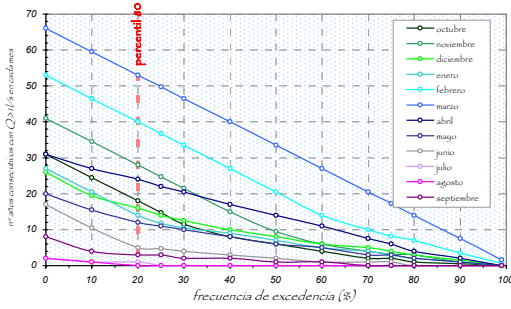




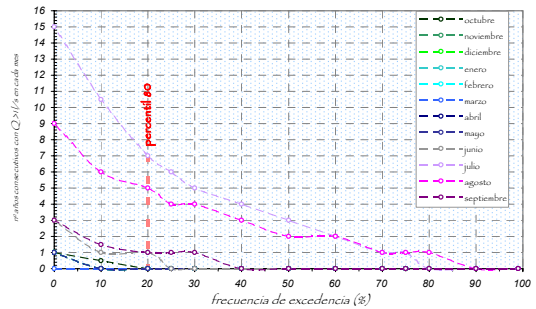
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **13463**
RIO JABALON III

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

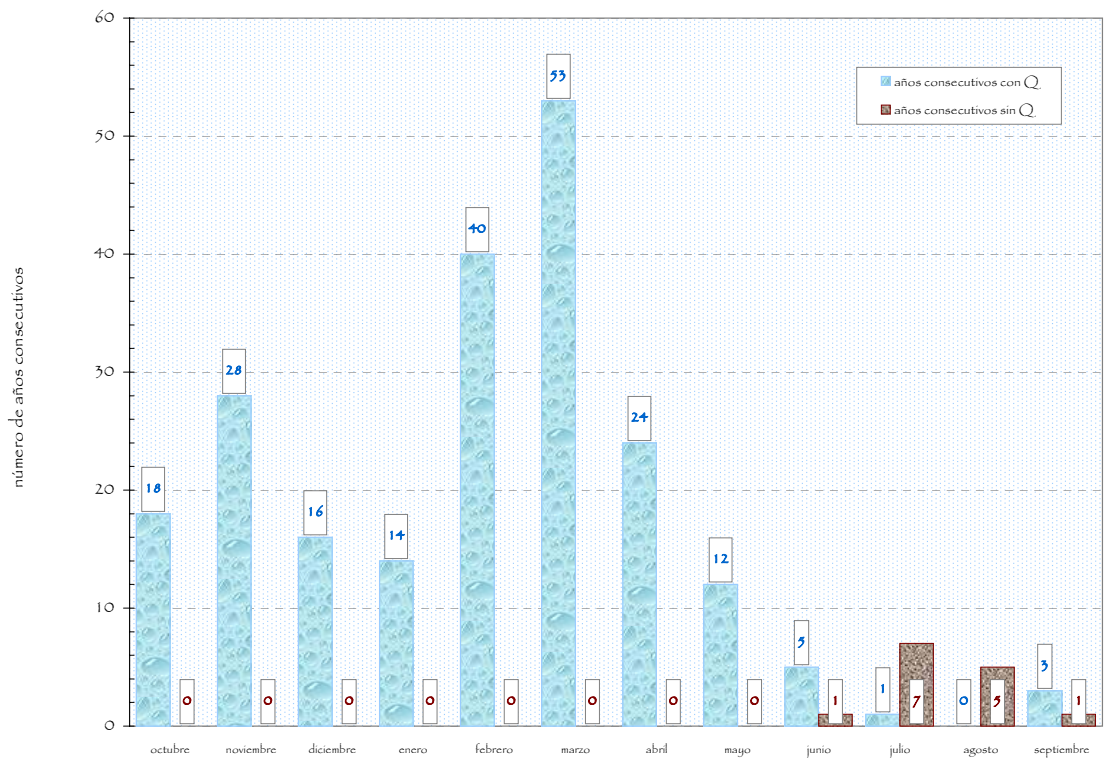


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	18	28	16	14	40	53	24	12	5	1	0	3
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	5	1

meses



CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

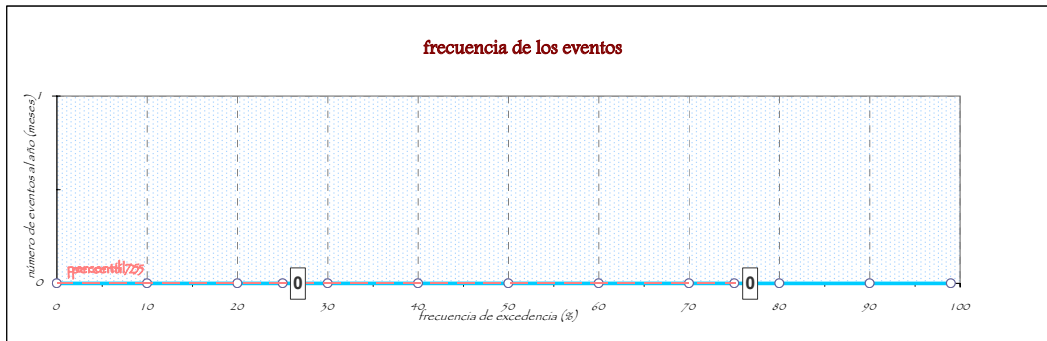
MASA DE AGUA

ES0511002001

TRAMO BAJO DEL RÍO GUADIMAR Y AFLUENTES POR SU M.D.

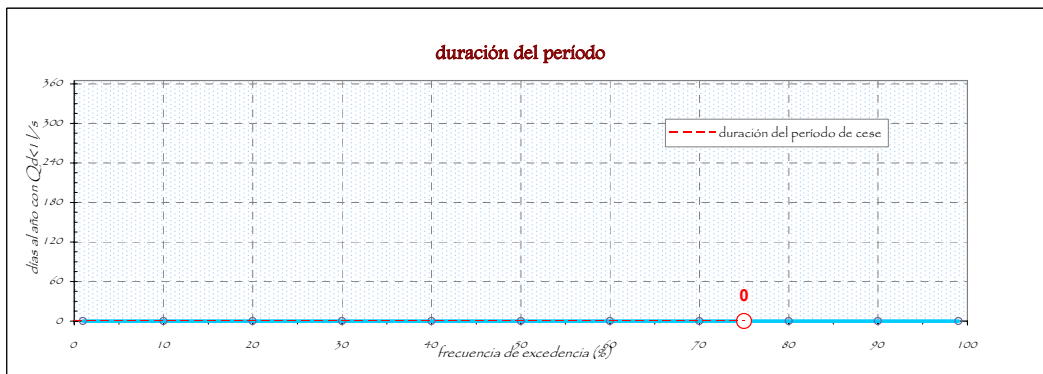
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: MES AL AÑO
PERCENTIL 75: MES AL AÑO

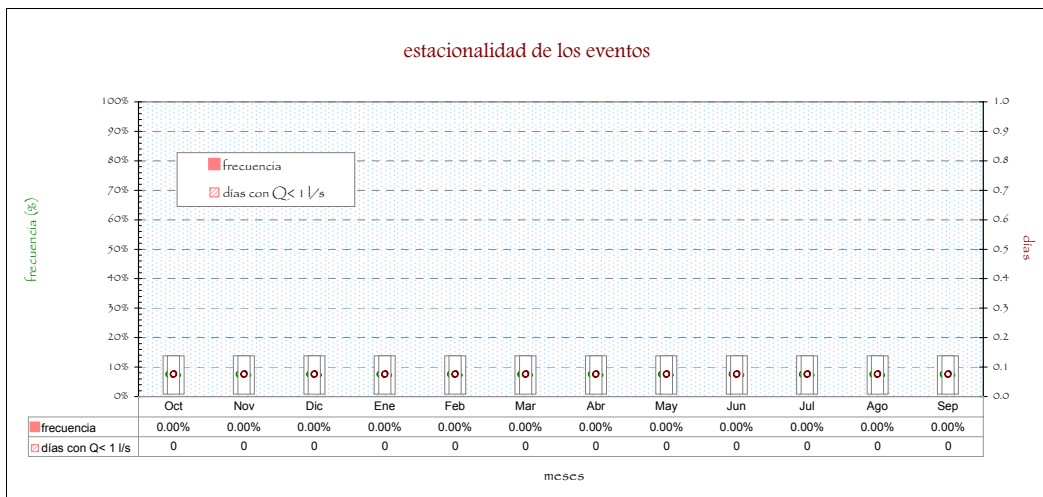


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

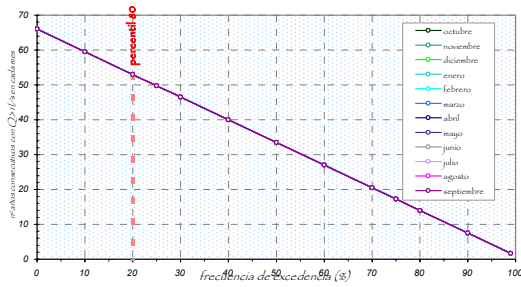




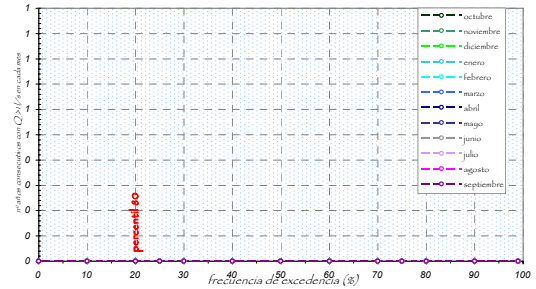
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511002001**
TRAMO BAJO DEL RÍO GUADIMAR Y AFLUENTES POR SU M.D.

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

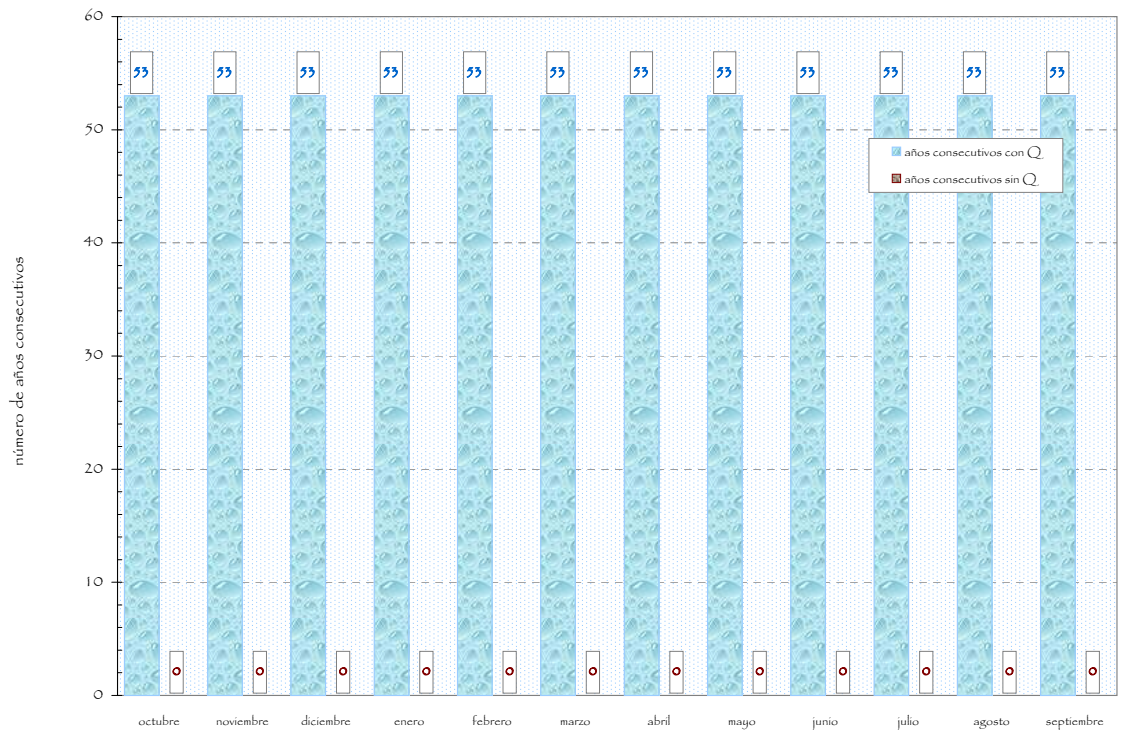


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

meses

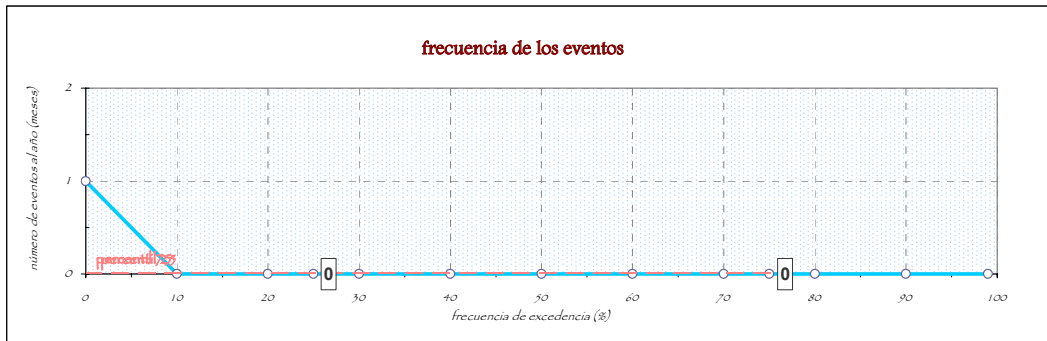


CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511002008**
RÍO CARBONES AGUAS ABAJO DEL ARROYO SALADO DE JARDA HASTA LA DESEMBOGADURA

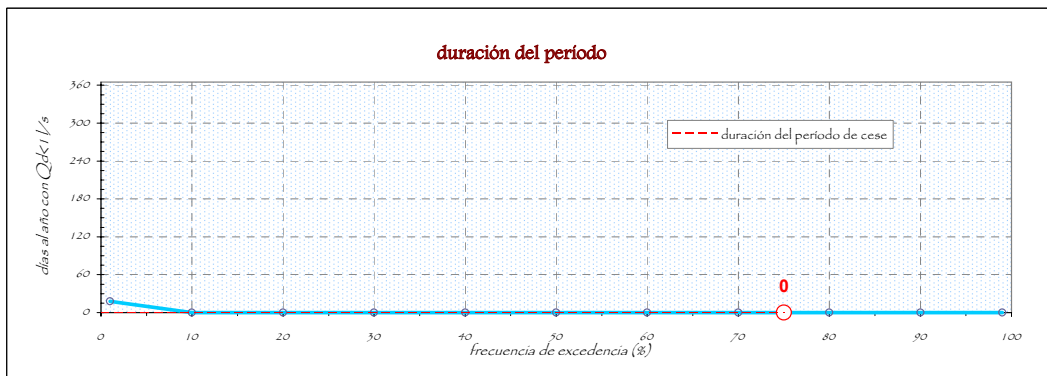
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: MES AL AÑO
PERCENTIL 75: MES AL AÑO

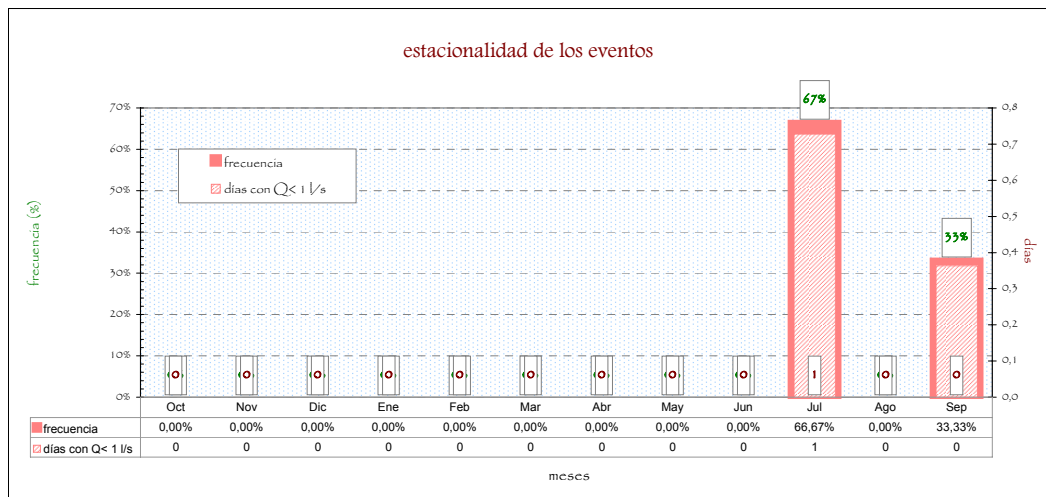


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

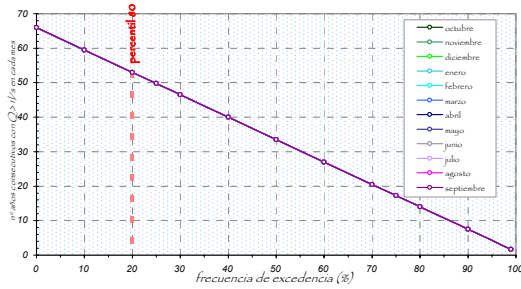




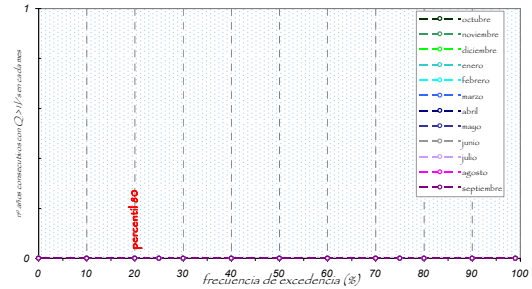
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511002008**
RÍO CARBONES AGUAS ABAJO DEL ARROYO SALADO DE JARDA HASTA LA DESEMBOCADURA

número de años consecutivos **con** caudal por meses

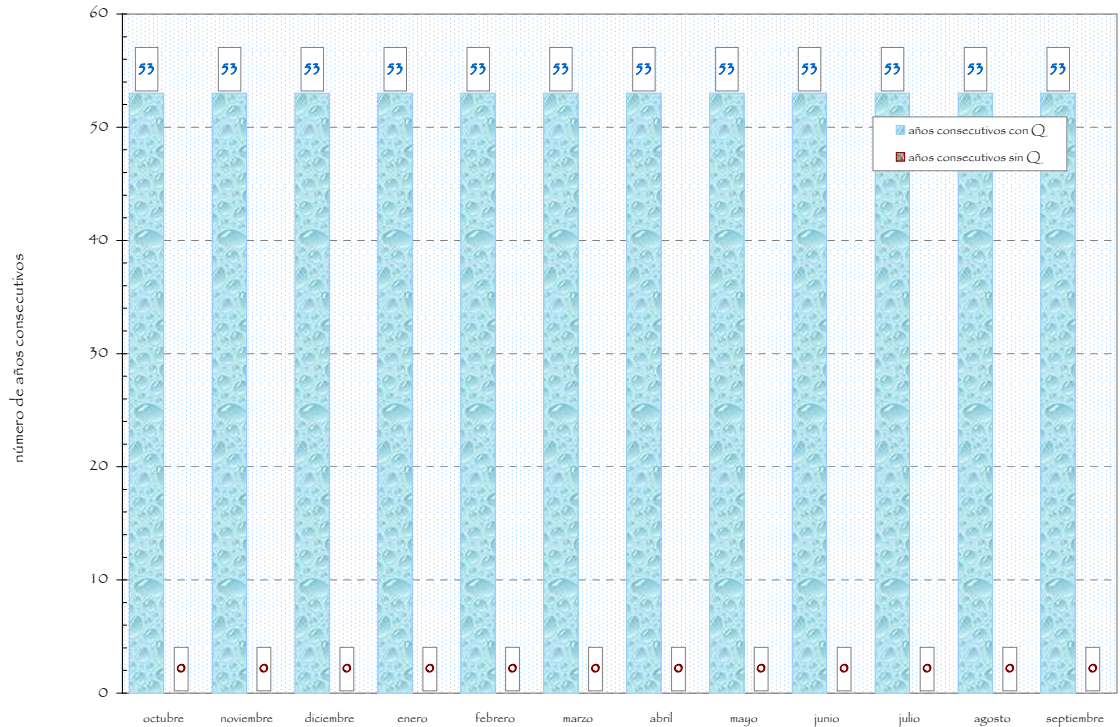


número de años consecutivos **sin** caudal por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

meses



CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

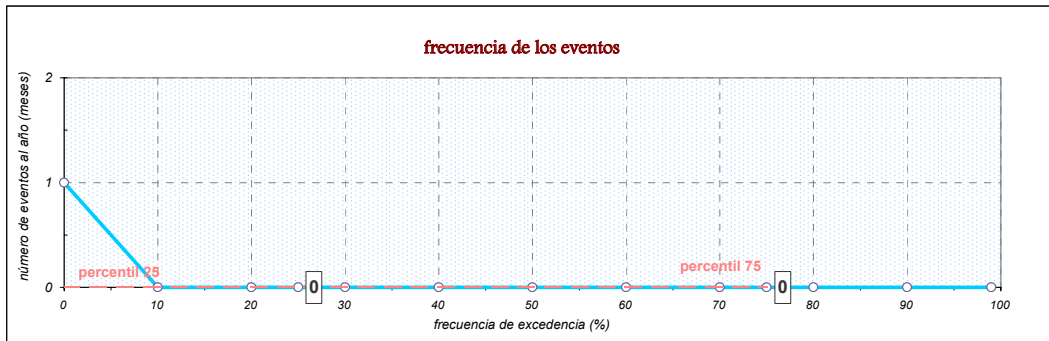
MASA DE AGUA

ES0511007022

RÍO GUADABULLÓN DESDE LAS INFANTAS HASTA EL
EMBALSE DE MENGIBAR

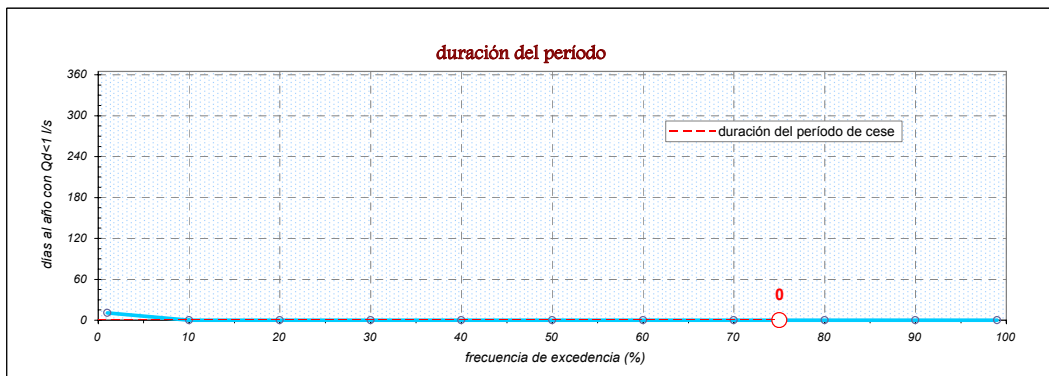
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: MES AL AÑO
PERCENTIL 75: MES AL AÑO

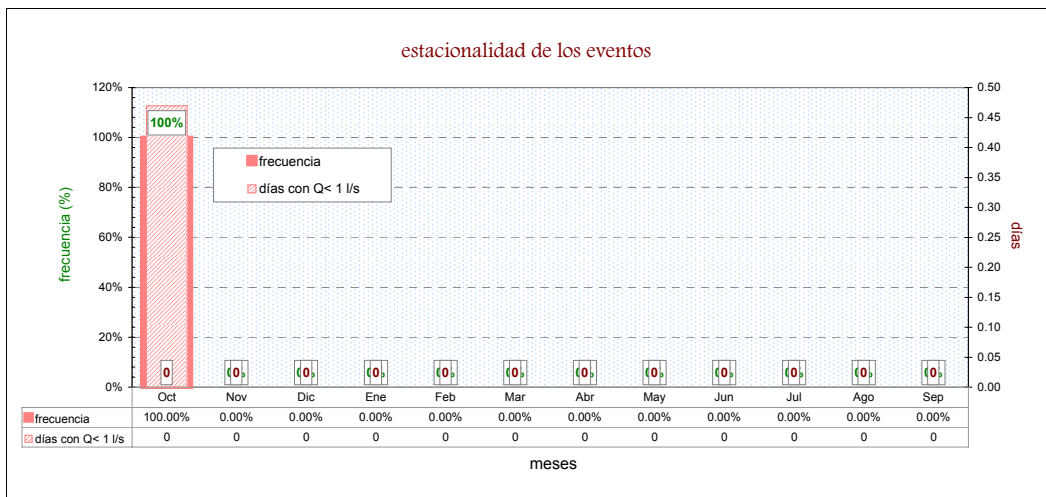


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

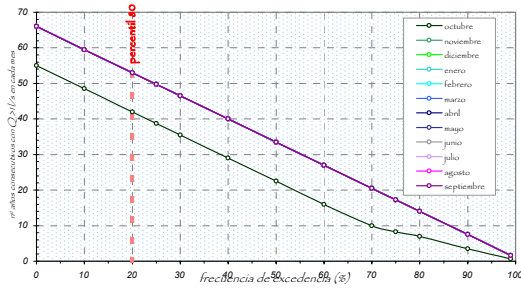




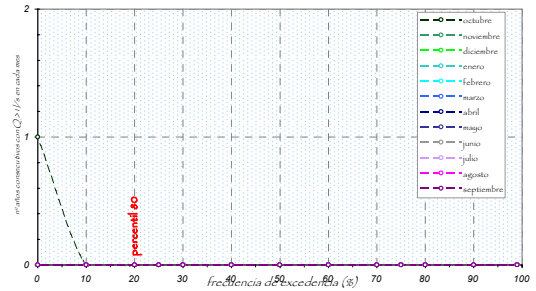
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511014002**
TRAMO BAJO DEL RÍO GUADAJÓZ

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

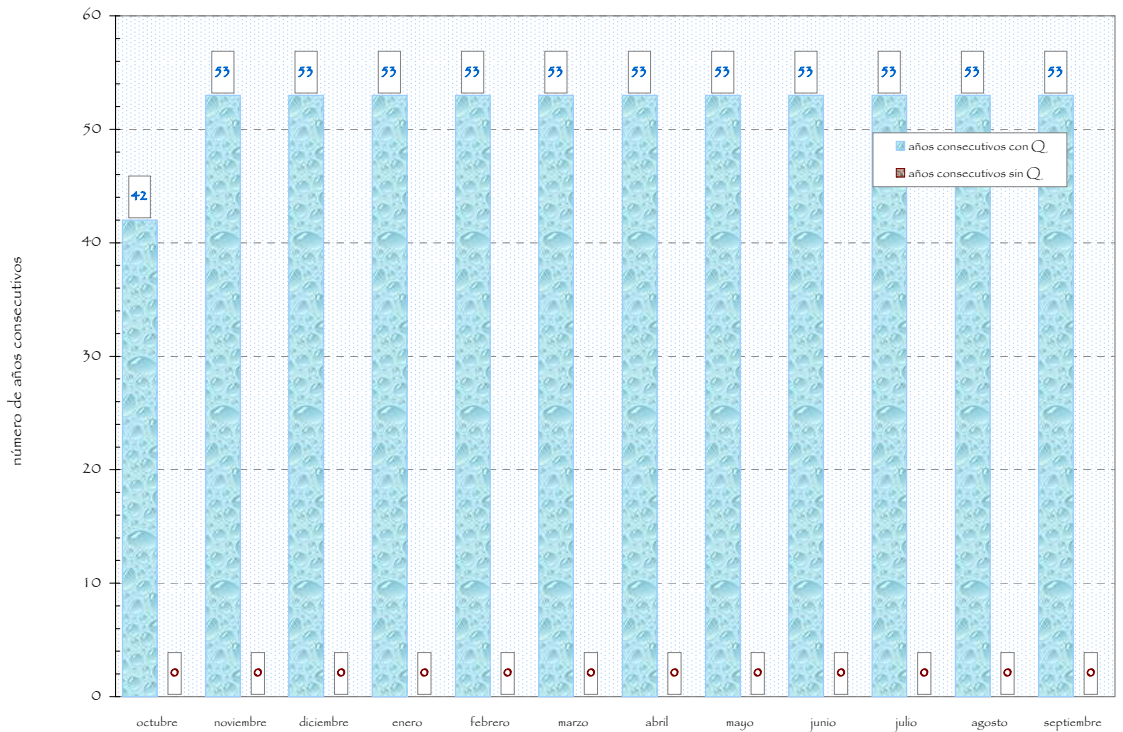


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	42	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
□ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

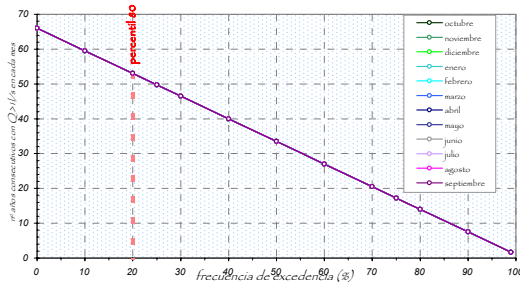
meses



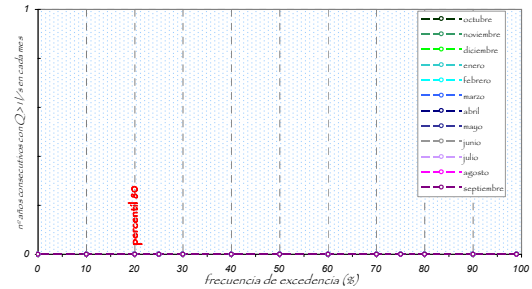
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511100063**
RÍO VIAR AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE MELONARES

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

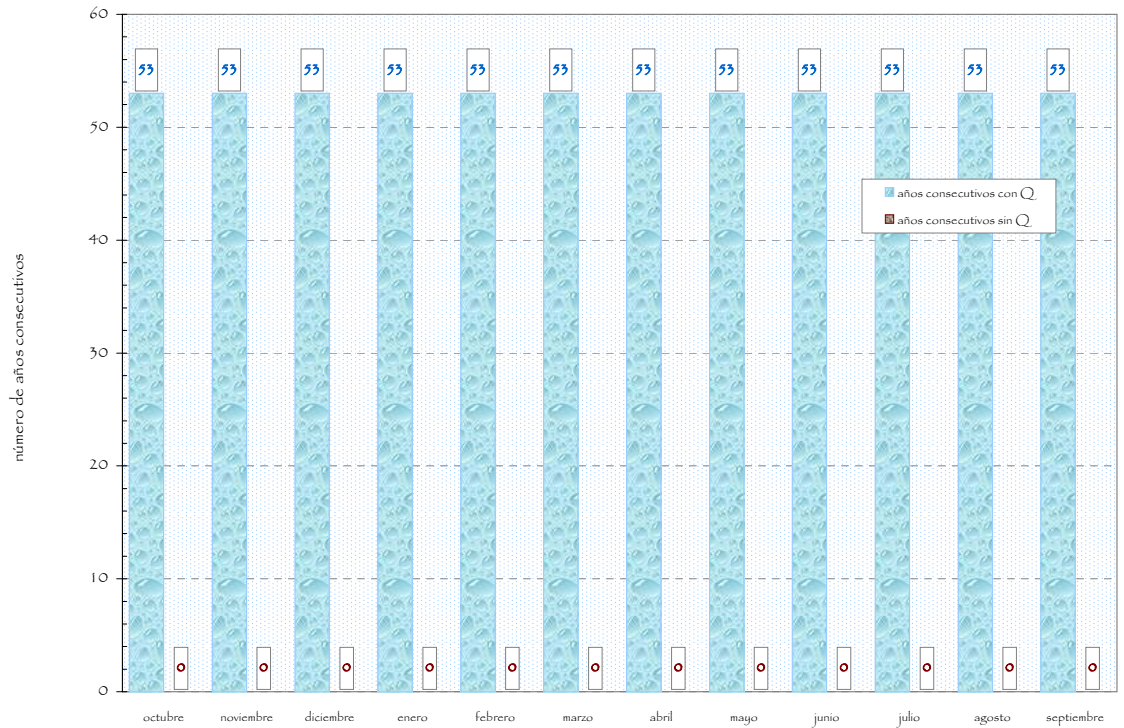


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

meses



CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

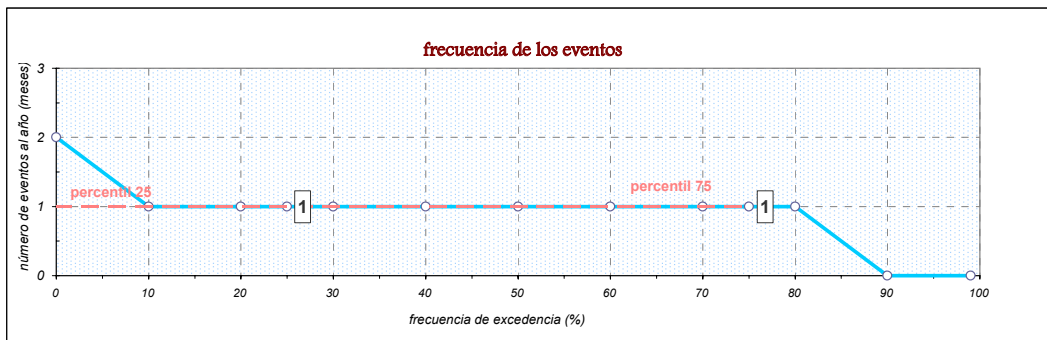
MASA DE AGUA

ES0511100070

RÍO JÁNDULA AGUAS ABAJO DE LA LOMA DE LAS BUENAS HIEBAS

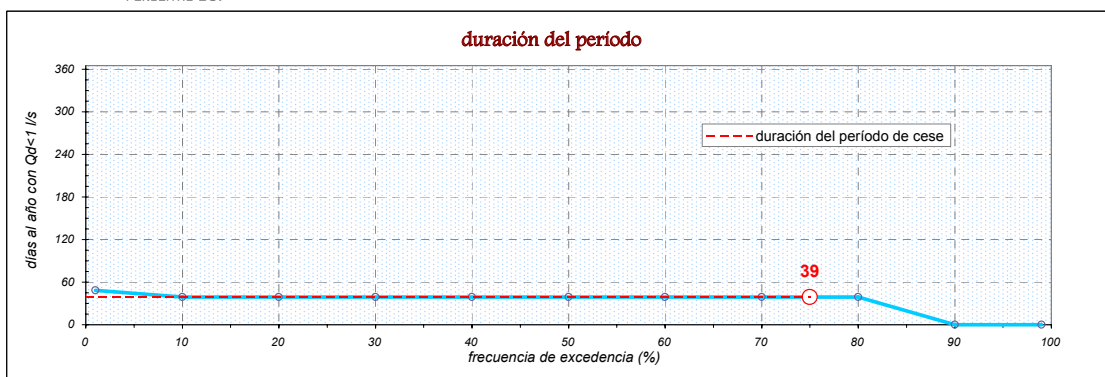
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 1 MES AL AÑO
PERCENTIL 75: 1 MES AL AÑO

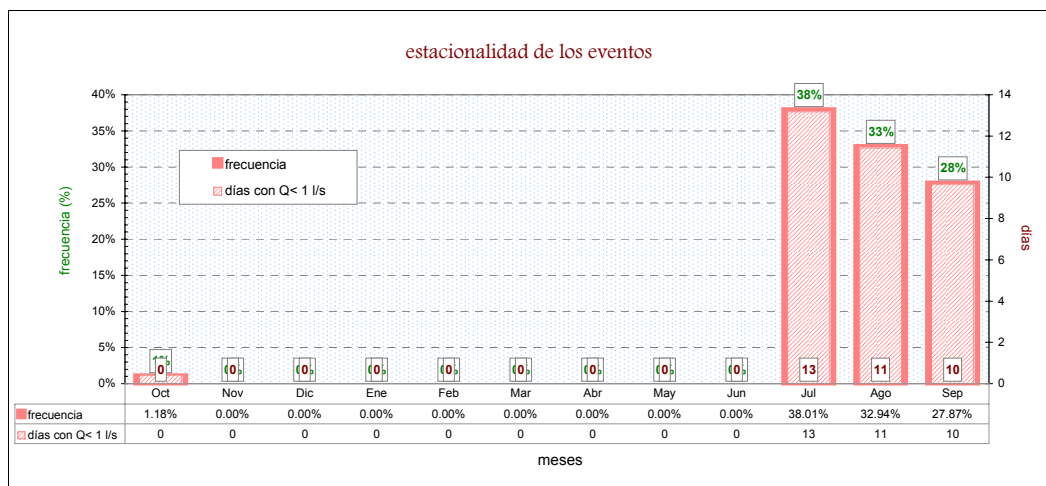


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 39 DÍAS AL AÑO



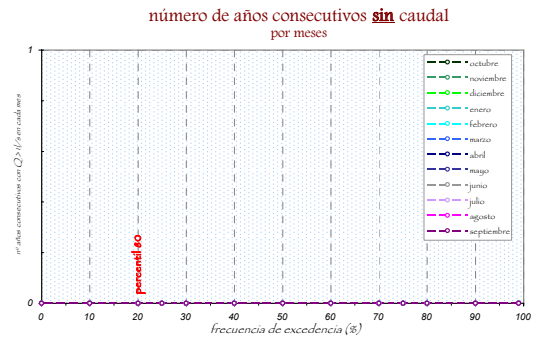
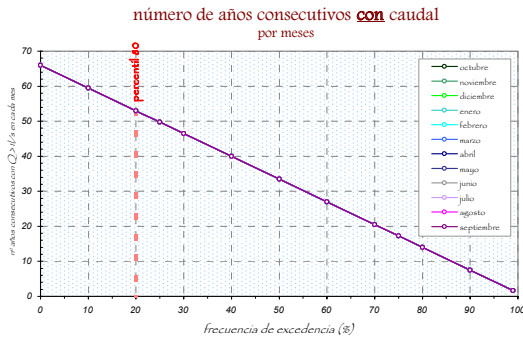
ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL





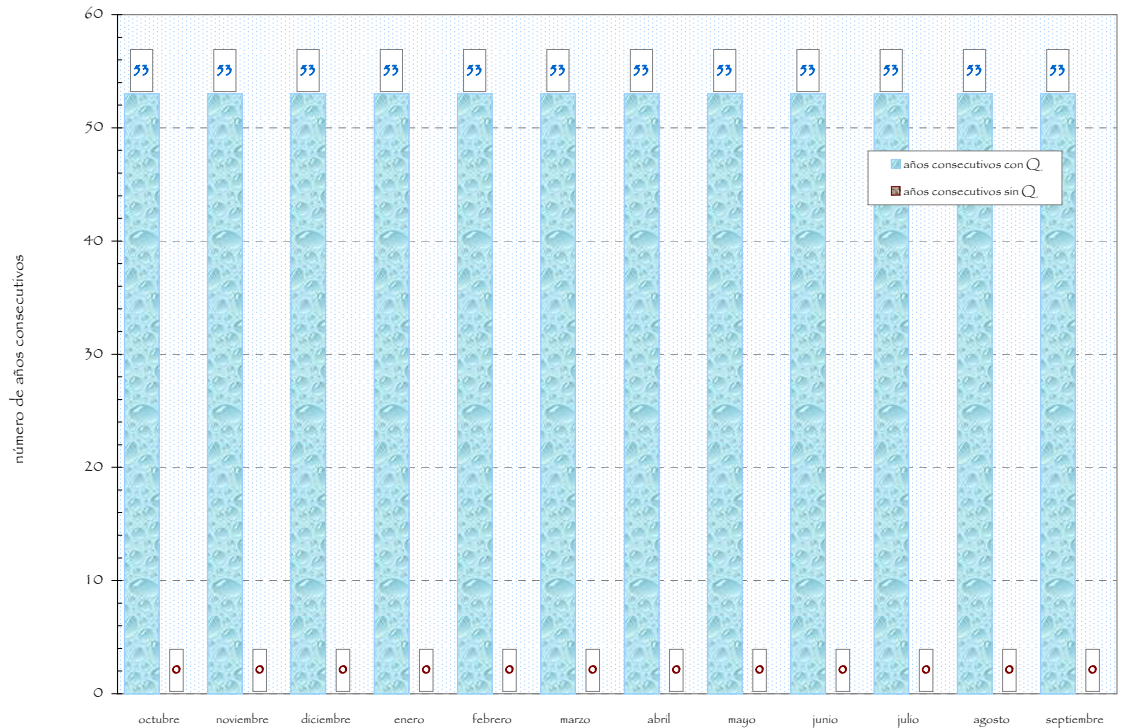
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511100076**
RÍO GENIL AGUAS ABAJO DE LA PRESA DE LA CORDOBILLA



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

meses



CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

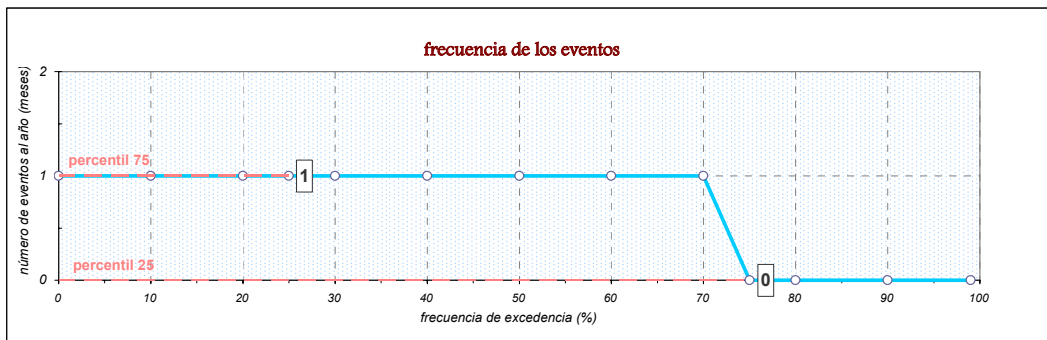
MASA DE AGUA

ES0511100079

RÍO GUADALIMAR DESDE EL ARROYO FUENTE ALAMO HASTA
AL EMBALSE DE MENGIBAR

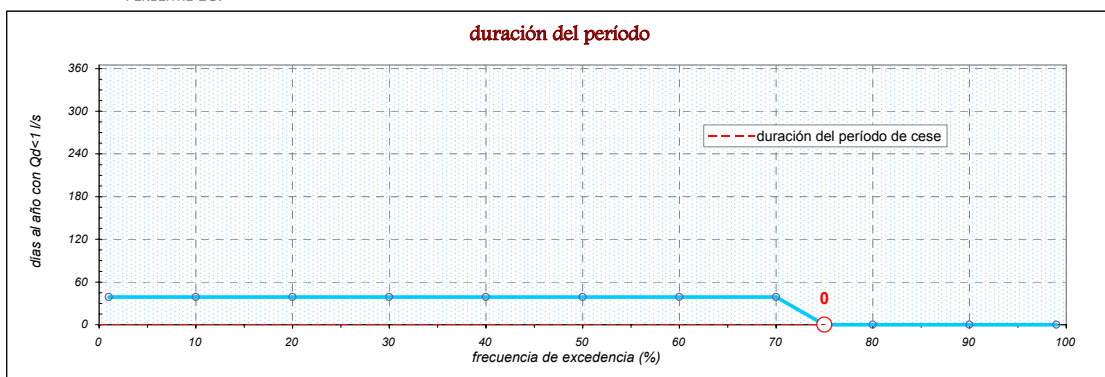
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 0 MES AL AÑO
PERCENTIL 75: 1 MES AL AÑO

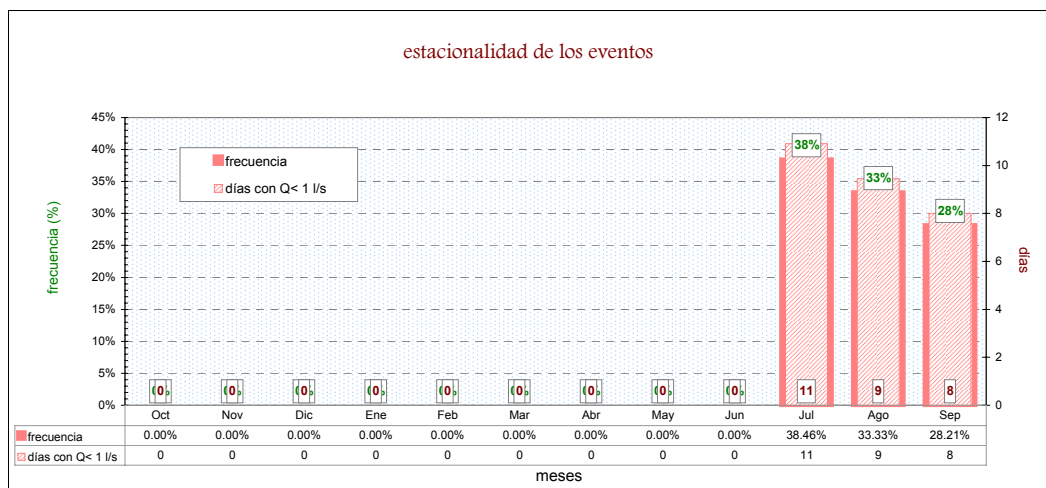


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: 0 DÍAS AL AÑO



ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

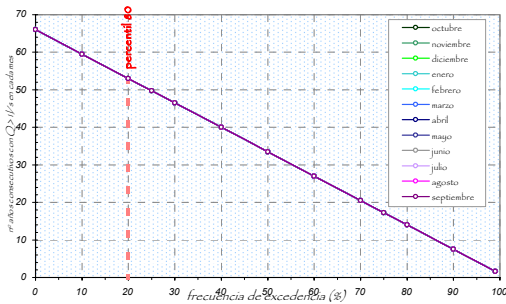




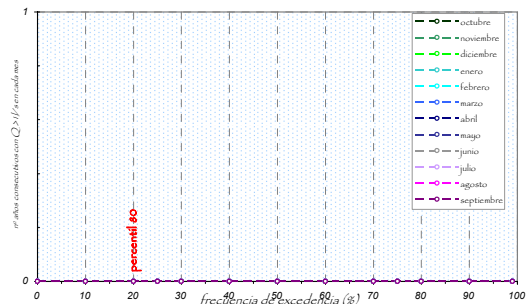
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511100083**
RÍO GUADIANA MENOR AGUAS ABAJO DEL RÍO FARDES

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

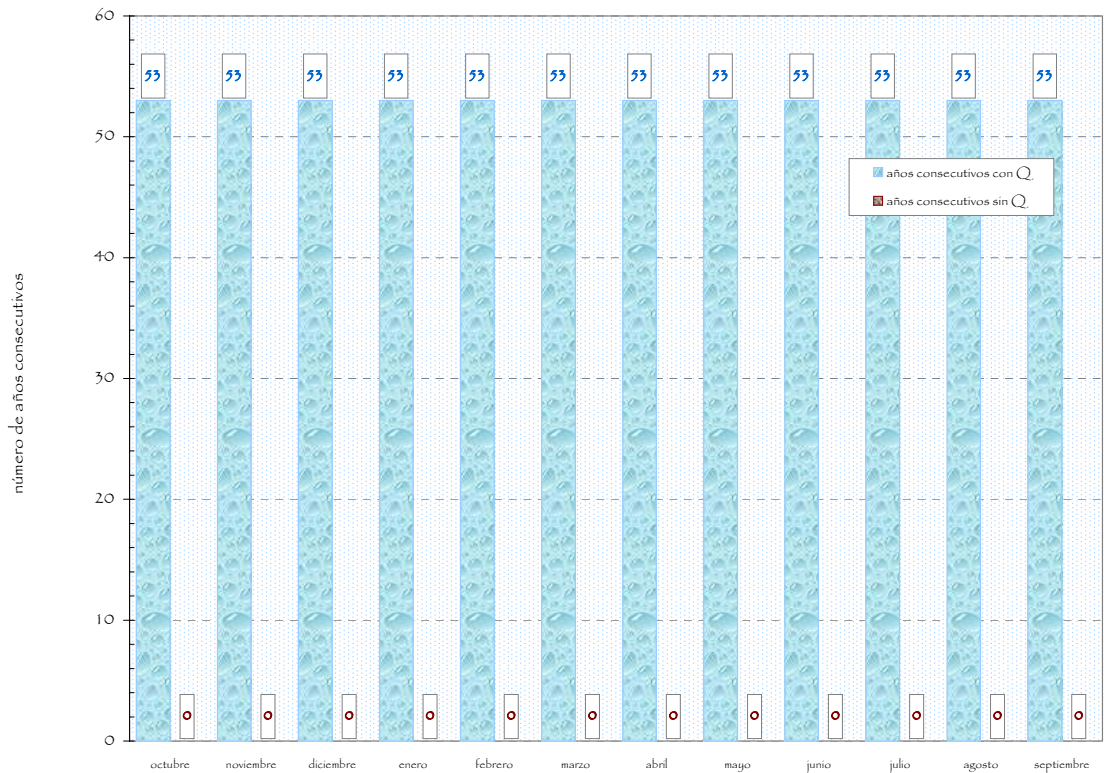


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

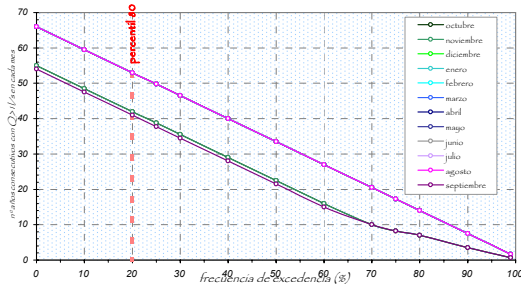
meses



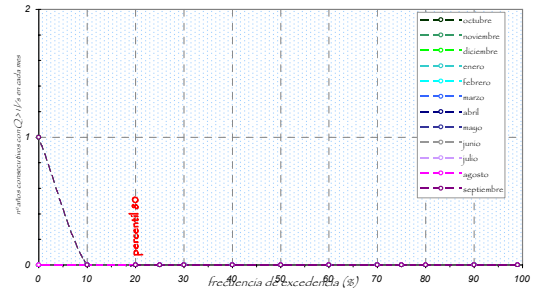
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511100107**
RIO CASTRIL AGUAS ABAJO DE LA PRESA DEL PORTILLO

número de años consecutivos **con** caudal
por meses

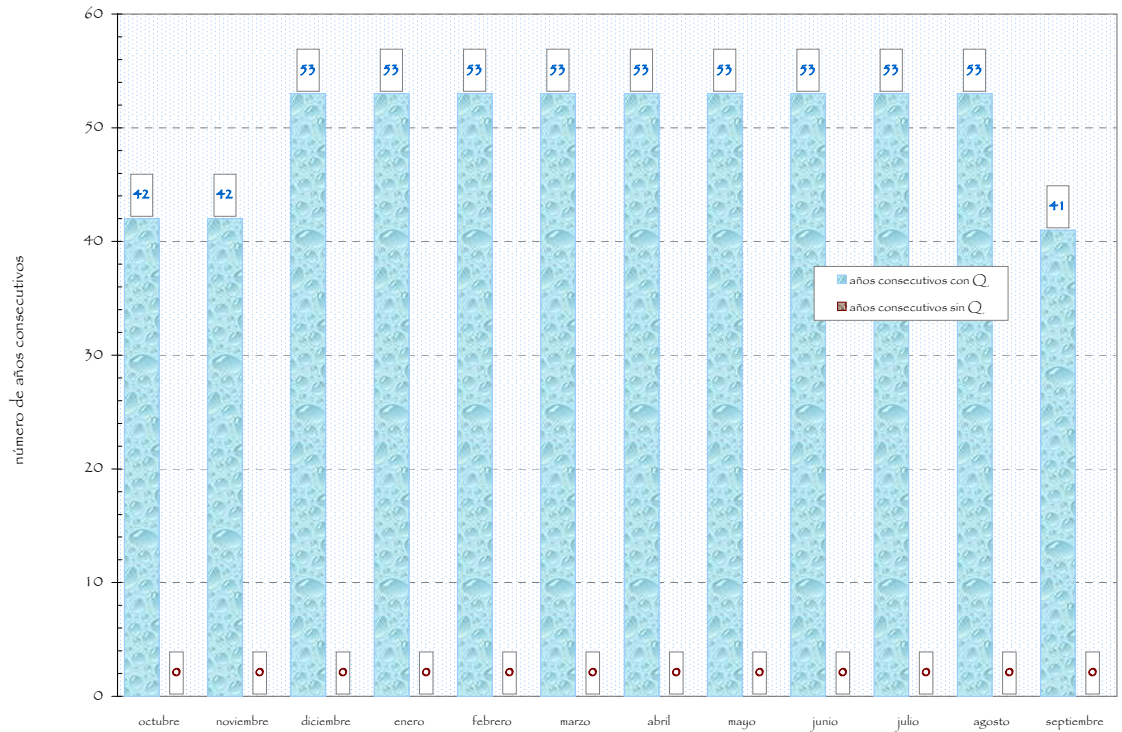


número de años consecutivos **sin** caudal
por meses



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



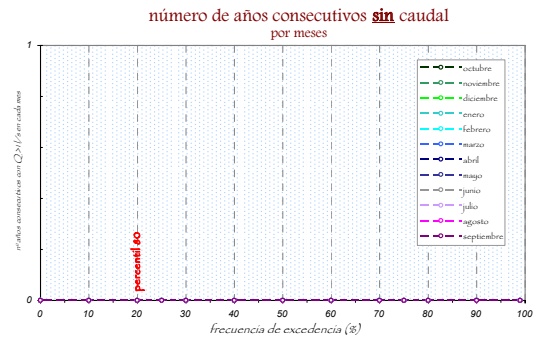
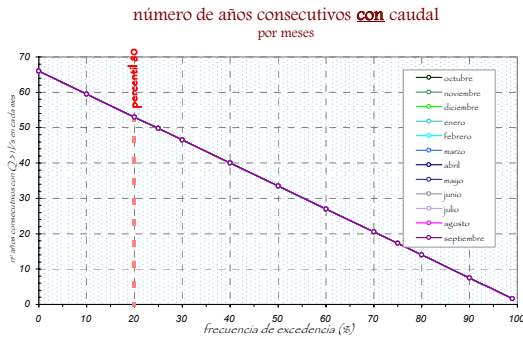
	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	42	42	53	53	53	53	53	53	53	53	53	41
□ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

meses



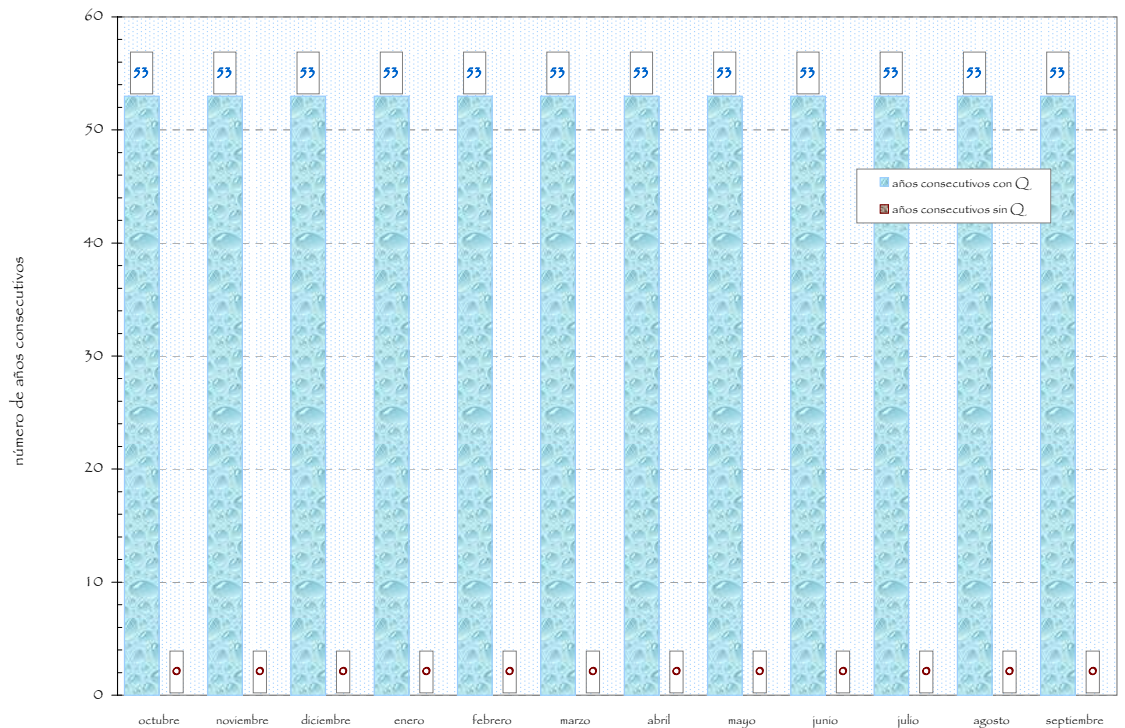
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511100110**
RÍO GUADALQUIVIR AGUAS ABAJO DEL RÍO GUADAJOZ HASTA EL RÍO GENIL



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese



	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

meses



CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

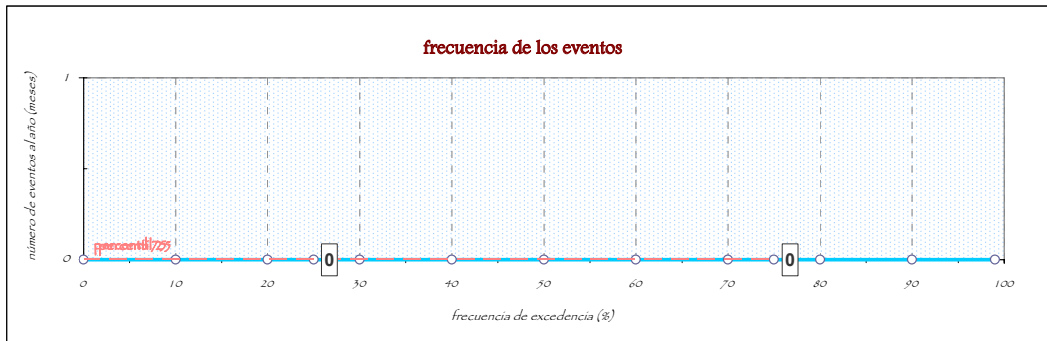
MASA DE AGUA

ES0511100115

RÍO GUADALQUIVIR DESDE LA PRESA DE PEDRO MARÍN HASTA SOTOGORDO

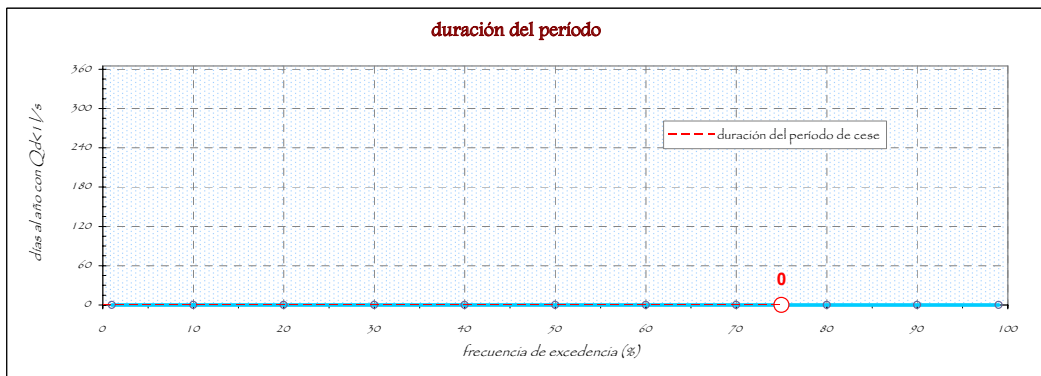
FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: MES AL AÑO
PERCENTIL 75: MES AL AÑO

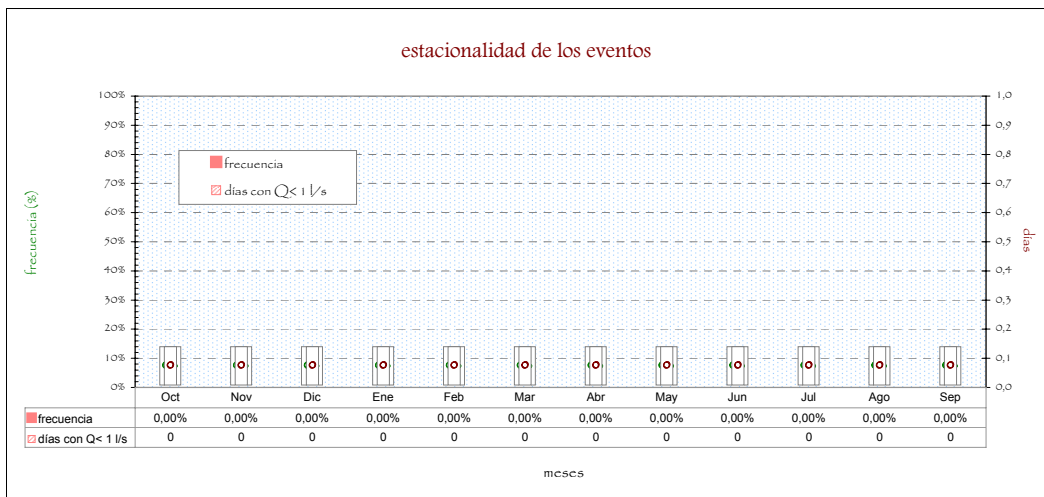


DURACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

PERCENTIL 25: DÍAS AL AÑO



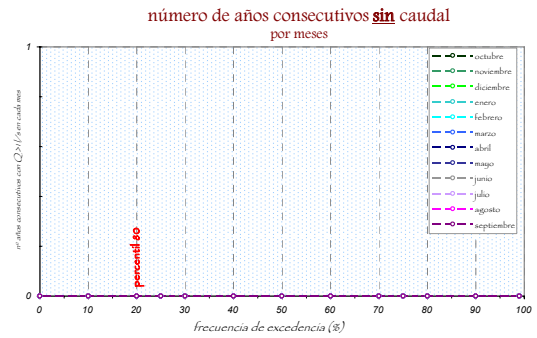
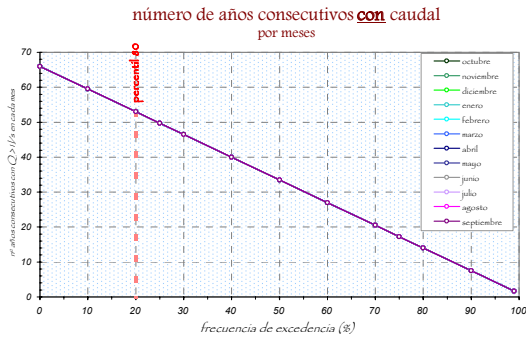
ESTACIONALIDAD DE LOS EVENTOS DE CESE DE CAUDAL





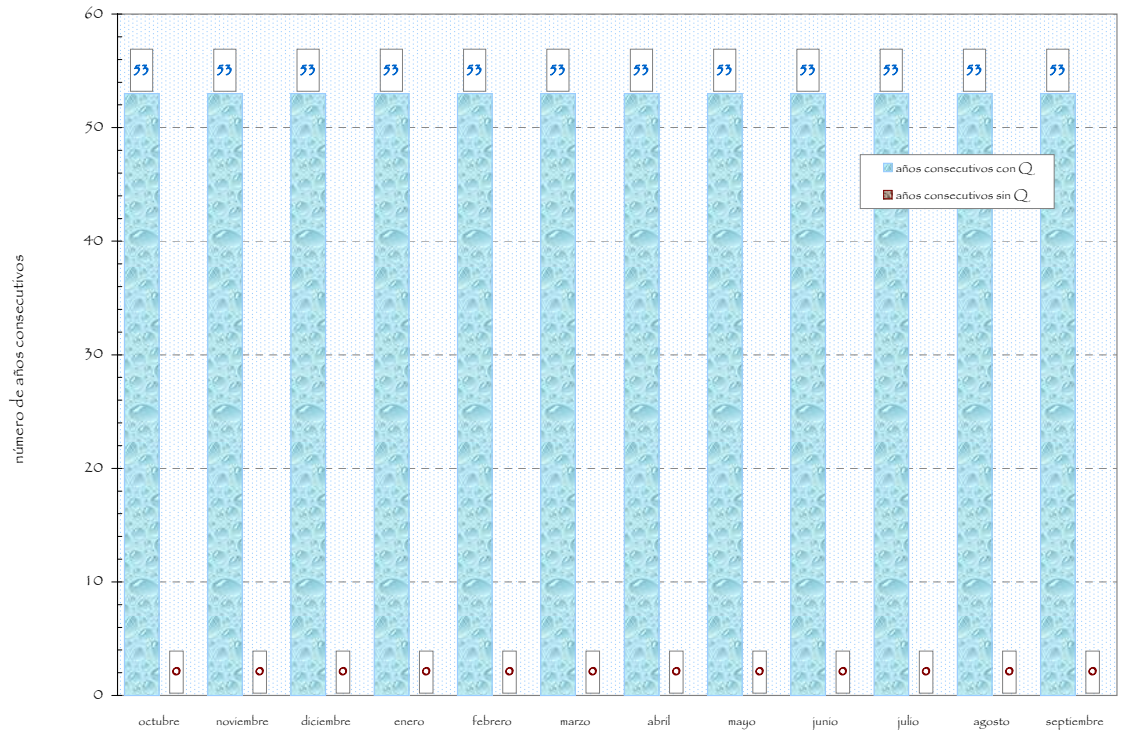
CARACTERIZACIÓN DEL PERÍODO DE CESE DE CAUDAL

MASA DE AGUA **ES0511100115**
RÍO GUADALQUIVIR DESDE LA PRESA DE PEDRO MARÍN HASTA SOTOGORDO



PROPUESTA

propuesta de distribución temporal y duración del cese

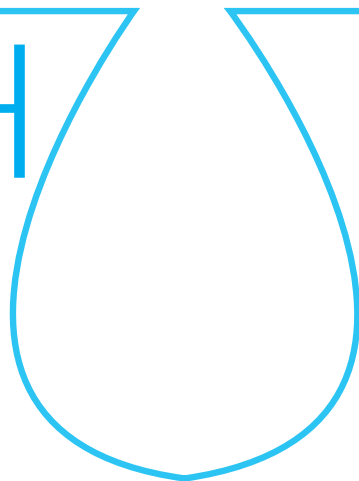


	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
■ AÑOS CONSECUTIVOS CON Q	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
■ AÑOS CONSECUTIVOS SIN Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

meses

escuela de posgrado
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS DE POSGRADO EN **HIDROLOGÍA**

UAH URJC



máster universitario

en hidrología y gestión de recursos hídricos

proyectos
2015

Cuantificación de la recarga de agua en la MAS Aluviales Jarama-Tajuña (030.007) mediante el modelo numérico RENATA

autora

Lina María Lorenys Sandino Ramírez

Directores

Dr. Francisco Carreño Conde (URJC)

Dr. Javier Lillo Ramos (URJC)

Alcalá de Henares, 07 de septiembre de 2015



AGRADECIMIENTOS

El lograr culminar esta etapa profesional requirió un gran esfuerzo, no solo propio, si no de muchas personas a las que debo agradecer, e incluso darles el crédito mismo, de este logro.

Por ello, valoro y agradezco primordialmente a mi familia: mi padre, que acaba de partir a la eternidad hace pocos días pero que estuvo presente en toda mi vida y en la totalidad de este Máster, apoyándome siempre con una sonrisa y palabras sabias. A mi hermano, que a pesar de ser tan opuesto en su forma de ser a la mía, es el mejor cómplice, amigo y maestro que se me brindó en esta vida. A Maribel S., que siempre ha estado disponible para apoyarme y aceptarme como una de sus hijas, motivándome a seguir mis sueños a pesar de lo complicado que parezca el camino.

También agradezco inmensamente a la Fundación Carolina por elegirme entre tantos, viendo capacidades en mí y otorgándome la beca. Gracias a ese reconocimiento conté con una familia adoptiva en un país extranjero, la cual estuvo compuesta por muchas personas pero siempre con la mejor disposición y una gran sonrisa. Todas ellas, no solo me guiaron, sino que también velaron por mi completo bienestar en todo momento.

Agradezco a la Universidad de Alcalá de Henares y la Universidad Rey Juan Carlos, instituciones que me brindaron los conocimientos a través de docentes y profesionales capacitados e íntegros. En especial agradezco profundamente a Irene Bustamante y Francisco Carreño, personajes en mi proceso de aprendizaje que además de ser excelentes maestros, también fueron unos grandes amigos, brindándome un apoyo incondicional de forma inimaginable en momentos difíciles.

A mi gran maestro y mentor Oscar Álvarez-Villa, que creó y promovió en mí el amor por la hidrogeología y me inculcó la gran importancia que tiene esa especialización en el mundo para el futuro cercano.

Ya finalmente agradezco a mis amigos, tanto aquellos que tuve la oportunidad de conocer en esta aventura, entre ellos: Luzcarina Uray, gran amiga y compañera, Giulia Mininel, Elizabeth Ornelas, Karina Quiñónez, Ester Heredia, Cristina Prada, Manuel Camiña y Javier de la Cruz, como los que a pesar de estar en la distancia jamás dejaron de acompañarme haciendo que nunca me sintiera sola: Mauricio Ramírez, Alejandra Romero, Andrea Gómez, Ricardo Román, Jefferson Yarce, Héctor Vargas, Sebastián Durán, Daniel Tamayo, entre otros; y a todos aquellos a los cuales mi mala memoria no les hace justicia pero que se encuentran en mi corazón...

¡GRACIAS TOTALES!



ÍNDICE

1. Resumen	361	4.5. Definición de sectores climáticos.....	371
2. Introducción	361	4.6. Definición de sectores de suelo	371
3. Objetivos	362	4.6.1. Capacidad de almacenamiento	371
4. Metodología	362	4.6.2. Umbral de escorrentía	371
4.1. Información disponible.....	362	4.7. Definición de sectores de riego.....	375
4.1.1. Localización.....	362	5. Resultados y discusiones.....	375
4.1.2. Climatología.....	363	5.1. Variables climáticas principales.....	376
4.1.3. Topografía.....	363	5.2. Lluvia útil	376
4.1.4. Usos del suelo.....	364	5.2.1. Escorrentía superficial	377
4.1.5. Hidrogeología.....	365	5.2.2. Infiltración.....	377
4.1.6. Tipos de suelo.....	366	5.3. Retornos por Regadío	378
4.2. Descripción teórica del modelo de recarga	366	5.4. Recarga total.....	378
4.2.1. Calculo de la evapotranspiración real y lluvia útil	366	5.5. Aplicabilidad programa	379
4.2.2. Calculo de la escorrentía superficial e infiltración.....	367	6. Conclusiones	379
4.3. Definición Generalidades Modelo.....	368	7. Recomendaciones	380
4.3.1. Geometría del acuífero.....	368	8. Bibliografía	380
4.3.2. Tiempo de simulación	368	8.1. Información complementaria: cartografía digital en la red	381
4.4. Incorporación de series de datos	368	Anexos.....	382
4.4.1. Precipitación.....	368	1. Anexo 1. Variables climáticas.....	382
4.4.2. Temperatura.....	368	2. Anexo 2. Dotaciones calculadas	384
4.4.3. Evapotranspiración Potencial.....	368	3. Anexo 3. Umbral de escorrentía	385
4.4.4. Dotaciones de riego.....	370	4. Anexo 4. Calculos recarga.....	387



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio 363

Tabla 2. Influencia de polígonos de Thiessen en MAS aluviales Jarama-Tajuña y valores característicos de precipitación en series climáticas considerada 368

Tabla 3. Cultivos según coberturas de suelo con duración etapas de crecimiento y coeficientes de cultivos 370

Tabla 4. Números primos asignados a coberturas de suelo de MAS aluviales: Jarama-Tajuña 373

Tabla 5. Volúmenes mensuales calculados para diferentes variables en modelo de recarga MAS aluviales Jarama-Tajuña 375

Tabla 6. Volúmenes hídricos anuales calculados para la MAS aluviales Jarama-Tajuña 379

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Región cerrada de volumen conocido a la que se aplica el balance hídrico 361

Figura 2. Localización zona de estudio. Aluviales Jarama-Tajuña (030.007) 362

Figura 3. Estaciones meteorológicas utilizadas y polígonos de Thiessen (arriba). Histogramas de precipitación mensual para estaciones utilizadas y temperatura media mensual (abajo) 363

Figura 4. MDE Aluviales: Jarama-Tajuña 364

Figura 5. Mapa de coberturas y usos del suelo Aluviales: Jarama-Tajuña 364

Figura 6. Corte geológico al norte de la zona de estudio (Modificado por Camiña-2015 de la hoja 560 serie MAGNA) 365

Figura 7. Mapa de isopiezas correspondiente a la campaña de febrero 2015 de la MAS Aluviales Jarama-Tajuña 365

Figura 8. Mapa de tipo de suelos Aluviales: Jarama-Tajuña 366

Figura 9. Esquema producción lluvia útil e incremento de reserva a partir de precipitación en relación con balance de suelo propuesto por Girard (1981)- (IGME, 2012) 367

Figura 10. Curva generalizadas del coeficiente del cultivo correspondiente al procedimiento del coeficiente único del cultivo 369

Figura 11. Sectores climáticos delimitados en modelo de recarga MAS aluviales Jarama-Tajuña 370

Figura 12. Mapa de pendiente del terreno MAS aluviales: Jarama-Tajuña 372

Figura 13. Mapa de tipos de suelo MAS Aluviales: Jarama-Tajuña 373

Figura 14. Mapa de reclasificación coberturas y usos de suelo en la MAS Aluviales: Jarama-Tajuña 374

Figura 15. Sectores de suelos delimitados en modelo de recarga MAS Aluviales Jarama-Tajuña 374

Figura 16. Sectores de riego delimitados en modelo de recarga MAS Aluviales Jarama-Tajuña 375

Figura 17. Volúmenes mensuales de variables climáticas calculados en modelo numérico RENATA para la MAS aluviales Jarama-Tajuña 376

Figura 18. Volúmenes de lluvia útil calculados en modelo numérico con programa RENATA para la MAS aluviales Jarama-Tajuña 377

Figura 19. Mapa litología y polígonos de Thiessen para MAS Aluviales Jarama-Tajuña y municipio Ciempozuelos 377

Figura 20. Volúmenes de recarga calculados en modelo numérico con programa RENATA para la MAS aluviales Jarama-Tajuña 378



INDICE DE ABREVIATURAS

ADTM: Acuífero Terciario Detrítico de Madrid

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología

CC: Capacidad de Campo

CLC: Corine Land Cover

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INF: Infiltración de precipitación

MDE: Modelo Digital de Elevaciones

ESC: Escorrentía superficial

ETc: Evapotranspiración del Cultivo

ETP: Evapotranspiración Potencial

ETR: Evapotranspiración Real

LLU: Lluvia Útil

MAS: Masa de Agua Subterránea

P_o: Umbral de escorrentía

RR: Retornos de Riego

RENATA: Recarga Natural a los Acuíferos. Modelo numérico para cálculo de recarga de acuíferos

SCS: Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos

USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés).

UTM: Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator



1. RESUMEN

En este estudio se estima la recarga potencial de la MAS Aluviales Jarama-Tajuña (030.007), ubicada en una cuenca sedimentaria perteneciente al Acuífero Terciario Detrítico de Madrid, mediante la aplicación del modelo numérico RENATA (Recarga NATural a los Acuíferos) desarrollado en conjunto por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Diputación de Alicante, para calcular la cantidad de agua que accede al acuífero por infiltración pluvial y por retorno de regadío. El modelo está basado en un método de balance hídrico de suelos que considera diferentes variables influyentes en la recarga de los acuíferos, tales como: la precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial y real, lluvia útil, capacidad de campo y umbral de escorrentía o número de curva, en función de los tipos de suelo, cobertura vegetal y pendiente, además de la posibilidad de establecer dotaciones de riego discretizadas y distribuidas en el espacio y en el tiempo.

Los resultados de la modelación del acuífero, que fue basada en series climáticas correspondientes al periodo entre mayo 2013 - mayo del 2015, arrojan un volumen mínimo de recarga potencial anual de 27 hm³, altamente sensible a la variación en dotaciones y retornos por regadíos de cultivos ubicados en la zona.

Palabras clave: Acuífero, recarga potencial, balance hídrico de suelos, dotaciones de riego, Modelo RENATA.

2. INTRODUCCIÓN

La estimación precisa de la recarga es de vital importancia para el manejo sostenible de los acuíferos. La recarga a un acuífero puede darse naturalmente debido a la precipitación, a las aguas superficiales, es decir, a través de ríos y lagos, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento, por infiltraciones de embalses y depósitos, o por efectos de recarga artificial en la implementación de esquemas de uso conjunto superficial y subterráneo (Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Samper, 1997; Sahuquillo, 2010; Álvarez-Villa, 2014).

Uno de los métodos más utilizados para estimar la recarga por precipitación es el de balance hídrico. Este método consiste en la aplicación del principio de la conservación de masa a una cierta región de volumen conocido, definida para unas determinadas condiciones de frontera durante un determinado periodo de tiempo en el que se realiza el balance. De este modo, las entradas de masa de agua menos las salidas serán igual a la variación en el almacenamiento. Así pues, puede cumplirse para cualquier región cerrada y para un intervalo de tiempo determinado, el principio de conservación de masa expresado como:

$$\Delta \text{Almacenamiento} = \text{Precipitación} + \text{Riego} - \text{Evapotranspiración} - \text{Escorrentía} \quad (\text{EC.1})$$

Esta ecuación puede ser aplicada a sistemas de cualquier tamaño y es dependiente del tiempo, es decir, los elementos del flujo

que entran al sistema en estudio deben ser evaluados sobre el mismo periodo de tiempo que los del flujo de salida.

Para las entradas a la región de interés, se tiene la precipitación, como principal fuente de agua en la naturaleza, y los retornos de regadíos. En cuanto a las salidas, o el flujo que sale del sistema, se incluye la evapotranspiración del agua presente en el suelo y la evapotranspiración de agua superficial, y la escorrentía, incluyendo tanto la superficial como la subterránea (ver figura 1).

Por su parte, el cambio en el almacenamiento constituye la diferencia entre la cantidad de agua almacenada al final del periodo y la cantidad de agua almacenada al inicio de él dentro del sistema.

Los cambios en el almacenamiento son necesarios para el balance e incluyen variación del volumen en el agua superficial de arroyos, ríos, lagos y charcos, cambios en la humedad del suelo en la zona vadosa, cambios en la cantidad de nieve o hielo almacenada en la superficie, como también variaciones en el almacenamiento, en depresiones temporales, así como los cambios en el agua interceptada por la vegetación y en la cantidad de agua ubicada por debajo del nivel freático (Álvarez-Villa, 2014).

Figura 1. Región cerrada de volumen conocido a la que se aplica el balance hídrico



Fuente: Modificado de Martínez A., 2006.

De este modo, el presente trabajo se basa en realizar un cálculo de la recarga del acuífero de la masa de agua subterránea (MAS) Aluviales Jarama-Tajuña, a partir del balance hídrico evaluado en cada una de las celdas de una malla delimitada representativa del acuífero. Los marcos teóricos de las variables consideradas en el modelo computacional se presentan en las siguientes secciones haciendo especial énfasis en las opciones disponibles del programa RENATA para el manejo de la información introducida.



3. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es cuantificar la recarga hídrica en el sistema acuífero de la MAS Aluviales Jarama-Tajuña, con código N° 030.007 en la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT), utilizando el modelo numérico RENATA (Recarga Natural a los Acuíferos).

Simultáneamente, como objetivos más específicos se tiene:

- Estimar los volúmenes anuales de la recarga potencial de la MAS.
- Analizar las diferentes variables resultado del modelo, tales como: lluvia útil y escorrentía superficial, infiltración y retornos de regadío, comparándolos con trabajos previos realizados en la zona de estudio y determinando la confiabilidad de los valores obtenidos.
- Evaluar la aplicabilidad del programa RENATA en el cálculo de volúmenes de recarga en acuíferos.

4. METODOLOGÍA

4.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE

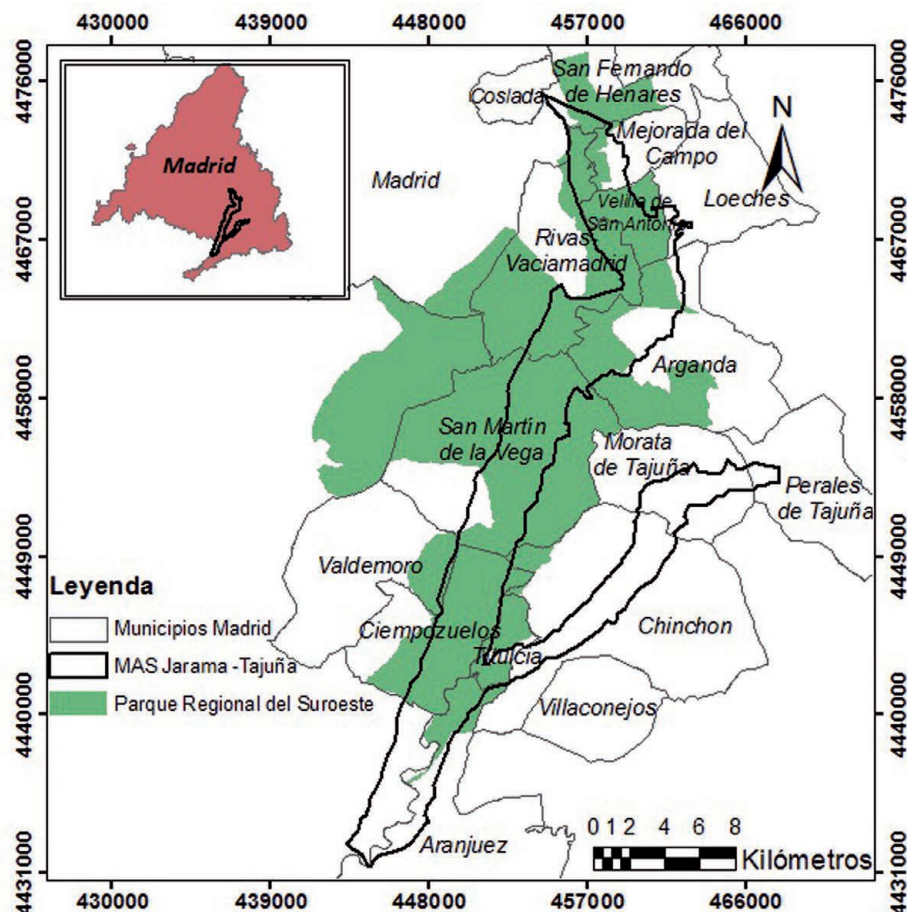
4.1.1. LOCALIZACIÓN

La Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) promovió la división del Acuífero Detrítico Terciario de Madrid - ADTM en Masas de Agua Subterráneas (MAS) sustituyendo así las antiguas Unidades Hidrogeológicas usualmente manejadas. El presente trabajo se enfoca en la MAS Aluviales Jarama-Tajuña con código No. 030.007 de la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT).

Esta zona de estudio se localiza en el sector sureste de la provincia de Madrid, en el centro de España. Abarca una extensión aproximada de 207 km² que se extiende a ambos márgenes del río Jarama, iniciando en el sur del municipio de San Fernando de Henares, en la provincia de Madrid, hasta las proximidades del municipio de Aranjuez, también en Madrid. En su costado izquierdo se extiende por el río Tajuña, desde Perales de Tajuña, pasando por Morata de Tajuña, hasta la confluencia con el río Jarama.

Además de ello, cabe destacar que parte del área de estudio se encuentra dentro de los límites del Parque Regional del Sureste el cual dispone de ecosistemas de humedales de gran importancia en la región (figura 2).

Figura 2. Localización zona de estudio. Aluviales Jarama-Tajuña (030.007)





4.1.2. CLIMATOLOGÍA

La información correspondiente a la precipitación y demás variables climatológicas se obtuvo a partir de registros históricos diarios comprendidos desde el 07 de mayo del 2013 hasta el 31 de mayo del 2015, de cuatro estaciones de monitoreo de la Agencia Estatal de Meteorología - AEMET ubicadas en los alrededores de la MAS (ver tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas UTM de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio

Estación	Coordenadas		
	X	Y	Z
Aranjuez	448569.61	4431706.93	49.00
Arganda del Rey	462699.60	4461286.07	61.00
Madrid	442467.86	4473778.56	66.00
Tielmes	473396.36	4455228.15	59.00

Dichas estaciones son señaladas en mapa de la figura 3. En esta figura se incluyen los polígonos de Thiessen, el histograma de precipitación mensual y la gráfica de temperatura media mensual de cada estación.

4.1.3. TOPOGRAFÍA

Se dispone de un modelo digital de elevaciones (MDE) generado a partir de la Tecnología LiDAR, con resolución espacial de 5 m, extraído de la base de datos del Instituto Geográfico Nacional – IGN (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>). De este modo, se ubica la zona de estudio en las hojas N° 559, 560, 582, 583, 605 y 606, las cuales se muestran en la figura 4.

Figura 3. Estaciones meteorológicas utilizadas y polígonos de Thiessen (arriba). Histogramas de precipitación mensual para estaciones utilizadas y temperatura media mensual (abajo)

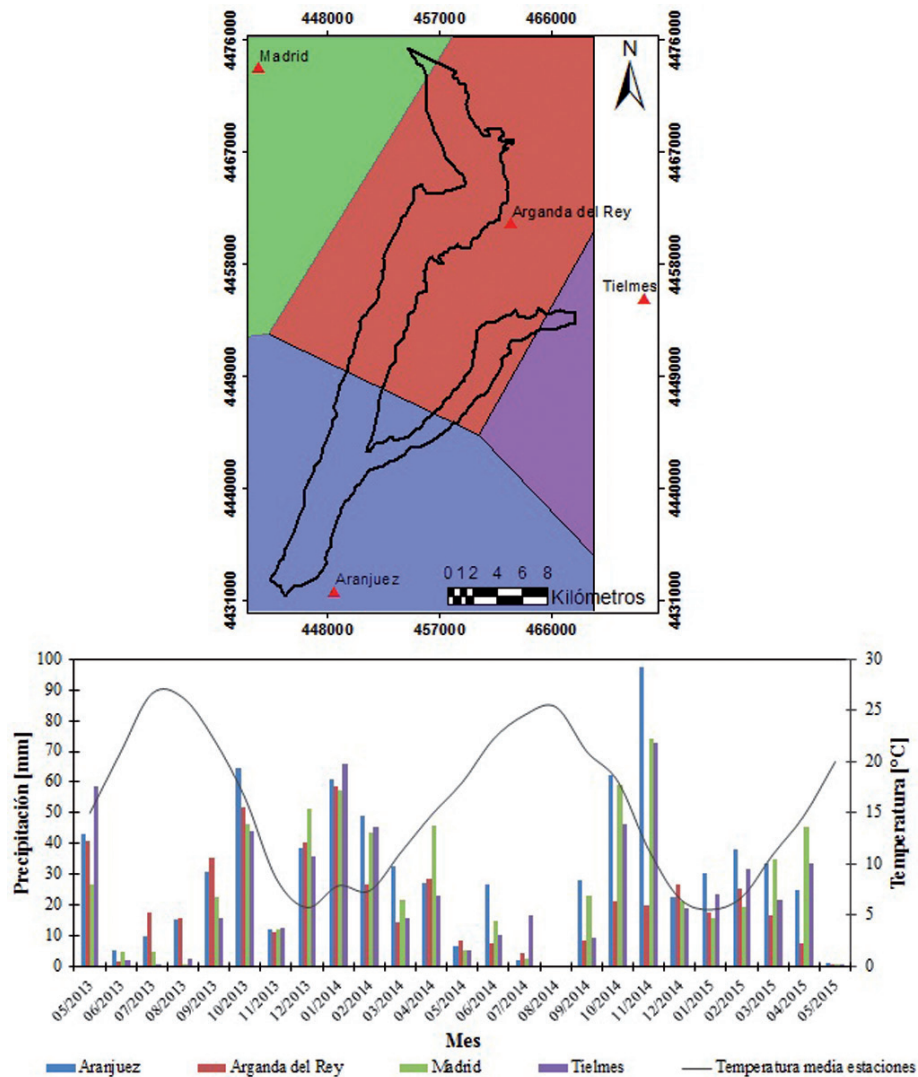




Figura 4. MDE Aluviales: Jarama-Tajuña

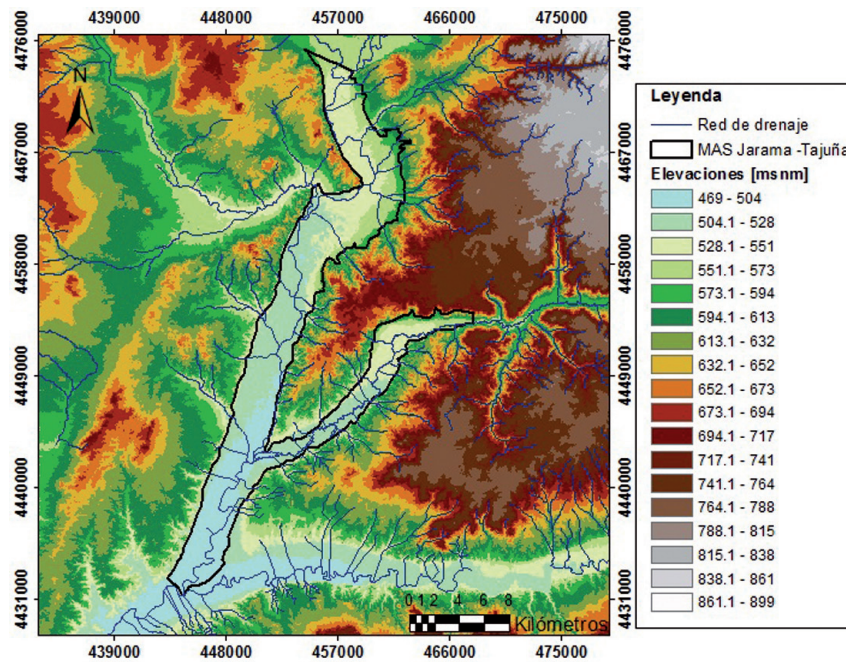
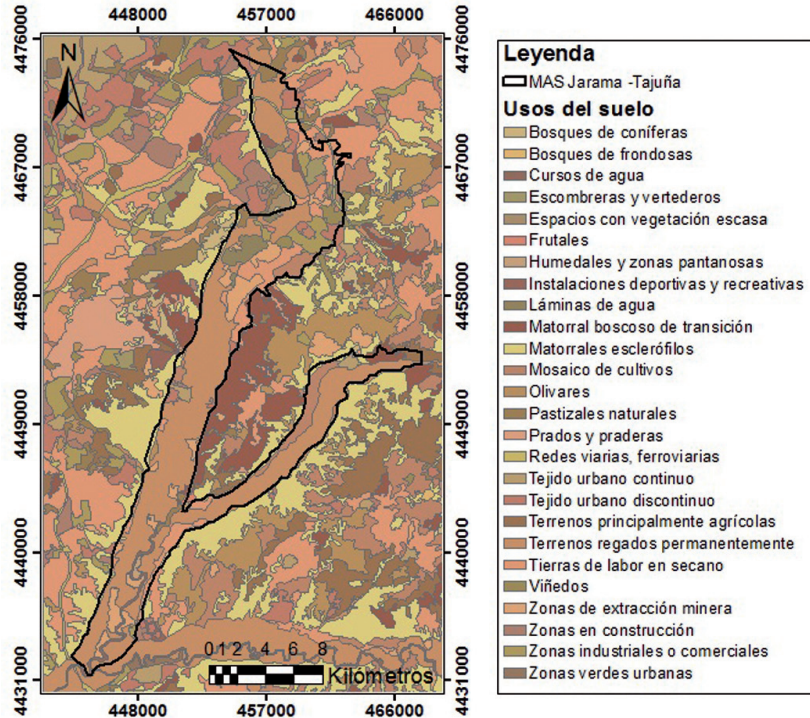


Figura 5. Mapa de coberturas y usos del suelo Aluviales: Jarama-Tajuña



4.1.4. USOS DEL SUELO

Para el caso de los usos del suelo se dispone del archivo del tipo vectorial de la base de datos Corine Land Cover (ver referencia I, apartado 8.1) de ocupación del suelo con escala de referencia 1:100,000, a nivel europeo, basada en una nomenclatura jerár-

quica de 44 clases, con tamaño mínimo de polígonos 25 ha, extraído del centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional- IGN (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>) referido al año 2006 y de base de datos de cambios durante el periodo 2000-2006.

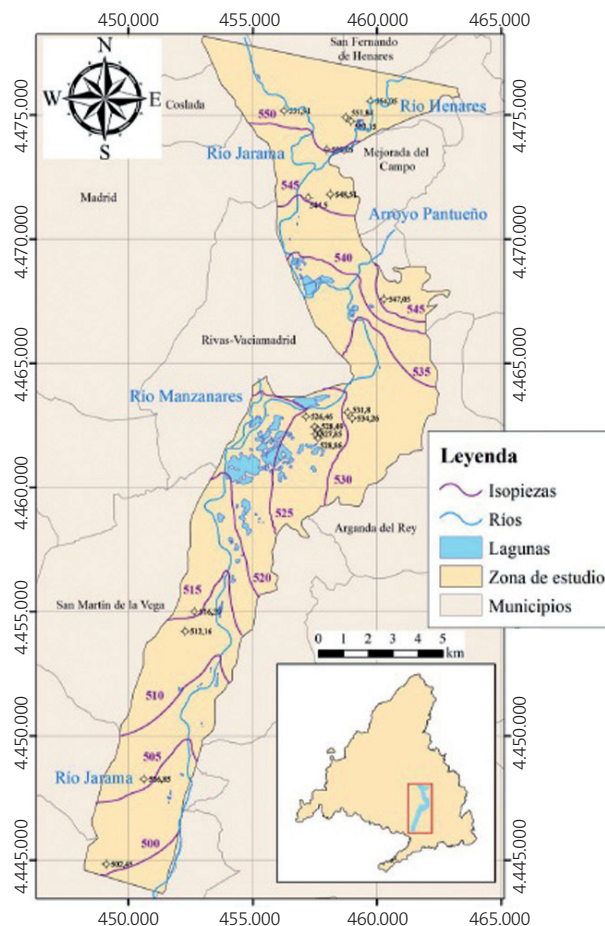


Figura 6. Corte geológico al norte de la zona de estudio (Modificado por Camiña-2015 de la hoja 560 serie MAGNA)



Fuente: ITGME, 1990.

Figura 7. Mapa de isopiezas correspondiente a la campaña de febrero 2015 de la MAS Aluviales Jarama-Tajuña



Fuente: Camiña, 2015.

4.1.5. HIDROGEOLOGÍA

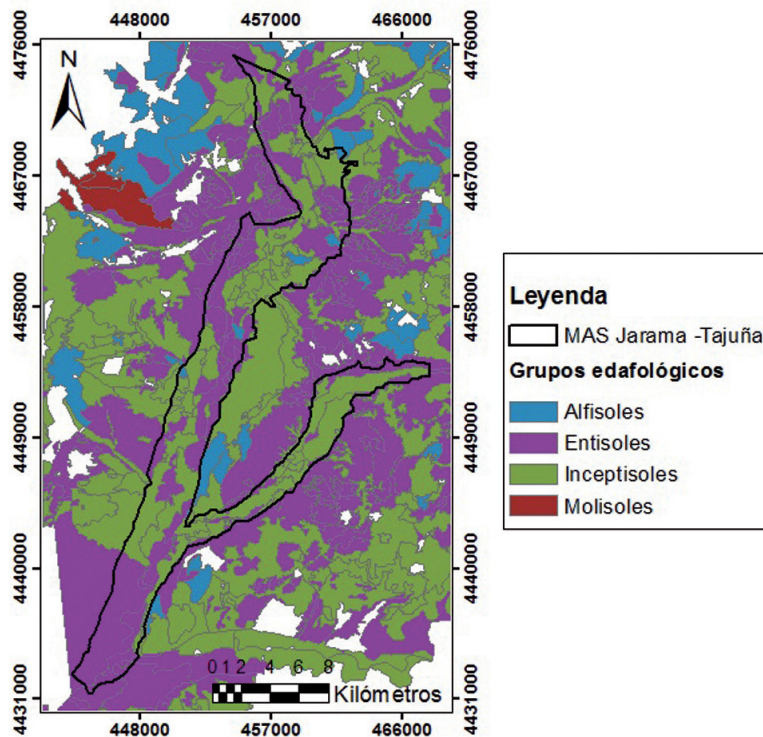
El Acuífero Terciario Detrítico de Madrid -ATDM presenta importantes heterogeneidades, que a escala de decenas de metros, exhibe canales rellenos de gravas y arenas englobadas en un paquete limo-arenoso, mientras que a escala de cientos de metros, se observa una superposición de unidades litológicas (López, 1979). Sumado a esto, se tiene que es anisótropo por el carácter orientado en la mayoría de los sedimentos detríticos,

provocando variaciones locales en la piezometría y ejerciendo control sobre el sistema de flujo general.

Según lo observado en la figura 6 el acuífero está constituido mayormente por sedimentos gruesos, tales como, gravas y arenas gruesas, generados como consecuencia de la erosión y transporte de las zonas de cabecera de la cuenca, y con espesor medio de 16 m cuyo basamento impermeable corresponde a facies evaporíticas (yesos).



Figura 8. Mapa de tipo de suelos Aluviales: Jarama-Tajuña



Así pues, la MAS aluviales Jarama-Tajuña se va a comportar como un acuífero libre y su principal fuente de recarga van a ser las precipitaciones, percolación del Terciario infrayacente e infiltración de los retornos de riego (Mostaza, 2013).

Las isopiezas presentan un sentido de red de flujo, de norte a sur, adaptado a la morfología del acuífero. Teniendo en cuenta esto, y a partir de datos piezométricos, se ha establecido que el río Jarama, al igual que el resto de ríos de la zona, presenta un régimen ganador en toda la MAS (Camiña, 2015).

4.1.6. TIPOS DE SUELO

El mapa de edafología de la zona de estudio se obtiene del Atlas Nacional de España publicado por el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente – MOPTMA (1992). Así pues, se tiene que la MAS cuenta con 4 grupos principales de tipo de suelo ilustrados en el mapa de la figura 8.

4.2. DESCRIPCIÓN TEÓRICA DEL MODELO DE RECARGA

La recarga a un acuífero puede definirse como el agua que alcanza las reservas subterráneas. Este concepto es importante para estudios de recursos hídricos y para estudios de transporte de contaminantes. El valor de la recarga puede estimarse por medio de varios métodos: medidas directas, balance hídrico, trazadores, aproximaciones de Darcy y métodos empíricos (Vélez, 2004).

El modelo numérico RENATA que se aplica en el presente trabajo, calcula la recarga a los acuíferos por balances hídricos a partir de procesos que tienen lugar en el suelo con base en series temporales de variables climáticas de la zona de estudio. De este modo, a partir de la temperatura, se puede calcular por cualquiera de los métodos disponibles en el programa la evapotranspiración potencial (ver el apartado 4.4.3). Conociendo esta variable y disponiendo de series de precipitación se calcula por el método del balance de Thornthwaite (1948), o mediante la modificación introducida por Girard (1981), la evapotranspiración real y la lluvia útil. Posteriormente, se descompone la lluvia útil en infiltración y escorrentía superficial a través de cálculos realizados según el método del Soil Conservation Service de los Estados Unidos –SCS (1999).

4.2.1. CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL Y LLUVIA ÚTIL

La evapotranspiración real (ETR) es el volumen de agua que pasa a la atmósfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación directa y de la transpiración de las plantas en función del volumen de agua disponible (Martínez, 2006). Su valor depende de los recursos hídricos del sistema, bien en forma de lluvia o bien de agua almacenada en el suelo. De este modo, se establece que el límite superior de ETR viene determinado por la evapotranspiración potencial (ETP). Por otro lado, se tiene la variable de lluvia útil (LLU), también denominada lluvia eficaz o excedente, la cual corresponde al volumen de agua que escurre superficialmente más la que se infiltra.



Thornthwaite (1948) plantea calcular las variables mencionadas para cada periodo i aplicando un balance del suelo según la siguiente expresión:

$$P_i = ETR_i + LLU_i + R_i \quad (\text{Ec.2})$$

Donde,

- P_i : Precipitación [mm]
- ETR_i : Evapotranspiración real [mm]
- R_i : Variación de la reserva de agua en el suelo utilizable por las plantas [mm]
- i : Periodo temporal evaluado

Dicho balance se realiza según las siguientes premisas:

1. La evapotranspiración real calculada (ETR_i) para el periodo evaluado será igual o menor que la evapotranspiración potencial (ETP_i) estimada para el mismo periodo.
2. El suelo no puede almacenar más de una cierta cantidad de agua que se denomina capacidad de campo (CC) la cual es función del tipo y espesor del suelo mismo.
3. Siempre que se disponga de agua, precipitación más la almacenada en el suelo, es prioritario primero cubrir la necesidades de ETR_i hasta su límite (ETP_i) y después aumentar el agua almacenada en el suelo, hasta su límite de capacidad de campo (CC).
4. El excedente de agua, una vez cubiertas las demandas de ETP_i y CC, integra la LLU_i .

El programa cuenta también con la variante en el método del balance de Thornthwaite propuesta por Girard (1981), la cual considera que el exceso de precipitación se almacena en el suelo de dos formas:

- Si el agua almacenada en el periodo anterior (R_{i-1}) es inferior a un valor R_{MIN} , el exceso de precipitación dado por $EX_i = P_i - ETR_i$ se acumula en totalidad.
- Por otro lado, si $R_{MIN} \leq R_{i-1} \leq R_{MÁX}$, con $R_{MÁX} = CC$, el exceso de precipitación se procede a dividir entre una parte que aumentará la reserva del suelo y otra a generar la lluvia útil según la siguiente expresión:

$$LLU_i = \max(R_{i+1} + P_i - R_{MÁX}, 0) + \Delta R_i \frac{(2RBA_i + \Delta R_i)}{2(R_{MÁX} - R_{MIN})} \quad (\text{Ec.3})$$

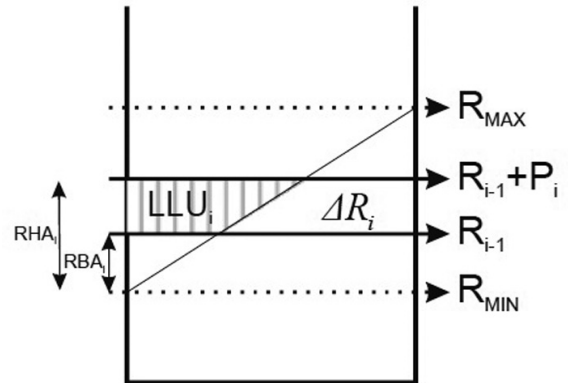
Donde,

$$RBA_i = \max(R_{MIN}, R_{i-1}) - R_{MIN} \quad (\text{Ec.4})$$

$$RHA_i = \min((R_{i-1}, P_i), R_{MÁX}) - R_{MIN} \quad (\text{Ec.5})$$

$$\Delta R_i = \max(0, (RHA_i - RBA_i)) \quad (\text{Ec.6})$$

Figura 9. Esquema producción lluvia útil e incremento de reserva a partir de precipitación en relación con balance de suelo propuesto por Girard (1981)- (IGME, 2012)



De este modo, el aumento de la reserva (ΔR_i) será igual a:

$$\Delta R_i = EX_i - LLU_i \quad (\text{Ec.7})$$

En caso de que $R_{MIN} = R_{MÁX}$, el balance hídrico del suelo se realiza según el método tradicional de Thornthwaite.

4.2.2. CALCULO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL E INFILTRACIÓN

La escorrentía superficial (ESC_i) se define como el agua que circula por la superficie del terreno. Por el contrario, la infiltración (INF_i) se asume como la cantidad de flujo que penetra el suelo. El cálculo de estos parámetros se obtiene aplicando el método del SCS basado en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada, a partir las características del suelo dadas por la variable de umbral de escorrentía (P_o), la cual es función del tipo del suelo, uso del mismo y cubierta vegetal. De este modo, el método estima la escorrentía condicionada por la relación entre LLU_i y P_o de la siguiente manera:

$$ESC_i = \frac{(LLU_i - P_o)^2}{LLU_i - 4P_o} \quad \text{si } LLU_i > P_o$$

$$ESC_i = 0 \quad \text{si } LLU_i < P_o \quad (\text{Ec.8})$$

Y la infiltración se determinará por la siguiente expresión:

$$INF_i = LLU_i - ESC_i \quad (\text{Ec.9})$$

Este método se aplica con reservas, pues está ideado para obtenerla escorrentía superficial en cuencas pequeñas y para intervalos de tormenta relativamente cortos. Para obtener los resultados medios que normalmente se esperan en estudios más extensos, tanto en superficie como en el tiempo, hay que emplear esta utilidad con criterios hidrológicos y analizar los resultados para que sean coherentes con el funcionamiento esperado (IGME, 2012).



4.3. DEFINICIÓN GENERALIDADES MODELO

4.3.1. GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO

La implementación computacional del modelo requiere construir la geometría del acuífero, es decir, producir un dominio de la MAS. Dicha geometría se configura a partir de una cuadrícula conformada por celdas homogéneas que representen la forma real del acuífero.

Para el dominio de modelación que contiene la MAS aluviales Jarama-Tajuña, se ha seleccionado una malla compuesta por 463 filas y 280 columnas, teniendo en cuenta la restricción del programa de máximo 500 filas y/o columnas. En planta, cada celda perteneciente a la malla tiene 100 m de lado, con lo cual el dominio de modelación cubre un área de 1296.4 km².

4.3.2. TIEMPO DE SIMULACIÓN

El modelo se realizará a nivel diario en un periodo de tiempo de dos años y 24 días comprendido entre el 07/05/2013 y el 31/05/2015. De este modo se condiciona el intervalo temporal de los datos de las series de precipitación y temperatura incluidas, y los resultados exportados de la modelación.

4.4. INCORPORACIÓN DE SERIES DE DATOS

Los valores calculados en el modelo de recarga son condicionados principalmente por los registros de las series de datos ingresadas. El programa RENATA admite adjuntar cualquier tipo de serie en el proyecto, sin embargo solo se utiliza en el cálculo computacional del programa las series de: precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial y dotaciones de riego. A continuación se describe el tratamiento realizado a los datos para generar las series mencionadas:

4.4.1. PRECIPITACIÓN

Los registros históricos de precipitación pertenecen a 4 estaciones de AEMET para el área de estudio: Aranjuez y Arganda del Rey, en mayor proporción, y Madrid y Tielmes, con un menor porcentaje de influencia. Una vez se ubican los puntos de las estaciones meteorológicas seleccionadas en el dominio de la modelación, con las coordenadas UTM relacionadas en la tabla 1, se procede a calcular los polígonos de Thiessen para determinar el área de influencia de cada una de las estaciones (ver figura 3).

Dado que los registros pluviales presentan vacíos en algunos días, que el modelo requiere series continuas y que el programa no dispone de herramientas propias para llenar los registros faltantes, éstos se completaron utilizando hojas de cálculo con un criterio donde, el valor faltante de la precipitación en una estación se obtiene considerando los valores registrados de las otras estaciones seleccionadas. De este modo se estableció una relación en la cual, el dato de precipitación de una estación se afecta por un peso de ponderación que considera el porcentaje de área del polígono de Thiessen de la estación con respecto al

área total de la MAS de la que se dispone datos para esta fecha. Posteriormente este valor se suma a los siguientes valores de precipitación de los que se cuenta con registro para el mismo día, afectados por su correspondiente peso, para obtener así finalmente el valor de pluviosidad que se asumirá en las estaciones sin registro en el día evaluado. Este criterio considera el área de influencia de la estación con información, según se relaciona en la tabla 2, sobre el área de la MAS con datos cumpliendo la siguiente expresión:

$$P_F = \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i}{\sum_j^n W_j} \right) \cdot P_i \quad (\text{Ec.10})$$

Donde,

P_F : Dato de precipitación faltante [mm]

i y j : Estaciones con información registrada en día evaluado

w_i : Porcentaje de área del polígono de Thiessen de la estación con respecto a la totalidad de la MAS.

P_i : Dato de precipitación disponible para día evaluado [mm]

Tabla 2. Influencia de polígonos de Thiessen en MAS aluviales Jarama-Tajuña y valores característicos de precipitación en series climáticas considerada

	Aranjuez	Arganda del Rey	Madrid	Tielmes
Porcentaje polígonos de Thiessen en MAS	34.0%	64.0%	0.6%	1.4%
Precipitación mínima mensual [mm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Precipitación máxima mensual [mm]	97.4	58.4	74.3	72.6
Precipitación Anual [mm]	358.8	231.7	312.8	276.1

4.4.2. TEMPERATURA

Para el caso de esta variable se dispone de registros diarios de temperatura mínima, media y máxima en los dos años de estudio medidos en las mismas estaciones meteorológicas consideradas. De igual manera que en el caso anterior, estas series también presentaron vacíos en algunos días por lo que se hizo necesario completarlas. Los valores faltantes de una estación se calcularon como un promedio de los valores relacionados en las demás estaciones con registro para el mismo día.

4.4.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

La evapotranspiración potencial (ETP) se considera como la cantidad de agua que puede volver a la atmósfera por evaporación y transpiración de la vegetación en caso de que la capacidad hídrica del suelo está completa y el desarrollo vegetal sea óptimo (IGME, 2012). Dado que no se dispone de mediciones de ETP en la zona de estudio, el modelo computacional ofrece la aplicación de cuatro métodos para la estimación de esta variable: Thornthwaite, Hargreaves, Blaney-Criddle, para la evapotranspiración de referencia, y Blaney-Criddle, para la evapotranspiración de



cultivo. Utilizando esta ayuda se procede a calcular dos tipos de ETP: una para sectores sin riego y otra para sectores con cultivos de regadío usando como base las series de temperatura mencionadas en el apartado previo.

4.4.3.1. Evapotranspiración en sectores sin riego

En el caso de los sectores sin riego conocido, se procede a elegir el método de Hargreaves teniendo en cuenta que considera las series con valores de temperatura máxima, media y mínima, en comparación con el de Thornthwaite que solo considera una media mensual de esta variable.

El método elegido fue desarrollado por Hargreaves y Samani (1985). Este método calcula la ETP diaria a partir de series de temperatura y radiación solar a través de la siguiente expresión:

$$ETP_i = 0.0135 (t_i + 17.78) R_s \quad (\text{Ec.11})$$

Donde,

ETP_i : Evapotranspiración potencial diaria [mm]

t_i : Temperatura media diaria [°C]

R_s : Radiación solar incidente diaria [mm/d]

Este último término se obtiene mediante la siguiente expresión propuesta por Samani (2000):

$$R_s = R_o KT (t_i^{max} - t_i^{min})^{0.5} \quad (\text{Ec.12})$$

Donde,

R_o : Radiación solar extraterrestre diaria. Es la que se recibe sobre una superficie situada en el límite superior de la atmósfera [MJulios/m²/día]

KT : Coeficiente empírico que depende de la presión atmosférica. Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda $KT = 0.162$ para regiones interiores (no costeras)

t_i^{max} y t_i^{min} : Temperatura máxima y mínima diaria [°C]

Para la radiación solar se aplica la siguiente expresión en función de la latitud y el mes del año:

$$R_o = 3759 d_{t-s} (0.01745 w \text{sen}(f) \text{sen}(d) + \cos(\phi) \cos(d) \text{sen}(w)) \quad (\text{Ec.13})$$

Donde,

d_{t-s} : Distancia relativa entre el Sol y la Tierra:

$$d_{t-s} = 1 + 0.033 \cos\left(2\pi \frac{n}{365}\right)$$

n : Día del año contado desde el 1 de enero

w : Ángulo horario en grados:

$$d = 23.45 \text{sen}[0.9863(284 + n)]$$

d : Declinación en grados:

ϕ : Latitud [°]

4.4.3.2. Evapotranspiración en sectores regados

En los cultivos regados conocidos se utilizará el método de Blaney-Criddle para la evapotranspiración de cultivo (ETc) obtenida con la introducción de un coeficiente propio de cada siembra calculado a partir de la siguiente expresión:

$$ETC_i = ETP_i Kc_j \quad (\text{Ec.11})$$

Donde,

ETC_i : Evapotranspiración del cultivo [mm]

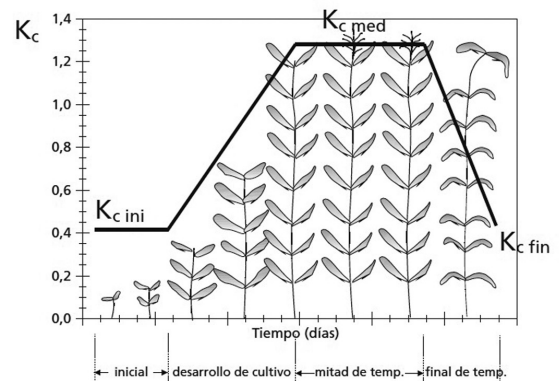
ETP_i : Evapotranspiración potencial según el clima [mm]

Kc_j : Coeficiente de cultivo. Para cada cultivo se consideran tres coeficientes: durante el periodo de crecimiento inicial ($j=ini.$), durante el periodo de crecimiento medio ($j=med.$) y durante periodo de crecimiento final ($j=fin.$)

Los coeficientes de cultivo mencionados caracterizan las cuatro etapas de crecimiento de la planta: inicial, de desarrollo, de mitad de temporada y de final de temporada como se puede observar en la figura 10.

Para determinar el valor de la ETc en los cultivos es necesario establecer la duración de cada una de las etapas mencionadas a lo largo del año, y el día y mes de inicio del periodo vegetativo, además de los valores del coeficiente de cultivo.

Figura 10. Curva generalizadas del coeficiente del cultivo correspondiente al procedimiento del coeficiente único del cultivo



Fuente: FAO, 2006.

El mapa de coberturas y usos del suelo presentado en la figura 5 muestra que para la zona de estudio se dispone de tres clasificaciones relacionadas que indican la presencia de cultivos de regadío. La tabla 3 presenta la cobertura evaluada, los parámetros necesarios por siembra para el cálculo de la ETP (ETc) y los correspondientes cultivos asumidos en estas áreas con base en la información aportada por algunos agricultores de la zona y corroborada en el acompañamiento de campaña de medición de piezometría en febrero de 2015.



Tabla 3. Cultivos según coberturas de suelo con duración etapas de crecimiento y coeficientes de cultivos

Terrenos regados permanentemente

Maíz	Inicial	Desarrollo cultivo	Mitad de temp.	Final de temp.	Total	Fecha siembra	Región
	30	40	50	30	150	Abril	Mediterráneo
	Kc inicial		Kc med		Kc final		Altura máx. (m)
	-		1.20		0.60		2

Frutales

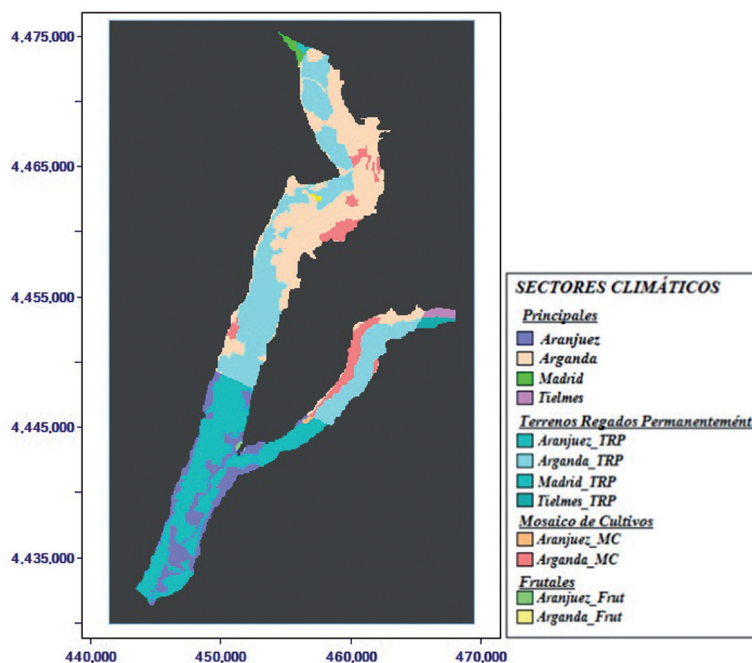
Cítricos	Inicial	Desarrollo cultivo	Mitad de temp.	Final de temp.	Total	Fecha siembra	Región
	60	90	120	95	365	Enero	Mediterráneo
	Kc inicial		Kc med		Kc final		Altura máx. (m)
	0.80		0.80		0.80		2

Mosaico de cultivos

Lechuga*	Inicial	Desarrollo cultivo	Mitad de temp.	Final de temp.	Total	Fecha siembra	Región
	20	30	15	10	75	Abril	Mediterráneo
	Kc inicial		Kc med		Kc final		Altura máx. (m)
	1.00		0.95		0.30		0.30

*El mosaico de cultivos está compuesto por siembras de ajo, lechuga y patata, entre otros. Debido a esto se escogió el cultivo de lechuga como tipo de cultivo a evaluar teniendo en cuenta que los coeficientes KC son más altos permitiendo así un valor de ETC elevado que genera un cálculo de la recarga del modelo más conservador.
Fuente: FAO, 2006.

Figura 11. Sectores climáticos delimitados en modelo de recarga MAS aluviales Jarama-Tajuña



4.4.4. DOTACIONES DE RIEGO

Las series de dotaciones de riego se crearon a partir de las series de precipitación tratadas y los valores de evapotranspiración de cultivo (ETc) calculados según el apartado anterior por el método de Blaney-Criddle. De este modo, se realiza la diferencia a nivel diario entre la ETc calculada con los datos de temperatura

en una estación y el valor de la precipitación registrada en la misma estación. Esto con el fin de calcular la dotación del cultivo bajo el supuesto de satisfacer la totalidad de agua requerida por la ETc de la siembra, siendo la dotación considerada, como la que corresponde a los valores positivos de esta diferencia agrupados mensualmente.



4.5. DEFINICIÓN DE SECTORES CLIMÁTICOS

Una vez definidas las series climáticas descritas en el apartado anterior, se procede a establecer los sectores climáticos sobre los cuales estos datos tienen influencia. Para ello se realizó un trazado de los mismos con base en la delimitación espacial de intersección entre los polígonos de Thiessen de las estaciones seleccionadas, y las áreas de cultivos de riego evaluadas; posteriormente, a cada sector se le asigna una serie de precipitación y una de ETP o ETC relacionada a la misma estación. De este modo, en la figura 11 se muestra los sectores climáticos definidos para el dominio de la MAS en el modelo.

4.6. DEFINICIÓN DE SECTORES DE SUELO

Para generar un balance hídrico adecuado es necesario establecer la capacidad de retención de agua por parte del suelo. Ésta depende de la vegetación que crece en su superficie y del tipo de suelo que la contiene, siendo caracterizado principalmente por su estructura y textura. Para la definición de estas características se procede a determinar algunos parámetros en la MAS descritos a continuación:

4.6.1. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

Una de las variables que cuantifica las características del tipo de suelo es la capacidad de campo, la cual marca el límite entre el agua capilar, retenida por tensión superficial sobre las superficies de las partículas del suelo, y la gravitacional, presente en los poros de mayor tamaño y que posteriormente es drenada a hacia la zona saturada. De este modo se establece un indicador de la máxima cantidad de agua que puede retener el suelo, después de ser saturado durante un periodo aproximado de tres días de aporte de hídrico, ya sea por lluvia o por riego.

En pocos lugares se poseen mediciones de esta variable; debido ello, se obtiene en forma indirecta a partir de mapas de suelo y de vegetación, teniendo, en consecuencia, un carácter general. Para el caso de estudio se dispone del mapa de edafología mostrado en la figura 8, en donde se observa que la MAS está conformada principalmente por suelos arenosos y franco-arenosos, definidos según la clasificación del Atlas Nacional de España bajo el orden de suelo de inceptisoles y entisoles. Debido a estas condiciones, y teniendo en cuenta lo recomendado por la FAO (2006) sobre las características típicas de humedad para diferentes tipos de suelo, se establece como valor general de capacidad de campo 180 mm teniendo en cuenta que el tipo de suelo de la zona de estudio varía entre arenosos y franco-arenosos, según la clasificación de la textura del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés).

4.6.2. UMBRAL DE ESCORRENTÍA

El segundo parámetro que cuantificará las propiedades de los sectores de suelo en el modelo corresponde al umbral de escorrentía (P_0), el cual representa la cantidad de precipitación necesaria para que el suelo se encharque y se genere el flujo

superficial. Para determinar este parámetro se consideran una función de cinco variables: uso del suelo, tipo de práctica con la que se cultiva, pendiente del terreno, tipo de suelo, categorizado según su facilidad de drenaje, y condiciones de humedad del suelo. La relación entre el P_0 y estas variables no es matemática, sino tabular. Su cálculo se ha venido realizando normalmente mediante la superposición de los diferentes mapas correspondientes a cada una de las variables (Ferrer, 1995).

Teniendo en cuenta esto, se procede a aplicar la metodología propuesta por Ferrer (1995) para generar un mapa de P_0 apoyado en mapas matriciales, también llamados capas de información, de cada una de las variables que intervienen en la determinación del umbral de escorrentía. Dicha metodología se guía con base en un informe del CEDEX (1994) realizado con la colaboración del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, donde se propone un método para combinar las capas de información y obtener el umbral de escorrentía.

Según lo recomendado en dicho informe, a cada una de las variables que interviene en la obtención del P_0 se le asignó un número primo, considerando que la característica hidrológica era única. De este modo, y teniendo en cuenta la singularidad de que el producto de los números primos siempre dará un número diferente, los mapas de las variables de entrada se reclasificaron con estos nuevos valores. Así pues, si se multiplican los mapas de usos de suelo, pendiente y tipos de suelo, dará un resultado diferente por cada combinación de tres números primos de las variables evaluadas.

De esta manera, conociendo el resultado de dicho producto, se puede saber de qué características de uso, tipo de suelo y de pendiente se tratan, y se podrá encontrar el umbral de escorrentía en según lo indicado en el anexo 3.1.

En los siguientes apartados se presentan las variables evaluadas y reclasificadas para calcular el P_0 aplicando el procedimiento descrito anteriormente.

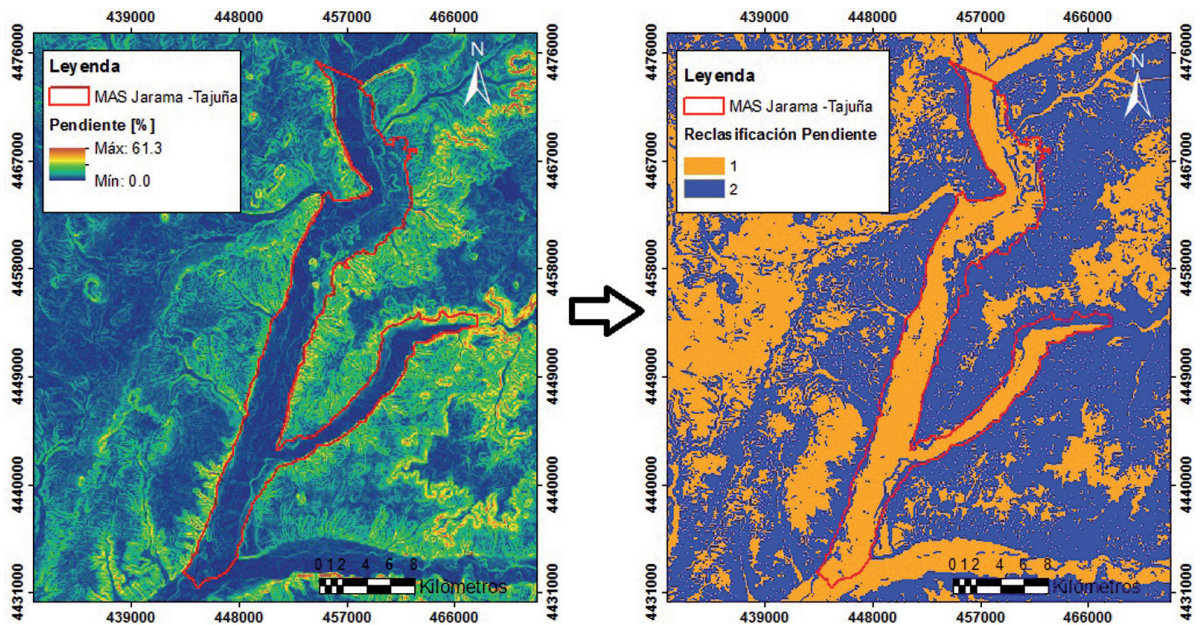
4.6.2.1. Mapa de pendientes

El mapa de pendientes se incluye en el álgebra de mapas dado que la infiltración del agua lluvia depende de la pendiente de la topografía del terreno. Este mapa se obtuvo a partir del procesamiento del MDE disponible de la zona de estudio presentado en figura 4.

Posteriormente, este mapa fue reclasificado en dos grupos: el primero, con celdas con pendiente menor del 3%, se le asigna un número primo de 1, mientras que a las celdas de mayor o igual al 3% de pendiente, se le asigna un valor de 2.



Figura 12. Mapa de pendiente del terreno MAS aluviales: Jarama-Tajuña



4.6.2.2. Mapa de tipos de suelo

El tamaño de las partículas del suelo influencia su habilidad para transmitir y retener agua. Los suelos gruesos permiten una alta infiltración que favorece la recarga, en cambio, los suelos más finos tienen una alta capacidad de almacenamiento de agua que disminuye la recarga potencial (Álvarez-Villa, 2014). Para determinar esta variable se procede a utilizar el mapa de tipos de suelo de la MAS presentado en la figura 8. Dado que este mapa está clasificado con los órdenes edafológicos de suelo que se encuentran en la zona de estudio, éstos deben convertirse en Mapa de coberturas y usos del suelo Aluviales: Jarama-Tajuña los cuatro grupos que establece el SCS descritos a continuación (Ferrer, 1995):

- A. En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas), están excesivamente drenados.
- B. Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad de suelo es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franca, francoarcillosa o franco-limosa. Están bien o moderadamente drenados.
- C. Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad de suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, francoarcillo-limosa o arcillo-arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.
- D. Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. También se incluyen aquí los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos).

Teniendo en cuenta los órdenes edafológicos y las características establecidas por la clasificación según la taxonomía del suelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) presentada en 1999 para estos órdenes, y basados en los criterios seguidos por Ferrer (1995) se procede a realizar la agrupación de la siguiente manera:

- *Alfisolos*: Suelos con horizonte diagnóstico argílico, es decir, con alto contenido de arcilla. Forman parte del grupo C con número primo asignado 7.
- *Entisolos*: Suelos muy poco evolucionados con una baja diferenciación entre horizontes. Pertenecen al grupo A con número primo asignado 3.
- *Inceptisolos*: Suelos con baja o media evolución predominantemente eluviales en todas sus partes, que están continuamente perdiendo materiales (sílice, aluminio, hierro y bases). Hacen parte del grupo de suelos B con número primo de 5.
- *Molisolos*: Suelos con epipedon móllico, es decir, con horizonte superficial de color oscuro y rico en materia orgánica bien humificada. Clasificados en el grupo D con número primo de 11.

De este modo se modifica el mapa edafológico de figura 8, convirtiéndolo en el mapa de tipos de suelo según los grupos descritos. Posteriormente se reclasifica con los números primos asignados para la obtención del P_0 como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Mapa de tipos de suelo MAS Aluviales: Jarama-Tajuña

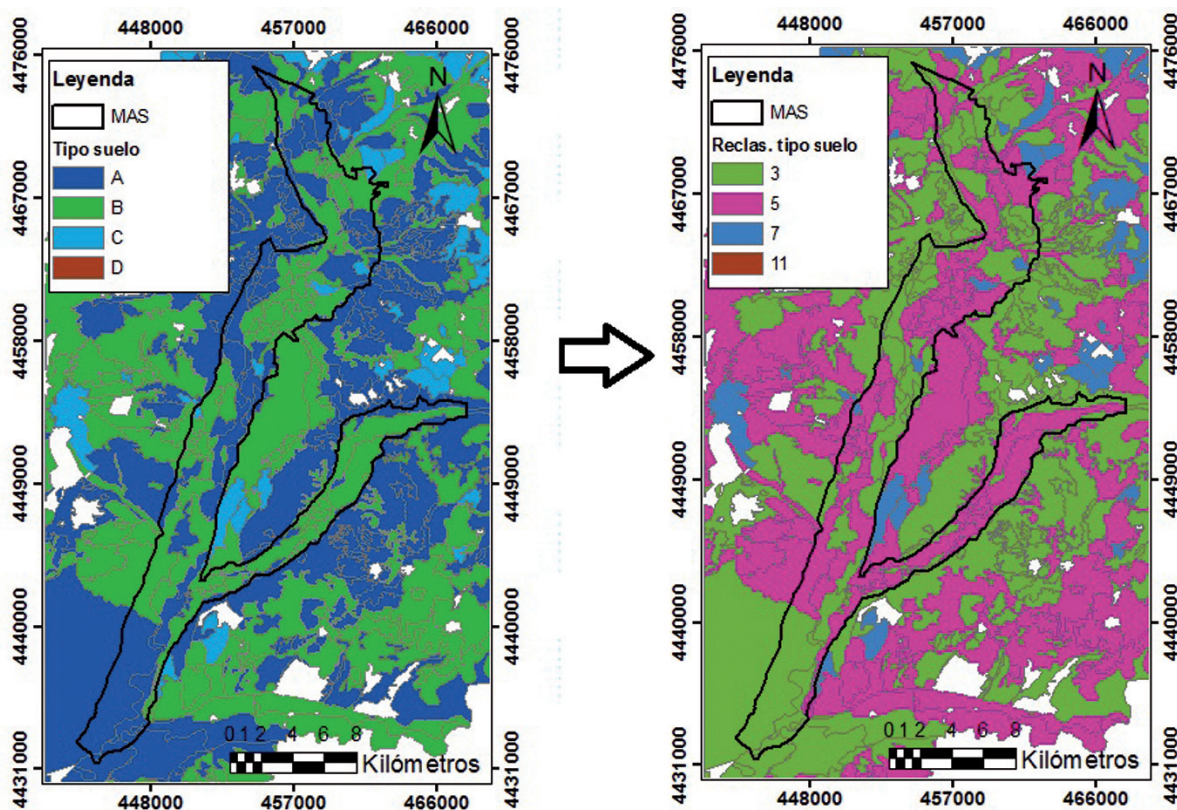


Tabla 4. Números primos asignados a coberturas de suelo de MAS aluviales: Jarama-Tajuña

Cobertura	N° Primo	Cobertura	N° Primo
Bosques de coníferas	13	Pastizales naturales	67
Bosques de frondosas	17	Prados y praderas	71
Cursos de agua	19	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	73
Escombreras y vertederos	23	Tejido urbano continuo	79
Espacios con vegetación escasa	29	Tejido urbano discontinuo	83
Frutales	31	Terrenos principalmente agrícolas en regadío (R/N), pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	89
Humedales y zonas pantanosas	37	Terrenos regados permanentemente (R/N)	97
Instalaciones deportivas y recreativas	41	Tierras de labor en secano (hortalizas) R/N	101
Láminas de agua	43	Viñedos	103
Matorral boscoso de transición	47	Zonas de extracción minera	107
Matorrales esclerófilos	53	Zonas en construcción	109
Mosaico de cultivos	59	Zonas industriales o comerciales	113
Olivares	61	Zonas verdes urbanas	127

4.6.2.3. Mapa de usos de suelo

Por otro lado, la recarga potencial no depende únicamente de la geología de la zona, sino también de factores bióticos como la cobertura del terreno. Debido a esto, se realiza una reclasificación de los usos del mapa de coberturas y usos del suelo de la base de datos CLC presentado en la figura 5.

Para ello, se sigue la metodología para la adaptación del parámetro del número de curva a las nuevas fuentes de datos propuesta por Ferrer (2006). Ésta cuenta con equivalencias entre la leyenda de los mapas de usos de suelo de CLC con los usos de suelo utilizados para definir P_0 presentados en el trabajo de Témez (1978).

Teniendo en cuenta esto, se procede a asignar a las coberturas de suelo encontradas en la zona de estudio unos valores de números primos según que se relacionan en tabla 4.



Figura 14. Mapa de reclasificación coberturas y usos de suelo en la MAS Aluviales: Jarama-Tajuña

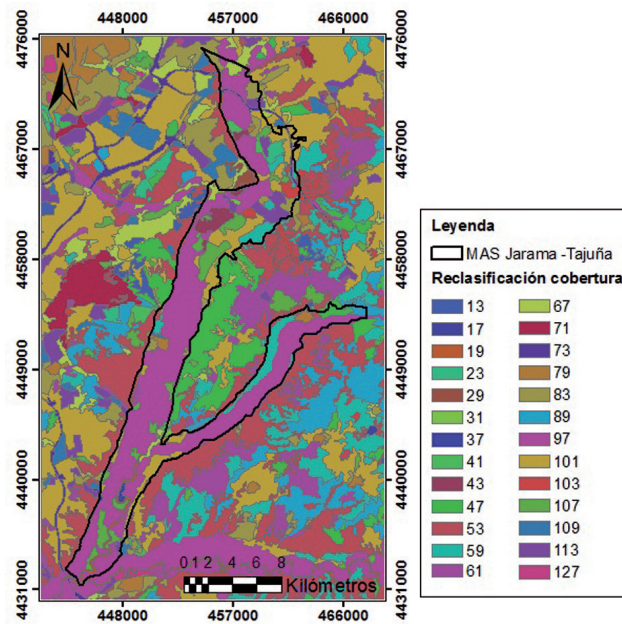
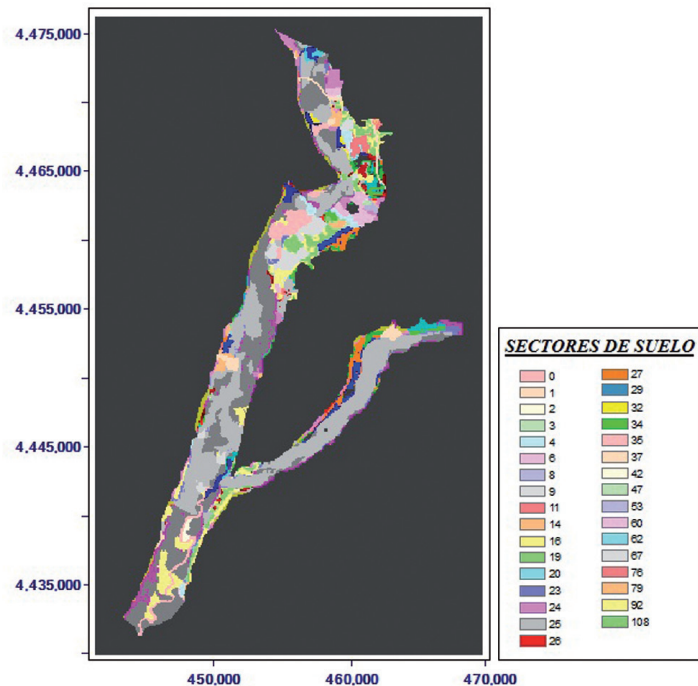


Figura 15. Sectores de suelos delimitados en modelo de recarga MAS Aluviales Jarama-Tajuña



Así pues, teniendo en cuenta estos números primos se procede a generar el mapa de reclasificación de las coberturas y usos de suelo presentado en la figura 14.

4.6.2.4. Mapa de umbral de escorrentía

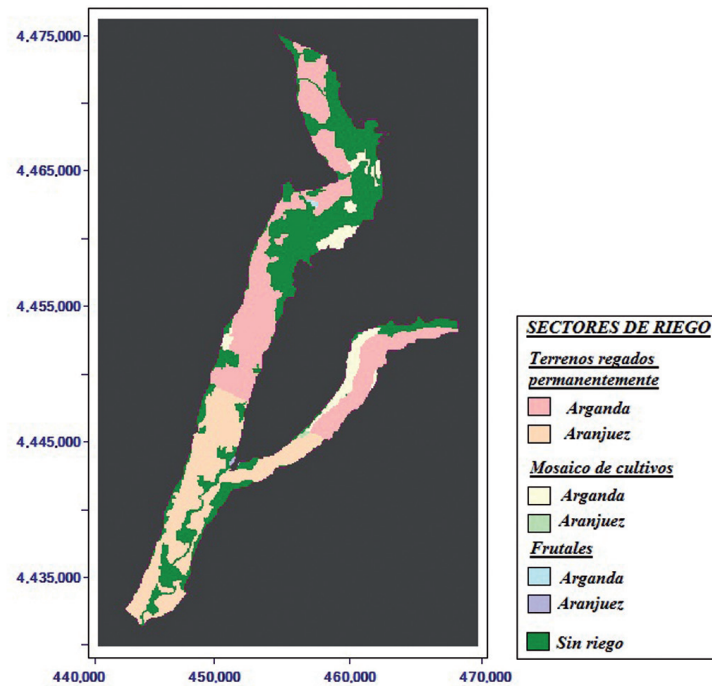
Al realizar el producto de los mapas reclasificados de números primos con el álgebra de mapas, se obtiene un mapa final con un número primo único para la combinación de las tres variables

que afectan la determinación del P_0 . A este último mapa se le realiza la correspondencia con los valores de umbral de escorrentía propuestos en el trabajo de Témez (1978) como se relaciona en el anexo 3.1 para generar el mapa de P_0 para la zona de estudio.

Así pues, finalmente se procede a trazar los sectores de suelo en el modelo para condicionar el cálculo de la recarga como se muestra en la figura 15, donde cada sector cuenta con un valor de umbral de escorrentía y el valor de 180 mm de capacidad de campo según lo mencionado en el apartado 4.6.1.



Figura 16. Sectores de riego delimitados en modelo de recarga MAS Aluviales Jarama-Tajuña



4.7. DEFINICIÓN DE SECTORES DE RIEGO

La recarga del acuífero puede ser alterada de forma artificial producida por posibles retornos de riego de cultivos que se encuentren en la zona de estudio. Debido a esto, el modelo considera dichos retornos de regadío asociándolos a sectores con series temporales de dotación en m^3/ha con lapso mensual sobre los que se aplica un porcentaje de retorno. Cada una de las series de dotación incluidas fueron generadas a partir de las series temporales de precipitación y ETC asociadas a las estaciones meteorológicas seleccionadas como se describió en el apartado 4.4.4. En la figura 16 se muestra los sectores de riego establecidos en el modelo.

Una vez establecidos los sectores de riego, se considerará el 20% como porcentaje de retorno de riego teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por Villarroya (2008) para cultivos regados permanentemente en el municipio de Ciempozuelos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

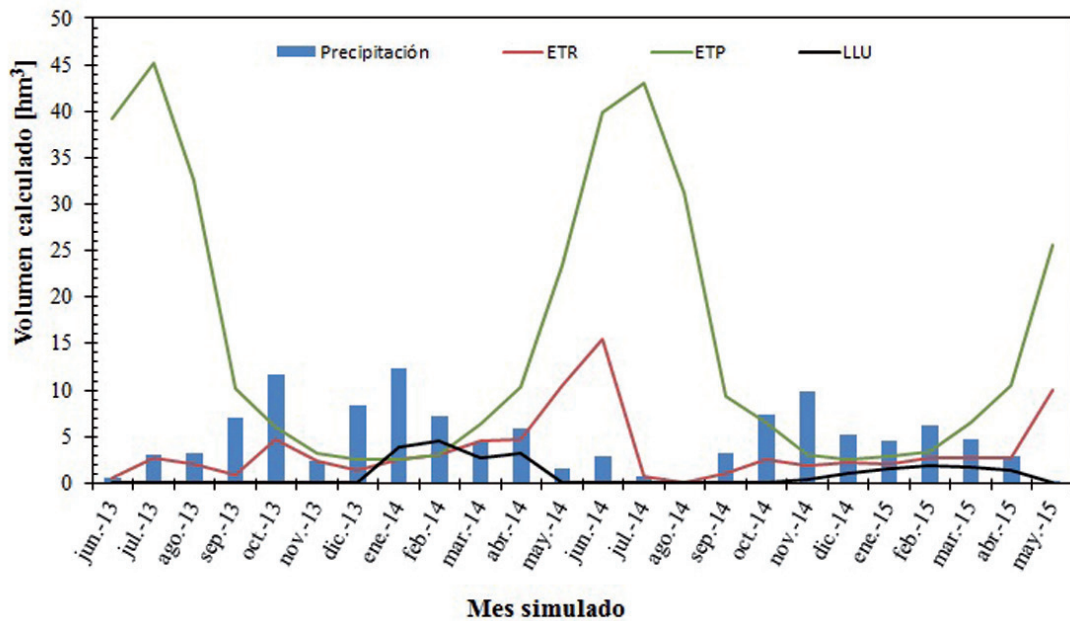
Una vez definidos los sectores descritos en los apartados previos 2.5, 2.6 y 2.7 con sus correspondientes parámetros climáticos, de suelo y regadío, se procede a ejecutar el modelo para calcular como resultado volúmenes de precipitación (P), evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración real (ETR), lluvia útil (LLU), escorrentía (ESC), infiltración (INF), retornos de riego (RR) y recarga total, siendo esta última la suma de las dos variables anteriores. De este modo, se muestra en la tabla 5 los volúmenes calculados y agrupados de manera mensual en el periodo de modelación.

Tabla 5. Volúmenes mensuales calculados para diferentes variables en modelo de recarga MAS aluviales Jarama-Tajuña

Fecha	P [hm^3]	ETP [hm^3]	ETR [hm^3]	LLU [hm^3]	INF [hm^3]	ESC [hm^3]	RR [hm^3]	Recarga [hm^3]
jun-13	0.58	39.15	0.58	0.00	0.00	0.00	4.19	4.19
jul-13	3.00	45.26	2.79	0.00	0.00	0.00	5.46	5.46
ago-13	3.17	32.63	2.07	0.00	0.00	0.00	3.83	3.83
sep-13	6.94	10.10	0.88	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67
oct-13	11.64	6.08	4.72	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
nov-13	2.37	3.22	2.46	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
dic-13	8.27	2.57	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	12.34	2.50	2.50	3.89	3.88	0.02	0.00	3.88
feb-14	7.19	3.10	3.09	4.52	4.50	0.02	0.00	4.50
mar-14	4.29	6.38	4.45	2.74	2.72	0.02	0.01	2.73
abr-14	5.82	10.27	4.68	3.29	3.27	0.02	0.23	3.50
may-14	1.62	23.51	10.58	0.00	0.00	0.00	1.68	1.68
jun-14	2.90	39.91	15.44	0.00	0.00	0.00	4.27	4.27
jul-14	0.75	42.95	0.70	0.00	0.00	0.00	5.32	5.32
ago-14	0.00	31.30	0.00	0.00	0.00	0.00	3.81	3.81
sep-14	3.12	9.32	1.09	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67
oct-14	7.41	6.50	2.53	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
nov-14	9.82	3.10	1.82	0.38	0.38	0.00	0.01	0.39
dic-14	5.22	2.56	2.13	1.11	1.10	0.01	0.01	1.11
ene-15	4.55	2.92	1.99	1.51	1.50	0.01	0.00	1.50
feb-15	6.15	3.29	2.63	1.93	1.91	0.01	0.00	1.92
mar-15	4.69	6.60	2.65	1.71	1.70	0.01	0.01	1.71
abr-15	2.92	10.47	2.63	1.30	1.29	0.01	0.25	1.54
may-15	0.10	25.54	9.95	0.00	0.00	0.00	1.95	1.95
Volumen Total Acumulado	114.86	369.23	83.75	22.38	22.25	0.13	32.39	54.64
Volumen Total Anual	57.43	184.62	41.87	11.19	11.13	0.07	16.19	27.32



Figura 17. Volúmenes mensuales de variables climáticas calculados en modelo numérico RENATA para la MAS aluviales Jarama-Tajuña



Cabe aclarar que el programa no arroja valor de volumen mensual en el mes de mayo del 2013, puesto que la información climática disponible inicia el día 07 del mes encontrándose incompleta la serie requerida en el intervalo de tiempo analizado. Debido a ello, se omite dicho mes de los posteriores análisis.

A modo de comparación, se tiene que pesar que en la zona de estudio se encuentra el río Jarama, uno de los ríos principales de Madrid, y la MAS de Aluviales Jarama-Tajuña y no se dispone de estudios previos con respecto a la recarga del acuífero como tal. El único disponible es el realizado por Villarroja (2008) a solicitud del Ayuntamiento de Ciempozuelos donde se describe brevemente los valores esperados para la recarga por infiltración y por retorno de riegos en el acuífero detrítico del municipio y que hace parte de la MAS. Debido a esto, se procede más adelante a comparar los valores obtenidos por los cálculos del modelo numérico, con respecto a los indicados en dicho estudio para el acuífero detrítico de Ciempozuelos.

5.1. VARIABLES CLIMÁTICAS PRINCIPALES

Existe una variabilidad importante en la magnitud de precipitación a lo largo del año (figura 3) encontrándose los picos con mayores pluviosidades en los meses de otoño-invierno (septiembre-marzo), periodo donde se alcanza el valor más alto registrado de lluvia, con 97.4 mm en el mes de noviembre del 2014, en la estación Aranjuez. Por otro lado, en la época de verano como es de esperarse, se obtienen los menores datos de precipitación, destacándose que en el mes de agosto del 2014 no se registra pluviosidad en ninguna de las estaciones evaluadas.

De igual manera, en el caso de la temperatura se observa que los registros medios más altos se alcanzan en verano, destacándose la medición de Julio del 2013 con 26.7 °C como el valor máximo registrado y enero del 2015 un registro mínimo de 5,6°C.

Así pues, los datos de precipitación y las series de ETP calculadas con los registros de temperatura por el método de Hargreaves, para los sectores sin riego, y Blaney-Criddle para la evapotranspiración de cultivo en los sectores regados, son afectados por las áreas de los sectores climáticos correspondientes definidos en el modelo (ver apartado 4.5) para generar así valores de volúmenes de dichas variables en toda la zona de estudio.

La ETR se calcula con base en un balance hídrico que busca satisfacer los valores de ETP con la precipitación disponible y las dotaciones de regadío para las celdas que se encuentran en los sectores de riego definidos en el modelo (ver apartado 4.7) considerando el mismo periodo temporal.

Teniendo en cuenta esto, en la figura 17 se muestra la variación mensual de estas variables en el periodo simulado.

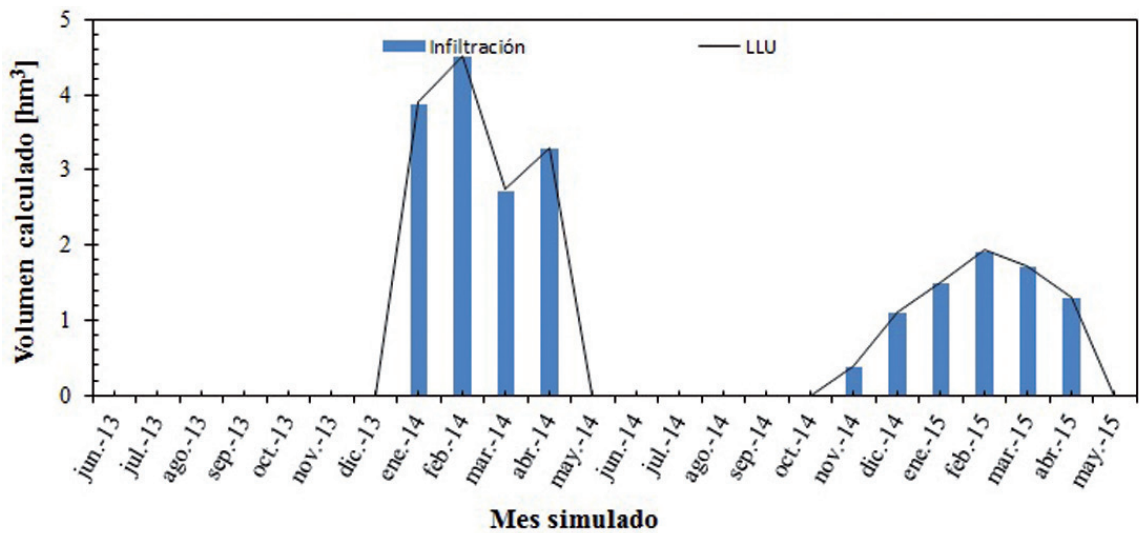
También es destacable, que la lluvia útil presenta volúmenes significativos de una manera retardada con respecto a los periodos de altas precipitaciones. Esto se debe a que las primeras lluvias, en conjunto con las dotaciones de riego definidas en las zonas de cultivo, se encargan de suministrar agua para satisfacer la ETP inicialmente. El exceso hídrico pasa a abastecer posteriormente el almacenamiento propio del suelo, el cual una vez se encuentre saturado y el agua sobrepase su capacidad de almacenamiento, el flujo sobrante pasará a formar parte de la lluvia útil como tal.

5.2. LLUVIA ÚTIL

Una vez se dispone de un volumen de agua de lluvia útil, el programa se encarga de calcular sus dos derivados: la escorrentía superficial y la infiltración, según lo indicado en el apartado 4.2.2.



Figura 18. Volúmenes de lluvia útil calculados en modelo numérico con programa RENATA para la MAS aluviales Jarama-Tajuña



5.2.1. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Los valores de escorrentía superficial calculados alcanzan apenas un volumen anual de 0.065 hm³, siendo bajos en comparación con la infiltración pluvial, por lo que no se incluyen en la figura 18. Esto se debe a que, con base en la expresión 8, los valores de lluvia útil calculados en el modelo son inferiores o muy aproximados a los principales valores de P₀ obtenidos en para la zona de estudio (ver apartado 4.6.2), generando así escorrentías insignificantes en cada una de las celdas evaluadas.

5.2.2. INFILTRACIÓN

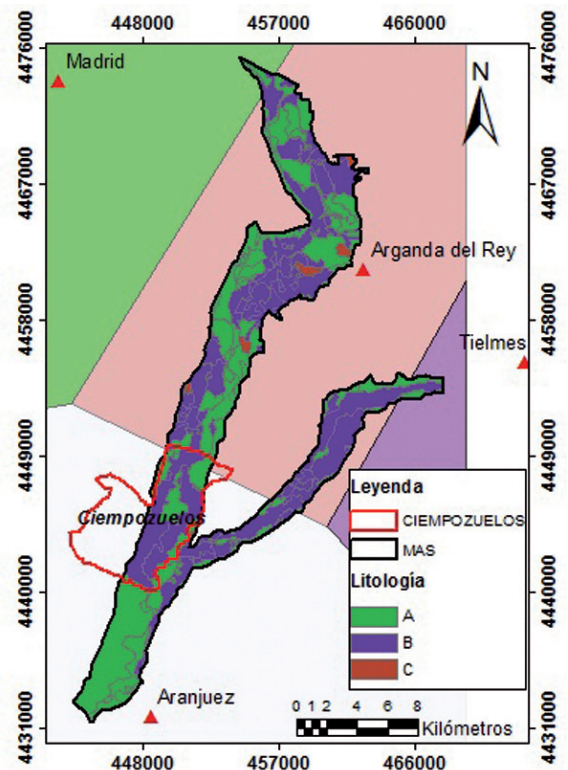
En el caso la infiltración, Villarroya (2008) la estima como un 10% del volumen de precipitación sobre la zona de estudio. Sin embargo los cálculos arrojados por el modelo indican un valor de infiltración de aproximadamente el 20% del volumen de precipitación. Esta diferencia, siendo casi el doble, puede explicarse debido a que Ciempozuelos cuenta con características climatológicas y edafológicas diferentes a las propias de toda la MAS.

Con respecto a la primera característica mencionada se tiene que la estación climática de influencia en Ciempozuelos es la de Aranjuez, donde los niveles de precipitación anual son mayores que en las demás estaciones consideradas para la MAS (ver tabla 2), generando así mayores valores calculados de lluvia útil.

Por otro lado, en Ciempozuelos la edafología predominante del acuífero detrítico como se observa en la figura 19 es del tipo B según los órdenes establecidos por el SCS, la cual corresponde a suelos con capacidad de infiltración moderada cuando se encuentran muy húmedos (ver apartado 4.6.2.2). Al comparar esta característica con la de la totalidad de la MAS, se tiene que el acuífero objeto de estudio del presente trabajo presenta una mezcla edafológica de suelos de tipo B, en conjunto casi equivalente, con los de tipo A, caracterizados por presentar una infiltración rápida a pesar de la humedad del suelo. Esta variable afecta directamente los valores de P₀, donde en el primer

caso, para suelos de tipo B, se generan valores de 25 y los de tipo A alcanza valores de 47 (estableciendo estos umbrales de escorrentía como comparación donde se asumen pendientes menores a 3% y terrenos regados permanentemente, siendo éstas las características propias del área del acuífero detrítico en Ciempozuelos y las más comunes en la MAS).

Figura 19. Mapa litología y polígonos de Thiessen para MAS Aluviales Jarama-Tajuña y municipio Ciempozuelos





De este modo y con base en la ecuación (Ec.8), se puede observar que una lluvia útil elevada sumada a P_o de valores pequeños produce una mayor escorrentía superficial, la cual, teniendo en cuenta la expresión $INF_i = LLU_i - ESC_i$ (Ec.9), disminuye directamente la infiltración hacia el acuífero, produciendo así que los valores estimados de infiltración para el municipio de Ciempozuelos sean inferiores que los valores calculados para la totalidad de la MAS aluviales Jarama-Tajuña.

De manera aparte se tiene que el volumen de infiltración es altamente sensible a los valores de capacidad de almacenamiento del suelo. Esta variable se estableció con base en lo recomendado por la FAO (2006) sobre las características típicas de humedad para diferentes tipos de suelo. Sin embargo, esto se realizó de manera práctica para alimentar el modelo ya que no se cuenta con información de mediciones en campo, generando así una incertidumbre que pudiera llegar a modificar de manera significativa los valores de infiltración calculados.

5.3. RETORNOS POR REGADÍO

Para establecer esta variable se siguió la recomendación de Villarroya (2008) estimando el retorno como el 20% de la dotación de regadío, o dicho de otra manera, asumiendo que los cultivos utilizan el 80% del total del agua aplicada al terreno. Con base en ello, el programa se encarga de calcular el volumen de agua que pasa a alimentar el acuífero proveniente del riego como un 20% de las dotaciones asignadas a los cultivos de los sectores regados.

Para el municipio de Ciempozuelos perteneciente a la MAS, Villarroya (2008) establece que la dotación normal de riego del orden de $9000 \text{ m}^3/\text{ha}$, generando así una recarga de 180 l/m^2 al año. A pesar de ello, la dotación calculada para los cultivos establecidos en la MAS, e incluidos en el modelo, se generó de una manera elaborada teniendo en cuenta la ETC y la precipitación correspondiente a la zona de cada una de las siembras.

De este modo, se estableció como dotación el volumen de agua que le hace falta a la precipitación, en un punto de un cultivo, para satisfacer los valores de la ETC del mismo cultivo. Así pues, se obtuvo una dotación media anual de $6650 \text{ m}^3/\text{ha}$, generando una recarga aproximada de 132 l/m^2 .

Al comparar las dotaciones establecidas en los dos análisis, se tiene que la dotación evaluada en el modelo equivale al 74% de la dotación normal propuesta por Villarroya (2008).

Esta diferencia se genera debido a que los valores de dotación calculados en el modelo se cumplirían siempre y cuando los cultivos fueran regados de forma eficiente, considerando las necesidades hídricas mensuales con base en las variables climáticas y humedad del suelo, siendo una condición difícil de llevar a la práctica en todos los casos.

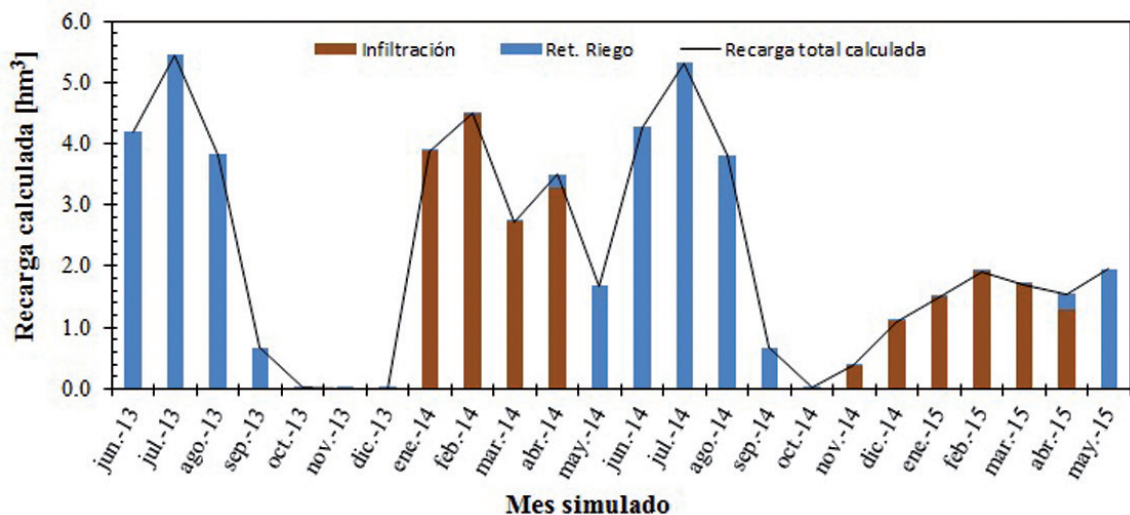
Además de ello, también se tiene que en el acuífero detrítico del municipio de Ciempozuelos cuenta solamente con cultivos regados permanentemente, requiriendo estos una dotación hídrica significativa. En contraste, el modelo de la MAS conjuntamente a esta clase de cultivos tiene considerados los de tipo mosaico y frutales modificando así las dotaciones promedio analizadas.

5.4. RECARGA TOTAL

Una vez se dispone de los valores calculados de infiltración y retornos de riego se obtiene finalmente los valores de recarga estimados para la zona de estudio en el periodo temporal evaluado como se muestra en la figura 20.

Nótese de la figura que en los meses de invierno la recarga de la MAS está alimentada por la precipitación y en verano su aporte principal lo realiza el retorno de las zonas de regadío de cultivos.

Figura 20. Volúmenes de recarga calculados en modelo numérico con programa RENATA para la MAS aluviales Jarama-Tajuña





Con base en lo anterior, en la tabla 6 se muestran los volúmenes calculados en la modelación realizada con el programa RENATA.

Tabla 6. Volúmenes hídricos anuales calculados para la MAS aluviales Jarama-Tajuña

	hm ³ / año	l/ m ² / año
Precipitación	57.43	277
Infiltración	11.13	54
Retorno de riego	16.19	127*
Recarga Total	27.32	132

* Valor calculado teniendo en cuenta solo el área de regadío correspondiente a 127.7 km².

De esta tabla, se puede observar que el valor de recarga anual generado por la infiltración pluvial equivale al 41% de la recarga total, mientras que el volumen de agua que pasa a formar parte del acuífero por retorno de riego anualmente es del 59%. Así pues, cabe aclarar que este último suministro al acuífero está directamente relacionado con las áreas de regadío permanente consideradas en el modelo, siendo que, a medida de que estas aumenten, el volumen de agua de retorno riego aumenta proporcionalmente.

Anexo a ello, para determinar las zonas preferentes de recarga en el acuífero se trató de utilizar la información calculada en las intersecciones cuyos parámetros de sectores de suelo, riego y climáticos fueran iguales. Sin embargo, dado que bajo ese criterio se obtuvo 155 intersecciones las cuales no lograron definirse espacialmente en el programa teniendo en cuenta el grueso de la información, fue imposible determinar las zonas con mayor preponderancia a alimentar el acuífero.

5.5. APLICABILIDAD PROGRAMA

Con respecto al programa RENATA se tiene que es una herramienta útil, bastante aplicada y de fácil manejo para el usuario, la cual está basada en balances hídricos que generan resultados aproximados con respecto a la recarga de acuíferos. Además de ello, permite realizar cálculos de ETP bajo diferentes métodos, crear series de dotación de riego y calcular la lluvia útil bajo el método de Thornthwaite clásico o modificado

Sin embargo, los resultados deben considerarse como un valor de aproximación inicial, dado que la modelación se realiza solo en un ámbito 2D sin posibilidad de incluir particularidades geológicas que favorecen la recarga de acuíferos, como fallas o discontinuidades. Además de ello, se hace laborioso incluir zonas de estudio de gran tamaño y con un rango de valores de variables importante, ya que prácticamente los datos son incluidos celda por celda. Como último punto se critica la dificultad para la administración de las series climáticas, teniendo en cuenta que el programa no permite la modificación de los periodos de modelación incluidos al comienzo del proyecto en etapas más avanzadas del mismo.

6. CONCLUSIONES

Los valores calculados de recarga total a la MAS aluviales Jarama-Tajuña se establecieron aproximadamente en 27 hm³ al año, permitiéndose asumir este volumen como un flujo de entrada mínimo hacia el acuífero en el periodo entre mayo del 2013 a mayo del 2015, donde el mayor aporte hídrico se genera por procesos de retorno de riego de cultivos con un porcentaje del 59% del total de la recarga.

La recarga generada por el modelo numérico se obtuvo de la suma de infiltración por precipitación y retornos de riego procedente de un balance hídrico y de suelos. Su diferencia con el estudio de Villarroya (2008) sobre la recarga del acuífero detrítico en el municipio de Ciempozuelos radica principalmente debido a consideraciones en la dotación establecida de los cultivos regados, teniendo este estudio una diferencia de 48 l/m² por encima de lo asumido en el modelo.

Las dotaciones de regadío establecidas en el modelo numérico se realizaron de manera conservadora asumiendo eficiencia hídrica. Un aumento en dichas dotaciones, ya sea por el establecimiento de nuevos cultivos o por prácticas no eficientes de riego que exijan mayor dotación, implica de manera directa un aumento en el volumen de recarga por retorno de riego del tipo proporcional, es decir, si la dotación hídrica aumenta 20 m³ debido a cualquiera de los escenarios planteados, el aumento de la recarga por retorno de riego, siendo considerado como un 20% de la dotación, correspondería a 4 m³.

Establecer el porcentaje de retorno exacto genera dificultades importantes para lo cual es necesario desarrollar estudios detallados donde se tenga en cuenta la compleja relación entre los cultivos específicos y las características intrínsecas del suelo.

La lluvia útil generada en la MAS de estudio, aplicando el método del SCS de los Estados Unidos, pasa a convertirse, en su mayoría, en recarga por infiltración. De este modo, los volúmenes generados de escorrentía superficial en el acuífero son insignificantes debido a las bajas disponibilidades hídricas de lluvia útil calculadas y altos valores de P_o.

Los valores de infiltración pluvial son altamente sensibles a las condiciones establecidas de umbral de escorrentía y capacidad de almacenamiento del suelo. Estas variables presentan grandes incertidumbres, en el primer caso debido al dinamismo antrópico que produce cambios en los usos de suelo, y en el segundo debido ausencia de mediciones de la capacidad de campo que indiquen de manera más aproximada los valores de este parámetro en la zona de estudio.

Finalmente, se puede indicar que el programa RENATA es de útil aplicación para realizar aproximaciones iniciales de cálculo de recarga en acuíferos con cultivos significativos siendo una interfaz amable con el usuario, con posibilidad de realizar cálculos de ETP bajo diferentes métodos y disponibilidad de asignar y modificar las dotaciones de regadío fácilmente en los sectores cultivados definidos.

Estos hechos hacen el programa adecuado para acuíferos pequeños y poco complejos, dada su restricción de máximo 500 filas y/o columnas y su carácter 2D que no permite la inclusión



de condiciones particulares que favorezcan la recarga. Además de ello, se tiene el hecho de que la inclusión de los sectores requeridos para la modelación se realiza prácticamente de manera manual celda por celda y no permite modificar el periodo de modelación.

7. RECOMENDACIONES

Dado que el cálculo de la recarga se estimó con base en series meteorológicas comprendidas entre mayo del 2013 a mayo del 2015, es recomendable realizar una nueva modelación que incluya series cuyo periodo sea más prolongado, permitiendo así realizar cálculos más aproximados basados en una estandarización de las variaciones climáticas que se puedan presentar a lo largo de los años.

De igual manera, la información de usos de suelo utilizada para establecer los umbrales de escurrimiento se encuentra desactualizada ya que data del año 2006. Como se mencionó previamente, las variaciones en el establecimiento de cultivos de regadío o modificaciones de cobertura generan importantes cambios en la recarga de la MAS, favoreciendo el suministro hídrico o dificultando su infiltración.

Por otro lado, es importante establecer también valores confiables de capacidad de campo obtenidos por estudios de laboratorio realizados con muestras de suelos del acuífero para que sean incluidos de manera más segura en el modelo y aporten resultados más aproximados a la realidad de la MAS.

Para calibrar los resultados se recomienda incluir la sectorización con su correspondiente recarga obtenida con RENATA en un modelo de flujo subterráneo, con parámetros hídricos (T y S) distribuidos y condiciones de contorno establecidas. Además de ello, dicho modelo subterráneo debe contar con geometría (discretización de la malla y dimensiones) y fecha inicial de modelación igual a lo estipulado en el modelo de recarga. De este modo, los valores de piezometría medidos en campo, en el periodo analizado, se comparan con los generados por el modelo de flujo subterráneo, para establecer la confiabilidad de la recarga calculada. Esta labor no se realizó en el presente trabajo dado que está por fuera del alcance previsto; adicionalmente, para el periodo estudiado no se cuenta con mediciones piezométricas.

Con respecto al programa RENATA para estimar la recarga de los acuíferos se recomienda emplear en áreas de estudio pequeñas con poca variabilidad en los parámetros requeridos por el modelo facilitando así la inclusión de información y los cálculos realizados en el modelo.

8. BIBLIOGRAFÍA

Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO Estudio de Riego y Drenaje Vol. 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.

Álvarez-Villa, O. (2014). *Simulación Eficiente de las Relaciones Río Acuífero en Sistemas de Utilización Conjunta Mediante Técnicas de*

Reducción de Modelos Lineales Invariantes en el Tiempo. Disertación Doctoral. Universitat Politècnica de València.

Amaya Ruiz, G. (2010). *Estudio de uso combinado de fuentes de agua superficial y subterránea para el suministro de agua potable para el municipio de Turbo, Antioquia*. Disertación Doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, pp. 69 – 150.

Camiña, M. (2015). *Situación hidrogeológica y caracterización Hidroquímica de los recursos hídricos de la MAS aluviales Jarama-Tajuña (030.007) para el año 2014-2015*. Proyecto fin de Máster. Universidad de Alcalá – Universidad Rey Juan Carlos. Madrid.

CEDEX (1994). *Caracterización Geomorfológica de la Cuenca Alta del Río Palancia. Utilización de la Teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica*, Informe Parcial n° 3 del Proyecto I+D Modelos Hidrológicos de Previsión de Avenidas: Aplicación en Cuencas Experimentales. Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX).

Ferrer, M., Blanco, J., Ramírez J. (2006). *Propuesta metodológica para la adaptación del parámetro del número de curva a las nuevas fuentes de datos*. Ponencia III Congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente “Agua, Biodiversidad e Ingeniería”, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Zaragoza.

Gaspari, F., Senisterra, G., Marlats, R. (2007). *Relación precipitación - escurrimiento y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo*. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. *Revista FCA UNCuyo*, (1900), pp. 21–28.

Girard, G., Ledoux, E., Villeneuve, J. P. (1981). *Le modèle couplé: simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un système hydrologique*. Cahiers Orstom, Série hydrologie, XVIII (4).

Hargreaves, G.H., Samani, Z.A. (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature*. Transaction of Applied Eng. in Agric., Vol.1 (2), pp. 96-99.

Hidalgo, L. (1993). *Tratado de viticultura*. Ediciones Mundi-prensa. Madrid

Jimenez-Martínez, J. (2010). *Aquífer recharge from intensively irrigated farmland. Several approaches*. Disertación Doctoral. Department of Geotechnical Engineering and Geo-Sciences (ETCG) Technical. University of Catalonia, UPC

Londoño, O. M. Q., Martínez, D. E., & Massone, H. E. (2012). *Evaluación comparativa de métodos de cálculo de recarga en ambientes de llanura. La llanura interserrana Bonaerense (Argentina), como caso de estudio*. *Dyna*, 79. N° 171, pp. 239-247.

Martínez A., P., Martínez S., P., Castaño C., S. (2006). *Fundamentos de hidrogeología*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

McCuen, R.H. (1982). *A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods*. Prentice-Hall, Inc.

Merriam, J. L., Burt, C. M., Clemmens, a. J., Solomon, K. H., Howell, T. a., Strelkoff, T. S. (1997). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 123, pp. 423 – 442. Disponible en [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1999\)125:2\(97\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1999)125:2(97))

Ortuño, F., Jódar, J., Carrera, J. (2009). *Cambio climático y recarga de acuíferos en Catalunya*. Agua y Cambio Climático. Diagnosis de los impactos previstos en Cataluña, pp. 143 – 152.



- Padilla B., A. (2012). *Renata: Recarga natural a los acuíferos: Manual del usuario. Programa para el cálculo de la recarga a los acuíferos a partir de los procesos que tienen lugar en el suelo. Calibración mediante modelos de flujo*. Instituto Geológico y Minero de España. Diputación de Alicante.
- Pernía, J. M., Fornés, J. M. (2009). *Cambio climático y agua subterránea*. Enseñanza de las ciencias de la tierra, Vol. 17 (2), pp. 172-178.
- Roblas, N., García-Avilés, J. (1999). *Valoración ambiental de los ecosistemas leníticos del Parque Regional en torno a los ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama (Madrid, España)*. Asociación Española de Limnología, Madrid.
- Sahuquillo, A. (2010). *Modelo de Uso Conjunto de Aguas Superficiales y Subterráneas*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid.
- Samani, Z. (2000). *Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 126, N° 4, pp. 265-267.
- Samper, J. (1997). *Métodos de evaluación de la Recarga por la Lluvia por Balance de Agua: Utilización, Calibración y Errores*. En: *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica*. Madrid: Editado por: Custodio E., Llamas M.R., Samper J. Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupos Español e Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Sánchez-Almohalla Serrano, E., Montaner Salas, M. E. (1988). *Aproximación, por el método de Thornthwaite, al cálculo de infiltración de lluvia útil*. Papeles de Geografía, N° 14, pp. 223 - 235.
- Schosinsky, G., 2006: *Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos*. Revista Geológica de América Central, N° 34-35, pp. 13-30.
- Temez, J.R. (1978). *Cálculo Hidrometeorológico de Caudales de Avenida en Pequeñas Cuencas Naturales*. MOPU.
- Thornthwaite, C. (1948). *An approach toward a rational classification of climate*. Geographical Review, Vol. 38, N° 1, pp. 55-94.
- US Department of Agriculture. Soil Conservation Service. (1999). *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Second Edition, Agriculture Handbook, N° 436. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Vélez, M. V., Vásquez, L. M. (2004). *Métodos para determinar la recarga de acuíferos*. Primer Congreso Colombiano de Hidrogeología, Medellín, Colombia.
- Vélez, M. V., Vásquez, L. M. (2004). *Métodos para determinar la recarga de acuíferos*. Avances en Recursos Hidráulicos, N° 11, pp. 51-62, Medellín, Colombia.
- Villarroya, F., Senderos, A. J., Alcázar, M. (2008). *Las «minas de agua» de Ciempozuelos (Madrid)*. Geogaceta, N° 44, pp. 175-178.
- Yélamos, J. G., Villarroya Gil, F. (2007). *El acuífero terciario detrítico de Madrid: pasado, posibilidades actuales y retos pendientes*. Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra, 15 (3), pp. 317-324.

8.1. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA: CARTOGRAFÍA DIGITAL EN LA RED

- Instituto Geográfico Nacional- IGN. Modelos digitales del terreno. Fecha consulta: 11 de febrero del 2015. <http://www.ign.es/ign/layoutIn/modeloDigitalTerreno.do>
- Instituto Geográfico Nacional- IGN. *Mapas de coberturas y usos del suelo - Corine Land Cover*. Fecha consulta: 11 de febrero del 2015. <http://www.ign.es/ign/layoutIn/coberturaUsoSuelo.do>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente – MAGRAMA. *Las masas de agua y las unidades hidrogeológicas*. Fecha consulta: 21 de mayo del 2015.
- <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-subterranas/masas-agua/>



ANEXOS

5. Anexo 1. Variables climáticas

5.1. VALORES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL POR ESTACIONES

	Aranjuez mm	Arganda del Rey mm	Madrid mm	Tielmes mm
may-13	43.0	40.6	26.6	58.7
jun-13	5.0	1.6	4.9	2.0
jul-13	9.6	17.4	4.9	0.6
ago-13	15.4	15.6	0.6	2.6
sep-13	30.8	35.3	22.4	15.6
oct-13	64.5	51.7	46.5	44.2
nov-13	12.1	11.0	12.0	12.4
dic-13	38.3	40.4	51.4	35.8
ene-14	60.7	58.4	57.3	65.8
feb-14	48.9	26.6	43.7	45.2
mar-14	32.6	14.4	21.6	15.8
abr-14	26.9	28.4	45.7	22.8
may-14	6.4	8.6	5.0	5.0
jun-14	26.5	7.4	15.0	10.2
jul-14	2.0	4.2	2.3	16.4
ago-14	0.0	0.0	0.0	0.0
sep-14	28.0	8.2	22.9	9.4
oct-14	62.2	21.0	58.9	46.1
nov-14	97.4	19.7	74.3	72.6
dic-14	22.4	26.7	21.2	19.0
ene-15	30.3	17.5	15.5	23.5
feb-15	38.0	25.2	19.2	31.8
mar-15	33.6	16.5	34.7	21.7
abr-15	24.9	7.4	45.6	33.4
may-15	1.0	0.2	0.1	0.4
Máximo Precipitación	97.4	58.4	74.3	72.6
Mínimo Precipitación	0.0	0.0	0.0	0.0
Precipitación Media Anual	358.8	231.7	312.8	276.1



5.2. VALORES DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL POR ESTACIONES

	Aranjuez °C	Arganda del Rey °C	Madrid °C	Tielmes °C
may-13	14.91	15.21	15.08	14.74
jun-13	20.76	21.44	21.17	20.57
jul-13	26.38	26.96	27.39	25.92
ago-13	26.10	26.63	26.76	25.51
sep-13	21.98	22.30	22.53	21.81
oct-13	16.40	16.58	16.74	16.01
nov-13	8.24	8.61	9.25	8.28
dic-13	5.45	5.69	6.48	5.41
ene-14	7.76	7.96	8.23	7.60
feb-14	7.63	7.40	7.52	7.00
mar-14	11.00	11.14	11.60	10.65
abr-14	14.78	14.94	15.13	14.31
may-14	18.10	18.22	18.30	17.49
jun-14	22.07	22.53	22.45	21.86
jul-14	24.39	24.81	25.19	23.85
ago-14	25.22	25.50	25.88	24.82
sep-14	20.87	21.26	21.36	20.50
oct-14	18.30	18.15	18.44	17.47
nov-14	11.56	11.36	11.46	11.14
dic-14	6.12	6.57	7.56	6.21
ene-15	5.10	5.45	6.45	5.21
feb-15	6.65	6.89	7.23	6.41
mar-15	10.68	10.89	11.85	10.43
abr-15	14.53	14.82	15.32	14.35
may-15	19.84	20.25	20.44	19.45
Temperatura Máx.	26.38	26.96	27.39	25.92
Temperatura Mín.	5.10	5.45	6.45	5.21



6. Anexo 2. Dotaciones calculadas

6.1. DOTACIONES MENSUALES SEGÚN TIPO DE CULTIVO

Mes	Arganda TRP* hm ³	Arganda Mosaico C. hm ³	Arganda Frutales hm ³	Aranjuez TRP* hm ³	Aranjuez Mosaico C. hm ³	Aranjuez Frutales hm ³	Dotación Total hm ³
may-13	3.28	1.12	0.02	2.58	0.02	0.02	7.03
jun-13	13.76	0.65	0.04	9.97	0.01	0.03	24.46
jul-13	15.91	0.00	0.05	11.77	0.00	0.03	27.76
ago-13	9.97	0.00	0.04	7.04	0.00	0.03	17.08
sep-13	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.06
oct-13	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04
nov-13	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03
dic-13	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
ene-14	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
feb-14	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
mar-14	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04
abr-14	0.00	1.38	0.03	0.00	0.03	0.02	1.45
may-14	4.56	1.82	0.04	3.55	0.04	0.03	10.03
jun-14	13.76	0.68	0.04	9.72	0.01	0.03	24.24
jul-14	15.39	0.00	0.05	11.53	0.00	0.03	27.00
ago-14	9.77	0.00	0.04	7.28	0.00	0.03	17.13
sep-14	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.05
oct-14	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04
nov-14	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03
dic-14	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03
ene-15	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
feb-15	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
mar-15	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04
abr-15	0.00	1.47	0.03	0.00	0.03	0.02	1.55
may-15	5.51	2.03	0.04	4.04	0.04	0.03	11.69
Total	91.89	9.14	0.69	67.48	0.18	0.48	169.87

* TRP: Terrenos Regados Permanentemente



7. Anexo 3. Umbral de escorrentía

7.1. VALORES P_o Y NÚMEROS PRIMOS CORRESPONDIENTES

Cod.	Usos de la tierra	Pend [%]	P _o				No. Primos			
			A	B	C	D	A	B	C	D
31200	Bosques de coníferas	ffl 3	90	47	31	23	78	130	182	286
31200	Bosques de coníferas	< 3	90	47	31	23	39	65	91	143
31100	Bosques de frondosas	ffl 3	90	47	31	23	102	170	238	374
31100	Bosques de frondosas	< 3	90	47	31	23	51	85	119	187
51100	Cursos de agua	ffl 3	0	0	0	0	114	190	266	418
51100	Cursos de agua	< 3	0	0	0	0	57	95	133	209
13200	Escombreras y vertederos	ffl 3	20	11	8	6	138	230	322	506
13200	Escombreras y vertederos	< 3	20	11	8	6	69	115	161	253
33300	Espacios con vegetación escasa	ffl 3	24	14	8	6	174	290	406	638
33300	Espacios con vegetación escasa	< 3	57	25	12	7	87	145	203	319
22200	Frutales	ffl 3	79	34	19	14	186	310	434	682
22200	Frutales	< 3	94	42	22	15	93	155	217	341
41100	Humedales y zonas pantanosas	ffl 3	2	2	2	2	222	370	518	814
41100	Humedales y zonas pantanosas	< 3	2	2	2	2	111	185	259	407
14200	Instalaciones deportivas y recreativas	ffl 3	79	32	18	13	246	410	574	902
14200	Instalaciones deportivas y recreativas	< 3	79	32	18	13	123	205	287	451
51200	Láminas de agua	ffl 3	0	0	0	0	258	430	602	946
51200	Láminas de agua	< 3	0	0	0	0	129	215	301	473
32400	Matorral boscoso de transición	ffl 3	76	34	22	16	282	470	658	1034
32400	Matorral boscoso de transición	< 3	76	34	22	16	141	235	329	517
32300	Matorrales esclerófilos	ffl 3	60	24	14	10	318	530	742	1166
32300	Matorrales esclerófilos	< 3	60	24	14	10	159	265	371	583
24223	Mosaico de cultivos	ffl 3	67	27	16	11	354	590	826	1298
24223	Mosaico de cultivos	< 3	108	37	20	14	177	295	413	649
22300	Olivares	ffl 3	62	26	15	10	366	610	854	1342
22300	Olivares	< 3	76	34	19	14	183	305	427	671
32100	Pastizales naturales	ffl 3	53	23	14	9	402	670	938	1474
32100	Pastizales naturales	< 3	79	35	17	10	201	335	469	737
23100	Prados y praderas	ffl 3	70	32	18	13	426	710	994	1562
23100	Prados y praderas	< 3	119	55	22	14	213	355	497	781
12200	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	ffl 3	1	1	1	1	438	730	1022	1606
12200	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	< 3	1	1	1	1	219	365	511	803
11100	Tejido urbano continuo	ffl 3	1	1	1	1	474	790	1106	1738
11100	Tejido urbano continuo	< 3	1	1	1	1	237	395	553	869
11200	Tejido urbano discontinuo	ffl 3	24	14	8	6	498	830	1162	1826
11200	Tejido urbano discontinuo	< 3	24	14	8	6	249	415	581	913
24320	Terrenos principalmente agrícolas en regadío (N), pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	ffl 3	42	23	14	11	534	890	1246	1958
24320	Terrenos principalmente agrícolas en regadío (R/N), pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	< 3	47	25	16	13	267	445	623	979
21200	Terrenos regados permanentemente N	ffl 3	42	23	14	11	582	970	1358	2134
21200	Terrenos regados permanentemente (R/N)	< 3	47	25	16	13	291	485	679	1067
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas) N	ffl 3	25	16	11	8	606	1010	1414	2222
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas) R/N	< 3	29	19	14	11	303	505	707	1111
22100	Viñedos	ffl 3	62	26	15	10	618	1030	1442	2266



Cod.	Usos de la tierra	Pend [%]	P _o				No. Primos			
			A	B	C	D	A	B	C	D
22100	Viñedos	< 3	76	34	19	14	309	515	721	1133
13100	Zonas de extracción minera	ffl 3	16	9	6	5	642	1070	1498	2354
13100	Zonas de extracción minera	< 3	16	9	6	5	321	535	749	1177
13300	Zonas en construcción	ffl 3	24	14	8	6	654	1090	1526	2398
13300	Zonas en construcción	< 3	24	14	8	6	327	545	763	1199
12100	Zonas industriales o comerciales	ffl 3	6	4	3	3	678	1130	1582	2486
12100	Zonas industriales o comerciales	< 3	6	4	3	3	339	565	791	1243
14100	Zonas verdes urbanas	ffl 3	53	23	14	10	762	1270	1778	2794
14100	Zonas verdes urbanas	< 3	53	23	14	10	381	635	889	1397



8. Anexo 4. Calculos recarga

8.1. VALORES CALCULADOS EN MODELO DE RECARGA SEGÚN INTERSECCIONES ESTABLECIDAS POR EL PROGRAMA

Sector	Precip. hm ³	ETP hm ³	ETR hm ³	LLU hm ³	Infiltración hm ³	Escorrentía hm ³	Retorno de riego hm ³	Recarga hm ³
Intersección 1	0.63	2.21	0.63	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 2	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Intersección 3	0.10	0.22	0.05	0.04	0.04	0.00	0.04	0.08
Intersección 4	0.13	0.29	0.06	0.05	0.05	0.00	0.06	0.11
Intersección 5	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Intersección 6	15.69	46.90	10.37	3.35	3.35	0.00	9.11	12.45
Intersección 7	10.96	32.74	7.24	2.34	2.34	0.00	6.36	8.69
Intersección 8	0.03	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 9	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 10	0.25	1.32	0.25	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 11	1.07	5.77	1.07	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 12	0.02	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Intersección 13	0.03	0.11	0.03	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 14	0.05	0.18	0.05	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 15	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 16	0.04	0.13	0.04	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 17	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 18	0.87	2.59	0.57	0.18	0.18	0.00	0.50	0.69
Intersección 19	2.13	11.46	2.13	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 20	1.26	3.78	0.84	0.27	0.27	0.00	0.73	1.00
Intersección 21	2.89	15.58	2.89	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 22	2.44	13.16	2.44	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 23	0.92	4.97	0.92	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 24	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 25	0.08	0.25	0.05	0.02	0.02	0.00	0.05	0.07
Intersección 26	1.33	7.17	1.33	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 27	1.10	5.94	1.10	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 28	0.04	0.11	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03
Intersección 29	1.74	9.39	1.74	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 30	0.07	0.21	0.05	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05
Intersección 31	1.77	9.56	1.77	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 32	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 33	1.06	5.72	1.06	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 34	0.64	3.45	0.64	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 35	0.06	0.18	0.04	0.01	0.01	0.00	0.04	0.05
Intersección 36	0.04	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 37	0.25	1.37	0.25	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 38	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 39	2.84	15.28	2.84	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 40	0.92	4.97	0.92	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 41	2.37	12.76	2.37	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 42	0.11	0.60	0.11	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 43	1.78	2.69	1.40	0.38	0.38	0.00	0.50	0.88
Intersección 44	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 45	1.83	2.75	1.44	0.39	0.39	0.00	0.51	0.90
Intersección 46	0.89	1.35	0.70	0.19	0.19	0.00	0.25	0.44



Sector	Precip. hm ³	ETP hm ³	ETR hm ³	LLU hm ³	Infiltración hm ³	Escorrentía hm ³	Retorno de riego hm ³	Recarga hm ³
Intersección 47	0.01	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 48	0.88	1.33	0.69	0.19	0.19	0.00	0.25	0.43
Intersección 49	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 50	0.94	5.07	0.94	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 51	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 52	0.19	1.00	0.19	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 53	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 54	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 55	0.03	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 56	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 57	0.04	0.11	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03
Intersección 58	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 59	0.03	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02
Intersección 60	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 61	0.07	0.37	0.07	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 62	0.74	3.97	0.74	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 63	0.06	0.35	0.06	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 64	0.05	0.15	0.03	0.01	0.00	0.01	0.03	0.03
Intersección 65	0.07	0.22	0.05	0.02	0.02	0.00	0.04	0.06
Intersección 66	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 67	0.18	0.97	0.18	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 68	0.03	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02
Intersección 69	0.16	0.87	0.16	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 70	0.13	0.71	0.13	0.00	0.00	0.00	0.13	0.13
Intersección 71	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 72	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Intersección 73	0.23	1.22	0.23	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 74	0.06	0.10	0.05	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03
Intersección 75	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 76	0.02	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 77	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 78	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Intersección 79	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Intersección 80	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 81	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 82	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 83	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 84	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 85	0.02	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 86	0.35	1.48	0.35	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 87	0.21	0.89	0.21	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 88	0.22	0.94	0.22	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 89	0.14	0.61	0.14	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 90	0.17	0.42	0.09	0.05	0.05	0.00	0.08	0.13
Intersección 91	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 92	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Intersección 93	0.17	0.42	0.09	0.05	0.05	0.00	0.08	0.13
Intersección 94	0.48	1.18	0.26	0.13	0.13	0.00	0.23	0.37
Intersección 95	0.07	0.18	0.04	0.02	0.02	0.00	0.04	0.06
Intersección 96	0.03	0.10	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03



Sector	Precip. hm ³	ETP hm ³	ETR hm ³	LLU hm ³	Infiltración hm ³	Escorrentía hm ³	Retorno de riego hm ³	Recarga hm ³
Intersección 97	1.24	4.41	1.24	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 98	0.34	1.22	0.34	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 99	0.56	1.99	0.56	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 100	15.03	28.65	6.83	6.15	6.15	0.00	5.50	11.65
Intersección 101	1.26	4.48	1.26	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 102	2.66	5.06	1.21	1.09	1.09	0.00	0.97	2.06
Intersección 103	15.94	30.37	7.24	6.52	6.52	0.00	5.83	12.35
Intersección 104	5.60	19.86	5.60	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 105	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 106	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 107	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	-	0.01
Intersección 108	0.31	0.59	0.14	0.13	0.13	0.00	0.11	0.24
Intersección 109	0.17	0.59	0.17	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 110	0.21	0.76	0.21	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 111	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 112	0.09	0.33	0.09	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 113	0.05	0.18	0.05	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 114	0.05	0.18	0.05	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 115	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
Intersección 116	0.85	3.00	0.85	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 117	0.72	1.37	0.33	0.29	0.29	0.00	0.26	0.56
Intersección 118	0.04	0.08	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03
Intersección 119	0.02	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 120	0.47	1.66	0.47	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 121	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Intersección 122	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
Intersección 123	0.09	0.09	0.05	0.04	0.04	0.00	0.02	0.05
Intersección 124	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
Intersección 125	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Intersección 126	0.23	0.81	0.23	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 127	0.09	0.16	0.04	0.04	0.04	0.00	0.03	0.07
Intersección 128	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Intersección 129	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 130	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Intersección 131	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Intersección 132	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Intersección 133	0.11	0.38	0.11	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 134	0.62	2.21	0.62	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 135	0.08	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 136	0.05	0.17	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03
Intersección 137	0.07	0.25	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04
Intersección 138	0.02	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Intersección 139	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 140	0.21	0.74	0.21	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 141	0.11	0.21	0.05	0.04	0.04	0.00	0.04	0.08
Intersección 142	0.02	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 143	0.04	0.08	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03
Intersección 144	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Intersección 145	2.01	7.13	2.01	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 146	0.22	0.42	0.10	0.09	0.00	0.09	0.08	0.08



Sector	Precip. hm ³	ETP hm ³	ETR hm ³	LLU hm ³	Infiltración hm ³	Escorrentía hm ³	Retorno de riego hm ³	Recarga hm ³
Intersección 147	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	-	0.00
Intersección 148	0.38	1.35	0.38	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 149	0.05	0.10	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03
Intersección 150	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Intersección 151	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 152	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 153	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intersección 154	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Intersección 155	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
Total Modelo	114.85	369.24	83.74	22.38	22.25	0.13	32.39	54.64
Total Anual	57.43	184.62	41.87	11.19	11.13	0.07	16.20	27.32



proyectos
2015

editores

Universidad de Alcalá
Universidad Rey Juan Carlos

comisión docente

José Aguado
Irene De Bustamante
Eloy García Calvo
José Antonio Iglesias
Javier Lillo
Alberto del Villar
Domingo Zarzo

diseño y maquetación

base 12 diseño y comunicación

ISBN

978-84-608-4456-3