

**ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA DESARROLLAR DIVERSOS
TRABAJOS RELACIONADOS CON EL INVENTARIO DE
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS Y CON LA
CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS COMPARTIDOS ENTRE
DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS**



**DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA
COMPARTIDAS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS**

Guadalquivir-Segura

Informe nº 20 (ALTO SEGURA-ALTO GUADIANA MENOR)

24. Calar del Mundo-Navalperal-Yelmo

25. Sierra de Segura occidental-Sierra del Segura-Sierra Seca

**26. Sierra de Guillimona-Sierra del Segura oriental-Socovos-Sierra del
Taibilla.**

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

Pág.

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	12
3.1. Contexto geológico	12
3.2. Geometría, estructura y límites	16
3.3. Geomorfología y formas de infiltración preferencial.....	19
3.4. Formaciones hidrogeológicas	21
3.5. Funcionamiento hidrogeológico, hidrometría y piezometría. Relación río- acuífero. Propuesta de delimitación de MASCHs.....	22
3.5.1.- Análisis piezométrico	29
3.5.2.- Análisis hidrométrico de manantiales.....	30
3.5.3.- Relación río-acuífero.....	34
3.6. Usos del agua subterránea	36
4. ESTUDIO CLIMÁTICO	39
4.1. Información meteorológica.....	39
4.2. Análisis espacio-temporal	40
5. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA.....	45
5.1. Generación de la malla y establecimiento del periodo de cálculo.....	47
5.2. Módulo de Balance hídrico	49
5.3 Módulo de calibración. Modelo de Flujo.....	53
6. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL	65
7. BALANCE HÍDRICO SEGÚN DIVISORIAS.....	¡Error! Marcador no definido.
8. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	73
REFERENCIAS	76

ANEXOS

Anexo I. Balances hídricos anuales generados por RENATA

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1. Masas de Aguas subterráneas contempladas en la realización del estudio..	1
Figura 1.2 El conjunto se denomina Agrupación de MASCH del Alto Segura-Alto Guadiana Menor.	2
Figura 1.3.- Delimitación de las 8 MASCH y 4 MASb consideradas en este trabajo.	3
Figura 3.1.Agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor en el marco de las Cordilleras Béticas (Mod. Fernández y Gil, 1989).	12
Figura 3.2. Mapa geológico-hidrogeológico de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor con modelo digital de elevaciones	15
Figura 3.3. Cortes hidrogeológicos de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor con piezometría actual. (Modificado de Rodríguez-Estrella (1979), Dabrio y López-Garrido (1979) y Lupiani et al. (2007)). Ubicación de los cortes en la figura 3.2.	17
Figura 3.4. Esquema hidrogeológico de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor con indicación de las unidades hidrogeológicas definidas por Moral (2005) (línea negra y blanca)	24
Figura 3.5. Evoluciones temporales del nivel piezométrico registrado en los puntos de control piezométrico oficiales existentes en sector meridional de la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril. Datos procedentes del servicio de hidrometría de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir	30
Figura 3.6. Hidrogramas de los manantiales de La Natividad, Nacimiento del Río Castril, Nacimiento del Río Segura, Chorros del Río Mundo y El Berral, junto con la precipitación registrada durante el periodo 1974/75 – 2015/16.	33
Figura 4.1.Estaciones climáticas utilizadas para la determinación de la recarga en la agrupación de MASCHs Alto Segura-Alto Guadiana Menor.	39
Figura 4.2. Distribución temporal de la precipitación media anual durante el periodo 1974/75 – 2018/19 en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor. En azul, años de tipo húmedo, en blanco tipo medio y en amarillo, de tipo seco	41
Figura 4.3. Gradientes pluviométricos en función de la altitud correspondientes al periodo 1974/75 – 2018/19. (A) gradiente calculado para la vertiente ESE (sotavento). (B) Gradiente calculado para la vertiente ONO (barlovento). (C) Comparación de los gradientes obtenidos para las estaciones seleccionadas. (D) Gradiente térmico obtenido para toda agrupación de MASCHs	42
Figura 5.1. Diagrama de flujo del código RENATA.	45
Figura 5.2.Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.	46
Figura 5.3. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante RENATA de acuerdo con el modelo conceptual. Se indican las 8 MASCH, principales direcciones de flujo y puntos de descarga (manantiales y ríos) relacionados con las mismas.	48
Figura 5.4. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA.	50

Figura 5.5.- Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.....	51
Figura 5.6. Condiciones en los límites del modelo de flujo. Manantiales utilizados (rojo) y celdas que simulan los ríos Segura, Taibilla, Tus, Zumeta y Borosa. Se indican las 8 MASCH incluidas en el área de estudio.	55
Figura 5.7.- Distribución de isopiezas en régimen natural resultante en la simulación de flujo en régimen permanente para cada MASCH.	58
Figura 5.8. Hidrogramas resultantes de la calibración del código RENATA de los caudales registrados en manantiales de la MASCH Calar del Mundo y MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril.	60
Figura 5.9. Hidrogramas resultantes de la calibración del código RENATA de los caudales registrados en manantiales de la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril.....	62
Figura 5.10. Hidrogramas resultantes de la calibración del código RENATA de los caudales registrados en manantiales de la MASCH Sierra Seca y MASCH Sierra de Segura Oriental-Socovos.	63
Figura 5.11. Hidrograma resultante de la calibración del código RENATA de los caudales registrados en el manantial de Guazalamanco en el acuífero Sierra del Pozo.	64
Figura 6.1. Superficie piezométrica y sentido del flujo subterráneo al final de la simulación para las 8 MASCH del área de estudio. Divisorias subterráneas y superficial y sentidos de flujo modelizados.	68
Figura 7.1. Situación de la superficie piezométrica y divisorias de la agrupación de MASCHs en régimen natural transitorio para el inicio y final del periodo de simulación realizado. .	Error!
	Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1.- Características generales de las masas de agua subterránea que se localizan en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor y áreas limítrofes.....	1
Tabla 2.1.- Cambios en la denominación administrativa de las masas de agua subterránea incluidas en la agrupación de MASCHs.....	6
Tabla 2.2.- Estimación del balance hídrico de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor según diversos estudios citados	10
Tabla 3.1.- Características de los principales manantiales de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor	31
Tabla 3.2. Características de los principales sondeos de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor	37
Tabla 4.1. Estaciones climáticas utilizadas con sus principales características (Datum ETRS89)	40
Tabla 5.1. Características de los sectores climáticos (1974/75-2014/15).	49
Tabla 5.2. Sectores de suelo: parámetros utilizados	51
Tabla 5.3. Áreas de intersección con diferente recarga	53
Tabla 5.4. Celdas tipo Dren tenidas en cuenta en las condiciones de contorno de área de estudio	55
Tabla 5.5. Celdas tipo río tenidas en cuenta en las condiciones de contorno del área de estudio	56
Tabla 5.6. Valores medios observados y calculados de las salidas que se han tenido en cuenta en la calibración de RENATA en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor	59
Tabla 5.7. Agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor: Recarga por demarcaciones hidrográficas (1974/75-2014/15) obtenida por RENATA.....	64
Tabla 6.1. Balance hídrico de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor por demarcaciones hidrográficas en régimen natural transitorio (1974/75-2014/15).....	65
Tabla 6.2. Balance hídrico desglosado para cada MASCH y por demarcaciones hidrográficas en régimen natural transitorio (1974/75-2014/15).....	66
Tabla 7.1. Comparativa de la disponibilidad de aguas subterráneas en régimen natural en el periodo 1974/75-2014/15) en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor según las divisorias hidrográfica e hidrogeológica correspondientes a las cuencas del Guadalquivir y del Segura. Variaciones absolutas y porcentuales.	71
Tabla 7.2. Comparativa de la disponibilidad de aguas subterráneas en régimen natural (solo precipitación) el periodo 1974/75-2014/15) en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor según las divisorias hidrográfica e hidrogeológica correspondientes a las cuencas del Guadalquivir desglosada por MASCH. Variaciones absolutas y porcentuales.	71

El presente documento técnico-científico se integra dentro de los estudios que la Dirección General del Agua ha encargado al CN-Instituto Geológico y Minero de España, a través de una Encomienda de Gestión para desarrollar diversos trabajos relacionados con el Inventario de Recursos Hídricos Subterráneos y con la Caracterización de Acuíferos Compartidos entre Demarcaciones Hidrográficas.

PRESENTACIÓN

Los Planes Hidrológicos de cuenca definen las masas de agua subterránea (MASb) dentro de los límites de su propia demarcación, por lo que formal y administrativamente no existen masas de agua subterránea compartidas. Sin embargo, la realidad física de los acuíferos no se ajusta a lo expuesto, ya que masas de agua subterránea contiguas, pero pertenecientes a demarcaciones hidrográficas diferentes, tienen acuíferos conectados hidráulicamente entre sí. En consecuencia, una de las medidas necesarias de coordinación de los Planes Hidrológicos de cuenca es la definición y delimitación de dichos acuíferos compartidos, así como la asignación de recursos de cada acuífero compartido entre las cuencas afectadas.

En cumplimiento del Artículo 9.2 del Reglamento de la Planificación Hidrológica, los planes hidrológicos realizan una propuesta de masas de agua subterránea compartidas con otras demarcaciones. Para la definición de dichas masas de agua y la asignación de sus recursos, se ha de tomar como referencia lo previsto en la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional (PHN), que establece en su Anexo 1 un listado de unidades hidrogeológicas compartidas y su correspondiente asignación de recursos a los distintos ámbitos de planificación.

Desde la aprobación del PHN se han aprobado los planes hidrológicos de cuenca de varios ciclos sucesivos de planificación. En estos planes se han delimitado y caracterizado masas de agua subterránea conforme a la Directiva Marco del Agua, hecho que progresivamente ha convertido al Anexo I del PHN antes mencionado en algo carente de utilidad por su evidente desactualización. El avance en el conocimiento de los acuíferos españoles que se pone en evidencia a través de los contenidos incorporados en los planes hidrológicos de cuenca ha sido notable, identificando casos de acuíferos compartidos no considerados en el vigente PHN y mejorando la definición y delimitación de los contemplados.

Con el objeto de disponer de un trabajo que sirva como referencia técnica a considerar para actualizar los contenidos coordinadores del Plan Hidrológico Nacional respecto a los acuíferos compartidos, la Dirección General del Agua encargó al Instituto Geológico y Minero de España un trabajo técnico armonizado y actualizado de caracterización, mejora del conocimiento y reducción de incertidumbres para estos acuíferos compartidos.

Este trabajo ha partido de la información recogida en los planes hidrológicos del segundo ciclo. A este respecto, el IGME ha analizado las propuestas incluidas en dichos planes y elaborado una metodología común que permite su aplicación a todas las masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica (MASCH). Esta metodología se ha justificado técnicamente, al igual que el empleo de otras sistemáticas necesarias para analizar situaciones o escenarios que precisen de un tratamiento excepcional o diferenciado.

Dentro de las recomendaciones que realiza la DGA, se encuentra la de prestar especial atención a los casos en los que existan discrepancias con los planteamientos establecidos en los planes hidrológicos de cuenca. También propone que se estudie y se valore la posibilidad de incluir otras MASCH que no se encuentren entre las que se propusieron. Este es el caso del presente documento que contempla la definición, caracterización y mejora del conocimiento de los acuíferos compartidos de 8 nuevas MASCH identificadas a partir de la propuesta de Masa Compartida realizada para las demarcaciones hidrográficas del Guadalquivir y el Segura. Dicha Masa Compartida, que no estaba catalogada en el Anexo I del PHN, incluía las MASb de Quesada-Castril (DHG), Calar del Mundo (DHS) y Machada (DHS): Junto a las anteriores MASb ha sido preciso contemplar las MASb de “Fuente Segura-Fuentsanta” y “Taibilla” pertenecientes ambas, según las propuestas realizadas en el segundo ciclo de planificación hidrológica, a la DHS, ya que presentan continuidad hidrogeológica con las anteriores. Las nuevas Masas Compartidas o con continuidad hidrogeológica (MASCH) a

las que ha dado origen el presente estudio han sido las siguientes: Calar del Mundo, Navalperal, Yelmo, Sierra de Segura Occidental-Sierra de Castril, Sierra Seca, Sierra de Guillimona, Sierra del Segura Oriental-Socovos y Sierra del Taibilla.

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO

El presente documento responde inicialmente al estudio de la Masa de Agua Subterránea Compartida o con Continuidad Hidrogeológica entre diferentes ámbitos de planificación, no catalogada en el Anexo 1 del Plan Hidrológico Nacional (PHN), constituida por las MASb de Quesada-Castril (DHG), Calar del Mundo (DHS) y Machada (DHS). Como se justificará a lo largo del presente documento, ha sido preciso contemplar a lo largo de la realización del estudio, junto a las anteriores MASb, otras MASb, definidas a lo largo del segundo ciclo de planificación, que presentan continuidad hidrogeológica con las anteriores. Estas son las siguientes: MASb de Fuente del Segura-Fuensanta y MASb Taibilla (Figura 1.1 y Tabla 1.1). También se ha incluido la parte de los Campos de Hernán Pelea, perteneciente a la DHG, que no había sido asignada a ninguna MASb o catalogados como una MASb individualizada.

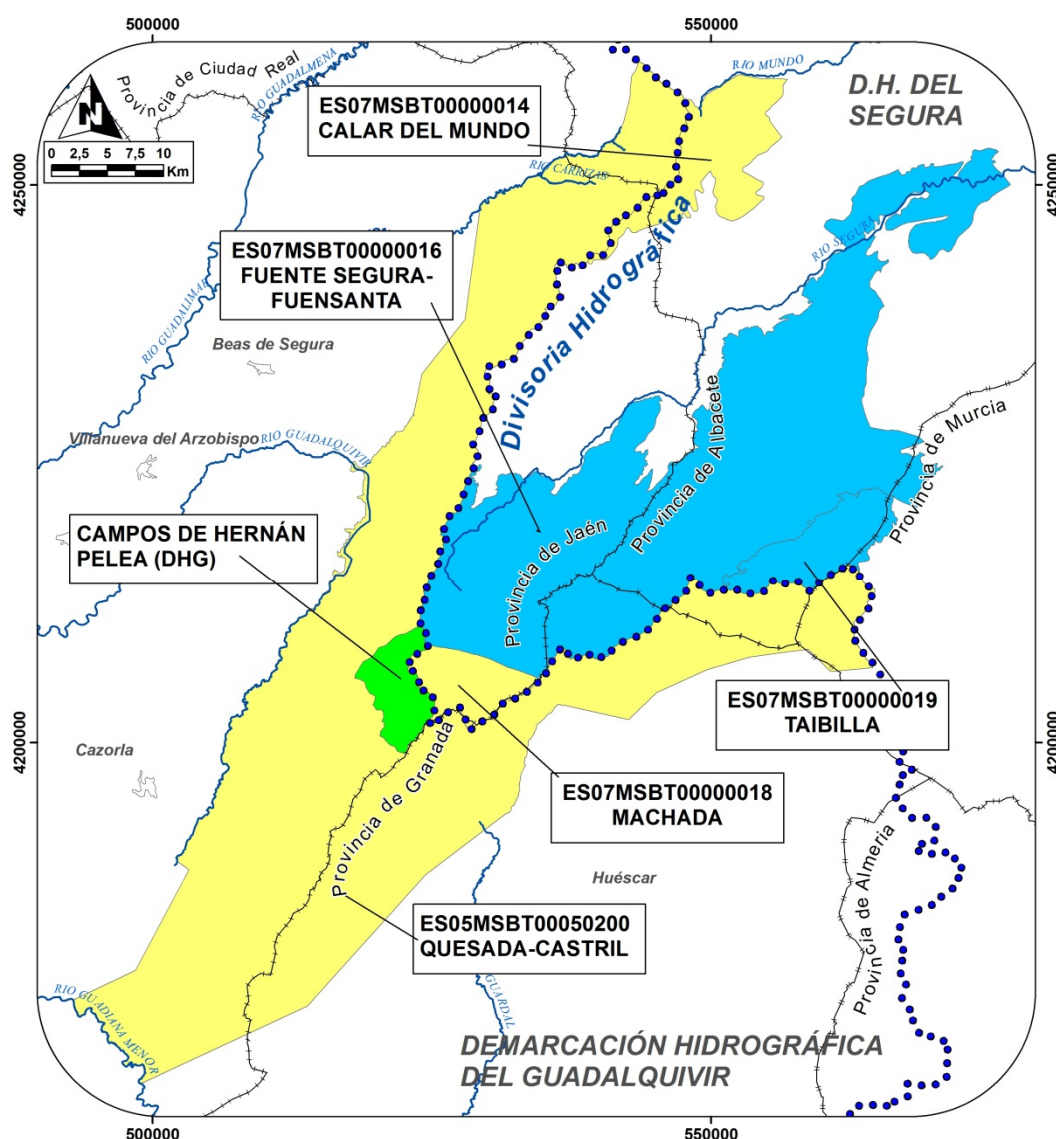


Figura 1.1. Masas de Aguas subterráneas contempladas en la realización del estudio. En Amarillo: Masa de Agua Subterránea Compartida o con Continuidad Hidrogeológica (MASCH) entre diferentes ámbitos de planificación no catalogada en el Anexo 1 del Plan Hidrológico Nacional (PHN). Dicha MASCH engloba las MASb de Quesada-Castril (DHG), Calar del Mundo (DHS) y Machada (DHS). En azul: MASb definidas en el segundo ciclo de planificación que presentan continuidad hidrogeológica con las MASb de Quesada-Castril (DHG), Calar del Mundo (DHS) y Machada (DHS). En verde: parte perteneciente al Guadalquivir de Campos de Hernán Pelea no incluida en ninguna MASb.

Tabla 1.1.- Masas de agua subterránea contempladas inicialmente en la realización del estudio.

Código	Nombre	Superficie km ²	Demarcación Hidrográfica	Provincia
ES050MSBT000050200	Quesada – Castril	1.356	Cuenca del Guadalquivir	Jaén, Granada, Albacete y Murcia
ES070MSBT000000014	Calar del Mundo	99	Cuenca del Segura	Albacete y Jaén
ES070MSBT000000016	Fuente Segura-Fuensanta	805	Cuenca del Segura	Albacete, Jaén y Granada
ES070MSBT000000018	Machada	49	Cuenca del Segura	Jaén
ES070MSBT000000019	Taibilla	68	Cuenca del Segura	Albacete y Murcia

En la DHS se ha identificado la MASb “Acuíferos Inferiores de la Sierra del Segura” (ES070MSBT000000017) que, con una extensión de 1.587 km², coincide geográficamente con gran parte de las masas anteriormente citadas, sin embargo, ésta está fundamentalmente formada por formaciones acuíferas de edad Jurásico que prácticamente no afloran en la zona de estudio y se encuentran infrayacentes e inconexas con los materiales cretácicos y terciarios, por lo que dicha MASb no se contempla dentro del presente estudio como MASb potencialmente integrante de las MASCHs que pudieran identificarse a lo largo de la realización del presente estudio. Todas las MASb referenciadas anteriormente quedan enmarcadas en sus respectivos planes hidrológicos dentro del Sistema de Regulación general de la DHG y del Sistema único de explotación de la DHS (Figura 1.2).

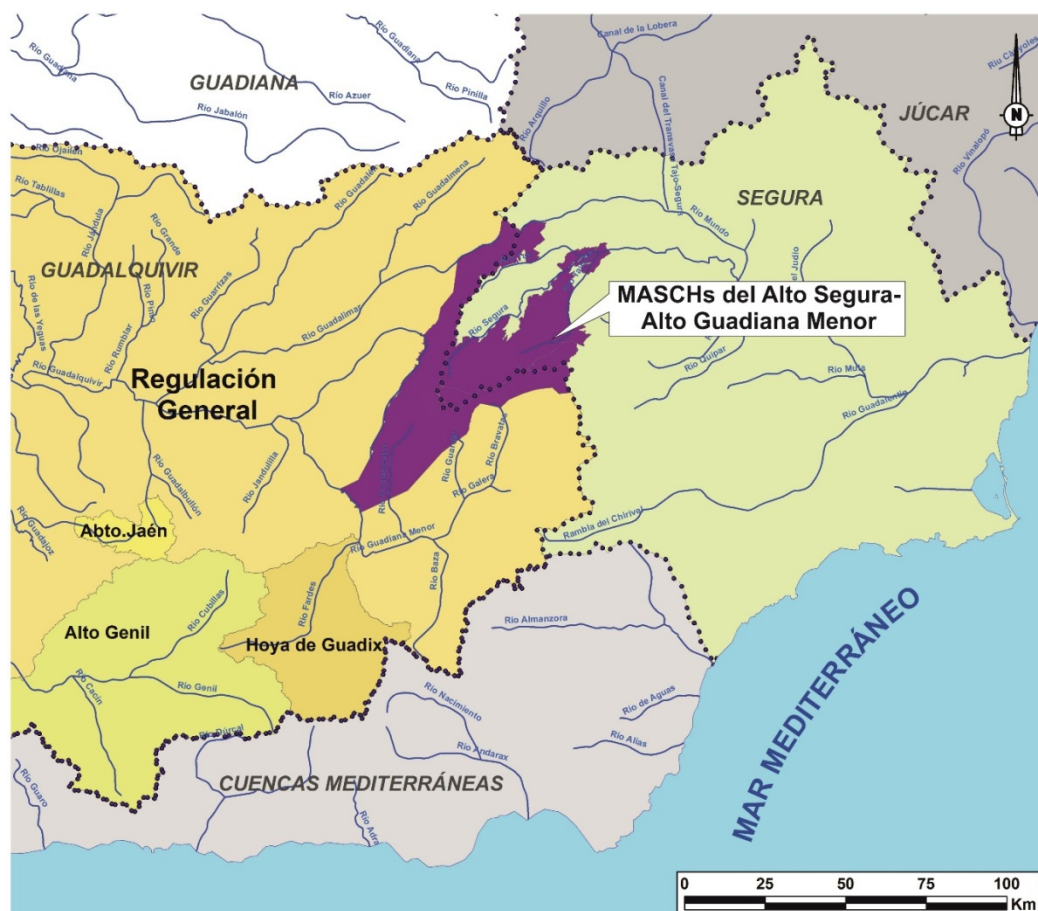


Figura 1.2 El conjunto se denomina Agrupación de MASCH del Alto Segura-Alto Guadiana Menor.

El resultado final que ha proporcionado el presente estudio ha dado origen a la identificación de 8 Masas de Agua Subterránea Compartidas o con Continuidad Hidrogeológica (MASCH) y a 4 MASb que se localizan exclusivamente en la DHG (Figura 1.3). Las primeras son las siguientes: MASCH Calar del Mundo, MASCH Navalperal, MASCH Yelmo, MASCH Sierra de Segura Occidental-Sierra de Castril, MASCH Sierra Seca, MASCH Sierra de Guillimona, MASCH Sierra del Segura Oriental-Socovos y MASCH Sierra del Taibilla. Por lo que respecta a las segundas, que se localizan íntegramente en la DHG, responden a las siguientes denominaciones: MASb Acuífero de Segura de la Sierra, MASb Acuífero Bucentaina, MASb Acuífero Peñalta y MASb Agrupación de acuíferos de la Sierra del Pozo.

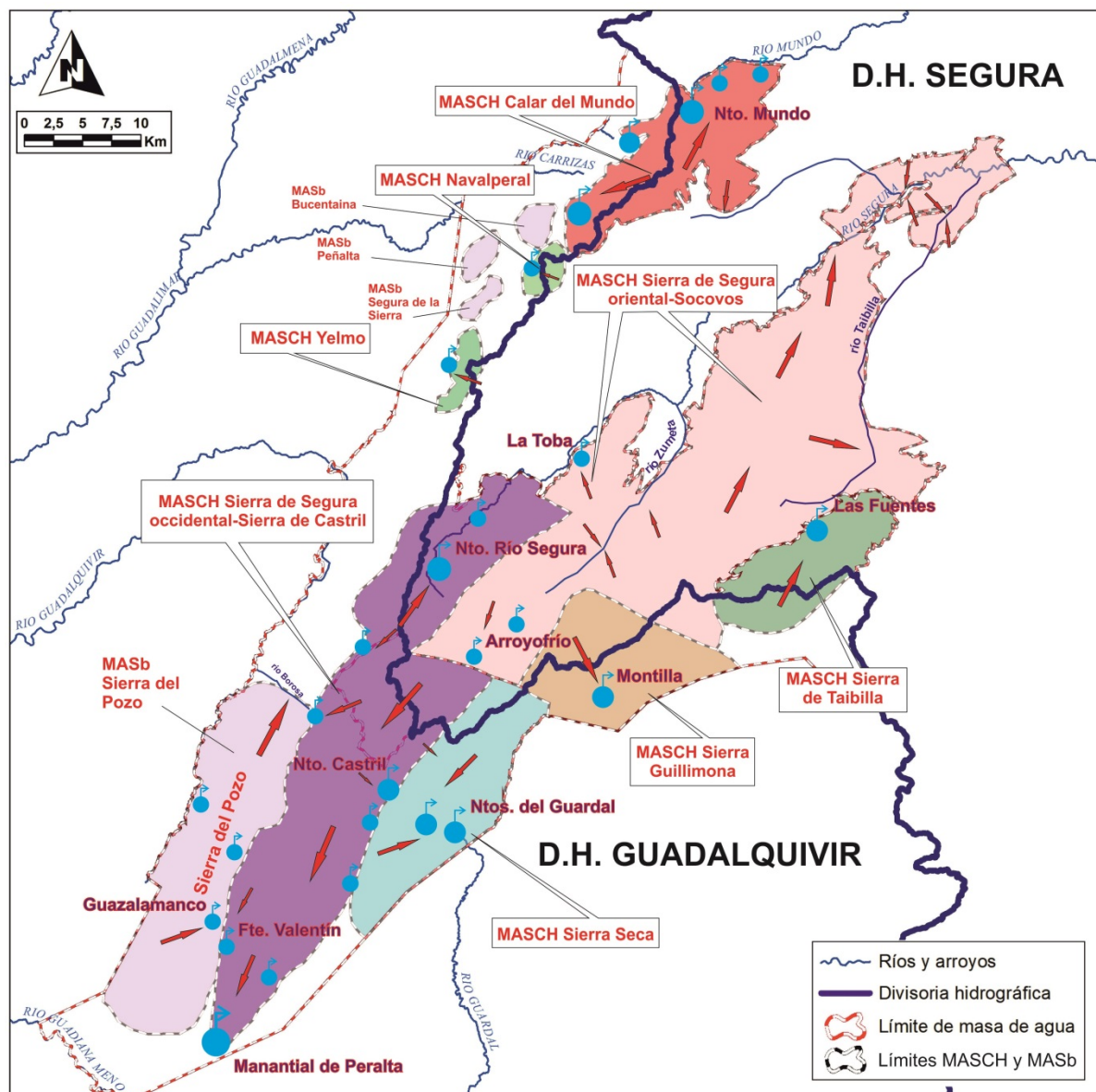


Figura 1.3. Delimitación de las 8 MASCH y 4 MASb consideradas en este trabajo

Al objeto de facilitar la realización de algunos de los apartados que se contemplan en el presente estudio, especialmente los de geología y climatología, y sin ánimo de renunciar a ninguna de las singularidades propias que caracterizan a cada una de las 8 MASCH identificadas, se han agrupado estas bajo la denominación “Agrupación de masas de agua subterránea Compartidas o con Continuidad Hidrogeológica del Alto Segura-Alto Guadiana Menor” (Figura 1.2) que, con

aproximadamente 2.500 km² de superficie, constituyen uno de los conjuntos de afloramientos carbonáticos de mayor extensión de la Península Ibérica. Estos se extienden por las provincias de Jaén, Granada, Albacete y la Región de Murcia. Se trata de una región montañosa, cuya orografía se vertebró alrededor de la Sierra de Segura, principal relieve de la región, y otros macizos de menor entidad como el Calar del Mundo, Sierra Seca, las sierras de la Guillimona, de Castril y del Pozo, y las sierras de Taibilla y Revolcadores.

Todos estos macizos presentan una orientación geográfica preferente NE-SO y se extienden a lo largo de 130 km desde las localidades de Hinojares y Pozo Alcón, en el extremo SO, hasta el municipio de Riópar en el borde NE. Otros municipios localizados en el interior o en la periferia de estos macizos son Siles, Orcera, Segura de la Sierra, Santiago-Pontones, entre otros, en la provincia de Jaén; Castril, Huéscar y la Puebla de Don Fabrique en la de Granada, y Nerpio en la provincia de Albacete.

La poligonal envolvente definida por la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor se extiende sobre un total de 2.377 km², de los que 1.356 km² corresponden a la DHG y 1.021 km² a la DHS. En general, la región se caracteriza por presentar una topografía agreste, que incluye valles profundos en forma de V y amplias zonas con topografía más suave situadas en las zonas elevadas. El rango altitudinal está comprendido entre 500 m s.n.m., en el valle del río Guadiana Menor, y 2.136 m s.n.m. del pico Tornajuelos, en Sierra Seca. Los altiplanos del Calar del Mundo y de la Sierra de Segura y, dentro de esta última, los Campos de Hernán Pelea, son extensiones caracterizadas por presentar un paisaje kárstico muy bien desarrollado, en el que se pueden hallar numerosas dolinas, poljes, sumideros y campos de lapiaz. Otros picos que superan los 2.000 de altitud son los vértices Empanadas (2.106 m s.n.m.), Las Cabras (2.080 m s.n.m.), Guillimona (2.064 m s.n.m.), Cabañas (2.026 m s.n.m.) y Revolcadores (2.014 m s.n.m.). El suelo apenas está desarrollado como consecuencia de la topografía y el tipo de litología que conforma estas sierras.

La agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor, dada su situación geográfica, constituyen una zona «estratégica», en lo que a generación de recursos hídricos se refiere, la cual ocupa la cabecera de tres importantes ríos: el Guadalquivir, el Segura y el Guadiana Menor. La línea de cumbres definida por las sierras de Segura, Seca, Guillimona y Taibilla, que sobre la cartografía dibuja una forma de “V” abierta hacia el NE, marca la divisoria hidrográfica natural entre las demarcaciones hidrográficas del Guadalquivir (bordes occidental y suroriental) y la del Segura (en la vertiente nororiental). Hacia el mar Mediterráneo (DHS) discurren un significativo número de ríos y arroyos, entre los que destacan el río Segura y sus afluentes en cabecera (Madera y Zumeta), el río Taibilla por el NE, y los ríos Tus y Mundo en la zona septentrional. Los principales cauces que vierten sus aguas hacia el océano Atlántico por la vertiente occidental del ámbito de estudio son el río Guadalquivir y el río Guadalimar, en el extremo noroccidental. La vertiente suroriental de las sierras del Pozo, Castril, Seca, Guillimona y Taibilla son drenadas por los ríos Guadalentín, Castril, Guardal, Raigadas y Bravatas, tributarios del río Guadiana Menor.

Por su extensión y por sus valores botánicos y faunísticos, el conjunto de sierras que forman el ámbito de estudio ostenta diferentes figuras de protección, entre las que cabe destacar tres parques naturales que suman en conjunto cerca de 2.500 km². Los parques naturales de Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas (214.519 ha) y Sierra de Castril (12.696 ha) fueron declarados por la Junta de Andalucía el 5 de febrero de 1986 y el 28 de julio de 1989, respectivamente. Por su parte, el Parque Natural Calares del Mundo y la Sima (19.192 ha) fue declarado el 5 de mayo de 2005 por la Junta de Castilla y la Mancha. Además, desde el 21 de abril de 1983, las sierras de Segura, Cazorla y Las Villas tienen el reconocimiento de Reserva de la Biosfera por la UNESCO.

2. ANTECEDENTES

La zona de estudio presenta un alto potencial desde el punto de vista de los recursos hídricos, habida cuenta de su situación estratégica en la cabecera de las cuencas hidrográficas de los ríos Guadalquivir y Segura. Ello ha motivado históricamente la ejecución de obras hidráulicas de regulación y trasvase con el fin de aumentar las dotaciones hídricas en zonas próximas con mayor demanda y recursos más limitados. A partir de la década de 1960, los proyectos de nuevas infraestructuras hidráulicas iban acompañados de trabajos hidrogeológicos específicos con objeto de evaluar las posibilidades que ofrecían los acuíferos del SE español para cubrir la creciente demanda de agua en las comarcas mediterráneas. De entre todos los proyectos merece mencionar, por la información aportada durante los estudios de reconocimiento, el que pretendía ejecutar un túnel a través de Sierra Seca para trasvasar 54 hm³/año de agua desde el río Castril hasta el embalse de San Clemente. El proyecto, conocido como “Plan de aprovechamiento integral de los ríos Castril y Guardal” (CHG-CEH, 1980), no llegó a realizarse debido al grave impacto sobre la fauna, flora y paisaje del Parque Natural Sierra de Castril y, en particular, por la afección a los acuíferos de Sierra Seca (Cruz San Julián *et al.*, 1992). Estaba previsto construir el túnel a través de la zona saturada de los acuíferos. En cualquier caso, por la extensión de la Sierra de Segura, su accidentado relieve y consecuentemente difícil accesibilidad, la información hidrogeológica que se iba adquiriendo en estos trabajos era limitada y, además, fragmentaria.

El primer estudio hidrogeológico de carácter regional fue llevado a cabo por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en el marco del Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), con la colaboración de la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras (ENADIMSA) y el Instituto Nacional de Colonización (más tarde IRYDA). En sus etapas iniciales (desde 1968), los trabajos se centraron en el sector comprendido entre Cazorla – Hellín – Yecla (IGME-IRYDA, 1972), y más tarde en la zona comprendida entre la cuenca alta del río Segura y la del Júcar (IGME, 1975). Con estos estudios, además de elaborar inventarios de puntos de agua, realizar numerosas perforaciones, efectuar cartografías temáticas e identificar los materiales de mayor interés hidrogeológico, se definieron las grandes unidades hidrogeológicas y se estimaron los recursos hídricos correspondientes, así como las reservas subterráneas. La mayor parte de la información relativa al ámbito de estudio aparece sintetizada en el “Mapa de Reconocimiento Hidrogeológico de España Peninsular, Baleares y Canarias” (IGME, 1972). En este documento se define el “Sistema Acuífero nº 49, Sierras de Cazorla y del Segura” (Tabla 21, columna A). El marco geográfico del informe referido incluyó, además, otros macizos carbonáticos existentes hacia el O, como las sierras de Cazorla y Las Villas. Los recursos totales evaluados ascendieron a 450 hm³/año, de los que entre 200 y 250 hm³/año se estimaron para 1.280 km² de los acuíferos que son objeto del presente estudio, con la excepción de la sierra de Taibilla. Los principales resultados de estas investigaciones (parámetros hidráulicos, geometría, funcionamiento, hidroquímica y recursos de las unidades hidrogeológicas existentes) fueron presentados por Pendás (1971), en un primer momento, y sintetizados posteriormente en una nota técnica titulada “Contribución al Plan Hidrológico Nacional. Cuenca Alta del Segura” (IGME, 1982).

Rodríguez-Estrella (1979), en su tesis doctoral centrada en la geología e hidrogeología del sector Alcaraz-Liétor-Yeste (provincia de Albacete), efectuó una caracterización detallada de los rasgos hidrogeológicos del Calar del Mundo. Dedujo para las dolomías y calizas del Cretácico Superior, que constituyen el acuífero principal, un funcionamiento marcado por el grado de fracturación de las rocas y por la presencia en la serie de tramos con distinto grado de permeabilidad, lo que da lugar a la existencia de varios acuíferos, a veces con geometría de tipo multicapa. También puso de manifiesto las circunstancias hidrogeológicas que causan el conocido como “reventón” en la

surgencia de la cueva de los Chorros del Río Mundo (Figura 3.2). Este fenómeno consiste en un repentino aumento del caudal del manantial que pasa en pocas horas de drenar 50 a 86.000 l/s, y que ocurre tras un periodo de recarga abundante, causada por las lluvias o por fusión de nieve. El ajuste del balance hidrogeológico presentado en esta investigación cifraba los recursos hídricos medios renovables totales en 70 hm³/año. Las reservas hídricas específicas del Calar del Mundo fueron estimadas en 600 hm³, para lo que se consideró una potencia media saturada de 100 m, una superficie de 54 km² y un coeficiente de almacenamiento de 2×10^{-2} . Parte de los resultados de las investigaciones hidrogeológicas efectuadas por este autor y colaboradores en el Calar del Mundo fueron presentados en varias publicaciones y comunicaciones científicas (Rodríguez-Estrella, 1976; Rodríguez-Estrella y Ballesta, 1999; Rodríguez-Estrella *et al.*, 2002; entre otras).

En el trabajo “Delimitaciones de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares y síntesis de sus características”, realizado por el Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (SGOP) y el IGME en 1988 (MOPU-IGME, 1988), se individualizó la “Unidad Hidrogeológica Quesada-Castril”, asignándole el código 05.02 dentro del ámbito de la Cuenca del Guadalquivir, y el código 07.07 para la Unidad Sierra de Segura – Cazorra, adscrita a la Cuenca del Segura (Tabla 2.1, columna B). En este documento se definió también la unidad “Taibilla”, con su respectivo código administrativo por pertenecer a la DHS (07.19). Posteriormente, en 1993, se elaboraron las correspondientes normas de explotación (CHG-ITGE, 1993) y en 1995 se realizó una primera revisión de dichas normas por parte de la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH, 1995).

El IGME y la Universidad de Granada (ITGE-UGR, 1990) llevaron a cabo entre 1989 y 1991 un trabajo de investigación general sobre la hidrogeología de los acuíferos carbonáticos de las cuencas altas de los ríos Guadalquivir y Segura, que incluía los afloramientos prebéticos a excepción del Calar del Mundo y los relieves subbéticos de la sierra de Taibilla.

En dicho trabajo se realizó una labor de inventario y control de puntos de agua, se construyeron varias estaciones de aforo y se estimaron los recursos hídricos de las diferentes unidades hidrogeológicas que se identificaron. Cuando fue posible se plantearon balances hidrogeológicos y se distinguieron dos sectores principales: sector del Relieve Invertido (225 km²) y sector de Pliegues y Pliegues-Falla (790 km²). En cada sector se delimitaron, a su vez, diversos acuíferos con funcionamiento más o menos independiente.

En el sector del Relieve Invertido se diferenciaron una veintena de acuíferos colgados, a los que habría que sumar el Calar del Mundo, relacionados con los núcleos sinclinales que constituyen las principales elevaciones montañosas existentes entre el río Segura (al SE) y los ríos Guadalimar y Mundo (al NO). Los recursos hídricos evaluados del conjunto de acuíferos de este sector (con la excepción del Calar del Mundo) ascendieron 42 hm³/año.

En el sector de Pliegues y Pliegues-Falla se incluyeron los afloramientos permeables cretácicos y terciarios del Prebético Interno que se extienden desde el río Taibilla (al NE) hasta el río Guadalentín (SO). En esta zona, el IGME y la Universidad de Granada identificaron 17 unidades y 3 subunidades hidrogeológicas, aunque la continuidad cartográfica de los afloramientos permeables hacía difícil precisar los límites y las interrelaciones entre ellas. Los recursos hídricos calculados para el año 1990 ascendieron a 192 hm³. Los resultados de este trabajo se plasmaron en varias publicaciones y trabajos (Martínez-Garrido *et al.*, 1991; Moral, 1992; Moral *et al.*, 1991; Moral *et al.*, 1992).

Tabla 2.1.- Cambios en la denominación administrativa de las masas de agua subterránea incluidas en la agrupación de MASCHs

Demarcación Hidrográfica	A IGME (1972)		B MOPU-IGME (1988)		C CHG-IGME (2001); Unidad Hidrogeológica Redefinida [nº]	D Ciclo de planificación 2009 - 2015 Masa de Agua Subterránea (M.A.S.) [nº]	E Planes Hidrológicos del 2º ciclo Masa de Agua Subterránea (MASb) [código EU]
	Sistema Acuífero	nº	Unidad Hidrogeológica	nº			
Guadalquivir			Quesada - Castril	05.02	Quesada - Castril [U.H. 05.02]	Quesada - Castril [051.002]	Quesada - Castril [ES050MSBT000050200]
					Calar del Mundo [U.H. 07.36]	Calar del Mundo [070.014]	Calar del Mundo [ES070MSBT000000014]
					Segura - Madera - Tus [U.H. 07.14]	Segura - Madera - Tus [070.015]	Segura - Madera - Tus [ES070MSBT000000015]
Segura	Sierras de Cazorla y del Segura	49	Sierra de Segura - Cazorla	07.07	Fuente Segura - Fuensanta [U.H. 07.07]	Fuente Segura - Fuensanta [070.016]	Fuente Segura - Fuensanta [ES070MSBT000000016]
						Acuíferos Inferiores de la Sierra del Segura [070.017]	Acuíferos Inferiores de la Sierra del Segura [ES070MSBT000000017]
					Castril [U.H. 07.39]	Machada [070.018]	Machada [ES070MSBT000000018]
			Taibilla	07.19	Taibilla [U.H. 07.19]	Taibilla [070.019]	Taibilla [ES070MSBT000000019]

La información procedente del PIAS y de trabajos posteriores fue sintetizada en los atlas hidrogeológicos de la provincia de Granada (Diputación Provincial de Granada-ITGE, 1990) y la de Jaén (Diputación Provincial de Jaén-ITGE, 1997).

En el primer documento se describieron los rasgos generales de la parte de la Unidad Quesada - Castril, incluida Sierra Seca, situados en la provincia de Granada, en el capítulo dedicado a las “Unidades Prebéticas”. Se asignaron 130 hm³/año de recursos hídricos medios a la citada unidad hidrogeológica, de los que 50 hm³/año corresponderían a infiltración producida en la provincia de Granada, sin entrar en más precisiones.

La segunda publicación se centró en el conjunto de relieves que constituyen el acuífero de las “Sierras de Quesada – Castril”, tanto los materiales permeables localizados en la provincia de Jaén como los que se adentran en la de Granada. Se atribuyeron al mencionado acuífero unos recursos medios de 27 hm³/año por pérdidas en el embalse de La Bolera y 223 hm³/año por infiltración directa en la superficie permeable, de los que 53 hm³/año corresponderían al sector de Pinar Negro, 30 hm³/año a la sierra de Castril y 22 hm³/año a Sierra Seca. No se presentaron valores de recursos del resto de unidades hidrogeológicas. La reedición del Atlas hidrogeológico de la Provincia de Jaén en 2011 elevaba a 81, 32 y 27 hm³/año, respectivamente, los valores de recursos para los mismos sectores (Diputación Provincial de Jaén-IGME, 2012).

Por su parte, el IGME y la Junta de Andalucía publicaron el Atlas Hidrogeológico de Andalucía (ITGE-Junta de Andalucía, 1998), uno de cuyos apartados está dedicado a los acuíferos del Alto Guadalquivir – Alto Segura. Este documento cifraba los recursos medios de todos los materiales

permeables prebéticos que afloran en la Comunidad Autónoma de Andalucía (1.150 km²) en 320 hm³/año. Las salidas por manantiales ascenderían a 300 hm³/año, más 5 hm³/año mediante bombeo, por lo que existiría un desajuste de 15 hm³/año que se atribuía a transferencias subterráneas hacia otros acuíferos vecinos.

Existen otros estudios puntuales o de síntesis elaborados por el IGME y centrados en aspectos locales de la Sierra de Segura y alrededores, como propuestas y resultados de algún sondeo de investigación en la zona (IGME, 1995 a y b). También existen informes sobre la problemática hídrica en la comarca motivada por situaciones de sequía (Junta de Andalucía, 1996), en los que se plantearon soluciones técnicas para abastecimiento urbano y regadío. De entre todos los estudios destacan los centrados en los municipios de Orcera, Segura de la Sierra o Santiago-Pontones, cuyo fin era cubrir la demanda hídrica de estas zonas con la perforación de varios sondeos (González-Ramón *et al.*, 1996).

Desde el punto de vista administrativo, la Confederación Hidrográfica del Segura efectuó una reestructuración de las unidades hidrogeológicas definidas en el informe de MOPU-IGME (1988), en el marco del primer Plan Hidrológico de Cuenca (CHS, 1997). La vertiente mediterránea del ámbito de estudio pasó así de 2 a 5 unidades, de acuerdo con criterios geológicos e hidrogeológicos seguidos en el informe de ITGE-UGR (1990) y los impuestos por la planificación hidrológica. La originaria Unidad 07.07 “Sierras de Segura - Cazorla” fue dividida en 5 unidades (Tabla 2, columna C): 07.36 “Calar del Mundo”, 07.14 “Segura-Madera-Tus”, 07.07 “Fuente Segura – Fuensanta”, 07.39 “Castril” y 07.37 “Anticlinal de Socovos. Por su parte, la Unidad 07.19 “Taibilla” mantuvo su nombre y codificación previa. La nueva división administrativa estuvo acompañada de una actualización de la información hidrogeológica y de la geometría de los diferentes acuíferos presentes en las distintas unidades. Estos trabajos fueron efectuados por el IGME, en colaboración con la empresa TEYGE (ITGE-TEYGE, 1999).

El IGME (2001), en el marco del “Proyecto para la Actualización de la Infraestructura Hidrogeológica (PAIH)”, efectuó un segundo estudio hidrogeológico en la región que cubría la U.H. “Quesada-Castril” (05.02) y las nuevas unidades definidas en la cuenca del río Segura: 07.07, 07.14, 07.36 y 07.37. Entre los trabajos realizados en este estudio se incluía una síntesis climática y el análisis de los datos foronómicos recogidos hasta el año hidrológico 1990/91, además de varias campañas de aforos realizadas por el IGME durante los años hidrológicos 1995/96 y 1996/97 (húmedos desde el punto de vista hidroclimático) en los ríos de la región. La investigación dio como resultado una propuesta de modificación de la poligonal envolvente de la U.H. “Quesada-Castril” y la diferenciación de hasta 14 acuíferos en su interior que suman 520 km² de materiales permeables. En consecuencia, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir procedió ese mismo año a la redefinición de la mencionada poligonal (Tabla 2, columna C), como parte de los trabajos de revisión y actualización de las normas de explotación de las unidades hidrogeológicas de las cuencas del Guadalquivir y Guadalete-Barbate (CHG-IGME, 2001).

Los nuevos límites administrativos surgidos de estos informes supusieron una modificación sustancial de la poligonal envolvente de la U.H. 05.02, sobre todo en su perímetro exterior a lo largo del valle alto del río Guadalquivir y en la sierra de Taibilla. No obstante, la modificación más relevante ocurrió en los Campos de Hernán Pelea: 45 km² del altiplano kárstico perteneciente a la cuenca del Guadalquivir fueron excluidos de la nueva unidad hidrogeológica y, de paso, de la planificación hidrológica.

En lo que refiere a las unidades hidrogeológicas asignadas a la Confederación Hidrográfica del Segura, el trabajo del IGME (2001) planteó la existencia de 16 acuíferos asociados a los carbonatos

del Cretácico Superior y otros 13 a las formaciones permeables del Cretácico Inferior integradas en la U.H. “Segura-Madera-Tus” (07.14), con un total de 285 km² de superficie permeable.

En el caso de la U.H. “Fuente Segura - Fuensanta” (07.07) se diferenciaron 9 acuíferos vinculados a la dolomías y calizas del Cretácico Superior y 2 a las del Cretácico Inferior, lo que daba como resultado 675 km² de afloramientos permeables. La recarga total por infiltración de agua de las precipitaciones fue estimada en 459 hm³/año: 201 hm³/año de recursos hídricos medios para la U.H. 05.02, 71 hm³/año para la U.H. 07.14, 59 hm³/año para la U.H. 07.36 y 128 hm³/año para la U.H. 07.07. No se aportaron resultados sobre la recarga producida en la U.H. “Castril” (07.39) puesto que los autores vincularon su funcionamiento a la Cuenca del Guadalquivir. Los recursos hídricos fueron calculados mediante el método de balance de agua en el suelo, a partir de la ecuación de Thornthwaite (1948), y un valor de reserva útil en el suelo de 25 mm. El valor de coeficiente de infiltración (33 %) obtenido en el cierre de balance hidrogeológico del acuífero de Sierra Seca (81 km²) fue extrapolado para estimar las entradas de los demás acuíferos de la región estudiada, salvo en el acuífero de Pinar Negro (40 %) y en el del Padroncillo (60 %). Las salidas naturales (descargas a través de manantiales y ríos) contabilizadas por el IGME (2001) ascendieron a 382 hm³/año: 177 hm³/año (U.H. 05.02), 48 hm³/año para la U.H. 07.14, 48 hm³/año para la U.H. 07.36 y 109 hm³/año para la U.H. 07.07.). El cierre de balance global dejó alrededor de 77 hm³/año como transferencias laterales subterráneas entre acuíferos o salidas desconocidas.

Moral (2005), en el marco de su tesis doctoral titulada “Contribución al conocimiento de los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Segura (Alto Guadalquivir y Alto Segura)”, llevó a cabo una investigación general sobre el funcionamiento de las 30 unidades hidrogeológicas principales que él identificó en las cuencas altas de los ríos Guadalquivir y Segura. Para ello estudió los rasgos estratigráficos, estructurales, geomorfológicos e hidrológicos de los distintos macizos considerados en el presente informe y examinó la variabilidad espacial y temporal de la composición química de las aguas subterráneas. También analizó, de manera más detallada, las respuestas naturales de algunos manantiales (Natividad, Tejo, etc.) que disponían de las necesarias infraestructuras de control hidrogeológico. Sin embargo, la extensión del área investigada (3.150 km², de los que 1.160 km² son afloramientos carbonáticos) y la falta de estaciones de control hidrológico en muchos de los manantiales y cauces impidió el planteamiento riguroso de un balance hidrogeológico global, que quedó limitado a los acuíferos del Calar del Espino y Sierra Seca, donde sí se precisaron las salidas.

El balance hidrogeológico del primero cifraba los recursos hídricos medios en 1,85 hm³/año, correspondientes a una infiltración eficaz de 37 % de la precipitación media sobre una superficie de 4,4 km². Las salidas producidas por el manantial del Tejo fueron de 0,73 hm³/año. Los restantes recursos serían transferidos hacia otras formaciones permeables adyacentes.

En cuanto al resultado del balance en el acuífero de Sierra Seca (85 km²), los recursos medios se estimaron próximos 34 hm³/año y las salidas por manantiales sumaban 34,1 hm³/año: 28,6 hm³/año por los manantiales de la zona del Guardal (Natividad y Fuente Alta) y 5,5 hm³/año por los manantiales de Tubos, Juan Ruiz y por otras surgencias secundarias. La extrapolación y completado de los resultados al conjunto de acuíferos existentes en las cuencas altas de los ríos Guadalquivir y Segura permitió a Moral (2005) cifrar en 434 hm³/año los recursos hídricos medios infiltrados en los afloramientos carbonáticos. Parte de los resultados de las investigaciones hidrogeológicas efectuadas por este autor en la Sierra de Segura y áreas adyacentes fueron presentados en varias publicaciones científicas (Moral *et al.*, 2008) y comunicaciones (Moral *et al.*, 2005; Moral, 2010, entre otras).

Con la entrada en vigor de la Directiva Marco Europea del Agua (DMA), en el año 2000, se procedió a la adaptación del marco legislativo español al comunitario. Se redefinieron los límites administrativos de las diferentes unidades de gestión, aunque se consideraron las unidades hidrogeológicas definidas previamente como referencia, las cuales pasaron a denominarse “masas de agua subterránea” (M.A.S.) (Tabla 2, columna D). Los cambios más sustanciales en la geometría de las poligonales envolventes se llevaron a cabo en las masas gestionadas por la DHS, cuyo trazado se aproximó al de los afloramientos permeables. Además, se creó la MASb. “Acuíferos Inferiores de la Sierra del Segura” (070.017) como nueva unidad de gestión, por recomendación de la Dirección General del Agua, y la antigua U.H. Castril (07.39) pasó a denominarse “Machada”, con el código 070.018. Estos últimos límites son los que conservan las actuales masas de agua subterránea incluidas en el 2º Ciclo de Planificación Hidrológica (Tabla 2, columna E), salvo la MASb “Quesada - Castril” (ES050MSBT000000502), que redujo su superficie de 1.399 km² a 1.356 km² a favor de la MASb “La Puebla de Don Fadrique” (ES050MSBT000050401) (CHG-IGME, 2014).

Los informes técnicos más recientes corresponden, por un lado, a la Actividad nº 4 de la “Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas” de las demarcaciones hidrográficas del Guadalquivir y Segura, realizado por el IGME para la Dirección General del Agua (IGME-DGA, 2010 a, b, c, d, e, f). En la actividad mencionada se procedió a la identificación y caracterización de la interrelación que presentan las aguas superficiales y las aguas subterráneas en las 6 masas de aguas subterráneas que constituyen el ámbito de estudio, más la denominada “Acuíferos Inferiores de la Sierra del Segura”.

Por otro, el informe titulado “Caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales” fue ejecutado bajo la dirección de la empresa OLUZ por encargo de la CHG (CHG, 2015). En este segundo informe se realizó un balance hidrogeológico para la MASb “Quesada – Castril” basado en el estudio del IGME (2001), aunque se actualizó el dato de las extracciones mediante bombeo a 0,54 hm³/año. El resultado del balance es 215 hm³/año de entradas totales (203 hm³/año de infiltración de agua de lluvia y 12 hm³/año por infiltración de escorrentía) y 215 hm³/año de salidas totales (205 hm³/año descargas por manantiales y cauces, 0,5 hm³/año mediante bombeos), y 9,5 hm³/año como transferencias subterráneas a otras masas de agua subterránea. Asimismo, se indicó un valor de 107,5 hm³/año como recursos disponibles aprovechables por la administración.

Entre las últimas publicaciones relativas a la hidrogeología del ámbito de estudio se podría mencionar la de IGME-DPJ-AAA (2006) sobre el agua en el Parque Natural Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas, o la de IGME-DPG-AAA (2006) sobre el agua en el Parque Natural Sierra de Castril. Se trata de obras de carácter divulgativo en las que se aporta una visión general del papel de la geología y del agua en el mantenimiento de la biodiversidad de estos espacios naturales protegidos.

Tabla 2.2.- Estimación del balance hídrico de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor según diversos estudios citados

Fuente	Acuífero / Ud. Hidrogeológica	Área km ²	Entradas (hm ³ /año)					Salidas (hm ³ /año)					Observaciones
			Recarga	Otras	Totales	DHG	DHS	Manantiales	Extracciones	Otras	DHG	DHS	
Rodríguez- Estrella (1979)	Calar del Mundo	145	70,0		70,0								
	Navalperal	4	1,0		1,0			0,63			0,63		
	El Yelmo	12	3,0		3,0			1,61			1,61		año 1990
	Ud. Central	332	99,0		99,0			96,9	6,3		47,3	55,9	
	Sierra de la Guillimona	44	12,0		12,0			9,5			9,5		
	Sierra Seca	63	22,0		22,0			17,5			17,5		
Diputación Prov. Jaén-ITGE (1997)	Sierra Seca	89	22,0		22,0								
PHN (2000)	Sierra de Taibilla	80	9,5		9,5			9,5				9,5	
IGME (2001)	Calar del Mundo	132	59,0		59,0			48,2	10,8				
	Navalperal	5,5	2,6		2,6			0,4		2,2			
	El Yelmo	9,1	3,1		3,1			0,80		2,3			
	Ud. Central	371,2	140,0		140,0			71,0	52,9		24,5	46,5	año 1996/97
	Sierra de la Guillimona	97,9	16,8		16,8			13,6	4,0				
	Sierra Seca	88,5	26,9		26,9			26,5			26,5		
Moral (2005)	Calar del Mundo	125	64,9		64,9			55,8					
	Navalperal	4	1,5		1,5			0,63			0,63		
	El Yelmo	12	2,9		2,9			1,61			1,61		
	Ud. Central	265	136,3		136,3			100,8	4,2				
	Sierra de la Guillimona	64	24,5		24,5			9,5			9,5		
	Sierra Seca	85	34,0		34,0			34,1			34,1		
Diputación Prov. Jaén-IGME (2011)	Taibilla-Socovos	167	23,4		23,4								Sin contar el anticlinal de Socovos
	Sierra Seca	89	27,0		27,0								

Son también dignos de mención, por la gran abundancia y diversidad de formas kársticas que presenta el ámbito de estudio, los trabajos de índole geomorfológica efectuados en diversos sectores del macizo segureño: López-Bermúdez (1974), Rodríguez-Estrella (1979) y Rodríguez-Estrella y Ballesta (1999) en el Calar del Mundo; Romero-Díaz (1985) en la sierra de la Guillimona; López-Limia y López-Bermúdez (1985; 1988) y López-Limia (1987) en los Campos de Hernán Pelea; y Moral (1992) en el Calar del Espino. En ellos se describen, caracterizan, clasifican y cartografían las formas exokársticas más significativas. En lo referente al conocimiento del endokarst, desde la década de 1970 ha aumentado de forma notable el número de cavidades inventariadas y cartografiadas, entre las que se encuentran algunas de las más relevantes del S de la Península Ibérica, como la cueva de Los Chorros, el sifón del Nacimiento el Segura, la sima del Pinar Negro, o el complejo del Arroyo de La Rambla (González-Ríos *et al.*, 2000).

3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

3.1. Contexto geológico

A nivel regional, el territorio ocupado por la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor se localiza en el sector oriental de las Cordilleras Béticas, concretamente en conjunto de las Zonas Externas y, concretamente, dentro del dominio Prebético, aunque próximo al contacto tectónico con el dominio Subbético (figura 3.1). Se compone de materiales sedimentarios de edades comprendidas entre el Triásico y el Mioceno cuyas series de depósito reflejan una sedimentación ocurrida en las áreas más próximas al antiguo continente, en medios marinos someros y costeros, con algún episodio detrítico continental. Por su parte, en el Subbético, situado inmediatamente al S del anterior, hay un dominio absoluto de las facies pelágicas (López-Garrido, 1971) representadas por margas, calizas con sílex, calizas nodulosas, radiolaritas y turbiditas. En transición entre los dos dominios anteriores se presenta a veces una sucesión estratigráfica de características mixtas, por lo que se atribuyen a las denominadas Unidades Intermedias. En los bordes meridional y oriental se pueden reconocer, además, los materiales detríticos neógenos de la depresión de Baza, dispuestos de manera discordante sobre las unidades anteriores.

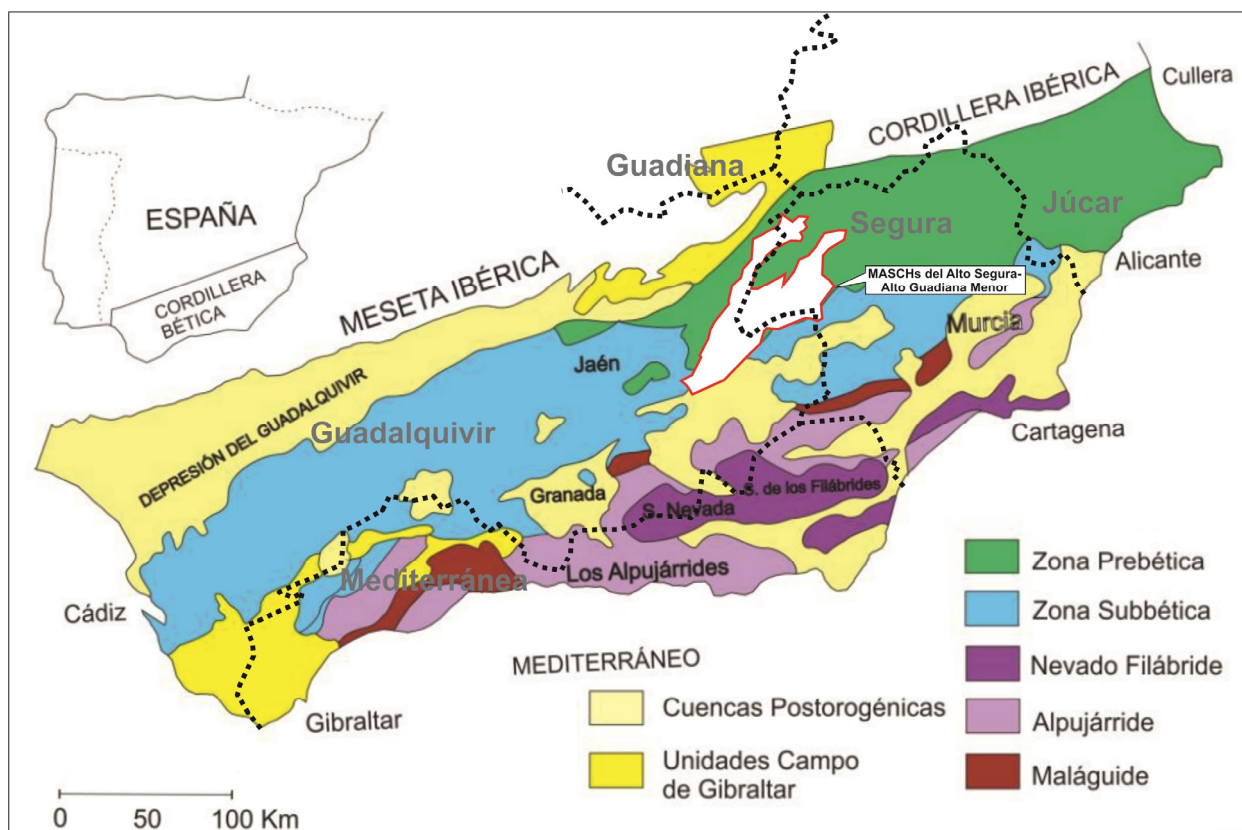


Figura 3.1. Agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor en el marco de las Cordilleras Béticas (Mod. Fernández y Gil, 1989).

• Dominio Prebético

Uno de los rasgos estratigráficos más característicos de este dominio es la variabilidad de litologías, espesores y facies que se pueden reconocer, lo que contrasta con la uniformidad estratigráfica que presentan los terrenos asignables al Subbético. Ello ha llevado a hacer una diferenciación entre Prebético Externo y Prebético Interno (Foucault, 1971; López-Garrido, 1971; García-Hernández, 1978; Azema et al., 1979). En el presente informe se comentan los rasgos estratigráficos generales del Prebético Interno, puesto que es el que aflora mayoritariamente dentro del ámbito de estudio.

La serie tipo comienza con arcillas con evaporitas de edad Triásico Superior. Estas rocas de naturaleza poco permeable afloran según bandas alargadas en dirección NE-SO (Figura 3.2), coincidentes con el valle del río Guadalquivir y su continuación hasta Riópar (Albacete), y presentan unos contactos mecanizados a consecuencia de procesos halocinéticos más o menos acusados (López-Garrido, 1971; Moral, 2005).

Los materiales de edad Jurásico afloran en el Prebético Interno en una franja estrecha que recorre el borde occidental de la Sierra de Segura, desde la sierra del Pozo hasta Riópar (Figura 3.2), paralela a los afloramientos triásicos, aparte de otros afloramientos menores que se observan en los núcleos de algunos pliegues anticlinales, como en el río Tus, Sierra Seca o sierra de Castril. El Dogger consiste en una potente masa dolomítica de 150 a 200 m de potencia, con pequeños enclaves de calizas hacia techo. Finalmente, el Malm está representado por calizas nodulosas en la base que cambian a un tramo de espesor variable constituido por margas y margocalizas, las cuales van dando paso de manera progresiva a dolomías. El tránsito entre el Jurásico y el Cretácico en la Sierra de Segura está formado por calizas con 100 m de espesor, que hacia techo vuelven a mostrar intercalaciones de margas hasta llegar a constituir una alternancia de calizas y margas con 200 m de espesor.

Los materiales de edad Cretácico Inferior aparecen en afloramientos extensos en el sector septentrional de la Sierra de Segura (Figura 3.2), más concretamente en los núcleos anticlinales, donde se encajan los cauces de los ríos principales, como el Madera, Segura y Tus. Otros afloramientos relevantes se observan en las cuencas de los ríos Borosa y Aguamulas, además de en las sierras de Castril, Seca y del Pozo. Según García-Hernández (1978), la serie estratigráfica asociada a este periodo incluye, de muro a techo, 5 conjuntos litológicos principales, caracterizados por la mayor o menor influencia de aportes terrígenos: El primero, reconocible en la mayor parte de la Sierra de Segura, está formado por calizas con intercalaciones terrígenas (40 a 100 m de espesor en las sierras de Castril y Seca), o dolomías y calizas, con pasadas de arenas (más de 200 m de espesor en el valle del río Madera), mientras que en la sierra del Pozo se observa una alternancia de calizas y margas. El segundo conjunto litológico se caracteriza por la presencia de lutitas y arenas, cuyos afloramientos actuales destacan notablemente por el contraste topográfico frente a otros de naturaleza carbonática. En el tercio septentrional del ámbito de estudio aparecen arenas, margas y niveles de areniscas, con una potencia conjunta comprendida entre 40 y 100 m. Más al S, en la parte central y suroccidental, predomina una alternancia de margas, areniscas y calizas arenosas (con 30 a 200 m de potencia), que culmina, en el sector central, con entre 20 y 100 m de dolomías y calizas.

El tercer conjunto litológico del Cretácico Inferior de los destacados por García-Hernández (1978), observable en toda la región, está constituido por calizas, dolomías y calcarenitas que pueden llegar a superar los 450 m de espesor conjunto máximo. La cuarta unidad litoestratigráfica se inicia con arcillas y margas que hacia techo van pasando a arenas silíceas, margas y arenisca. Los mejores ejemplos de estas rocas se encuentran en los bordes occidental y septentrional de la Sierra de Segura, con espesores que varían entre 30 y 200 m, según localización. En cambio, en el sector central de la región se observan carbonatos con 150 m de potencia, y hasta 350 m más al S, en las sierras de Castril y Seca. El quinto y último conjunto litológico del Cretácico Inferior se caracteriza por la presencia de arenas, arcillas y margas (facies Utrillas), con mayor presencia de sedimentación carbonática hacia el borde meridional de la región, tan solo interrumpida por 15-35 m de arcillas y margas dolomíticas y no en todos los puntos. Los depósitos terrígenos alcanzan hasta 200 m de espesor máximo en el Calar de Cobos (Figura 3.2). En Sierra Seca, los materiales terrígenos de las facies Utrillas cambian lateralmente a calcarenitas que alcanzan 100 m de espesor.

El Cretácico Superior constituye un conjunto de naturaleza esencialmente carbonática, de varios cientos de metros de espesor que, debido a su mayor resistencia relativa a la erosión, forma el armazón de las principales elevaciones montañosas de los macizos de la agrupación de MASCHs. En detalle, la serie incluye, de muro a techo, dolomías con aproximadamente 300 m de espesor que, por lo general, descansa sobre las arenas y margas de facies Utrillas; calizas que pueden llegar a los 200 m de potencia (Calar de la Sima, Calar del Mundo); y margocalizas, margas y calcarenitas, con una potencia comprendida entre 10 y 100 m (Dabrio y López-Garrido, 1979).

El Paleógeno aflora al S y SE de la Sierra de Segura y alcanza un mayor desarrollo en el borde suroriental, como en la sierra de la Guillimona (**Figura 3.2**), donde puede llegar a los 200 m de potencia. En general, predominan niveles carbonáticos (calizas, margocalizas y margas), sobre todo de edad Eoceno, con algún episodio detrítico, que se apoyan de manera discordante sobre las formaciones infrayacentes. Hacia el SE se reduce la presencia de materiales de baja permeabilidad y las calizas ganan protagonismo, con más de 100 m de espesor en el valle del río Castril.

Los materiales de edad Mioceno aparecen de manera discordante sobre formaciones más antiguas en afloramientos dispersos que, por lo general, ocupan el núcleo de las estructuras sinclinales o pinzados en algunos cabalgamientos. Son comunes los cambios de espesor y de litología. Así, en los sectores central y septentrional predominan calizas bioclásticas y, en menor medida, conglomerados, margas y margocalizas detríticas, con espesores que llegan a alcanzar 200 m de potencia en la margen derecha del río Segura, pero que rara vez supera los 50 m. En cambio, hacia el SE, en Pontones, en los valles de los ríos Castril y Raigadas y en la vertiente meridional de la sierra de la Guillimona, aumenta considerablemente el espesor (hasta 300 m) y son más abundantes las margas, que adquieren un aspecto astillado.

- **Dominio Subbético**

Dentro del ámbito de estudio, los materiales atribuibles al Dominio Subbético afloran esencialmente en la sierra de Taibilla, situada al NE. Su serie estratigráfica está formada por 350-400 m de dolomías y calizas del Lías inferior que son las que ocupan una mayor extensión cartográfica (Dabrio y López-Garrido, 1979). Hacia techo las calizas muestran nódulos de sílex. La serie continua con 45 m de calizas detríticas y calizas nodulosas del Lías medio y 85 m de calizas margosas y margocalizas del Lías superior. En el resto de la secuencia jurásica se alternan calizas margosas y calizas nodulosas, con 80 m de potencia. Sobre los materiales del Jurásico Superior aparecen, en algunos puntos, margas y margocalizas piritosas del Cretácico Inferior. Todo el conjunto carbonático de la sierra de Taibilla descansa sobre margas, arcillas y areniscas con yesos de edad Triásico, las cuales afloran ampliamente a lo largo del frente de cabalgamiento, dispuestas sobre los terrenos terciarios del Dominio Prebético o mezclados con los de las Unidades Intermedias (**Figura 3.2**). En el extremo S del ámbito de estudio (valle del río Guadiana Menor) aparecen, además, arcillas y evaporitas de origen Triásico pertenecientes a los Complejos Caóticos Subbéticos.

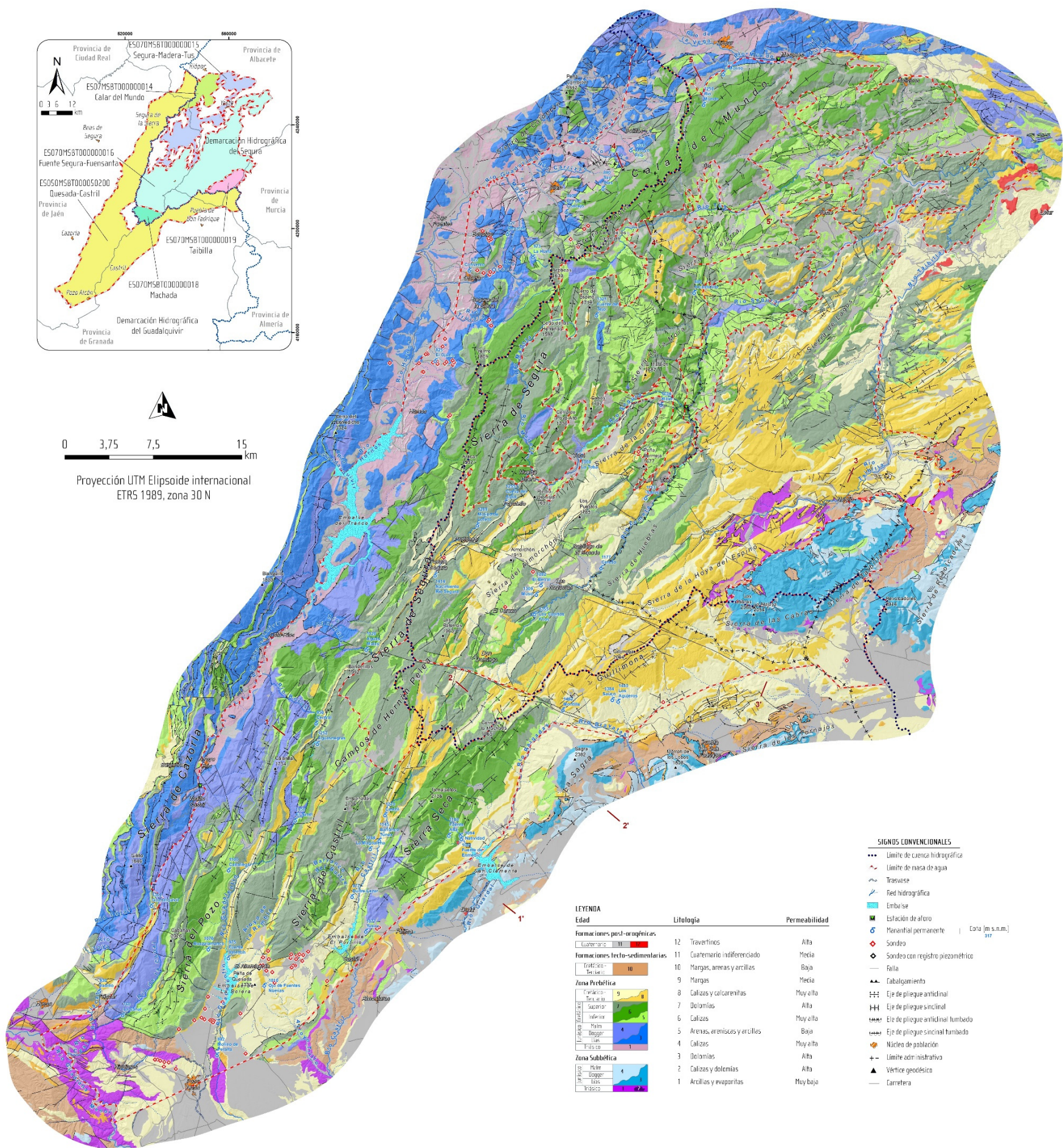


Figura 3.2. Mapa geológico-hidrogeológico de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor con modelo digital de elevaciones

- **Formaciones postorogénicas**

Los afloramientos de materiales postorogénicos del Mioceno superior y Plioceno solo presentan cierta extensión en depresiones de origen tectónico, como la que existe en los alrededores de Santiago de la Espada (**Figura 3.2**), donde se pueden reconocer conglomerados con cemento carbonático, calizas bioclásticas y margas (Moral, 2005). También aparecen en el extremo NE de la sierra de Taibilla. Finalmente, los sedimentos cuaternarios se localizan en distintos puntos a lo largo de todo el ámbito de estudio. Destacan cuerpos travertínicos asociados a las surgencias de agua más significativas, como en la aldea de La Toba (**Figura 3.2**), arcillas de descalcificación, depósitos aluviales (cantos redondeados, gravas, arenas o limos) relacionados con la red fluvial, y cantos angulosos de distinto tamaño que se agrupan formando conos de deyección y canchales que tapizan la ladera de los relieves más destacados.

3.2. Geometría, estructura y límites

Desde el punto de vista estructural, la progresión hacia el O de los esfuerzos compresivos durante el Mioceno superior y, en consecuencia, el aumento desde el NNE al SSO del acortamiento de la cobertera prebética, más la potencia conjunta que alcanzan las series del Prebético Interno (hasta 2.000 m), son los dos factores principales que determinaron las características tectónicas generales de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor. Ello, combinado con los cambios laterales de facies, favoreció el desarrollo de grandes pliegues con dirección NNE- SSO y de fallas de desgarre, de dirección ONO-ESE y carácter dextroso, que son los elementos estructurales visibles más relevantes. La estructura de la Sierra de Segura se caracteriza, además, por fallas inversas de vergencia general hacia el ONO, que están asociadas a los grandes pliegues plurikilométricos de dirección NNE- SSO.

Los pliegues con direcciones próximas a N20-30E suelen ser suaves y simétricos en las partes más externas y septentrionales (**Figura 3.3**), mientras que hacia el S y O se vuelven progresivamente más apretados y adquieren una marcada vergencia hacia el ONO, que muchas veces se resuelve en la rotura del pliegue a favor de una falla inversa. En las sierras del Pozo, de Castril y Seca y en las proximidades de zonas con cambios significativos de espesor de la serie estratigráfica, la vergencia hacia el NO es más acusada, de manera que el flanco occidental de los pliegues anticlinales suele estar invertido y afectado por fallas inversas de diversa magnitud (**Figura 3.3**, corte 1-1'). Destaca la continuidad de estos pliegues, cuyos ejes pueden llegar a presentar longitudes próximas a 30 km. Otro rasgo característico, especialmente visible en el tercio septentrional, es la existencia de una desarmonía a nivel de las facies Utrillas, de manera que los materiales del Cretácico Superior afloran en suaves sinclinales y los del Cretácico Inferior en anticlinales más apretados, con fuerte buzamiento de los estratos, que los distintos autores que han trabajado en la región suelen atribuir al diferente comportamiento mecánico de ambos conjuntos litológicos (López-Garrido, 1971). Asimismo, los núcleos de los pliegues sinclinales suelen estar ocupados por sedimentos del Mioceno inferior, que se conservan en forma de bandas alargadas y estrechas (**Figura 3.2**), hasta el punto de constituir niveles guía para la localización de los ejes sinclinales (Rodríguez-Estrella, 1979).

Las fallas inversas asociadas a los pliegues presentan continuidad lateral a lo largo de decenas de kilómetros, si bien la magnitud de los desplazamientos disminuye hacia el NE (**Figura 3.3**, cortes 1-1' y 2-2'). Estos cabalgamientos suelen implicar a materiales de baja permeabilidad, por lo general imbricados en el bloque hundido, lo que les otorga relevancia hidrogeológica hasta el punto de que algunos de los manantiales más significativos (Aguasnegras, Aguamulas, Nacimiento del río Segura) se encuentran vinculados a alguno de estos accidentes (Moral, 2005).

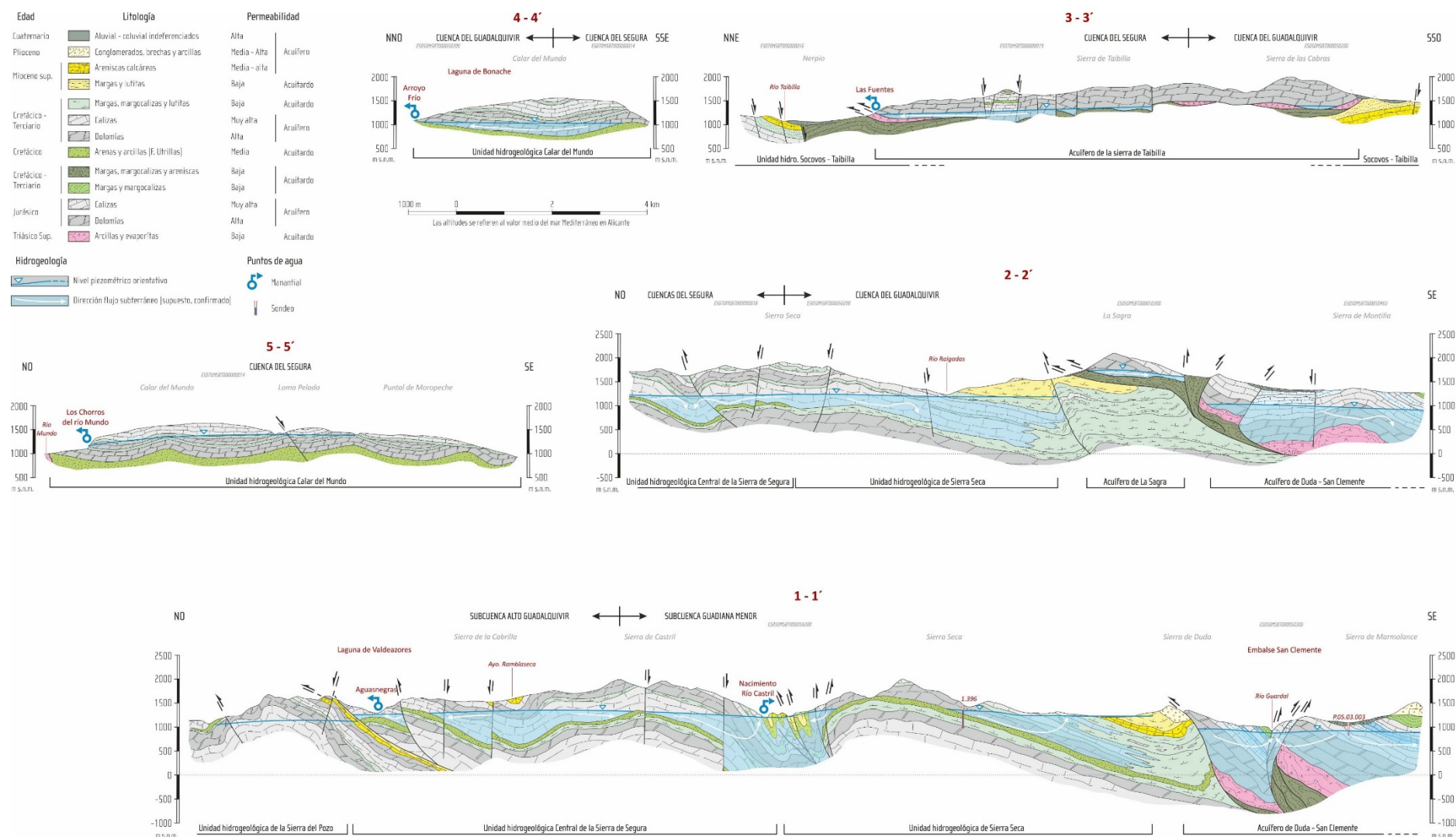


Figura 3.3. Cortes hidrogeológicos de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor con piezometría actual. (Modificado de Rodríguez-Estrella (1979), Dabrio y López-Garrido (1979) y Lupiani et al. (2007)). Ubicación de los cortes en la figura 3.2.

El límite occidental del ámbito de estudio coincide con una de estas fallas inversas, en las que se pone en contacto mecánico los materiales jurásicos y cretácicos con los del Triásico Superior que afloran en el valle del río Guadalquivir y, en el extremo meridional, con los del Prebético Externo de las sierras de Cazorla y Quesada (cabalgamiento del Alto Guadalquivir, Rodríguez-Estrella, 1979). La traza de otra falla inversa relevante, relacionada en este caso con el pliegue anticlinal de Sierra Seca (**Figura 3.3**, corte 1-1'), se puede reconocer desde el valle del río Castril, en el extremo SO, hasta el río Zumeta a la altura de Santiago de la Espada (al NE). Por su parte, el límite oriental del Prebético Interno está constituido por la superficie de cabalgamiento, con trazado irregular, aunque alineado según dirección N45E, que involucra a los materiales subbéticos (sierras de Taibilla, La Sagra y Duda) sobre los de las Unidades Intermedias (Dabrio, 1972), y estos a su vez sobre las formaciones prebéticas **Figura 3.3**, cortes 1-1', 2-2' y 3-3').

Los esfuerzos tectónicos que afectaron al Prebético Interno fueron acomodados en buena medida por 4 fallas de desgarre de grandes dimensiones y carácter dextrorso que desplazaron los ejes de los pliegues y pliegues-falla a los que cortan de manera casi perpendicular (**Figura 3.2**). Los desplazamientos en dirección, de varios kilómetros, fueron articulados a favor de planos subverticales, los cuales también acomodaron cierto salto vertical, con el bloque meridional hundido. De SO a NE, las fallas fueron nombradas por Rodríguez-Estrella (1979), ITGE-UGR (1990) y Moral (2005) como falla de Tíscar, falla de La Puebla de Don Fadrique, falla de Pontones – Santiago, y falla de Socovos. Según el ITGE-UGR (1990) estos accidentes tienen gran interés hidrogeológico ya que dos de ellas (Tíscar y Socovos) marcan respectivamente los límites SSO y NNE del ámbito de estudio y las otras dos (falla de La Puebla de Don Fadrique y falla de Pontones – Santiago) compartimentan el Prebético Interno en tres grandes sectores (nororiental, central y meridional) con rasgos estructurales cada vez más apretados hacia el SO.

En lo que respecta a la estructura geológica de la sierra de Taibilla, corresponde a grandes rasgos con un isleo tectónico o klippe de materiales permeables del Dominio Subbético que “flota” sobre otros de baja permeabilidad pertenecientes a las Unidades Intermedias y a los términos triásicos de la serie subbética (**Figura 3.3**, corte 3-3'), los cuales han actuado de niveles de despegue y propagación de los desplazamientos tectónicos. La superficie basal de cabalgamiento tiene una inclinación próxima a la horizontal, de tal modo que llegan a aflorar (a favor de ventanas tectónicas) los materiales prebéticos y los de las Unidades Intermedias por erosión del bloque cabalgante. Las dolomías y calizas jurásicas subbéticas presentan una disposición estructural prácticamente horizontal o buzando muy pocos grados. Los únicos accidentes relevantes son pliegues muy suaves y fallas normales de gran recorrido que hunden bloques, lo que da lugar a fosas tectónicas en las que es posible observar los términos más altos de la serie jurásica (Dabrio y López-Garrido, 1979). Cuando los carbonatos jurásicos se ponen en contacto con los materiales de la Unidad Intermedia, bien en la base del cabalgamiento, o a lo largo del frente de este, la disposición estructural es diferente, con 40-50° de buzamiento en los estratos.

Finalmente, en todo el ámbito de estudio son frecuentes las fallas normales, originadas durante la etapa distensiva posterior a la fase de deformación principal (Moral, 2005). Uno de los sistemas de fallas más significativos coincide con la dirección de los ejes de los pliegues (NE-SO) y, en ocasiones, originan el hundimiento de amplias zonas, entre las que destacan la depresión de Santiago de la Espada, la alineación Cañada de la Cruz – Pinar Negro, o la depresión del río Taibilla. Otra familia menos relevante de fallas normales es aproximadamente perpendicular al anterior (NO-SE) y, en consecuencia, a los ejes de los pliegues.

Los rasgos estructurales mencionados, junto con la posición de los principales puntos de descarga, llevaron a ITGE-UGR (1990) a diferenciar dos sectores principales dentro del ámbito de estudio: sector de Relieve Invertido y sector de Pliegues y Pliegues-falla.

En el sector de Pliegues y Pliegues-falla la estructura geológica condiciona la geometría y el grado de desmantelamiento de la secuencia sedimentaria el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos existentes en estos relieves, pues provoca que la cota del sustrato de baja permeabilidad, formado por arcillas, margas y margocalizas del Cretácico Inferior, quede por encima del nivel piezométrico en muchas zonas de los sectores central y meridional del ámbito de estudio. Ello ocasiona la compartimentación del flujo subterráneo y la división en diferentes acuíferos con complejas relaciones hidrogeológicas entre sí.

En cambio, en el sector septentrional (Relieve Invertido), los cauces fluviales han erosionado por debajo del contacto entre los carbonatos y los materiales detríticos de menor permeabilidad asociados a las facies Utrillas, lo que ha dado lugar a un número significativo de acuíferos colgados e independientes. En el caso del acuífero de la sierra de Taibilla, su geometría corresponde con la de un isleo tectónico, cerrado al flujo por los bordes y por la base, debido a la presencia de formaciones de baja permeabilidad.

3.3. Geomorfología y formas de infiltración preferencial

El relieve de las sierras que constituyen la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor está definido, a escala regional, por la estructura geológica y por el distinto grado de erosión de la secuencia sedimentaria prebética a partir del Mioceno terminal. Ello ha ocasionado un marcado contraste entre la zona septentrional y la zona meridional del Prebético Interno, en lo que respecta a la relación geométrica entre las estructuras de plegamiento y la topografía (Moral, 2005). Así, en el sector septentrional, los ejes sinclinales coinciden con la línea de cumbres, mientras que los cauces fluviales circulan preferentemente a favor de los núcleos anticlinales. Se trata, por tanto, de un magnífico ejemplo de “relieve invertido”. Por el contrario, en los sectores central y meridional, los ejes de los pliegues sinclinales son recorridos por los ríos principales, mientras que las zonas elevadas coinciden con las charnelas de las estructuras anticlinales. Este segundo caso corresponde a un ejemplo de “relieve directo” o de tipo Jurásico.

El elemento más característico del relieve de la Sierra de Segura es una extensa altiplanicie, poco accidentada, rodeada de laderas de fuertes pendientes, a veces escarpadas, que descienden hasta los cursos fluviales. Sobre esta altiplanicie se ha desarrollado un paisaje kárstico extraordinario, con la presencia de zonas endorreicas, abundantes dolinas y numerosos sumideros, entre otras formas exokársticas (López-Limia, 1987; López-Limia y López-Bermúdez, 1988; Moral, 2005). El modelado se completa con las formas derivadas de la erosión fluvial y el consiguiente retroceso de los frentes de los escarpes por procesos de ladera, así como los efectos de la acción del hielo y deshielo, especialmente en las partes más elevadas.

La altiplanicie kárstica, que ocupa 833 km² entre las cotas 1.500 y 1.800 m s.n.m. (Moral, 2005), aparece basculada suavemente hacia el NE y presenta, según un corte trasversal, una ligera concavidad hacia arriba, de manera que las principales cumbres se sitúan en el borde occidental (Cabañas, Banderillas, etc.) y en el oriental (Empanadas, Tornajuelos, Guillimona). La plataforma kárstica ha sido desmantelada desigualmente en los bordes, por la acción erosiva de la red fluvial hacia aguas arriba, con el consecuente retroceso de los escarpes. Al N, en la margen izquierda del río Segura, con una altitud media inferior, el paisaje es más escarpado debido a que este río y sus afluentes se han encajado profundamente, lo que ha provocado altiplanos de superficies reducidas conocidos como “calares”. De todos ellos, el Calar del Mundo es el que conserva mayor extensión

(85 km²). En cambio, en los sectores central y meridional, la zona de cumbres presenta una gran continuidad, ya que la red fluvial ha erosionado de forma incipiente la altiplanicie.

Entre las formas exokársticas cabe hacer referencia, por la cantidad de ejemplos y variedad de tipologías, a las dolinas. Moral (2005) contabilizó más de 3.000 dolinas en el ámbito de estudio, aunque son especialmente abundantes en los Campos de Hernán Pelea, en el Calar del Mundo y en las sierras de Castril, Seca y de la Guillimona (**Figura 3.2**). En zonas como Pinar Negro, al O de los Campos de Hernán Pelea, se observan densidades de hasta 240 dolinas por km². La alta densidad y el elevado grado de madurez de las dolinas ocasionan que los fenómenos de coalescencia sean frecuentes y, por tanto, lo sea la presencia de uvalas. Las dimensiones más habituales son aproximadamente de 300 m (eje mayor) por 100 m (eje menor), aunque existen algunas de tamaños mayores; muchas de ellas con un fondo relleno de “terra rossa” (López-Limia, 1987). La orientación de estas formas, y las de otras más evolucionadas como los poljes, suelen coincidir con alineamientos de origen tectónico como núcleos de pliegues sinclinales o bloques hundidos relacionados con fallas normales. Muchos de los poljes, uvalas y dolinas son drenados por medio de colapsos que han evolucionado con el paso del tiempo a sumideros kársticos. La densidad de estas morfologías es tan alta que se han contabilizado más de 350 sumideros en los Campos de Hernán Pelea. Por lo tanto, la altiplanicie kárstica tiene una gran trascendencia en la hidrogeología regional, corresponde al área de recarga principal de los acuíferos de las MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor.

En la Sierra de Segura también abundan las formas endokársticas (Moral, 2005). Destacan las simas de Pinar Negro, con una profundidad de 155 m, y del Hundimiento (105 m de desarrollo vertical) en los Campos de Hernán Pelea, la sima de Carrascalejo al NE de Cañada Hermosa (106 m), las simas del barranco de Los Pinos (102 m) y de Cuatro Picos (152 m) en el Calar del Mundo, entre otras muchas (**Figura 3.2**). Las cavidades con mayor desarrollo longitudinal son la cueva de Los Chorros, donde se haya el Nacimiento del río Mundo, con más de 28.000 m de galerías topografiadas (González-Ramón *et al.*, en prensa), el complejo espeleológico del Arroyo de La Rambla (PB-4-PB-9), con un desarrollo de más de 8.500 m y cuya entrada se encuentra cerca del embalse de La Bolera (González-Ríos *et al.*, 2000) y alberga un importante río subterráneo que discurre por la zona vadosa que alimenta la Fuente de Valentín, o la cueva de Don Fernando, en la vertiente oriental de la sierra de Castril, con un desnivel de 215 m que se salva en más de 2.000 m de galerías exploradas. Finalmente, son comunes en la región los sifones, cavidades parcialmente inundadas relacionadas con los principales manantiales, como en el Nacimiento del Río Segura (350 m explorados), Los Chorros de Río Mundo, Fuente de Valentín, los nacimientos de Castril, La Toba y Fuente Alta, y los trop plein del río Aguamulas, entre otros. Todo ello hace que la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor presente una de las zonas de mayor interés espeleológico del SE español.

A pesar del número significativo de surgencias kársticas, no existen plataformas travertínicas destacadas. Ello puede ser debido al rápido encajamiento de la red de drenaje, que las habría dejado colgadas y expuestas a la erosión. Por su tamaño, son dignos de mención los edificios travertínicos relacionados con las descargas actuales de los manantiales de La Toba y Tobos (**Figura 3.2**), situados al N y S de la sierra del Almorchón, respectivamente. Otros depósitos travertínicos destacados son los que existen asociados al río Borosa. En la ladera SE de Sierra Seca, entre 1.090 y 1.120 m s.n.m., se encuentra otro afloramiento de travertinos asociado a la descarga del manantial de Fuente Alta, aguas abajo de esta, en el barraco del Buitre. En el extremo SO de este macizo, a 1.070 m s.n.m., se localiza un afloramiento de travertinos relacionado con el manantial de Tubos. Finalmente, existen varios edificios travertínicos, de pequeño tamaño,

repartidos por otros puntos del ámbito de estudio como en la cabecera del río Bravatas o en el valle del río Castril.

3.4. Formaciones hidrogeológicas

Por su extensión y diversidad litológica, la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor se asocia, *grosso modo*, a dos formaciones permeables superpuestas en la serie litoestratigráfica, separadas por otras menos permeables: una inferior formada por rocas de edad Jurásico Inferior – Medio y otra superior compuesta por materiales del Cretácico Superior - Terciario. Por tanto, las formaciones hidrogeológicas presentes son las siguientes:

- Formación Hidrogeológica inferior constituida por un acuífero principal de naturaleza carbonática (dolomías y calizas) de edad Jurásico, fisurada y karstificada, con al menos 450 m de espesor en el Dominio Prebético. En el borde NO de la Sierra de Segura suele estar separada en dos tramos debido a frecuentes intercalaciones de arcillas y algunos niveles de yesos, mientras que hacia el SE y en la sierra de Taibilla constituyen una única formación acuífera perteneciente al Dominio Subbético. Se superpone una alternancia de calizas, margas y margocalizas del Jurásico Superior con espesores variables (150 – 250 m) y un funcionamiento general de acuitardo.

Su sustrato se compone de un paquete detrítico-evaporítico de baja permeabilidad y edad Triásico Superior, que aflora a lo largo del valle del río Guadalquivir y su continuación por el río Guadalimar hasta que enlaza con el río Mundo, en la provincia de Albacete. Estos materiales también aparecen imbricados y mezclados con margas cretácicas en la base de las formaciones carbonáticas jurásicas de la sierra de Taibilla, así como en el extremo SO del ámbito de estudio.

- Formación Hidrogeológica superior compuesta por una formación acuífera principal de naturaleza carbonática (dolomías y calizas), de edad Cretácico Superior, fisurada y karstificada, con espesores comprendidos entre 300 y 500 m en el Dominio Prebético. Le sigue un paquete de margas, calcarenitas y conglomerados, del Paleógeno al Mioceno medio, con diferente grado de permeabilidad, cuya relevancia hidrogeológica depende de su espesor y de su disposición geométrica con respecto a las formaciones acuíferas principales. De manera local, sobre las formaciones acuíferas mencionadas se pueden reconocer materiales postorogénicos con diferente grado de permeabilidad por porosidad primaria (lutitas, margas y conglomerados) del Mioceno superior-Plioceno, cuya importancia hidrogeológica dependerá de su espesor y de su disposición geométrica con respecto a las formaciones acuíferas principales y depósitos cuaternarios de diversa naturaleza y posición geomorfológica, que pueden constituir acuíferos pequeños.

Su sustrato se compone por depósitos terrígenos (facies Utrillas), con más o menos desarrollo (entre 20 y 200 m según sector), pero con un marcado carácter acuitardo, lo que le confiere capacidad para condicionar los flujos subterráneos de cada MASCH.

La formación acuífera principal de la agrupación de MASCHs corresponde aquí a carbonatos del Cretácico superior. Ocupa una superficie de 2.377 km², de los que aproximadamente 1.200 km² corresponde a los afloramientos permeables distribuidos entre la Sierra de Segura (251 km²), Sierra Seca (104 km²), Calar del Mundo (109 km²), y las sierras del Pozo (191 km²), de Castril (52 km²) y

de la Guillimona (73 km²), más otros macizos de menor tamaño incluidos en un sector del denominado Relieve Invertido.

Se trata esencialmente de dolomías y calizas cretácico-terciarias pertenecientes al Prebético Interno, que constituyen formaciones permeables por fisuración-fracturación y/o karstificación y cuyo espesor conjunto supera ampliamente los 450 m. Dichos carbonatos descansan sobre una serie de espesor variable compuesta de arcillas, margas y areniscas (facies Utrillas) que actuaría como sustrato de menor permeabilidad. Otros tramos de la serie estratigráfica, del Cretácico Inferior, pueden tener un interés acuífero secundario, puesto que tanto la potencia como la superficie de los afloramientos carbonáticos son pequeñas, con la notable excepción de Sierra Seca, donde las calizas del Aptiense superior-Albiense afloran extensamente. En cualquier caso, los materiales cretácicos y terciarios prebéticos presentan frecuentes cambios laterales de facies y una considerable potencia, que aumenta de forma progresiva hacia el SE.

A los anteriores relieves habría que añadir 76 km² de dolomías y calizas jurásicas del Subbético Externo que afloran en la sierra de Taibilla, limitadas en la base y en los bordes por arcillas con evaporitas de edad Triásico Superior y por margas y margocalizas de las Unidades Intermedias. En la Sierra de Segura, las rocas jurásicas prebéticas, con 200 a 400 m de potencia y propiedades acuíferas, solo afloran en su borde occidental. No obstante, estos materiales deben hallarse bajo la sucesión cretácica por todo el ámbito de estudio.

3.5. Funcionamiento hidrogeológico, hidrometría y piezometría. Relación río-acuífero. Propuesta de delimitación de MASCHs

El conjunto de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor agrupa numerosos compartimentos acuíferos de naturaleza libre, formados esencialmente por dolomías y calizas cretácico-terciarias cuya base son los materiales arcillosos de la facies Utrillas. Predominan los afloramientos del Cretácico superior, aunque en el sector de Sierra Seca destaca un amplio afloramiento del Cretácico inferior y en la Sierra de Taibilla, afloramientos del jurásico subbéticos, cuya base impermeable se constituye por facies Keuper.

La recarga de los acuíferos se produce por infiltración directa del agua de lluvia y de fusión nival sobre los afloramientos carbonáticos y, en menor medida, por infiltración concentrada del agua de escorrentía a través de sumideros kársticos. La descarga natural ocurre de manera puntual y visible por manantiales permanentes ubicados en los bordes de los diferentes acuíferos y difusa por los cauces que intersectan las rocas permeables y que actúan como ejes preferenciales de drenaje hacia ambas demarcaciones. Existen extracciones en sondeos situados cerca de algunos núcleos de población, si bien el aprovechamiento mediante bombeo es poco significativo en comparación con el drenaje natural. Las salidas se completarían con transferencias subterráneas de recursos hacia otros acuíferos colindantes, aunque esta posibilidad debe ser confirmada con estudios más detallados.

A escala regional, la estructura geológica es la responsable de la geometría interna de los acuíferos y debe, junto con el grado de desmantelamiento de la secuencia sedimentaria, condicionar las direcciones generales de los flujos subterráneos. Los grandes pliegues anticlinales y sinclinales de dirección NE-SO que se alternan entre sí constituyen elementos tectónicos relevantes para individualizar acuíferos, bien porque las charnelas de los pliegues anticlinales actúen de umbrales hidrogeológicos, como en las sierras del Pozo, de Castril y Seca (corte 1-1' de la **figura 3.3**), o porque haya mayor espesor de la zona saturada en los núcleos sinclinales. La fracturación también es de gran importancia como condicionante del flujo subterráneo pues las fallas inversas asociadas

a los flancos invertidos de los pliegues y los materiales involucrados pueden constituir barreras o compartimentar los acuíferos. Además, hay que añadir la relevancia hidrogeológica que puedan tener las fallas de desgarre dextrorsas, perpendiculares a las estructuras previas y con desplazamientos de varios kilómetros.

Por su parte, el grado de erosión del contacto entre los materiales permeables y los de menor permeabilidad, por el encajamiento progresivo de la red fluvial, condiciona la posición de los puntos de descarga y el funcionamiento de los acuíferos. El hecho de que en la margen izquierda del río Segura (sector septentrional) haya progresado más la erosión implica, por un lado, que la superficie permeable de la formación acuífera principal del Cretácico Superior en la que se desarrolla la altiplanicie kárstica haya sido en buena medida dismantelada, salvo en el caso del Calar del Mundo (cortes 4-4' y 5-5' de la **figura 3.3**). Por ello, solo quedan pequeños fragmentos aislados, cuyas áreas de recarga quedan restringidas a los restos de la antigua plataforma kárstica (calares). Además, en la actualidad, los cauces fluviales discurren por debajo del contacto entre las dolomías y los materiales detríticos de menor permeabilidad asociados a las facies Utrillas, por lo que suele tratarse de acuíferos colgados. En cambio, al E y S del río Segura, en su margen derecha, en los sectores central y meridional de la agrupación de MASCHs, la red fluvial está poco encajada. En consecuencia, los materiales carbonáticos de la formación acuífera principal presentan gran continuidad lateral y extensas superficies karstificadas propicias para la recarga (cortes 1-1' y 2-2' de la **figura 3.3**).

En cualquier caso, el encajamiento progresivo de la red fluvial acarrea un descenso continuado del nivel de base de los acuíferos, lo que determina la posición de los puntos de surgencia. Este proceso conlleva una tendencia al descenso del nivel piezométrico medio y, lo que es lo mismo, al aumento paulatino del espesor de la zona no saturada, en detrimento del de la zona saturada. Esta evolución en el tiempo geológico debe tener consecuencias relevantes sobre la distribución de la porosidad secundaria puesto que las zonas más altas de los acuíferos han estado más tiempo expuestas a la circulación del agua subterránea y, en consecuencia, cabe esperar que la karstificación tienda a estar menos desarrollada en zonas más profundas (Moral, 2005).

La información disponible no permite conocer con exactitud la posición de los umbrales piezométricos o límites hidrogeológicos de los diferentes acuíferos que existen en la agrupación de MASCHs. Los umbrales hidrogeológicos definidos por los pliegues anticlinales pueden verse superados en condiciones hidrometeorológicas húmedas, lo que permitiría cambios en la posición de las divisorias hidrogeológicas. La continuidad cartográfica de los carbonatos en el altiplano (desde las sierras de Castril y del Pozo –SO- hasta Miller –NE-) y la prolongación y relevo de las estructuras de plegamiento y fracturación, junto con la similitud de las cotas de surgencia de los principales manantiales, apuntarían a esta posibilidad.

Ante esta incertidumbre, en el presente trabajo se ha optado por la diferenciación general propuesta por Moral (2005), en lo relativo a la división del ámbito de estudio en diferentes unidades hidrogeológicas (hasta 30) teniendo en cuenta todas aquellas donde hay conexión entre la extensa MASb ES050MSBT000050200 Quesada-Castril en la DHG, con el resto de MASb ubicadas en la DHS. Se incluye, además, el acuífero subbético de la sierra de Taibilla. El mapa de la **figura 3.4** muestra la situación orientativa de la división en unidades hidrogeológicas.

Segura-Madera-Tus, ya que no existen evidencias de que se produzcan intercambios con otras MASb o entre demarcaciones.

De este modo, se definen en el presente trabajo un total de 12 zonas de agrupación de unidades hidrogeológicas que son prácticamente independientes, donde existen algunas conexiones parciales entre sí, estando en continuidad hidrogeológica entre las cuencas hidrográficas del Guadalquivir y Segura 8 de ellas, que son las que se definen como MASCHs. Estos límites son, en cualquier caso, aproximados pues podrían cambiar de posición y de forma si existiera un mayor número de datos (estructurales e hidrogeológicos) o según las condiciones de hidrometeorológicas. A continuación, se describen brevemente las características principales de ellas, indicando en cada caso si define una MASCH (cuando se implican ambas demarcaciones hidrográficas), o son acuíferos total o parcialmente aislados dentro del ámbito de estudio:

- MASCH Calar del Mundo

Situado en el sector más NO, presenta una geometría de altiplano kárstico aislado con un conjunto de manantiales que bordean su perímetro, algunos de ellos totalmente inaccesibles. El manantial más conocido es el nacimiento del río Mundo de la Cueva de Los Chorros en la DHS (233420060), aunque también existe drenaje hacia la DHG. Esta surgencia cuenta con registros de caudal extraordinariamente variables que oscilan entre 15 l/s y 15-30 m³/s, debido a su geometría y naturaleza kárstica, que funciona como manantial permanente y *trop plein* debido a la presencia de sifones invertidos que producen los fenómenos conocidos como *reventón* en periodos de abundantes lluvias (corte 5-5', **Figura 3.3**).

La superficie de afloramientos permeables está formada mayoritariamente por calizas del Cretácico superior. La respuesta ante las lluvias es muy rápida, propia de sistemas kársticos, aunque existe un sistema de circulación subterránea desarrollado por procesos tales como microfracturación en calizas y porosidad secundaria en las dolomías inferiores que mantienen una mayor capacidad de regulación. El resto de las descargas en la DHS se reparten entre otros manantiales situados más al N del nacimiento de río Mundo, así como hacia el río Tus en su cabecera. En la DHG el drenaje se produce a través de importantes manantiales situados a la base de las formaciones carbonatadas y mantiene una importante capacidad de regulación por la descarga de la Fuente de Arroyo Frío de Cotillas (233450058) corte 4-4', **Figura 3.3**, Nacimiento de San Blas (223480053) o la Fuente de la Era del Concejo (223480014).

- MASCH Navalperal

Formada por 5,5 km² de dolomías del Cretácico superior que constituyen un sinclinal de dirección N-S, a cuya base se encuentran las arenas y margas semipermeables de la Formación "Utrillas". Se sitúa justo en la divisoria entre la DHG y la DHS. El drenaje subterráneo se produce a través de surgencias de escaso caudal que se sitúan preferentemente hacia el NO y en menor medida, hacia el O y SO, entre las que destacan la fuente del Pardo (223480030) a 1.163 m s.n.m., los manantiales de Acibillo (223480012) a 1.190 m s.n.m. y Fuente de la Laguna (223540005) a 1.230 m s.n.m., Rolamiel (223540002) a 1.260 m s.n.m. y el 223540007 a 1.356 m s.n.m. En cualquier caso, todo el drenaje se produce en la DHG.

- Acuífero Segura de la Sierra

Formado por dolomías cretácicas con un afloramiento de tan solo 1,9 km², se constituye por un sinclinal colgado integrado totalmente en la DHG. Sus salidas subterráneas son escasas,

destacando únicamente dos pequeños manantiales, el 223530057 a 1.140 m s.n.m. y el 223530078 a 1.200 m s.n.m.

- **Acuífero Bucentaina**

Se conforma por un monoclinial de dolomías cretácicas que buza hacia el norte con una extensión de afloramientos permeables de 6,5 km². El sustrato impermeable lo forman, además de las arenas y margas de la Formación “Utrillas”, las arcillas y margas yesíferas del Trías. Se encuentra exclusivamente en la DHG.

El drenaje se produce a través de algunos manantiales de escaso caudal entre los que destacan Las Sabinas (223480004) a 870 m s.n.m., la Fte. de Covachuela (223480008) a 920 m s.n.m., el Arroyo Llano (223480041) a 870 m s.n.m. y el 223480042 a 938 m s.n.m.

- **Acuífero Peñalta**

Se trata de un pequeño sinclinal de dolomías cretácicas a cuyo muro se encuentran las margas y arenas de la Formación “Utrillas”. Su extensión es de unos 3,8 km² y se encuentra totalmente incluido en la DHG. El flujo subterráneo se dirige desde el norte hacia el sur, en donde se sitúan algunos manantiales entre los que destaca la fuente del Convento (223530004) a 860 m s.n.m., el 223530002 a 940 m s.n.m. y el 223530014 con 1.000 m s.n.m.

- **MASCH Yelmo**

Constituye un acuífero colgado ubicado entre la DHG y la DHS, formado por calizas y dolomías del Cretácico superior dispuestas en una estructura de sinclinal N-S cuya base impermeable está formada por las arenas y margas de la Formación “Utrillas”. El drenaje se realiza a través de varios manantiales entre los que destacan la fuente de Zamarrilla (223530027), el manantial del Tejo (223530026), el manantial de los Granados (223570001) y la fuente de Capellanía (223570008), todos ubicados en la DHG.

- **Agrupación de acuíferos de la Sierra del Pozo**

Agrupar varios acuíferos entre los que destacan el acuífero Cabañas–Gualay, Borosa y La Canal-Torre del Vinagre. Se compone por dos tramos carbonatados del Cretácico inferior y Cretácico superior, de 300 y 200 m de potencia, respectivamente. La superficie permeable asciende a 110 km². Ambos niveles se encuentran separados por una secuencia semipermeable de margas, calizas y arenas del Cretácico inferior. Al oeste el conjunto cabalga sobre las calizas miocenas del acuífero del Nacimiento del Guadalquivir y al norte se halla situado sobre margas y calizas del Jurásico superior. No conforma una MASCH, ya que se encuentra totalmente incluido en la DHG, pero representa una de las agrupaciones de acuíferos más importantes de la MASb ES050MSBT0000520 Quesada-Castril.

El drenaje subterráneo se dirige, por un lado, hacia el este, en donde nace el manantial de Guazalamanco (213840009) a 1.200 m s.n.m. y Cerrada de la Canaleja (213780013) a 1.050 m s.n.m. entre otros nacimientos del río Guadalentín, y por el otro, hacia el oeste a través de numerosos manantiales, entre los que se encuentran algunos muy importantes como son el Túnel (213770025) a 1.050 m s.n.m. y La Canal (213830007) a 860 m s.n.m. que vierten sus aguas al río Guadalquivir. Hacia el norte se produce un importante drenaje hacia el cauce del río Borosa y algunos manantiales asociados.

- **MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril**

Situado en la parte centro-meridional del área de estudio, constituye una MASCH de gran extensión entre la DHS y la DHG, ya que incluye varios acuíferos que se encuentran en conexión

más o menos continua, incluyendo el acuífero Calar de las Palomas, Pinar Negro, Machada, Sierra de Castril, Bolera y Peralta, no existiendo ninguna barrera impermeable entre demarcaciones hidrográficas. Asimismo, se incluye el sector de los Campos de Hernán Pelea que no se había considerado integrado en ninguna MASb hasta la fecha. Dicho sector se localiza dentro de los límites de la DHG. El conjunto se extiende por una superficie de 464 Km² de geometría muy compleja.

El acuífero de Pinar Negro, ubicado en la denominada Zona de Pliegues y Pliegues-Falla se ubica al N de la Sierra de Castril dentro de la DHG. Presenta el desarrollo de paisaje kárstico más desarrollado del Prebético, donde abundan amplios campos de dolinas y sumideros. Los límites son abiertos con el acuífero Calar de las Palomas (DHS) al N y el acuífero de la Sierra de Castril (DHG) al S. El acuífero Machada (coincide con la MASb ES070MSBT000000018), se corresponde con la prolongación del acuífero de Pinar Negro en la DHS. En la mitad oriental existe conexión con la MASCH Sierra Seca, aunque a través de un cabalgamiento que pone en contacto zonas habitualmente no saturadas (corte 2-2', **Figura 3.3**).

La Sierra de Castril constituye una alineación montañosa de dirección N20E limitada por dos valles fluviales paralelos muy encajados, por la margen oriental, el valle del río Guadalentín, y por la occidental, el valle del río Castril. Por el sur la alineación montañosa se ve disectada por el Arroyo de la Rambla. Dada la naturaleza de estos materiales, se ha desarrollado un importante sistema kárstico cuyas evidencias pueden reconocerse en las formas exokársticas y endokársticas, encontrándose algunos de los cañones y cavidades más importantes de Andalucía (Cerradas de Túnez, Magdalena y Lézar, Cueva de Don Fernando con más de 2 Km de galerías, Complejo del Arroyo de la Rambla-PB4 con más de 8,5 Km donde un río subterráneo de más de 2 Km alimenta el manantial de la Fuente de Valentín). Hacia el oeste bajo el relleno terciario pudiera existir también continuidad, en este caso con el acuífero Bolera-Peralta.

Los principales manantiales de la DHS pertenecen fundamentalmente al acuífero Palomas, y son el Nacimiento del río Segura (223620002) a 1.420 m s.n.m. y Molino de Loreto I-II (223630002 y 223630041) a 1.290 y 1.300 m s.n.m. respectivamente. El resto de los acuíferos que componen la MASCH drenan totalmente hacia la DHG, incluyendo el acuífero Machada. En la zona de Pinar Negro las salidas subterráneas visibles se realizan a través de dos importantes manantiales, el Nacimiento del río Castril (223760010) a 1.220 m s.n.m., y el manantial de Aguas Negras (223710001) localizado a 1.250 m s.n.m. En el contacto con el acuífero Palomas, surge el manantial de Aguamulas (223660001) a 1.120 m s.n.m. En el acuífero de la Sierra de Castril, las surgencias se localizan en las zonas de contacto entre los niveles de carbonatos y los materiales margosos que se les superponen, destacando los manantiales de Túnez, Magdalena (223760009) y Lézar (223750001) que drenan hacia el río Castril a 1.000-1.100 m s.n.m., y Fuentes Nuevas (213840005) a 1.100 m s.n.m. enclavado en un pequeño afloramiento aislado pero conectado con el acuífero y Fuente de Valentín (213840003) a 950 m s.n.m., en la cola del embalse de La Bolera. Por último, en el extremo más meridional se encuentran las surgencias del Molino Peralta (213880019/25), localizado a 860 m s.n.m., por donde surgen importantes caudales que proceden, además de todo el sistema descrito, de la infiltración desde el embalse de La Bolera.

- **MASCH Sierra Seca**

Está formada principalmente por calizas y dolomías del Cretácico inferior con más de 400 m de espesor y con una extensión de afloramientos permeables de unos 85 km². La mayor parte de la MASCH se encuentra en la DHG, aunque hay un pequeño sector al N en la DHS. La estructura es de anticlinal asimétrico vergente al oeste que se encuentra cabalgado por la MASCH Sierra

de Segura occidental-Sierra de Castril con la que existe conexión parcial al N. El resto de los límites son cerrados: al norte está marcado por la presencia de una importante falla de desgarre que lo separa de la MASCH Guillimona, por el sur el contacto con los materiales margosos del valle del río Castril y por el ESE por las unidades subbéticas de la sierra de Duda y La Sagra, que cabalgan sobre Sierra Seca (corte 2-2', **Figura 3.3**).

Las descargas se producen por ambos flancos del anticlinal en la DHG. Las correspondientes al flanco oriental son las más importantes y están representadas por los manantiales La Natividad (223770003), Fuente Alta (223770019) y Fuente de Enmedio (223770003), que drenan hacia el río Guardal entre 1.325 metros y los 1.060 m s.n.m.; mientras que las correspondientes al flanco occidental están representadas por el manantial Juan Ruiz (223760008) entre otros, que drenan hacia el río Castril.

- MASCH Sierra Guillimona.

Formada principalmente por un paquete calizo del Eoceno al que se superpone otro paquete carbonatado del Mioceno, con una potencia total hasta 250 m y una estructura sinclinal, abarca una extensión de 116 Km² y sus límites son totalmente cerrados. Se encuentra entre las DHG y DHS, aunque su drenaje se produce exclusivamente hacia la DHG a través del manantial de Montilla (223740002, cabecera del río Raigadas), Manantiales de los Agujeros y Sabuco (223740010, Cabecera del río Bravatas) entre las cotas 1.470 y 1.380 m s.n.m.

- MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos

Situada en la parte central y nororiental del área estudiada, constituye la MASCH de mayor extensión (624 Km²) y de geometría muy compleja. Incluye varios acuíferos que se encuentran en conexión parcial incluyendo el acuífero Arroyo frío, Calar de Pilillas, Palancares, Huebras, Pincorto, Loma del Sapillo, Góntar y Humoso. La mayor parte se encuentra en los límites de la DHS, exceptuando un pequeño sector al S que se introduce en la DHG, pero no existen surgencias en esta cuenca.

El acuífero de Arroyo frío, en la cabecera del río Zumeta, tiene los límites abiertos hacia el acuífero Pilillas-Palancares, situado entre los ríos Segura y Zumeta, cuyo límite oriental es abierto hacia el acuífero Huebras y éste hacia los acuíferos Pincorto y Loma del Sapillo, en continuidad con los acuíferos de Góntar y Humoso, situados en el extremo NE a menor cota de toda la MASCH y por tanto por donde se producen las principales descargas.

Las salidas subterráneas tienen lugar exclusivamente en la DHS a través de manantiales y sobre todo a través de salidas difusas a los ríos que la atraviesan, lo cual apunta a la existencia de una gran compartimentación de todo el conjunto. Los manantiales más destacados son El Muso (223680001) a 1.310 m s.n.m., El Berral (223640001) a 1.300 m s.n.m., Arroyo Frío (223670001) a 1.370 m s.n.m., fuente de la Toba (223580013) a 970 m s.n.m., La Cueva del Agua (223630001) a 1.240 m s.n.m. y los manantiales de Miller (233550049 al 233550061, 233550065) situados a cotas comprendidas entre 917 m s.n.m. y 1.040 m s.n.m. Entre los que drenan hacia el río Zumeta destaca la Fuente de Tobos (233610001) a 1.130 m s.n.m.

Los cauces también reciben descargas directas hacia el N, por un lado, el río Zumeta en un tramo de casi 12 Km, que recibe aguas del Calar de Pilillas y el acuífero Huebras, el río Taibilla entre las cotas 880 y 840 m s.n.m., y el río Segura a la altura del embalse de Fuensanta, entre los 560 y los 590 m s.n.m. También se produce un drenaje hacia el río Taibilla justo antes de su confluencia con el río Segura y no se descarta otro drenaje hacia el río Segura aguas abajo de

éste último. Asimismo, en el acuífero Góntar se estima que existe transferencia de agua hacia las formaciones del Cretácico inferior que podría cuantificarse entre 2 y 5 hm³/a.

- MASCH Sierra de Taibilla.

Ubicada en el extremo oriental de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor, se constituye por calizas y dolomías del Lías inferior de 150-300 m de espesor que representa un isleo tectónico del Subbético, por lo que constituye un acuífero colgado y totalmente desconectado de los adyacentes. Su extensión supera los 100 Km². Se encuentra entre las DHG y DHS, aunque su drenaje se produce exclusivamente hacia la DHS a través de una serie de fuentes situadas a 1.150 m s.n.m. y a 1-2 km al sureste del Nerpio, en el cauce del río de las Acedas. Estas fuentes están representadas por el manantial 233630076 (a cota 1.175 m s.n.m.) y su caudal es de 200-250 l/s (6-8 hm³/año).

La información sobre las propiedades hidráulicas de las formaciones permeables de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor está limitada por el escaso número de sondeos existentes. En general, los valores de transmisividad de los materiales de edad Jurásico que afloran en la margen NO de la Sierra de Segura, entre Hornos y Benatae, están comprendidos entre 40 y 650 m²/día (González-Ramón et al., 1996; IGME, 2000). Los resultados más elevados podrían considerarse propios de materiales dolomíticos con un moderado desarrollo kárstico. Un rango de transmisividades similar a los anteriores se ha evaluado en sondeos ubicados sobre carbonatos cretácicos del altiplano segureño (2236-2-0008, 2236-4-0013 y 2236-7-0008 en la **tabla 3.2**), e incluso valores inferiores (20 m²/día) en el borde meridional de la sierra de Castril (2138-4-0023). No existe información respecto a valores de velocidad real de flujo.

3.5.1.- Análisis piezométrico

El número de sondeos existentes en el ámbito de estudio es escaso debido a la orografía del terreno, a la abundancia de surgencias naturales y a la baja demanda hídrica para satisfacer los distintos usos. Tan solo existen 3 sondeos piezométricos denominados 05.02.124, 05.02.024 y 05.02.023 (**tabla 3.2 y figura 3.2**). Todos se encuentran en el extremo meridional de la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril, en la DHG, por lo que no son representativos de otros sectores. Por ello, las cotas piezométricas vienen marcadas por los manantiales, no existiendo puntos suficientes para realizar mapas piezométricos de la agrupación de MASCHs Alto Segura-Alto Guadiana Menor.

La **figura 3.5** recoge la evolución temporal del nivel piezométrico de los mismos. La longitud temporal de las series difiere en cada caso, aunque algunas de ellas comienzan a mediados de la década de 1990 y llegan a 2017. Los registros son discontinuos por término general, con 6 a 12 medidas al año durante los periodos de control y con algunas lagunas, aunque desde 2002 (05.02.023 y 05.02.024) y 2011 (05.02.124) los registros fueron más frecuentes (mensuales). La serie con el mayor número de medidas y prolongada en el tiempo es la del piezómetro 05.02.023, con 22 años de registro y 153 medidas, aunque presenta 7 años hidrológicos sin datos. En todos los sondeos se aprecia una evolución claramente influenciada por el régimen de precipitaciones, típica de sondeos situados en el borde de acuíferos carbonáticos que no tienen explotación, con ascensos rápidos de los niveles piezométricos durante los principales eventos pluviométricos, pero de escasa cuantía, y descensos de igual magnitud tras el cese de las lluvias. Los ascensos máximos, del orden de 10 - 12 m en un mes según los datos disponibles, tuvieron lugar en el punto 05.02.024 y durante los años húmedos 2008/09 y 2013/14. En épocas estivales o en periodos secos los niveles tienden al descenso, pero a un ritmo menor que en situaciones de crecida. Todo ello reflejaría un funcionamiento próximo a kárstico para los carbonatos del Cretácico Superior-Terciario

de la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril, coherente con lo deducido a partir de los hidrogramas de las surgencias principales.

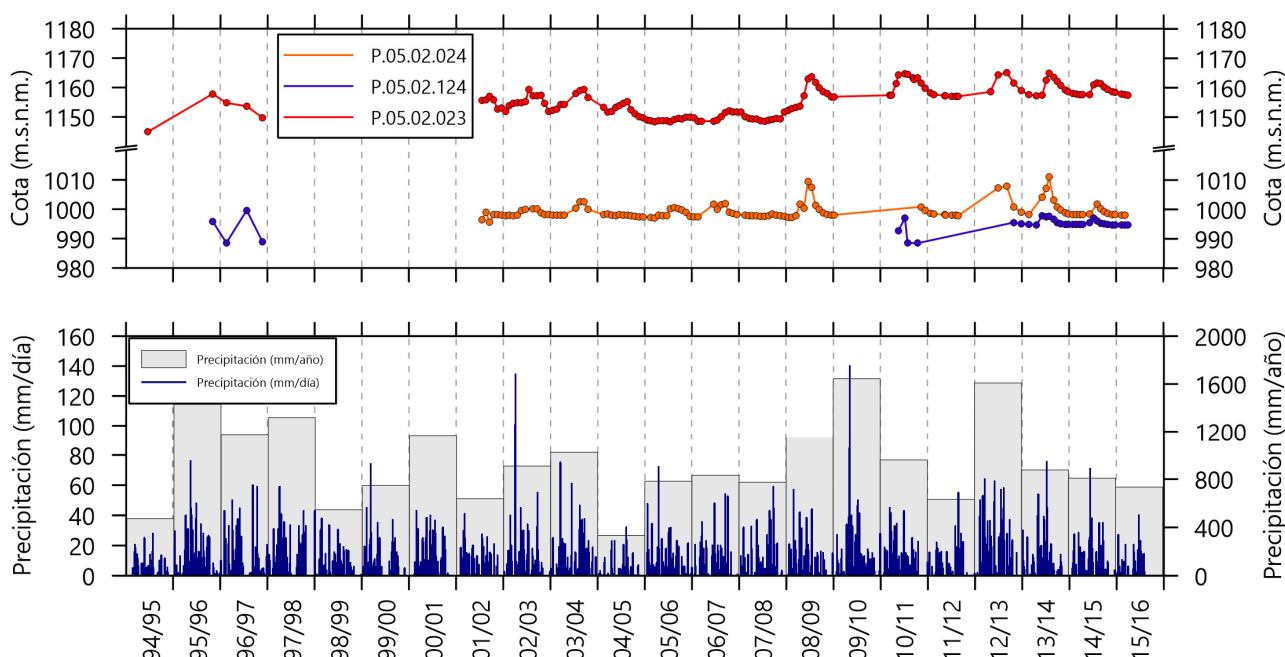


Figura 3.5. Evoluciones temporales del nivel piezométrico registrado en los puntos de control piezométrico oficiales existentes en sector meridional de la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril. Datos procedentes del servicio de hidrometría de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

3.5.2.- Análisis hidrométrico de manantiales

Como consecuencia de la importante compartimentación de la agrupación de MASCHs, la descarga natural se produce de forma puntual y visible preferentemente por numerosos manantiales, aunque sólo una treintena pueden considerarse como los más representativos del comportamiento hidrodinámico de los acuíferos, a tenor de la magnitud de sus caudales.

Las cotas de surgencia son variables dependiendo del sector considerado (**Figura 3.4; Tabla. 3.1**), como fue expuesto en trabajos previos (ITGE-UGR, 1990; Moral, 2005). La mayoría de los manantiales caudalosos de la Sierra de Segura se encuentran repartidos por la periferia del altiplano central, en la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril. En su vertiente atlántica (DHG) se hayan manantiales como el Nacimiento del Río Castril (1.270 m s.n.m., 858,8 l/s de caudal medio) y las surgencias de Aguasnegras (1.252 m s.n.m., 256,4 l/s) y Aguamulas (1.120 m s.n.m., 498,6 l/s), mientras que el Nacimiento del Río Segura (340,6 l/s) y el manantial Molino de Loreto (449,6 l/s), ubicados al N, en la vertiente mediterránea (DHS), surgen a 1.414 y 1.289 m s.n.m., respectivamente. Otros manantiales caudalosos se ubican en el extremo meridional del ámbito de estudio con aportaciones al río Guadalentín (manantial Guazalamanco -1.068 m s.n.m., 120,3 l/s, Fuente Valentín -975 m s.n.m., 283 l/s, o Molino Peralta -802 m s.n.m., 1.064,1 l/s). Por otro lado, el grupo de surgencias que dan origen al río Guardal (Natividad, Fuente Alta y Fuente de Enmedio, 685,3 l/s de caudal conjunto) se sitúan en el borde oriental de la MASCH Sierra Seca (entre las cotas 1.081 y 1.140 m s.n.m.).

La descarga de la MASCH Calar del Mundo se concentra principalmente en los Chorros de Río Mundo -1.250 m s.n.m., 331,5 l/s-, en su vertiente mediterránea; y el Arroyo Frío de Cotillas -1.060 m s.n.m., 380,8 l/s- en su vertiente atlántica. Asimismo, existen otros manantiales de caudal medio inferior, aunque representan las principales aportaciones hídricas al cauce del río Mundo en

situaciones de estiaje. Los dos manantiales que más contribuyen al mismo en estas circunstancias son Los Molinos (1.150 m s.n.m.) y Fuente San Agustín, que es el situado a la cota más baja (a 910 m s.n.m.). El caudal medio anual del conjunto de descargas por ambos manantiales está en torno a 270 l/s.

Tabla 3.1.- Características de los principales manantiales de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor

Denominación	nº de medidas	Caudal (l/s)			Periodo de control	Cota m s.n.m.	Coordenadas UTM	
		Máx	Mín	Medio			X	Y
Montilla	13	254	3,0	83,8	1988/89 - 1996/97	1.470	537106	4204491
Saúco	7	79	13,8	39,5	1989/90 - 1996/97	1.384	542162	4204564
Los Agujeros	5	120	55,0	80,3	1988/89 - 1990/91	1.443	541875	4205263
Natividad	153	2.851	86,9	426,1	1987/88 - 2015/16	1.094	528520	4193919
Fuente Alta	23	808,0	90,0	207,8	1988/89 - 1991/92	1.140	527592	4193976
Fuente de Enmedio	140	201,0	0	51,5	1988/89 - 2015/16	1.081	528525	4193650
Juan Ruiz	10	210,1	5,9	77,2	1988/89 - 1996/97	1.177	522174	4193702
Tubos	18	106,7	65,0	88,0	1988/89 - 1996/97	1.077	520469	4185727
Nacimiento Río Castril	161	6.002	116,1	858,8	1988/89 - 2015/16	1.270	522087	4195567
Barraco Túnez	129	455,0	32,3	109,2	1988/89 - 2015/16	1.145	521660	4194096
La Magdalena	141	1.952	56,4	249,9	1988/89 - 2015/16	1.164	520831	4192809
Buitre Lézar	154	1.130	80,2	270,8	1988/89 - 2015/16	977	519309	4188720
Ojo de Fuentesnuevas	4	131	29,9	68,0	1996/97	1.010	512014	4181251
Fuente Valentín	4	409,0	242,0	283,0	1989/90 - 1990/91	975	508783	4183476
Molino Peralta	24	2.300	531,0	1064,1	1988/89 - 1996/97	802	507984	4175297
Guazalamanco	154	1.298	16,8	120,3	1988/89 - 2015/16	1.068	507808	4184230
Aguasnegras	14	588,6	105,0	256,4	1988/89 - 1996/97	1.252	516345	4201717
Aguamulas	21	1.251	245,0	498,6	1988/89 - 1996/97	1.120	520770	4209716
Arroyo Frío Cotillas	6	1.139	186,5	380,8	1995/96 - 1996/97	1.060	542666	4250836
Chorros del Río Mundo	66	24.000	15,9	331,5	1995/96 - 2015/16	1.250	549155	4256023
Los Molinos	13	1.720	15,1	175,0	2011/12 - 2015/16	1.150	550781	4258526
Fuente San Agustín	19	501,3	6,7	91,2	1995/96 - 2015/16	910	554990	4259493
Fuente del Tejo	33	131,0	15,0	34,2	1989/90 - 1996/97	1.321	540040	4238087
Nacimiento Río Segura	61	3.784	0,0	340,6	1988/89 - 2015/16	1.414	526342	4216010
Molino de Loreto	17	539,0	379,0	449,6	1989/90 - 1991/92	1.289	529944	4220088
La Toba	6	465,4	148,3	222,8	1995/96 - 1996/97	1.000	538705	4226114
Arroyo Frío	3	100,8	30,0	66,3	1989/90 - 2001/02	1.339	534445	4212595
Muso	7	122,0	64,0	87,8	1988/89 - 1996/97	1.309	534951	4214383
El Berral	19	128,0	91,0	109,9	1988/89 - 1996/97	1.282	535331	4215165
Tobos	6	219,6	78,9	116,2	1995/96 - 1996/97	1.113	544171	4222568
Las Fuentes	11	281,2	12,5	137,3	1974/75 - 1996/97	1.175	561996	4220730

Existen puntos de descarga de menor caudal, como los de la cabecera del río Zumeta (Arroyo Frío, Muso, El Berral), en la MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos, o los que dan lugar a los ríos Raigadas y Bravatas (Montilla, Sabuco, Los Agujeros), situados en la vertiente atlántica de la MASCH Sierra Guillimona. Estos puntos presentan caudales medios en torno a 40 – 110 l/s y son el resultado de descargas a favor de contrastes de permeabilidad ocasionados por fallas o por contactos estratigráficos. En un contexto similar se encontrarían los manantiales de Juan Ruiz, Tubos, Barraco Túnez, La Magdalena y Buitre Lézar, localizados entre las cotas 977 a 1.177 m s.n.m. en el valle del río Castril, los cuales aportan un caudal medio conjunto de 795 l/s a dicho

cauce. Aguas abajo del embalse de El Portillo, el río Castril recibe por su margen derecha las aguas del Arroyo Trillo, que en periodos húmedos recoge el agua de escorrentía y las aportaciones subterráneas del manantial Ojo de Fuentes Nuevas, situado a 1.010 m s.n.m., cerca de El Almicerán. Al N y S de la sierra de Almorchón se ubican, respectivamente, las surgencias de La Toba y Tobos, a cotas en torno a 1.000 y 1.100 m s.n.m. El caudal medio de la primera es del orden de 220 l/s, mientras que el de la segunda presenta un valor de 116,2 l/s.

El inventario de las principales surgencias se completa con el manantial de Las Fuentes, localizado en el límite septentrional del acuífero de la MASCH Sierra de Taibilla, en la DHS, con un caudal medio estimado en este punto a partir de los registros históricos a los que se ha tenido acceso de 137,3 l/s.

Se dispone de series históricas de caudal de los principales manantiales que drenan el ámbito de estudio, proporcionadas por el IGME, por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, la Confederación Hidrográfica del Segura, y procedentes de la tesis doctoral de Moral (2005). La longitud temporal de las series difiere en cada caso, aunque la mayoría comienzan a final de la década de 1980 (1988/89 y 1989/90) y llegan hasta el año hidrológico 1996/97. Las series de datos de control hidrométrico de las confederaciones implicadas en este informe alcanzan fechas más recientes. En todos los casos se trata de medidas puntuales y los registros son discontinuos, con algunas lagunas y numerosos años hidrológicos en los que sólo se realizaron 2 o 3 medidas, aunque desde 2004 (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir) y desde 2009-2012 (Confederación Hidrográfica del Segura) los aforos han sido más frecuentes (mensuales o cada dos meses). Las series de mayor duración y continuidad temporal son las de los manantiales de Natividad, Fuente de Enmedio, Nacimiento del Río Castril, Barranco de Túnez, La Magdalena, Buitre-Lézar, Guazalamanco, Aguasnegras y Aguamulas, con entre 15 y 18 años de registro, si bien el número de medidas difiere en cada caso.

A partir de las series de caudal de los manantiales se puede deducir un comportamiento hidrodinámico altamente kárstico para las MASCHs que drenan, con brucas crecidas durante los periodos de recarga y rápidos descensos en ausencia de las mismas, siendo todos los hidrogramas muy similares entre sí. La **figura 3.6** recoge, a modo de ejemplo, los hidrogramas de las surgencias de Chorros de Río Mundo, Nacimiento del Río Segura, Nacimiento del Río Castril, Natividad y El Berral como ilustrativas del comportamiento hidrodinámico de las MASCHs. No obstante, la frecuencia de medida no permite observar la influencia del deshielo en la forma de los hidrogramas.

El manantial de los Chorros del Río Mundo (MASCH Calar del Mundo) alcanza incluso caudales próximos a 25.000 l/s en épocas de crecida (cuando se producen los famosos “reventones”) y menos de 20 l/s durante el estiaje (Rodríguez-Estrella, 1979). Las decrecidas y los agotamientos son igualmente rápidos.

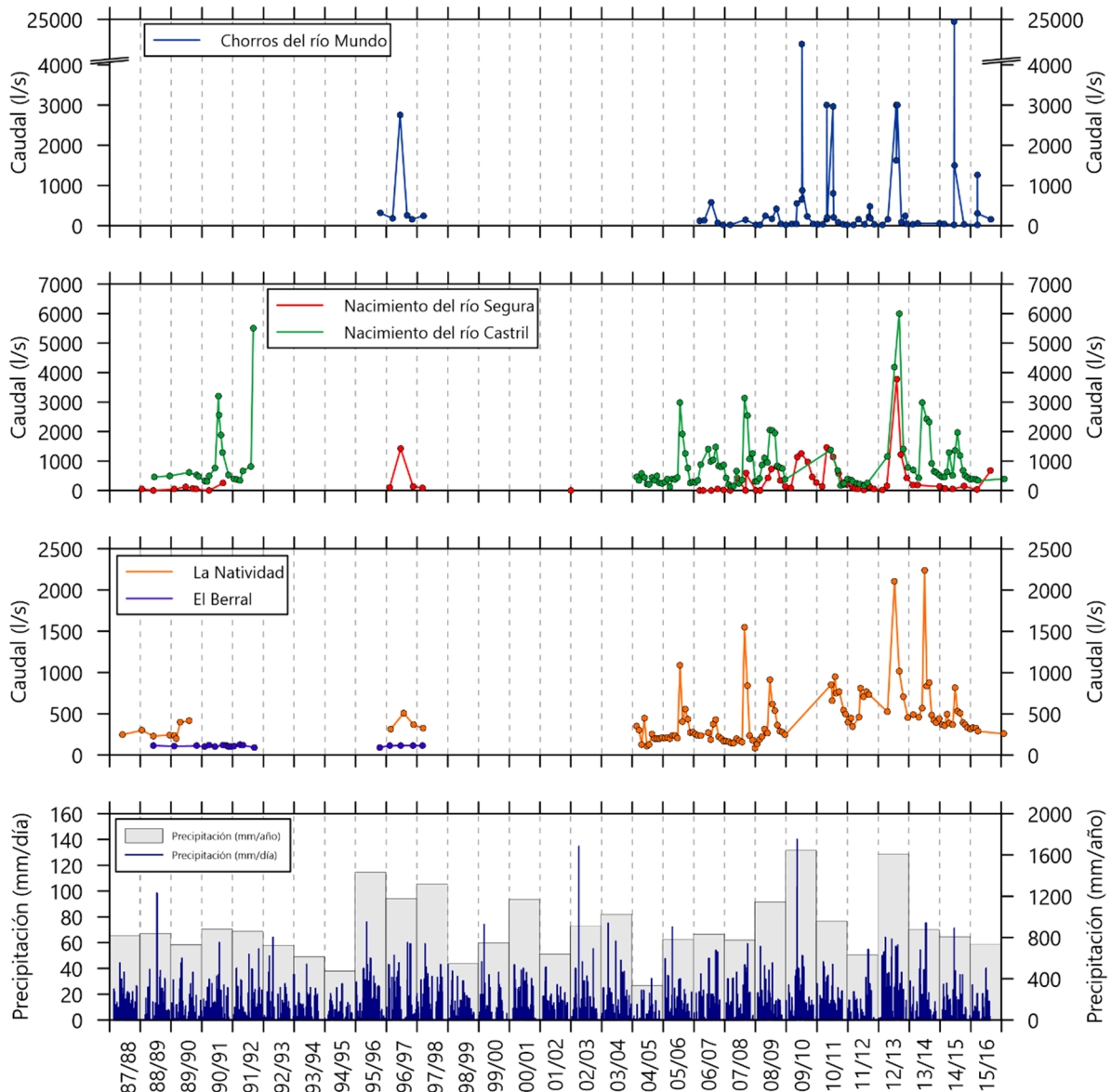


Figura 3.6. Hidrogramas de los manantiales de La Natividad, Nacimiento del Río Castril, Nacimiento del Río Segura, Chorros del Río Mundo y El Berral, junto con la precipitación registrada durante el periodo 1974/75 – 2015/16.

En el caso de los Nacimientos del río Segura y Castril (MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril), cada periodo de precipitaciones se traduce en una crecida, cuya magnitud es proporcional a la cantidad e intensidad de las precipitaciones acumuladas (valores máximos próximos a 4.000 l/s en el nacimiento del Segura, mientras que en ausencia prolongada de lluvias la surgencia se agota). En el Nacimiento del Río Castril la variabilidad de la descarga es muy importante: los valores extremos de caudal registrados varían entre 116 y 6.000 l/s.

El hidrograma del manantial de Natividad (MASCH Sierra Seca), permite distinguir claramente la alternancia entre periodos húmedos, con caudales mínimos del orden de 500 – 550 l/s (2011 - 2014), y otros más secos durante los cuales la surgencia sufre un descenso paulatino pero evidente en su caudal base de descarga, que es interrumpido tras el inicio de un nuevo periodo húmedo. En detalle, se observa una crecida relevante por cada año hidrológico, cuya magnitud depende de la cantidad de precipitación acumulada durante las semanas previas. Estas crecidas pueden alcanzar caudales punta de hasta 2.850 l/s. Los aumentos de caudal ante las precipitaciones se producen de manera rápida y ocurren en varios días.

Por último, según los datos disponibles, el manantial de El Berral (MASCH Sierra de Segura Oriental-Socovos) presenta pequeños aumentos de caudal casi todos los años, si bien la serie de datos no permite observar la alternancia de ciclos húmedos con otros más secos o tendencias significativas. Las variaciones de caudal son de escasa magnitud y las crecidas son puntuales. El caudal más elevado (128 l/s) se alcanzó en otoño de 1991.

En lo que respecta a los parámetros hidrodinámicos de los manantiales, el coeficiente de agotamiento calculado en el manantial de Montilla, situado en el borde meridional de la sierra de la Guillimona y en régimen no influenciado, corresponden al drenaje de un sistema típicamente kárstico ($1,1 \times 10^{-2}$ días⁻¹) (Moral, 2005). En el resto de surgencias que cuentan con datos hidrodinámicos (Fuente Alta, Natividad, Aguamulas, Aguasnegras, Nacimiento del Río Castril, Buitre Lézar), los coeficientes de recesión están comprendidos entre 1,6 y $5,8 \times 10^{-3}$ día⁻¹. Estos datos indicarían un moderado desarrollo de la karstificación funcional en los sectores de acuífero drenados por dichas surgencias, por lo que presentarían cierta capacidad de regulación natural. Los valores de α de las surgencias de Natividad y Fuente del Tejo indicarían incluso un menor grado de karstificación (Natividad: $2,4 \times 10^{-3}$ día⁻¹). No obstante, Moral (2005) determinó mediante análisis corretalorio que el tiempo de respuesta medio al impulso pluviométrico es de unos 2 días en este manantial.

3.5.3.- Relación río-acuífero

La alimentación a cauces de la agrupación de MASCHs tiene lugar, además de por descargas puntuales por manantiales, a través de pequeñas surgencias difusas hacia el lecho de los ríos en los tramos donde el lecho ha interceptado el nivel piezométrico por erosión.

A continuación se detallan los cauces superficiales más relevantes existentes en el ámbito geográfico del estudio. Debido a la extensión superficial, la descripción de las relaciones hidrológicas entre los distintos ríos y las formaciones permeables infrayacentes se hace según la demarcación hidrográfica a la que pertenezcan y sectores Guadiana Menor y Guadalquivir en el caso de la DHG.

Cauces de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir (sector río Guadiana Menor)

- En el extremo SE del ámbito de estudio se localizan los **ríos Bravatas y Raigadas**. El primero discurre en sentido S por la ladera meridional de la MASCH Sierra de la Guillimona y sus principales aportes son los que proceden de los manantiales Sabuco (a 1.384 m s.n.m.) y Los Agujeros (1.443 m s.n.m.), con un caudal medio conjunto de 120 l/s. El segundo cauce también nace en los carbonatos de la vertiente meridional de la sierra de la Guillimona, aunque posteriormente fluye en sentido SO sobre formaciones de baja permeabilidad distribuidas entre la sierra de La Sagra (al NE) y Sierra Seca (al NO), hasta que sus aguas son retenidas en el embalse de San Clemente, junto con el resto de la descarga de la MASCH Sierra Seca. Solo recibe agua subterránea en cabecera (cota 1.482 m s.n.m.), donde se encuentra el manantial de Montilla.

-El **río Guardal** nace en la ladera suroriental de la MASCH Sierra Seca, ya que en su tramo de cabecera se ubican los principales manantiales que drenan el macizo: Natividad (1.094 m s.n.m.), Fuente Alta (1.140 m s.n.m.) y Fuente de Enmedio (1.081 m s.n.m.). Aguas arriba, los afluentes solo presentan caudal cuando fluye agua de escorrentía después de grandes eventos de precipitación. Aguas abajo del borde de descarga, a 1.000 m de distancia, existe una estación de aforos (**Figura 3.2**) que cuantifica las aportaciones del río Guardal al embalse de San Clemente. El caudal medio para la serie diaria comprendida entre los años hidrológicos 1974/75 a 2015/16 es 826 l/s.

-El **río Castril**, es uno de los principales ejes de drenaje de la vertiente meridional de la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril. En su tramo alto, hasta el manantial homónimo (1.270 m s.n.m.), el río discurre sobre carbonatos y solo presenta flujo superficial después de grandes eventos de precipitación. A partir de su nacimiento, el cauce se encaja en las margas del Mioceno superior y no las abandona hasta que sus aguas son retenidas por la presa de El Portillo, a la salida del valle. Adicionalmente, el río Castril recibe aportes de aguas subterráneas procedentes de ambos márgenes, de manantiales situados en el contacto estratigráfico entre los carbonatos y las margas de baja permeabilidad. Las surgencias más destacadas situadas en este contexto son Juan Ruiz (1.177 m s.n.m.), localizado en la ladera NO de Sierra Seca, y Barranco Túnez (1.145 m s.n.m.), La Magdalena (1.164 m s.n.m.) y El Buitre – Lézar (977 m s.n.m.), todos ellos en la vertiente SE de la sierra de Castril. A la altura del embalse de El Portillo el cauce recibe el agua drenada por el manantial de Tubos, ubicado a 1.077 m s.n.m., en la terminación suroccidental de Sierra Seca. El caudal medio conjunto aportado por todos estos manantiales alcanza 1.654 l/s.

-El **río Guadalentín** adapta su trazado al del eje un pliegue sinclinal, entre la ladera oriental de la agrupación de acuíferos de la Sierra del Pozo y de la mitad occidental de la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril. Las principales aportaciones subterráneas son las que drenan los manantiales de Guazalamanco (1.068 m s.n.m.) y, sobre todo, Fuente Valentín (975 m s.n.m.), donde se han medido valores de caudal comprendidos entre 400 y 500 l/s (IGME, 2001). Aguas abajo, en el paraje conocido como Molino Peralta (entre 810 y 760 m s.n.m.), el río Guadalentín recibe un nuevo aporte de aguas subterráneas a su paso por un pequeño afloramiento de rocas carbonáticas del Mioceno superior, donde aumenta su caudal en 800 l/s, según la información disponible (Moral, 2005). La construcción del embalse de La Bolera modificó notablemente el contexto hidrogeológico de esta surgencia (IGME-UGR, 1990), puesto que en la cerrada del embalse se producen pérdidas. Antes de 1968, fecha de construcción de la presa, el manantial presentaba un caudal medio de 250 l/s (Delgado, 1985).

Cauces de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir (sector Alto Guadalquivir)

- El **río Guadalquivir** discurre en dirección SO-NE por el borde occidental del ámbito de estudio, entre las cotas 1.369 m s.n.m. (Nacimiento del Guadalquivir) y 638 m s.n.m. (presa del Tranco). Las aportaciones procedentes del ámbito de estudio, por su margen derecha, por un lado son debidas al río Borosa en un tramo ganador y los manantiales de Tubos y La Canal, de la agrupación de acuíferos de Sierra del Pozo y los manantiales de Aguasnegras y Aguamulas, de la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril.

- La depresión del Alto Guadalquivir continúa hacia el NNE por el valle del **río Guadalimar**, que es el límite N del ámbito de estudio, recibe descargas subterráneas de los relieves carbonáticos que quedan en su margen izquierda, por medio de otros ríos de menor entidad como el Trujala, que fluye por la ladera septentrional de la MASCH Yelmo, el río Morles, situado al NE de Orcera, y el río Carrizas, situado al N de Siles. Este último cauce recibe la descarga de los manantiales Arroyo Frío de Cotillas y arroyo de San Blas, localizados respectivamente a 1.060 y 892 m s.n.m., los cuales son los principales puntos de drenaje de la MASCH Calar del Mundo por su borde occidental en la vertiente atlántica, dentro de la DHG.

Cauces de la Demarcación Hidrográfica del Segura

-En el borde septentrional del ámbito de estudio se encuentra el **río Mundo**. En sus dos primeros kilómetros de recorrido recibe los aportes subterráneos de la mediterránea de la MASCH Calar del Mundo, a través la Cueva de los Chorros de Río Mundo (situada a 1.250 m s.n.m.), manantial de El

Molino y otras pequeñas surgencias. Hasta su confluencia con el río de la Vega, el río Mundo discurre prácticamente sobre arcillas del Trías, sin que exista relación alguna entre río y acuífero.

-El **río Tus** recorre, sobre formaciones del Cretácico Inferior, el cuadrante septentrional del ámbito de estudio (Relieve Invertido), desde la sierra del Agua (al SO) hasta la cola del embalse de la Fuensanta (NE). En el ámbito de estudio solo recibe aguas de forma difusa por la margen izquierda de los afloramientos permeables de la ladera oriental de la MASCH Calar del Mundo, donde es de carácter ganador.

-El **río Segura** es, junto al Guadalquivir, uno de los principales ejes de drenaje de la región. Su cabecera está situada en el borde noroccidental del altiplano segureño, en la localidad de Pontones, cuya máxima altitud es el Calar de las Palomas, con 1.964 m s.n.m. Discurre en sentido NE desde la cota 1.414 m s.n.m. (Nacimiento del Río Segura) hasta 720 m s.n.m., en el punto donde confluye con el río Zumeta. A partir de aquí, el río Segura prosigue su recorrido en sentido NE hasta que sus aguas son retenidas en el embalse de la Fuensanta junto a las del río Tus. Uno de los rasgos geomorfológicos más distintivos del valle del río Segura es el fuerte encajamiento que presenta su cauce en cabecera, en especial, entre Pontones y la aldea de La Toba. En este tramo de 14 km el río salva un desnivel de 400 metros; 700 metros si tenemos en cuenta la cota de coronación de la altiplanicie kárstica de la sierra del Almorchón, situada al S. El encajamiento ha erosionado buena parte de la secuencia sedimentaria prebética, lo que convierte al río Segura en un cauce con un claro carácter ganador por aportaciones puntuales de manantiales. Así, a lo largo de su recorrido por el tramo indicado, el río recibe los aportes de manantiales que drenan los carbonatos del Cretácico Superior-Terciario, como el Nacimiento del Río Segura, Molino de Loreto, Cueva del Agua o manantial de La Toba. Habría que añadir otras descargas subterráneas difusas a la altura del embalse de la Fuensanta, principal zona de drenaje de la Agrupación de acuíferos de la Sierra de Segura oriental-Socovos.

-El **río Zumeta**, es un cauce con carácter general ganador que discurre paralelo al río Segura hasta prácticamente su desembocadura cerca de la aldea de Miller. Recibe los aportes de manantiales situados en el propio cauce o próximos a él, que drenan las formaciones carbonáticas del Cretácico Superior-Terciario, como Arroyo Frío (situado a 1.339 m s.n.m), Muso (a 1.309 m s.n.m.), El Berral (a 1.282 m s.n.m), o el manantial de Tobos (a 1.113 m s.n.m), así como de forma difusa en un tramo de 12 Km entre las cotas 880 y 840 m s.n.m.

-Finalmente, cabe mencionar el **río Taibilla**, afluente del río Segura por su margen derecha, que en periodos húmedos recoge el agua de escorrentía y de algunos manantiales que drenan las estratificaciones orientales de la MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos y la MASCH Sierra de Taibilla. Es el caso del manantial de Las Fuentes, situado a 1.175 m s.n.m., una surgencia con un caudal medio aproximado de 140 l/s. También recibe alimentación de forma difusa entre las cotas 880 y 840 m s.n.m., y justo antes de su confluencia con el río Segura.

3.6. Usos del agua subterránea

Las necesidades hídricas en la región se han satisfecho históricamente, casi en su totalidad, con el agua drenada por los manantiales o mediante derivaciones en los cauces, por medio de acequias, aprovechando las elevadas cotas de surgencia de los primeros, aunque en zonas periféricas se ha optado de forma complementaria por la explotación mediante bombeos para completar la demanda de agua. Caben destacar los sondeos de los que se abastecen los municipios de Orcera, Benatae y Segura de la Sierra, en el cuadrante NO del ámbito de estudio, el núcleo rural de La Capellanía (Hornos), o las explotaciones por bombeo que se llevan a cabo distintos puntos del altiplano de la

Sierra de Segura para abastecimiento urbano de varias pedanías (Poyotello, Marchena, El Cerezo, Fuente Segura) pertenecientes al municipio de Santiago-Pontones. Las pedanías de El Almicerán y Los Torres (Castril) obtienen el agua de sondeos instalados sobre carbonatos cretácicos. La **tabla 3.2** recoge los sondeos más relevantes, ya sea por el uso del agua o por disponer de información piezométrica, de cuantos están recogidos en los inventarios previos. En cualquier caso, teniendo en cuenta la extensión y cuantía de recursos hídricos de la agrupación de MASCHs y que los sondeos abastecen a pequeños núcleos de población, el volumen de explotación por bombeo resulta despreciable.

Tabla 3.2. Características de los principales sondeos de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor

Nº Inventario IGME	Demoninación	Uso del agua	Cota m s.n.m.	Profundidad del sondeo metros	Cota Piezométrica m s.n.m.	Fecha cota piezométrica	Coordenadas UTM X Y		Red de control piezométrico
2138-4-0023	El Almicerán	Abastecimiento	1180	272	1054	1995	512150	4184050	
2138-4-0024	Fuentes Nuevas	Investigación	1077	175	976	1996-2017	511810	4181037	05.02.124
2138-4-0034	Cortijo Empalme	Investigación	1095	0	999	2002-2017	511390	4182568	05.02.024
2238-1-0008	Los Torres	Abastecimiento	1160	212		1993	514060	4183450	
2238-1-0010	Mármoles Castril	Investigación	1176	135	1155	1995-2017	514712	4183573	05.02.023
2238-1-0009	Mármoles Castril	Investigación	1170	125	1154	1996	514610	4183650	
2236-2-0008	Fuente Segura	Abastecimiento	1428	145	1420	1995-1997	527110	4217647	
2236-4-0013	Santiago de la Espada	Abastecimiento	1320	80	1306	1995-1997	539330	4218638	
2236-7-0008	El Cerezo	Abastecimiento	1418	112	1415	1995-1997	532256	4213275	
2236-4-0012	Los Atascaderos	Abastecimiento	1320	117	1320	1995-1997	534664	4216154	
2334-7-0001		Abastecimiento	960	88	914	1972	559495	4247251	
2234-8-0093		Abastecimiento	1100	220	1043	1995	539300	4245625	
2234-8-0095		Abastecimiento	1220	89	1167	1995	538450	4243850	
2234-8-0090		Abastecimiento	1100	89	1055	1993	537800	4244475	
2235-7-0056	La Capellanía	Abastecimiento	1060	237	976	2001	527580	4229555	
2235-3-0091	Trujala II	Abastecimiento	860	229	842	1997	531075	4237150	
2235-3-0088	Trujala I	Abastecimiento	840	146	838	1995-1997	530900	4237650	
2235-3-0082	Armurjo II	Abastecimiento	785	100	780	1997	531000	4241700	
2235-3-0086	Armurjo I	Abastecimiento	900	70	880	1994	531816	4242159	
2234-7-0037	Ayo. Peñalta I	Abastecimiento	910	59	885	1995-1997	530950	4244750	
2234-7-0019	Benatae	Abastecimiento	920	31	898	1982	530989	4244850	
2234-7-0038	Ayo. Peñalta II	Abastecimiento	980	102	934	1997	531060	4244480	

La mayor parte de los recursos hídricos procedentes de la agrupación de MASCHs son regulados, junto con la componente de escorrentía superficial, en los embalses situados en la cabecera de los ríos. La principal infraestructura hidráulica del ámbito de estudio en la cuenca del Segura es el embalse de La Fuensanta, de 210 hm³ de capacidad. Su presa está situada en el río Segura, aguas abajo de la confluencia con el río Tus, por lo que regula de manera conjunta el caudal aportado por ambos ejes preferenciales de drenaje subterráneo.

En el valle del río Guadalquivir se ubica el embalse del Tranco de Beas, límite occidental del ámbito de estudio, en el punto donde converge con el río Hornos. Este embalse tiene una capacidad de 498,2 hm³ y recoge los recursos subterráneos drenados por los manantiales situados en la ladera occidental de la Sierra de Segura y de la sierra del Pozo, además de otras aportaciones subterráneas procedentes de las sierras de Cazorla y Las Villas, fuera del ámbito de estudio. Más al N, la presa de Siles, con una capacidad de 30,2 hm³, retiene el agua del río Guadalimar y, con ello, logra regular el drenaje subterráneo del Calar del Mundo hacia la vertiente atlántica.

El sistema de regulación del Negratín está constituido por la presa del Negratín (567,1 hm³ de capacidad) y por otras que retienen los caudales de los tres principales ríos de la cuenca del río Guadiana Menor por su margen derecha. Los ríos Guadalentín, Castril y Guardal son

respectivamente regulados por las presas de La Bolera, El Portillo y San Clemente, involucrando a gran parte de los recursos subterráneos de la vertiente oriental de la sierra del Pozo, las sierras de Castril y Seca, y la vertiente meridional de la sierra de la Guillimona.

En el ámbito de estudio existen, además, otras presas más pequeñas construidas para diversos fines, entre los que cabe mencionar la generación de energía hidroeléctrica. De entre estas infraestructuras destaca el embalse de Anchuricas y el de la Novia, situados en los ríos Segura y Zumeta, respectivamente, cuyas aguas son derivadas mediante sendos canales a la central hidroeléctrica de Miller. Con el mismo objetivo se construyó la pantaneta de Los Órganos, en la cabecera del río Borosa.

4. ESTUDIO CLIMÁTICO

El contexto termopluviométrico de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor está caracterizado por la influencia un clima de tipo Mediterráneo con matices continentales, donde los inviernos son húmedos y fríos y los veranos suaves y secos. La distribución temporal de la precipitación presenta una notable estacionalidad. Las precipitaciones ocurren principalmente durante los meses de otoño, invierno y primavera, mientras que en los meses de verano apenas se registran lluvias. La orografía constituye un condicionante fundamental en la distribución de las precipitaciones y las temperaturas del entorno. En las zonas elevadas el régimen pluviométrico es mayor y las temperaturas considerablemente más bajas (con nevadas frecuentes y persistentes durante los meses de invierno) que en las zonas perimetrales de los macizos (emplazadas a menor cota). Las principales alineaciones montañosas de la Sierra de Segura (NNE-SSO) ejercen de barrera frente a los vientos húmedos predominantes procedentes del océano Atlántico (Cruz-San Julián et al., 1992). Esto origina gradientes pluviométricos pronunciados en las vertientes montañosas orientadas a barlovento, mientras que en las laderas orientadas a sotavento la precipitación es mucho más escasa (Castillo, 1988; Moral, 2005).

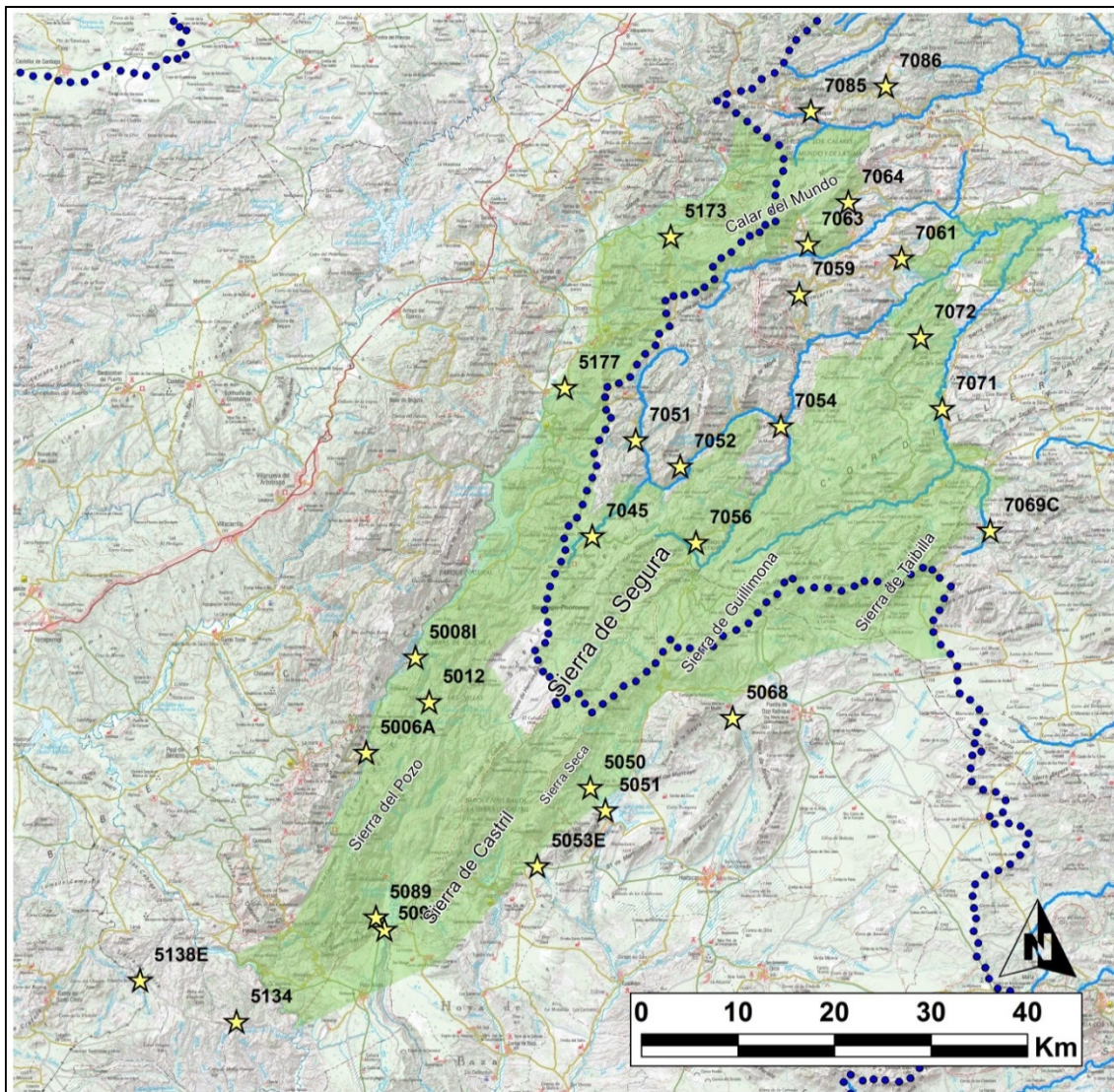


Figura 4.1. Estaciones climáticas utilizadas para la determinación de la recarga en la agrupación de MASCHs Alto Segura-Alto Guadiana Menor

4.1. Información meteorológica

El estudio climático para el cálculo de la recarga por la infiltración directa de la precipitación se ha realizado con los datos diarios del periodo comprendido entre octubre de 1974 y septiembre de 2019 (45 años hidrológicos). Con este fin, se han utilizado los datos de 27 estaciones representativas del área de estudio: 10 termopluviométricas y 17 pluviométricas cuya ubicación aparece recogida en la **figura 4.1**. Sus principales características están resumidas en la **tabla 4.1**. La totalidad de los datos proceden de la Agencia Estatal de Meteorología AEMET. Esta relación de estaciones cubre un rango de altitudes comprendido entre 1.363 (Santiago de la Espada) y 712 m s.n.m. (Salto de Miller). Todas las estaciones cuentan con una frecuencia de registro diaria.

Tabla 4.1. Estaciones climáticas utilizadas con sus principales características (Datum ETRS89)

	Estación	Provincia	X	Y	Z	Tipo
7059	Arguellite	Albacete	549476	4243137	961	P,T
	Cabra de Santo Cristo					
5138E	(Estación Huesa)	Jaén	483449	4174412	833	P,T
7086	Cañadas del Provencio	Albacete	558138	4264001	1106	P
5053E	Castril (Las Pocas)	Granada	523249	4185862	1113	P,T
5008I	Cazorla (Torre Vinagre)	Jaén	511032	4206766	978	P,T
	Cazorla Vadillo (Centro de					
5006A	Capacitación)	Jaén	506110	4197204	1006	P
5134	Huesa (Cerro Miguel)	Jaén	493116	4170238	905	P
5050	Huércar (Fuente del Guardal)	Granada	528551	4193707	1193	P
5051	Huércar (San Clemente)	Granada	530060	4191435	1067	P
5012	La Iruela (La Fresnedilla)	Jaén	512418	4202297	1109	P
7069C	Moratalla (Casas de Alfaro)		568590	4219449	1254	P,T
5090	Pantano de la Bolera	Jaén	507927	4179484	994	P,T
7045	Pontones (C. H. Segura)	Jaén	528755	4218889	1360	P,T
5089	Pozo Alcón (El Hornico)	Jaén	507069	4180716	1136	P
7071	Presa del Taibilla	Albacete	563794	4231678	925	P
	Puebla de Don Fadrique (Los					
5068	Guijarros)	Granada	542804	4200705	1226	P
7085	Riópar (Fábricas)	Albacete	550623	4261484	970	P,T
7054	Salto de Miller	Jaén	547635	4229920	792	P,T
7056	Santiago de la Espada	Jaén	539132	4218255	1363	P,T
	Santiago de la Espada (La					
7052	Toba)	Jaén	537562	4225891	1190	P
7072	Sege	Albacete	561624	4238812	957	P
5177	Segura de la Sierra (El Ojuelo)	Jaén	525980	4233767	812	P
7051	Segura de la Sierra (La Laguna)	Jaén	533099	4228523	1130	P
5173	Siles	Jaén	536606	4248912	834	P
7064	Yeste (Hoya Parrilla)	Albacete	554391	4252385	1027	P
7063	Yeste (Villar de Tus)	Albacete	550343	4248135	899	P
7061	Yeste (C.H.S.)	Albacete	559715	4246742	900	P

4.2. Análisis espacio-temporal

Análisis temporal

La selección de las estaciones para el estudio termopluviométrico de la zona se ha realizado en función de la longitud temporal de las series de datos y del porcentaje de datos incompletos en el registro, para el periodo considerado (1974/75 – 2018/19). El proceso de corrección de las series de datos termométricos y pluviométricos ha consistido en el completado de las lagunas existentes en el registro. El primer paso ha consistido en identificar los vacíos de datos en el registro original y proceder al completado de series por regresión lineal, entre los pares de estaciones con el mayor coeficiente de correlación (R^2). Para la detección de errores puntuales y sistemáticos en las series de datos pluviométricos, se ha realizado un análisis mediante el método de dobles masas.

La precipitación global en la agrupación de MASCHs se ha calculado por la media aritmética de las 27 estaciones pluviométricas obteniéndose el yetograma anual de valores representativos de la serie de la **figura 4.1**. La lluvia media anual ha sido cifrada en 557 mm/año. Este valor se ha tenido en cuenta para la caracterización de los años tipo (húmedos medios y secos) pero no para la evaluación de la recarga, calculada a partir de polígonos de Thiessen, que pondera de forma más realista la distribución de las precipitaciones.

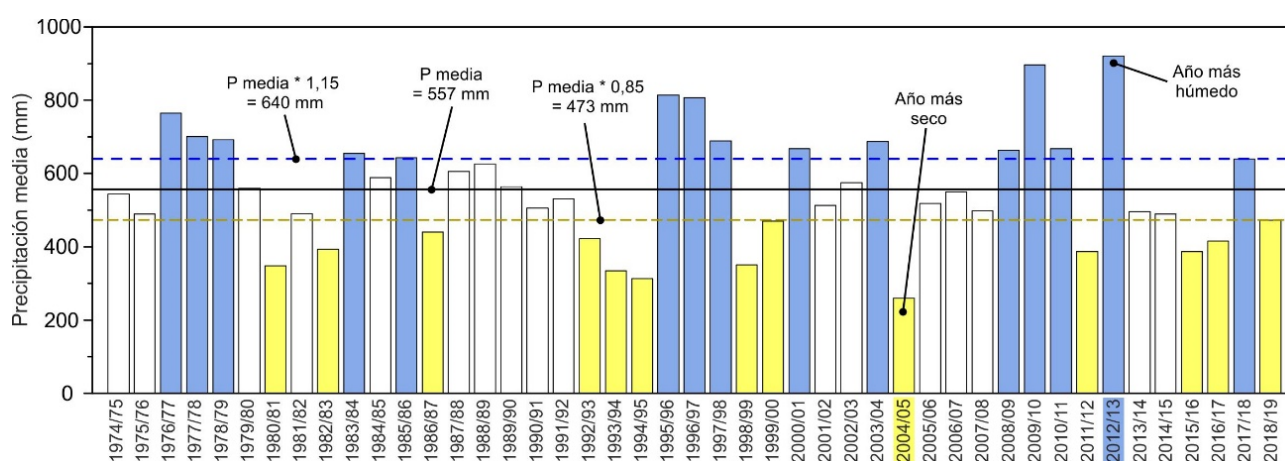


Figura 4.2. Distribución temporal de la precipitación media anual durante el periodo 1974/75 – 2018/19 en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor. En azul, años de tipo húmedo, en blanco tipo medio y en amarillo, de tipo seco

La caracterización de los periodos húmedos, medios y secos se ha llevado a cabo a partir de la definición de los años tipo, para lo que se han utilizado los umbrales del 15% superior e inferior al valor medio. Los años cuya precipitación es igual o superior al valor medio más un 15% (en este caso, este umbral corresponde a 640 mm) se consideran húmedos, mientras que aquellos años cuya precipitación es igual o inferior al valor medio menos el 15% (473 mm) se consideran como secos. Los años con características medias son aquellos en los que la lluvia registrada está comprendida entre los umbrales antes citados (figura 4.2).

En el periodo 1974/75 – 2018/19 se han identificado 14 años húmedos, 13 secos y 18 medios. El año hidrológico más húmedo del registro fue 2012/13 con una precipitación media de 920 mm, mientras que el más seco de la serie, con 260 mm de media, fue 2004/05 (**Figura 4.1**). En los 45 años hidrológicos de registro se puede observar la alternancia de periodos con precipitación superior a la media (1976/77 - 1979/80, 1983/84 - 1985/86, 1995/96 - 1997/98 y 2008/09 - 2010/11) y otros en los que se registró un valor inferior (1980/81 - 1982/83, 1990/91 - 1994/95, 2004/05 - 2007/08 y 2013/14 - 2016/17).

Análisis espacial

Existe una clara relación entre la altitud de las estaciones pluviométricas y la cantidad de precipitación registrada en ellas. Para establecer el gradiente pluviométrico o la relación entre la cantidad de lluvia y la cota topográfica, se ha efectuado la correlación lineal entre los datos de precipitación media anual (mm) del periodo 1974/75 – 2018/19 y la altitud (m s.n.m.) de cada estación. Los relieves de la Sierra de Segura y áreas próximas se alinean en dirección aproximada NNE – SSO, enfrentados a los vientos húmedos procedentes del Atlántico, que son el origen principal de las precipitaciones en la región. Esto origina dos gradientes claramente diferenciados según la vertiente que se considere: uno a sotavento y otro a barlovento de los frentes dominantes. El gradiente calculado (**Figura 4.3**) ha sido de 34 mm/100 m para las situadas a sotavento (vertiente ESE) y de 53 mm/100 m para las estaciones ubicadas a barlovento (vertiente ONO).

En cuanto a la distribución espacial de la temperatura ocurre lo contrario de lo observado con los gradientes altitudinales de precipitación: la temperatura descende con la altitud en toda la región. El gradiente calculado ha sido de $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ de altitud. El coeficiente de correlación obtenido entre ambas variables es significativo ($R^2 = 0,80$), lo que permite asumir un fuerte condicionante del relieve en la distribución de la temperatura del aire (**Figura 4.3, D**).

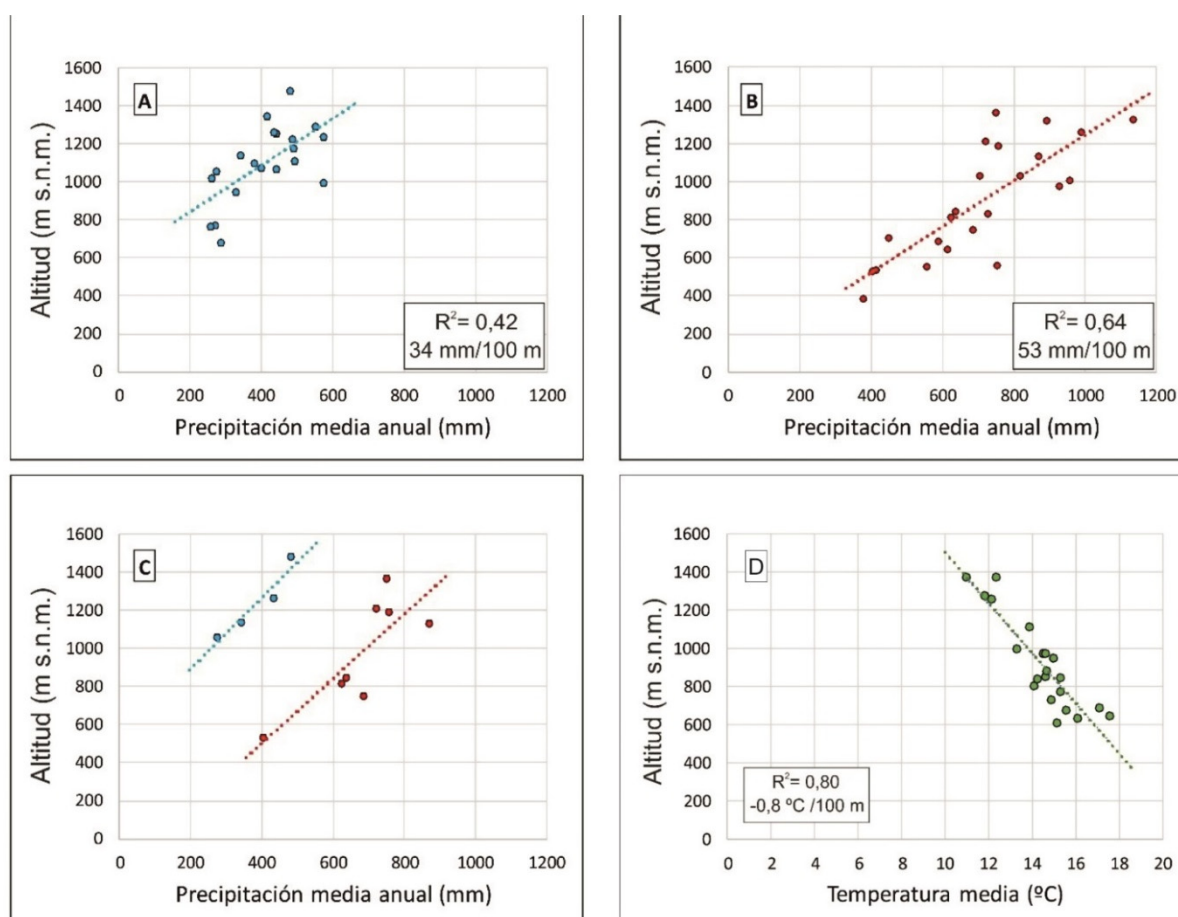


Figura 4.3. Gradientes pluviométricos en función de la altitud correspondientes al periodo 1974/75 – 2018/19. (A) gradiente calculado para la vertiente ESE (sotavento). (B) Gradiente calculado para la vertiente ONO (barlovento). (C) Comparación de los gradientes obtenidos para las estaciones seleccionadas. (D) Gradiente térmico obtenido para toda agrupación de MASCHs

A partir de los datos de las estaciones seleccionadas, y de la tendencia regional, se han elaborado la distribución espacial de las precipitaciones con sendos mapas de isoyetas (**figura 4.4**) para el año medio del periodo (1974/75-2018/19), y para los de tipo seco (2004/05) y húmedo (2012/13). La precipitación media anual cae sobre los afloramientos permeables de la agrupación de

MASCHs objeto de este estudio (periodo 1974/75 – 2018/19), determinada mediante planimetría de isoyetas, es 740 mm.

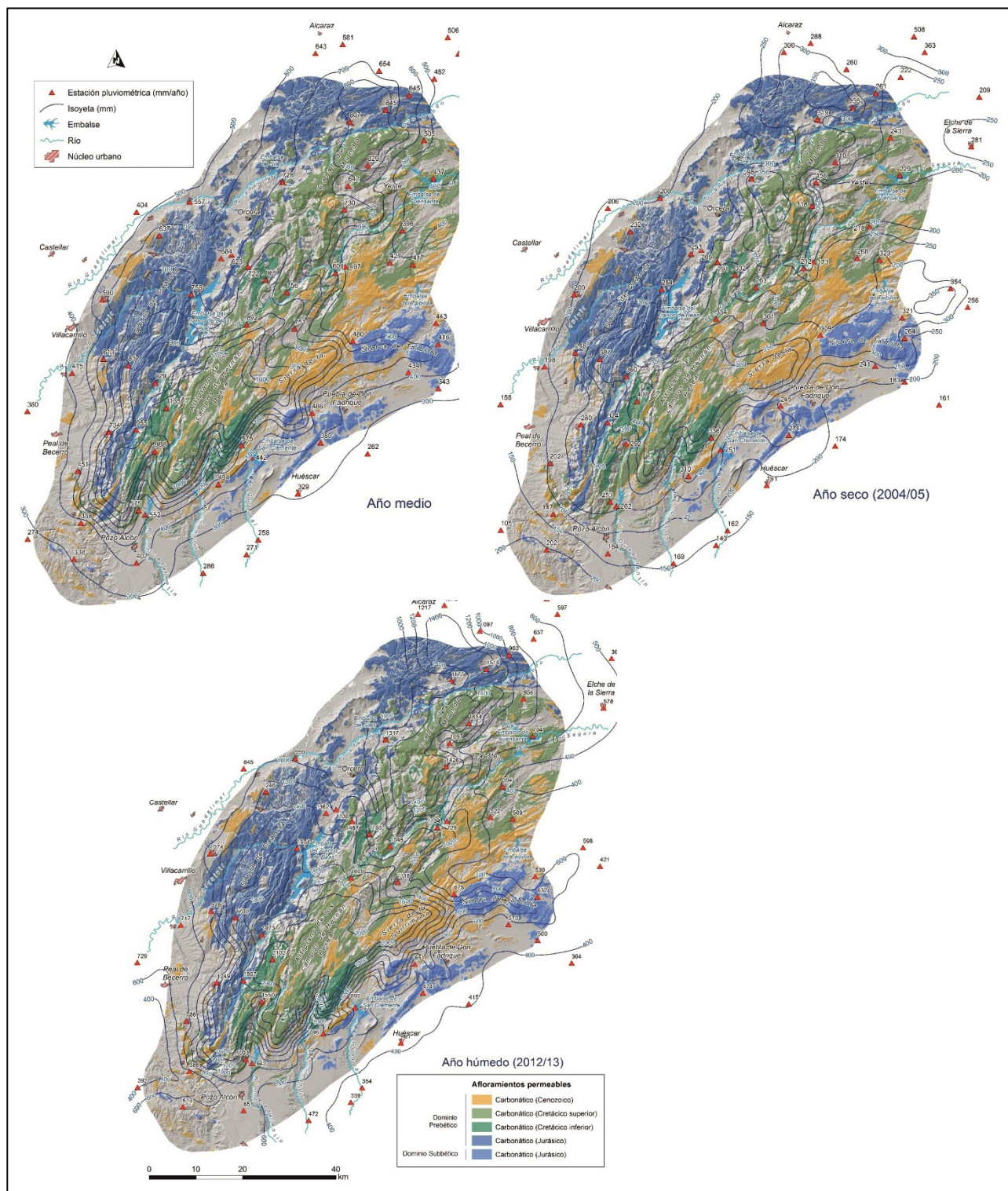


Figura 4.4. Isoyetas para el año medio y los años tipo seco (2004/05) y húmedo (2012/13)

El trazado de isoyetas debe considerarse como aproximado, especialmente en las zonas más elevadas, donde no existe una densidad suficiente de estaciones que permita el trazado preciso de las isolíneas de precipitación. La distribución espacial de la precipitación es similar en las tres condiciones hidroclimáticas consideradas, aunque con magnitudes distintas. En términos generales,

la lluvia en la vertiente occidental de las alineaciones montañosas (laderas de barlovento) es significativamente más elevada que en la vertiente oriental. La precipitación se concentra en torno a las áreas de mayor elevación (sierras del Pozo, Castril y de la Guillimona, Campos de Hernán Pelea y Calar del Mundo) y disminuye de forma progresiva hacia las zonas perimetrales de la sierra, situadas a menor cota.

5. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA

RENATA (REcarga NATural a los Acuíferos) es un código de evaluación de la recarga a los acuíferos que combina dos metodologías tradicionales de estimación de este parámetro a través de un único proceso de cálculo iterativo (**Figura 5.1**). Dichos métodos son: el balance de agua en el suelo y la estimación de la recarga a los acuíferos mediante un modelo numérico de flujo en diferencias finitas. El enfoque conjunto y coordinado del empleo de ambas metodologías al unísono pretende garantizar una mejor coherencia entre los resultados que ofrece el balance de agua en el suelo -que proporciona la magnitud de la recarga potencial- y las fluctuaciones del nivel freático -que refleja los efectos de la recarga real- en el acuífero.

Los resultados que proporciona un balance de humedad en el suelo se vienen utilizando, desde hace algún tiempo, como datos de entrada a un modelo numérico de flujo, para que este valide la bondad de la estimación realizada, pero sin que ambos procesos de cálculo se interrelacionen automáticamente entre sí mediante una única sistemática de procesamiento de datos. Esta era la forma en que operaba la primera versión de RENATA (DPA-IGME, 2012).

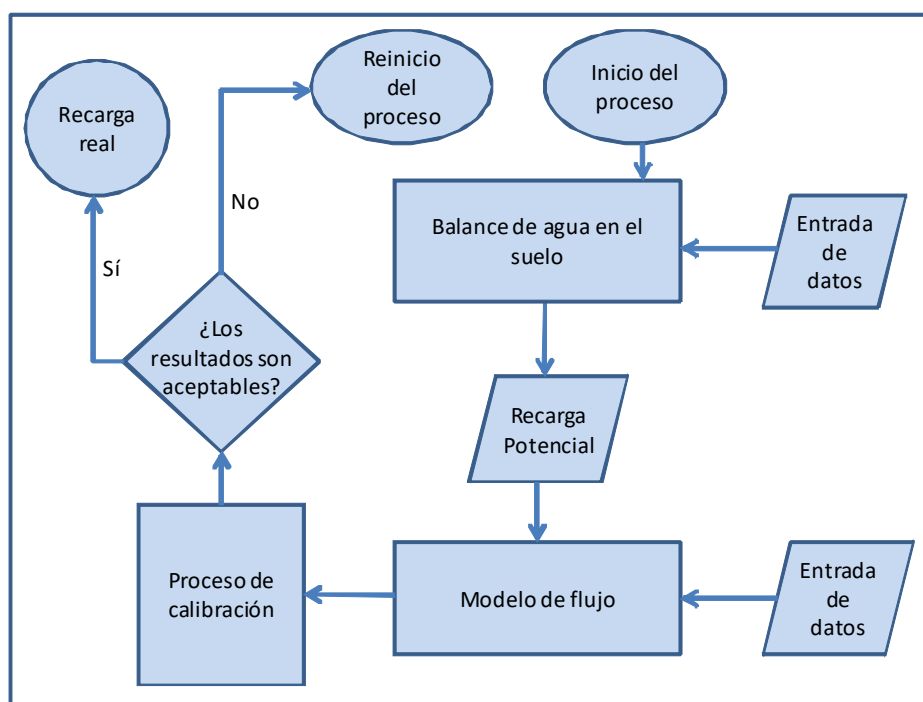


Figura 5.1. Diagrama de flujo del código RENATA

El código opera el balance de agua en el suelo de manera distribuida a partir de dividir la superficie permeable del terreno sobre la que se puede infiltrar agua en tres tipos de sectores: climáticos, suelo y riego. El proceso de cálculo permite definir y calibrar de forma distribuida un parámetro tan incierto y difícil de determinar como la reserva de agua en el suelo. RENATA, una vez calibrado, también se puede utilizar como una herramienta complementaria de apoyo a la predicción y a la simulación de hipótesis de gestión, siempre que no sea recomendable o preciso realizar una modelación de flujo más específico o de mayor detalle, por lo que resulta una herramienta útil para la identificación y delimitación de divisorias hidrogeológicas, que es uno de los objetivos del presente trabajo.

La aplicación de este código ofrece una serie de ventajas frente a otras metodologías de estimación de la recarga a los acuíferos como son:

- Utiliza parámetros distribuidos y tiene en cuenta el valor de la precipitación y de la temperatura en el tiempo y en el espacio.
- Calcula la recarga a nivel diario y proporciona series temporales de la misma en toda la superficie del acuífero para cada una de las celdas de la malla en las que se subdivide su superficie.
- Permite la simulación del flujo subterráneo, por lo que los valores de recarga son ajustados y calibrados con series de niveles piezométricos e hidrogramas de las descargas.
- En el ajuste y calibración también se pueden incluir las series de extracciones históricas.

La estimación de la recarga mediante la aplicación del código RENATA contempla los pasos que se sintetizan en la **figura 5.2**.

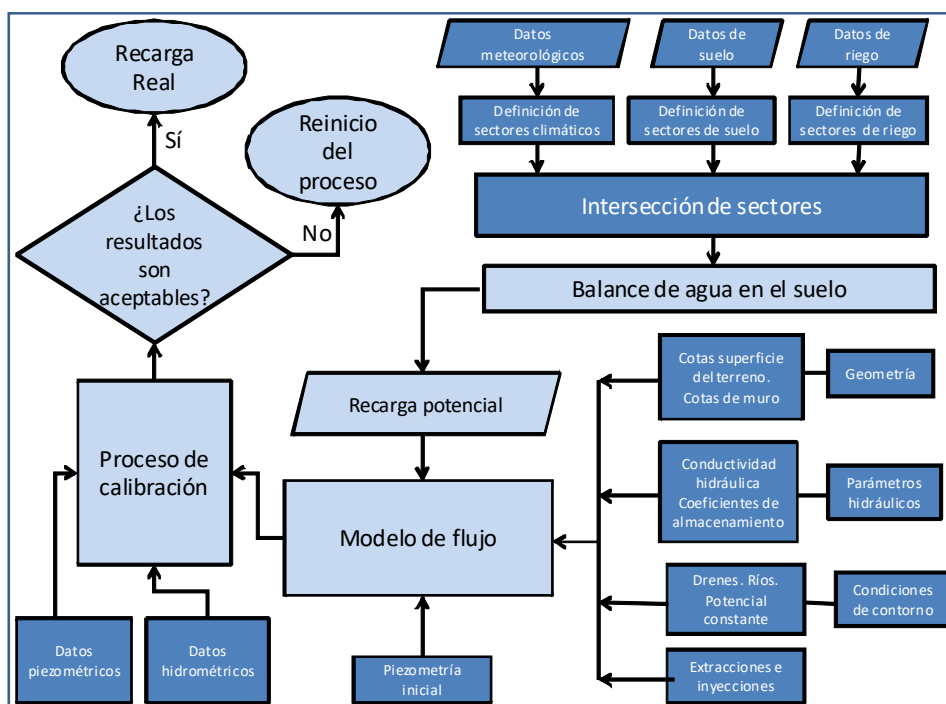


Figura 5.2. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.

En el documento elaborado por IGME-DPA (2012) titulado “RENATA (Recarga Natural de Acuíferos). Manual del Usuario” se detallan con precisión todos los métodos de los que dispone el programa para calcular la evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, lluvia útil, infiltración y escorrentía superficial.

El balance de agua en el suelo se ha obtenido aplicando la siguiente metodología:

- Cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETP) con 4 posibles métodos: Thornthwaite, Hargreaves, Blaney-Criddle para calcular la evapotranspiración de referencia y Blaney-Criddle para calcular la evapotranspiración de cultivo.
- Determinación de la lluvia útil (LLU) mediante el método del balance de agua en el suelo de Thornthwaite modificado por G. Girard (1981).
- Descomposición de la lluvia útil (LLU) en escorrentía (ESC) e infiltración (INF) mediante el método del Soil Conservation Service de los EE. UU. del número de curva.

La nueva versión de RENATA (DPA-IGME, 2019), que es la que se emplea en el presente documento, se caracteriza por presentar un procedimiento de cálculo y calibración continuo que lo hacen novedoso, versátil y sencillo de manejar, aunque su utilización exige disponer de un modelo conceptual del acuífero robusto y plausible.

5.1. Generación de la malla y establecimiento del periodo de cálculo

Partiendo del esquema hidrogeológico de la **figura 3.4**, la agrupación de MASCHs está constituida por materiales permeables carbonatados que afloran en buena parte de su extensión. Para la aplicación del código RENATA se ha definido un mallado rectangular de coordenadas UTM X: 491000-578000 e Y: 4169000-4262000 en la que queda enmarcada la superficie sujeta al proceso de cálculo y estimación de la recarga. La malla definida consta de 93 filas y 87 columnas con celdas de tamaño 1x1 Km². Las de tipo activo (ámbito espacial de los acuíferos) ocupan una extensión de 1.774 km².

La generación de la malla se centra en los acuíferos carbonatados del Cretácico y Terciario que conforman las zonas con continuidad hidrogeológica entre cuencas, excepto en la MASCH Sierra de Taibilla, donde predominan los materiales carbonatados del Jurásico. Tal y como se ha definido en el **epígrafe 3.5** de funcionamiento hidrogeológico, la agrupación de MASCHs se compone de un total de 12 zonas de agrupación de unidades hidrogeológicas que son prácticamente independientes, con algunas conexiones parciales entre sí, estando en continuidad hidrogeológica entre las cuencas hidrográficas del Guadalquivir y Segura 8 de ellas, que son las que se han definido como MASCHs en este trabajo: (1) MASCH Calar del Mundo, (2) MASCH Navalperal, (3) MASCH Yelmo, (4) MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril, (5) MASCH Sierra Seca, (6) MASCH Sierra Guillimona, (7) MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos y (8) MASCH Sierra de Taibilla. El resto se encuentran totalmente integradas en la DHG. Los cálculos realizados en RENATA se realizan para la totalidad de la agrupación de MASCHs y son desglosados para cada MASCH con el fin de evaluar los recursos de cada una de ellas, asignados según las cuencas hidrográficas.

En la **figura 5.3** se recoge la discretización y límites definidos en el modelo implementado RENATA de acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento, indicándose los compartimentos que componen las 8 MASCH y los sentidos generales del flujo subterráneo esperado hacia las zonas de drenaje, principalmente manantiales y cauces ubicados en ambas cuencas hidrográficas.

Las MASCH ubicadas al NO drenan hacia manantiales ubicados en la DHG por lo general, a excepción del Calar del Mundo que presenta una divisoria hacia la DHS, alimentando principalmente los nacimientos de río Mundo y, en menor medida, el río Tus, que funciona como río ganador en esta zona. Por otro lado, las MASCH más meridionales drenan principalmente hacia manantiales ubicados en la DHG hacia el sur, alimentando las cabeceras del río Bravatas en el caso de la MASCH Sierra Guillimona, las cabeceras del río Guardal en el caso de la MASCH Sierra Seca y los manantiales de Peralta, Fuentes de Valentín, Nacimientos del río Castril, Aguas Negras y Aguamulas, en el caso la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril, aunque también existe una divisoria subterránea importante que se dirige hacia los Nacimientos del río Segura hacia el N. Por el contrario, el resto de MASCH drenan principalmente hacia la DHS, ya que la MASCH Sierra de Tabilla tan solo posee un punto de descarga hacia el manantial de Las Fuentes, ubicado hacia el norte. Por su parte la MASCH Sierra de Segura occidental-Socovos tienen dirección de flujo hacia el NE, destacando los manantiales de La Toba y Arroyofrío, y principalmente alimentan a

varios cauces, tales como el río Zumeta, el río Taibilla y finalmente el río Segura a la altura del embalse de Fuensanta, en la DHS.

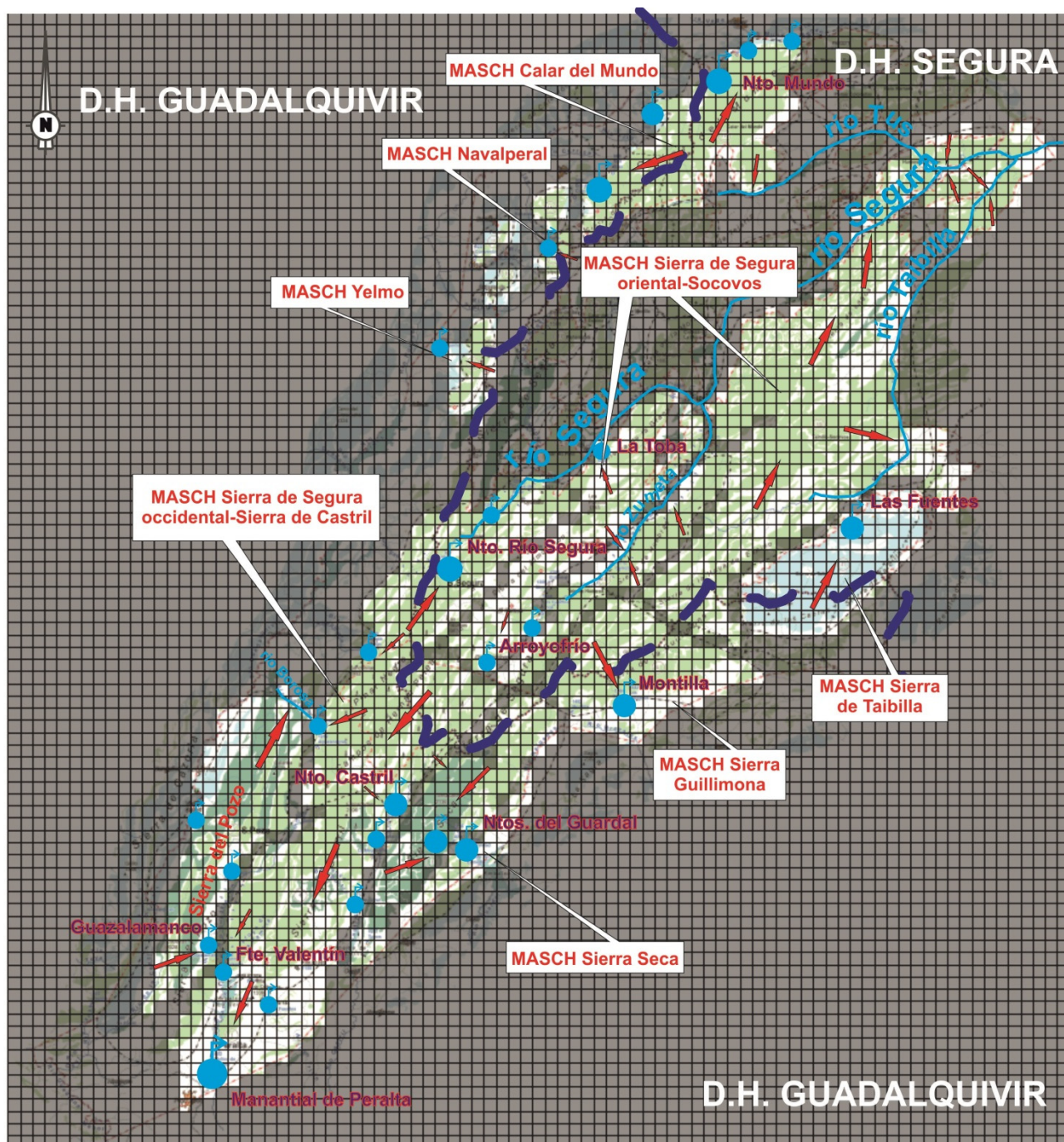


Figura 5.3. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante RENATA de acuerdo con el modelo conceptual. Se indican las 8 MASCH, principales direcciones de flujo y puntos de descarga (manantiales y ríos) relacionados con las mismas.

Hay que señalar en la **figura 5.3** (y en las sucesivas en las que se visualiza la malla del modelo RENATA) no se han considerado como celdas activas las que abarcan los sectores de la MASb ES050MSBT0000520 Quesada-Castril correspondientes a los acuíferos Jurásicos colindantes con la Sierra de Cazorla, ya que, como se ha comentado en los apartados de hidrogeología, estos se encuentran desconectados hidráulicamente de los acuíferos Cretácicos y se ubican en la DHG, ni los acuíferos de la MASb ES070MSBT0000015 Segura-Madera-Tus, cuyos límites se encuentran

totalmente en la DHS y no presenta ningún drenaje hacia la DHG, por lo que estos no forman parte del área de estudio y, por tanto, tampoco del modelo.

El cálculo de la recarga se ha realizado a nivel diario en cada una de las celdas activas del mallado para un periodo de 41 años hidrológicos comprendidos entre 1974/75 y 2014/15, en el que se considera que se ha mantenido un régimen similar al natural. Se ha tenido en cuenta la extensión de afloramientos permeables de la agrupación de MASCHs y la localización y cota de los manantiales y ríos, al no existir prácticamente información piezométrica ni bombeos relevantes en toda su extensión. Los parámetros restantes se han calculado a partir de la calibración del código RENATA.

5.2. Módulo de Balance hídrico

Sectores climáticos

La discretización permite calcular la lluvia útil (*LLU*) a partir de las estaciones meteorológicas de la región, según la malla de celdas diseñada. Para obtener la recarga por agua de lluvia se ha utilizado el método de los polígonos de Thiessen, a partir de algunas de las estaciones pluviométricas consideradas en la caracterización climática (**Tabla 4.1**). En el ámbito de estudio se han generado 23 polígonos de Thiessen (**Figura 5.4**), a los que se han asignado series de datos de evapotranspiración potencial (*ETP*) procedentes de la estación termométrica más cercana. En la tabla 5.1 se muestran las características de cada uno de los sectores climáticos. Los datos de precipitación, temperatura y de *ETP* utilizados en el modelo son diarios.

La precipitación media ponderada por este método resulta **697 mm**, mayor que la media aritmética obtenida para todas las estaciones y menor a la ponderada por planimetría de isoyetas, ya que tiene en cuenta con mayor peso las estaciones que se encuentran próximas a las zonas permeables, por lo que resulta un método muy efectivo en zonas con importantes gradientes de precipitación en relación a la altitud y el comportamiento climático en relación a la posición a sotavento y a barlovento de los frentes dominantes. La *ETP* media resultante es de 1.124 mm.

Sectores de suelo

Los sectores del suelo se han definido a partir del esquema hidrogeológico de la **figura 3.4**, donde se tienen en cuenta como materiales permeables los carbonatos (**figura 5.5**). Para asignar un valor inicial a los parámetros del suelo, además de criterios hidrogeológicos y de conocimiento experto de la zona, se ha partido de los utilizados para la estimación de la recarga en la bibliografía previa. No obstante, dichos parámetros han sido recalibrados por sectores mediante la observación del comportamiento hidrogeológico atendiendo a un mayor o menor grado de permeabilidad/karstificación relativa.

Tabla 5.1. Características de los sectores climáticos (1974/75-2014/15).

Sector Climático	Estación Pluviométrica	Estación Termométrica	Superficie (Km ²)	Precipitación Media (l/m ² /a)	ETP Media (l/m ² /a)
1	Arguellite - 7059	7059	6	738	1174
2	Cañadas del Provencio - 7086	7085	1	845	1178
3	Castril (Las Pocas) - 5053E	5053E	79	491	1149
4	Cazorla Vadillo - 5006A	5008I	75	1109	836
5	Huesa (Cerro Miguel) - 5134	5138E	0	547	1286
6	Huéscar (Fte. Guardal) - 5050	5053E	131	598	1149
7	La Iruela (La Fresnedilla) - 5012	5008I	144	1152	836

Sector Climático	Estación Pluviométrica	Estación Termométrica	Superficie (Km ²)	Precipitación Media (l/m ² /a)	ETP Media (l/m ² /a)
8	Pontones (C. H. Segura) - 7045	7045	154	911	1111
9	Pozo Alcón (El Hornico) - 5089	5090	150	602	1243
10	Presa del Taibilla - 7071	7069C	189	427	1169
11	Puebla (Los Guijarros) 5068	5053E	115	494	1149
12	Riópar (Fábricas) - 7085	7085	18	814	1180
13	Salto de Miller 7054	7054	138	612	1225
14	Santiago de la Espada - 7056	7056	192	762	1146
15	S. la Espada (La Toba) - 7052	7056	35	772	1146
16	Sege 7072	7059	75	463	1174
17	S. la Sierra (La Laguna) - 7051	7045	21	891	1111
18	S. de la Sierra (El Ojuelo) - 5177	5008I	16	644	836
19	Siles - 5173	7085	51	749	1180
20	Yeste (Hoya Parrilla) - 7064	7085	33	855	1180
21	Yeste (Villar de Tus) - 7059	7059	55	656	1174
22	Yeste CHS 7061	7059	89	621	1174
23	Huéscar San Clemente 5051	5053E	7	448	1149
Total/ Media Ponderada			1.774	697	1.124

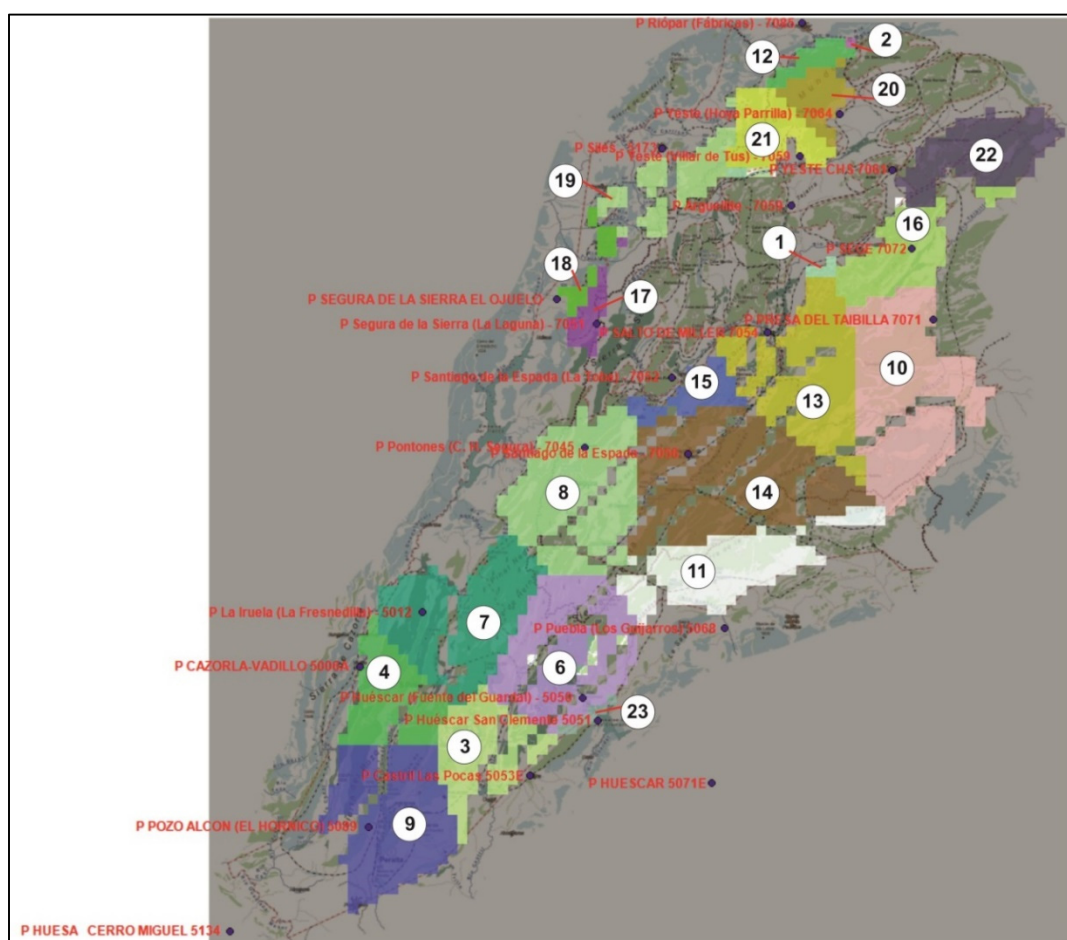


Figura 5.4. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA

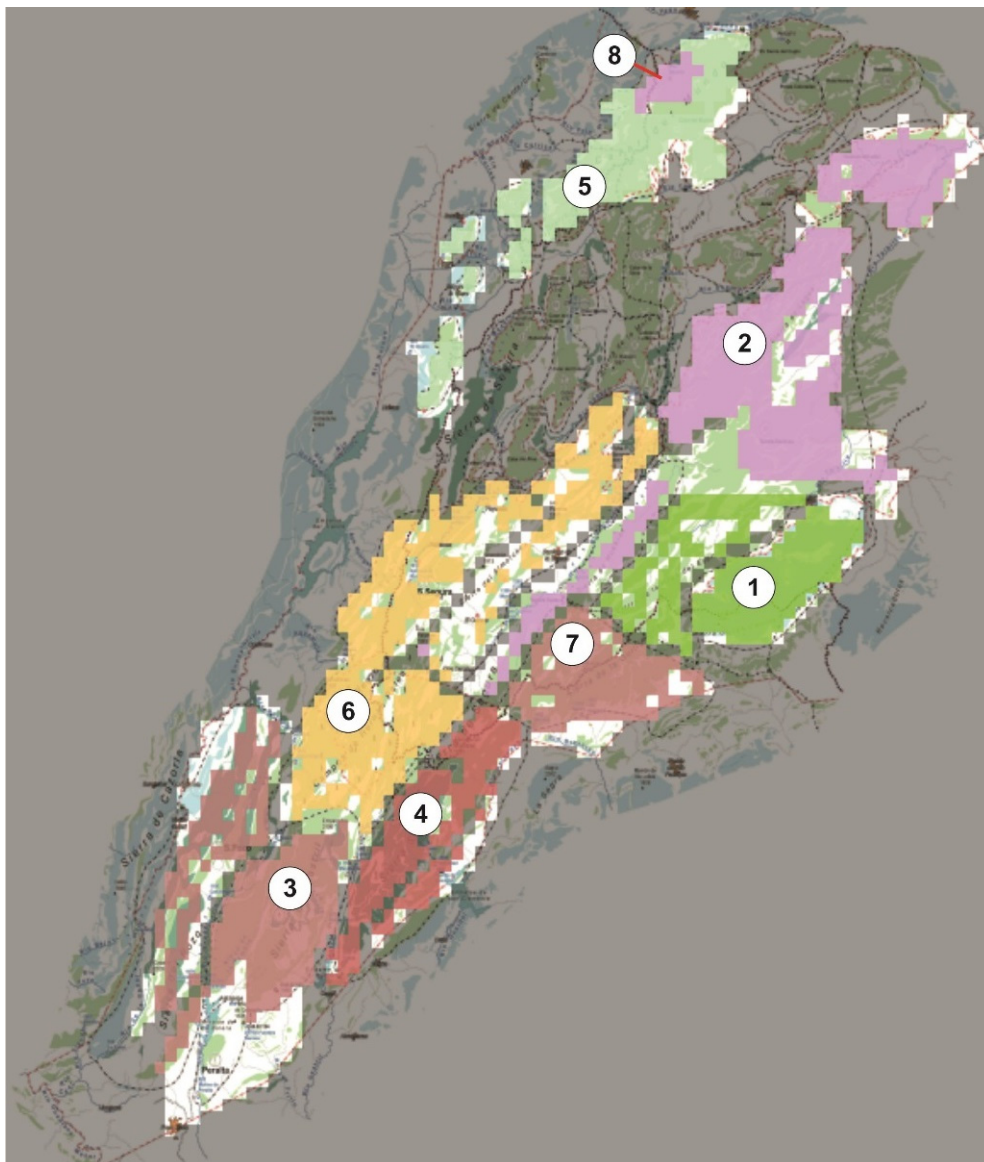


Figura 5.5.- Sectores de suelo aplicados en el código RENATA

En la **tabla 5.2** se muestra el valor de los parámetros resultantes tras el proceso de calibración adaptado al funcionamiento hidrogeológico del sistema durante la ejecución de dicha operación. Como se puede observar, los valores de reserva útil (R.U.) en los carbonatos varían entre 90 y 20 mm atendiendo a su grado de karstificación, sin embargo en el caso particular del nacimiento de río Mundo (sector Cueva de los Chorros), cuyo peculiar comportamiento “*trop plein*” registra fenómenos de crecida muy marcados, ha sido simulado con un “artefacto” con R.U. = 3 mm con el fin de que todo el agua de precipitación caída en esta zona se infiltrase y descargase rápidamente a través del manantial, comportamiento que parcialmente ha podido ser reproducido con el modelo RENATA. En el caso del Umbral de Escorrentía (P_0), los valores quedarían entre 35 y 50 mm, lo que se correspondería con materiales muy permeables en los que se produciría escorrentía tan solo en periodos húmedos. En el particular caso del Sector Chorros, este parámetro se ha aumentado hasta 100 mm con el fin de evitar periodos de escorrentía superficial a favor de simular la escorrentía subterránea.

Tabla 5.2. Sectores de suelo: parámetros utilizados

Sector del Suelo	Descripción	Superficie (Km ²)	Parámetros Calibrados
1	Carbonatos Jurásico (S. Taibilla)	83	RU _{min} = 60 mm; RU _{max} = 80 mm; P ₀ = 35 mm; NC = 59)
2	Carbonatos Cret. Segura oriental	279	RU _{min} = 60 mm; RU _{max} = 90 mm; P ₀ = 35 mm; NC = 59)
3	Carbonatos Cret. Sector Meridional (Sierra de Castril-El Pozo)	194	RU _{min} = 50 mm; RU _{max} = 70 mm; P ₀ = 50 mm; NC = 50)
4	Carbonatos Cret. Inferior (Sierra Seca)	103	RU _{min} = 20 mm; RU _{max} = 30 mm; P ₀ = 35 mm; NC = 59)
5	Carbonatos Cret. Sector Septentrional (Calar del Mundo)	124	RU _{min} = 20 mm; RU _{max} = 30 mm; P ₀ = 50 mm; NC = 50)
6	Carbonatos Cret. Segura occidental	249	RU _{min} = 30 mm; RU _{max} = 40 mm; P ₀ = 45 mm; NC = 53)
7	Carbonatos Cenozoicos (Guillimona-Pincorto)	150	RU _{min} = 60 mm; RU _{max} = 80 mm; P ₀ = 35 mm; NC = 59)
8	Sector Cueva de los Chorros (Nto. Río Mundo)	16	RU _{min} = 3 mm; RU _{max} = 3 mm; P ₀ = 100 mm; NC = 34)
Total afloramientos permeables		1.198	

En la **tabla 5.2** se muestra el valor de los parámetros resultantes tras el proceso de calibración adaptado al funcionamiento hidrogeológico del sistema durante la ejecución de dicha operación. Como se puede observar, los valores de reserva útil (R.U.) en los carbonatos varían entre 90 y 20 mm atendiendo a su grado de karstificación, sin embargo en el caso particular del nacimiento de río Mundo (sector Cueva de los Chorros), cuyo peculiar comportamiento “*trop plein*” registra fenómenos de crecida muy marcados, ha sido simulado con un “artefacto” con R.U. = 3 mm con el fin de que todo el agua de precipitación caída en esta zona se infiltrase y descargase rápidamente a través del manantial, comportamiento que parcialmente ha podido ser reproducido con el modelo RENATA. En el caso del Umbral de Escorrentía (P₀), los valores quedarían entre 35 y 50 mm, lo que se correspondería con materiales muy permeables en los que se produciría escorrentía tan solo en periodos húmedos. En el particular caso del Sector Chorros, este parámetro se ha aumentado hasta 100 mm con el fin de evitar periodos de escorrentía superficial a favor de simular la escorrentía subterránea.

Sectores de riego

Teniendo en cuenta que las zonas permeables están representadas por zonas mayoritariamente montañosas y rocosas, en RENATA y de acuerdo a las directrices establecidas en estudios previos, se considera que en todo el área de estudio no existe recarga por retorno de riegos, por lo que no se definen sectores de riego.

Intersección de sectores y definición de áreas de recarga

Como resultado de la intersección de los sectores diferenciados para el clima y suelo, se han identificado 43 áreas con distinta tasa de recarga, cuya distribución se muestra en la **tabla 5.3**, donde se recogen la superficie de cada sector, el sector climático y de suelo que las han originado y el volumen de recarga media anual para cada uno de ellos. El volumen resultante del Módulo de Balance Hídrico de RENATA es una infiltración media de 343,5 hm³/a, sobre una superficie de materiales permeables de 1.198 km².

Tabla 5.3. Áreas de intersección con diferente recarga

Área	Superficie (km ²)	Sector climático	Sector suelo	Recarga (hm ³ /año)
1	9	12	Carbonatos Cret. Sector Septentrional (Calar del Mundo)	3,77
2	6	12	Sector Cueva de los Chorros (Nto. Río Mundo)	3,60
3	17	20	Carbonatos Cret. Sector Septentrional (Calar del Mundo)	7,94
4	6	20	Sector Cueva de los Chorros (Nto. Río Mundo)	4,00
5	40	21	Carbonatos Cret. Sector Septentrional (Calar del Mundo)	11,95
6	3	21	Sector Cueva de los Chorros (Nto. Río Mundo)	1,43
7	43	19	Carbonatos Cret. Sector Septentrional (Calar del Mundo)	15,48
8	60	22	Carbonatos Cret. Segura oriental	10,12
9	2	1	Carbonatos Cret. Sector Septentrional (Calar del Mundo)	0,69
10	62	16	Carbonatos Cret. Segura oriental	3,61
11	4	18	Carbonatos Cret. Sector Septentrional (Calar del Mundo)	1,48
12	4	1	Carbonatos Cret. Segura oriental	0,96
13	46	13	Carbonatos Cret. Segura oriental	6,76
14	9	17	Carbonatos Cret. Sector Septentrional (Calar del Mundo)	4,45
15	79	10	Carbonatos Cret. Segura oriental	2,59
16	16	13	Carbonatos Cret. Segura occidental	3,29
17	25	15	Carbonatos Cret. Segura occidental	8,58
18	93	8	Carbonatos Cret. Segura occidental	44,37
19	20	14	Carbonatos Cret. Segura occidental	6,60
20	19	13	Carbonatos Cenozoicos (Guillimona-Pincorto)	2,89
21	6	10	Carbonatos Cenozoicos (Guillimona-Pincorto)	0,22
22	27	14	Carbonatos Cret. Segura oriental	7,02
23	47	10	Carbonatos Jurásicos	1,70
24	34	14	Carbonatos Cenozoicos (Guillimona-Pincorto)	9,07
25	6	13	Carbonatos Jurásicos	0,91
26	22	14	Carbonatos Jurásicos	5,85
27	24	14	Carbonatos Cenozoicos (Guillimona-Pincorto)	6,38
28	8	11	Carbonatos Jurásicos	0,65
29	1	8	Sector Cueva de los Chorros (Nto. Río Mundo)	0,70
30	66	11	Carbonatos Cenozoicos (Guillimona-Pincorto)	5,33
31	1	11	Carbonatos Cenozoicos (Guillimona-Pincorto)	0,08
32	59	7	Carbonatos Cret. Segura occidental	47,94
33	1	11	Carbonatos Cret. Segura oriental	0,08
34	37	7	Carb.Cret. Sector Meridional (Sierra de Castril-El Pozo)	28,82
35	36	6	Carbonatos Cret. Segura occidental	8,06
36	11	11	Carbonatos Cret. Inferior (Sierra Seca)	1,71
37	69	6	Carbonatos Cret. Inferior (Sierra Seca)	17,52
38	50	4	Carb.Cret. Sector Meridional (Sierra de Castril-El Pozo)	36,82
39	5	6	Carb.Cret. Sector Meridional (Sierra de Castril-El Pozo)	0,88
40	49	3	Carb.Cret. Sector Meridional (Sierra de Castril-El Pozo)	5,21
41	20	3	Carbonatos Cret. Inferior (Sierra Seca)	3,34
42	3	23	Carbonatos Cret. Inferior (Sierra Seca)	0,42
43	53	9	Carb.Cret. Sector Meridional (Sierra de Castril-El Pozo)	10,23
Total	1198			343,46

5.3 Módulo de calibración. Modelo de Flujo

Condiciones de contorno

Para el cálculo de la recarga en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor se ha tenido en cuenta la extensión de material permeable en superficie y la localización y cota de los puntos de agua que definen las salidas naturales del flujo subterráneo (manantiales y ríos). Todas las celdas exteriores al ámbito de estudio se han definido como de flujo nulo (celdas inactivas) con el fin de simular los límites impermeables de la misma, así como los sectores de la MASb ES050MSBT0000520 Quesada-Castril correspondientes a los acuíferos Jurásicos colindantes con la Sierra de Cazorla y los acuíferos de la MASb ES070MSBT0000015 Segura-Madera-Tus. La desconexión entre las MASCHs y el resto de acuíferos también se ha simulado mediante celdas de flujo nulo (**figura 5.6**) debido a la presencia de una barrera física natural en cada caso, según el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del **epígrafe 3.5**, aunque se ha considerado algunas zonas en conexión con celdas activas, como es el caso de la MASCH Sierra Seca, en conexión parcial con la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril.

La condición de contorno tipo dren se ha aplicado los manantiales ubicados en cada MASCH y también en el resto de acuíferos. Para este tipo de celdas son necesarios los valores de cota de surgencia y de conductancia. En el modelo generado se han asignado 42 celdas de tipo dren (**figura 5.6**) que representan manantiales.

La mayoría de los ríos más importantes de la agrupación de MASCHs están alimentados por manantiales con importantes volúmenes de descarga, tales como el río Mundo (manantiales de Los Chorros, Los Molinos y San Agustín), Cabecera del río Segura (Fuente Segura, Molino de Loreto, La Toba, etc.), Cabecera del río Guardal (Fuente Alta, En medio, Natividad y Cuevas de San Clemente), río Bravatas (Los Agujeros y Saúcos), río Raigadas (manantial de Montilla), río Castril (Nacimiento del río Castril, Túnez, Malena, Lézar Juan Ruiz y Los Tubos), Guadalentín (Nacimiento del Guadalentín, Canaleja, Guazalamanco, Fuente de Valentín-Complejo del Arroyo de la Rambla, Ojos de Fuentes Nuevas y el Manantial de Peralta, siendo la zona de drenaje más baja del sector más meridional, a 802 m s.n.m.). El río Guadalquivir también tendría algunas aportaciones procedentes de la Sierra del Pozo por su sector más occidental.

Asimismo, se han simulado con celdas de tipo río las zonas ganadoras del río Tus en la MASCH Calar del mundo, el río Zumeta, Segura y Taibilla en diferentes sectores de la MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos estando la cota más baja de descarga en el extremo NE, en el embalse de Fuensanta, a 560 m s.n.m. y el río Borosa en agrupación de acuíferos Sierra del Pozo aguas abajo del nacimiento de Aguasnegras (**figura 5.6**). Por último, se ha considerado una celda con nivel constante en el borde NE, con el fin de simular ciertas transferencias ocultas hacia los acuíferos Inferiores de la Sierra del Segura, MASb ES070MSBT00000017, a través de materiales del Cretácico Inferior a una cota estimada de 730 m s.n.m (**figura 5.6**).

En las **tablas 5.4 y 5.5** se muestran los valores de conductancia impuestos para cada una de las celdas de tipo río y los valores de los parámetros de los que dependen.

Geometría

A pesar de la existencia de formaciones hidrogeológicas superpuestas y de la importante complejidad estructural, el código RENATA considera una sola capa, por lo que se ha definido un cuerpo simplificado cuyo muro absoluto, estimado a partir de las isohipsas obtenidas de los cortes hidrogeológicos de la **figura 3.3**, se sitúa entre los 0 y los 500 m s.n.m.

La topografía se ha importado del modelo digital del terreno de 200 m referido a ETRS89, tomado del IGN.

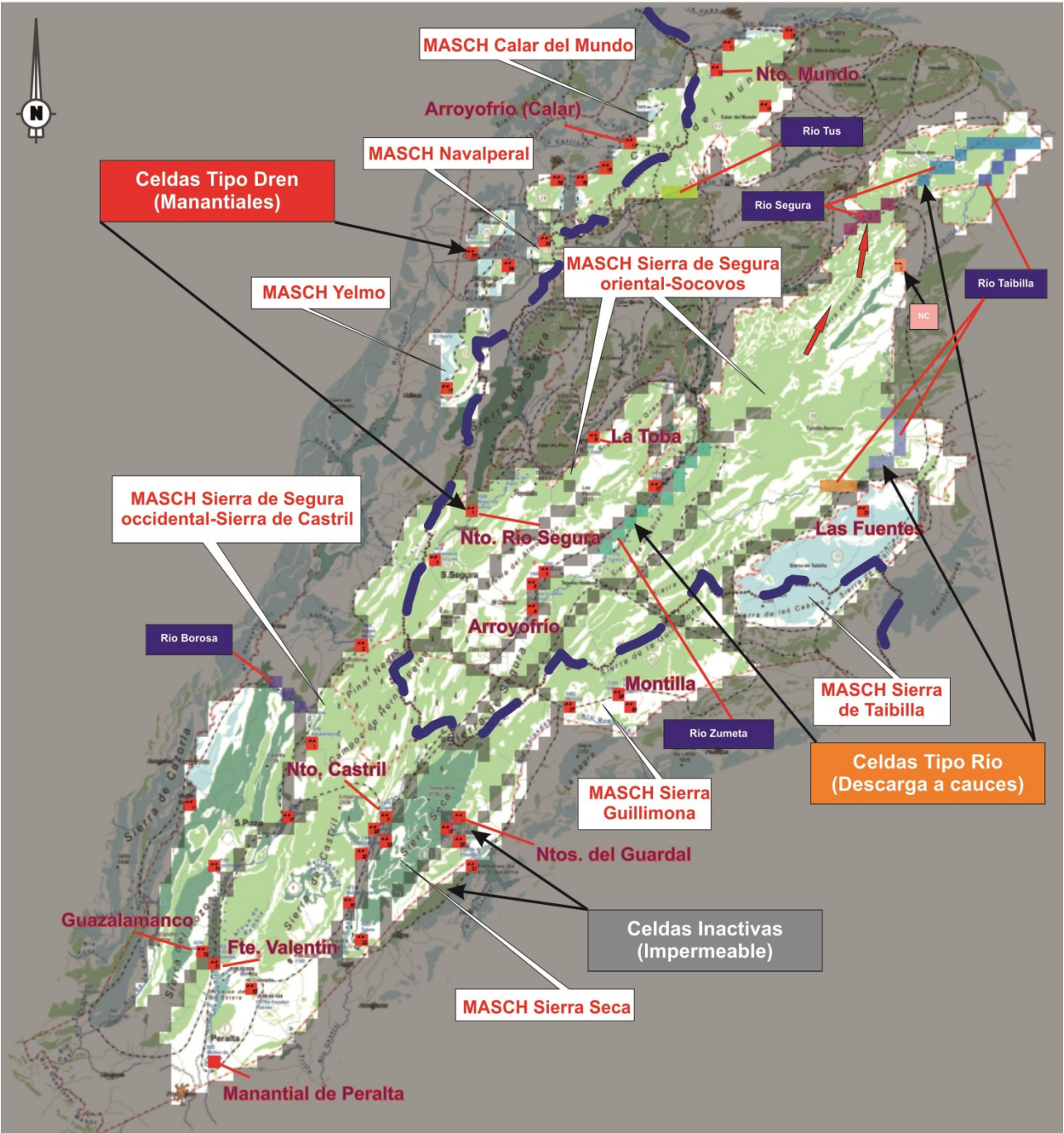


Figura 5.6. Condiciones en los límites del modelo de flujo. Manantiales utilizados (rojo) y celdas que simulan los ríos Segura, Taibilla, Tus, Zumeta y Borosa. Se indican las 8 MASCH incluidas en el área de estudio.

Tabla 5.4. Celdas tipo Dren tenidas en cuenta en las condiciones de contorno de área de estudio

Sector	Manantial	X	Y	Cota (m s.n.m.)	Conductancia (m²/día)
MASCH Calar del Mundo	Los Molinos	494500	4202500	1020	200
	Nacimiento Río Mundo	496500	4203500	1250	100000
	San Agustín	493500	4197500	910	30
	Arroyo Frio de Cotillas	502500	4210500	1030	9000
	San Blas	504500	4212500	981	120

	Arroyo Bravo	499500	4199500	1040	10
	Era del Concejo	505500	4214500	900	10
MASCH Navalperal	Fte.Pardal/otros man.	510500	4217500	1163	50
MASCH Yelmo	Fuente Granados/Tejo	522500	4225500	1250	100
MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril	AguasNegras (Nacimiento del Río Borosa)	551500	4236500	1252	90
	Aguamulas	543500	4232500	1120	150
	Nto. Río Segura	536500	4226500	1414	500
	Molino de Loreto	532500	4223500	1289	250
	Nacimiento.río Castril.	557500	4230500	1230	1500
	Cerrada de Túnez	558500	4231500	1145	50
	Cerrada de la Malena	560500	4232500	1164	200
	Cerrada de Lézar	564500	4233500	977	100
	Fuentes de Valentín (PB-4,5)	569500	4244500	975	150
	Ojos de Fuentes Nuevas	571500	4241500	1010	60
	Manantial de Peralta	508164	4175209	802	350
	Fte Alta	558500	4225500	1170	300
	Fte. Natividad	557500	4224500	1110	500
MASCH Sierra Seca	Fuente de Enmedio	559500	4224500	1110	100
	Cuevas S Clemente	561500	4223500	1070	100
	Los Tubos	567500	4232500	1110	10
	Juan Ruiz	559500	4230500	1230	250
MASCH Sierra Guillimona	Los Agujeros	547500	4211500	1443	25
	Sabucos	548500	4210500	1384	20
	Montilla	548500	4215500	1470	100
MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos	La Toba	526500	4213500	1000	40
	Arroyofrio	540500	4218500	1339	100
	Berral	537500	4217500	1282	70
	Muso	538500	4218500	1309	55
	Tobos	530500	4208500	1113	40
MASCH Sierra de Taibilla	Las Fuentes	532500	4191500	1175	1000
Acuíferos Sierra del Pozo	Guazalamanco	568500	4245500	1068	100
	Cerrada de la Canaleja	561500	4244500	1100	75
	Nacimientos del Guadalentín	557500	4238500	1200	100
	El Túnel-La Canal	556000	4246000	1050	175
Ac. Segura de la Sierra	Segura de la Sierra	512500	4220500	1140	50
Ac. Peñalta	Fte. Convento	511500	4223500	860	50
Ac. Bucentaina	Bucentaina	505500	4216500	900	50

Tabla 5.5. Celdas tipo río tenidas en cuenta en las condiciones de contorno del área de estudio

Sector	Cauce	Carácter	Cota máx (m s.n.m.)	Cota mín. (m s.n.m.)	Factor de Recarga (m³/día)
MASCH Calar del Mundo	Río Tus (Calar)	Ganador	940	900	40
	Río Zumeta (Sector Huebras)	Ganador	1200	900	50

MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos	Río Segura (aguas arriba embalse de la Fuensanta) Góntar	Ganador	650	600	300
	Río Segura (Embalse de la Fuensanta). Sector Humoso	Ganador	590	560	80
	Río Taibilla (aguas arriba de Nerpio)	Ganador	1101	1090	100
	Río Taibilla (aguas abajo de Nerpio) Sector Sapillo	Ganador	1064	840	150
	Río Taibilla (Humoso)	Ganador	590	560	100
Acuíferos Sierra del Pozo	Río Borosa	Ganador	900	800	50

Parámetros hidráulicos

Los parámetros hidráulicos empleados en el modelo RENATA determinan el funcionamiento hidráulico de cada uno de los niveles litológicos presentes en el sistema asignando los valores de permeabilidad (K) y coeficiente de almacenamiento (S). Todo ello es zonificado en función de la ubicación espacial de los diferentes conjuntos estratigráficos. En total se han establecido 22 sectores correspondientes a materiales carbonatados, detríticos o zonas de baja permeabilidad, existentes en la totalidad de la agrupación de MASCHs.

Los valores asignados atienden a reproducir el comportamiento definido en el modelo conceptual y al ajuste de las series de caudal de manantiales, por lo que se han considerado valores de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento muy variables. En general, el sistema responde a una permeabilidad media a muy baja, con valores entre 10 y 0,0025 m/d. En este contexto, y con el fin de simular los accidentes tectónicos y límites entre las MASCH, se les asigna una permeabilidad muy baja a las celdas donde estos se localizan, de manera que ejerzan de barrera hidráulica entre los sectores diferenciados. Con esto se han conseguido obtener con bastante precisión los saltos piezométricos deducibles y el funcionamiento hidráulico general del sistema, a pesar de que existen importantes incertidumbres por la ausencia de datos en muchos sectores.

Respecto al coeficiente de almacenamiento, se han asignado valores que obedecen a criterios de calibración en función de las oscilaciones hidrométricas observadas. El coeficiente de almacenamiento libre (S_y) asignado ha sido de entre el 1 y 0,001%, siendo más bajo en las zonas carbonatadas del Sector de la Cueva de Los Chorros. El coeficiente de almacenamiento específico (S_s) varía entre 1×10^{-5} y $1 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$.

Extracciones

El carácter montañoso, la gran cantidad de surgencias naturales de gran caudal y la escasez de población en el espacio ocupado por el ámbito estudio propicia que la explotación por bombeo de recursos de agua subterránea dentro de la agrupación de MASCHs Alto Segura-Alto Guadiana Menor sea prácticamente despreciable. Se limita al abastecimiento en algunos núcleos de población situados al N y al S, tal y como se menciona en el **epígrafe 3.6**, sin embargo a efectos de la aplicación de RENATA, se puede considerar que todo el área se encuentra prácticamente en régimen natural, sin alteraciones ni afecciones a los recursos y su funcionamiento, por lo que no se han tenido en cuenta extracciones por bombeo de aguas subterráneas.

Tabla 5.6. Valores medios observados y calculados de las salidas que se han tenido en cuenta en la calibración de RENATA en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor

Sector	Manantial	Caudal medio observado (hm³/a)	Caudal medio calculado (hm³/a)
MASCH Calar del Mundo	Los Molinos	5,5	5,8
	Nacimiento Río Mundo	10,4	10,1
	San Agustín	2,9	2,1
	Arroyo Frio de Cotillas	11,9	12,6
	San Blas	5,0	4,4
	Arroyo Bravo	---	0,3
	Era del Concejo	0,63	0,7
MASCH Navalperal	Fte.Pardal/otros man.	---	2,2
MASCH Yelmo	Fuente Granados/Tejo	---	4,8
MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril	AguasNegras (Nacimiento del Río Borosa)	8,0	6,8
	Aguamulas	15,6	16,7
	Nto. Río Segura	10,7	9,8
	Molino de Loreto	14,1	15,7
	Nacimiento.río Castril.	28,1	25,2
	Cerrada de Túnez	3,43	2,2
	Cerrada de la Malena	7,86	4,5
	Cerrada de Lézar	8,51	7,9
	Fuentes de Valentín (PB-4,5)	8,93	7,8
	Ojos de Fuentes Nuevas	2,14	2,6
	Manantial de Peralta	33,56	28,8
MASCH Sierra Seca	Fte Alta	6,5	6,6
	Fte. Natividad	13,4	18,1
	Fuente de Enmedio	1,6	1,5
	Cuevas S Clemente	---	3,0
	Los Tubos	2,8	0,5
	Juan Ruiz	2,4	0,6
MASCH Sierra Guillimona	Los Agujeros	1,25	2,2
	Sabucos	2,53	2,2
	Montilla	2,64	7,4
MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos	La Toba	7,0	6,9
	Arroyofrio	2,1	2,9
	Berral	3,4	3,5
	Muso	2,8	2,2
	Tobos	3,6	4,5
MASCH S. de Taibilla	Las Fuentes	8,33	9,2
	Guazalamanco	3,79	7,4
Sierra del Pozo	Cerrada de la Canaleja	3,1	4,8
	Nacimientos del Guadalentín	---	2,8
	El Túnel-La Canal	10,4	12,1
Segura de la Sierra	Segura de la Sierra	0,4	0,7
Peñalta	Fte. Convento	0,8	1,5
Bucentaina	Bucentaina	1,5	2,5

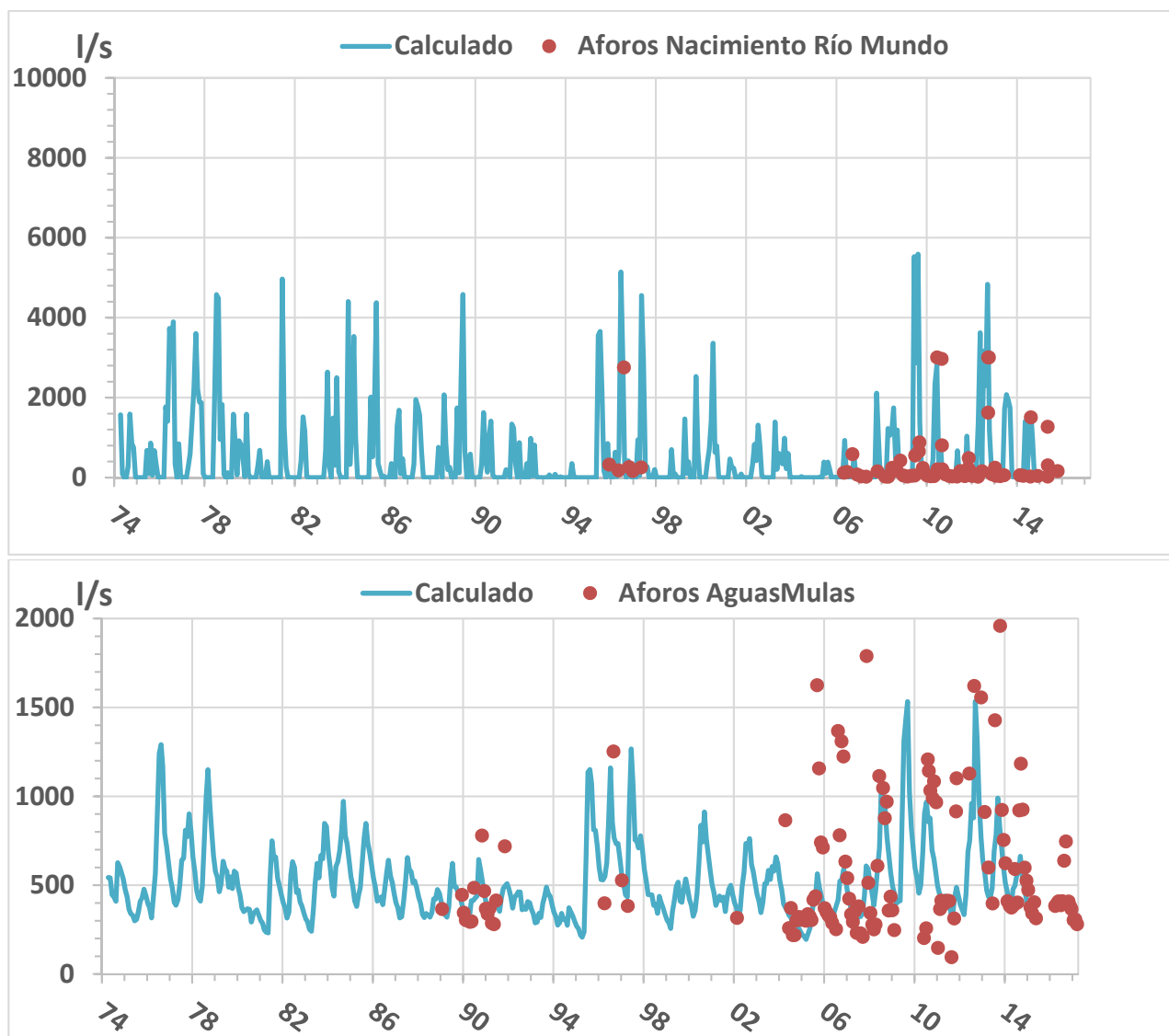


Figura 5.8. Hidrogramas resultantes de la calibración del código RENATA de los caudales registrados en manantiales de la MASCH Calar del Mundo y MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril.

El proceso de calibración en régimen permanente ha exigido modificar los valores iniciales de la reserva de agua en el suelo, el umbral de escorrentía y los parámetros hidráulicos. Para ello, se ha utilizado, como criterio subjetivo, la coherencia del funcionamiento hidrológico de los acuíferos y, como criterio objetivo, el caudal medio de los manantiales ubicados en ambas demarcaciones hidrográficas. Sin embargo, hay sectores donde existen pocos datos, e incluso nulos, por lo que los resultados de caudales obtenidos en RENATA tan solo son orientativos del régimen que podría tener cada surgencia.

La distribución piezométrica inicial obtenida en régimen permanente se recoge en la **figura 5.7** y los caudales medios observados y calculados de cada manantial se recogen en la **tabla 5.6**, donde se somborean los manantiales más importantes.

En cuanto al régimen influenciado no se considera que existan alteraciones de relevancia, dado que no se contemplan los retornos de riego ni las salidas por bombeo por su escasa entidad, por lo que se estima que la agrupación de MASCHs se encuentra en un régimen natural cuyas oscilaciones se deben exclusivamente a las variaciones climáticas interanuales.

Como se puede observar en la **tabla 5.6**, los caudales medios obtenidos en los diferentes puntos de drenaje resultan muy similares en la mayor parte de los manantiales y las discrepancias observadas atienden a algunas descargas mayor a las esperadas, que podrían deberse a las simplificaciones realizadas, especialmente en los acuíferos de Sierra del Pozo y MASCH Sierra Guillimona, por lo que es probable que existan otros términos de salida a través de transferencia lateral oculta no consideradas en este trabajo, la ausencia de datos en la mayor parte del periodo de modelización, así como el comportamiento kárstico de los manantiales con puntas a veces muy repentinas que no suelen ser registradas de forma periódica en las redes de control hidrométrico.

Para ajustar el modelo en régimen transitorio para el periodo 1974/75-2014/15, se considera la serie de recarga calculada y explotaciones despreciables. Partiendo de la piezometría inicial obtenida, se consigue una superficie piezométrica en el que el drenaje se distribuye en cada MASCH según sus zonas de descarga por manantial o río. La calibración se realiza mediante el ajuste de los hidrogramas temporales disponibles de caudal real y calculado hasta alcanzar una tendencia similar. Los más representativos se recogen en las **figuras 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11**.

Los resultados de la calibración de los hidrogramas más representativos son aceptables en la mayor parte de los puntos que se han tenido en cuenta. Los desajustes detectados podrían mejorarse con una compleja zonificación de los parámetros hidráulicos e incremento de capas de simulación donde exista mayor heterogeneidad a la simulada de forma global, aunque ello conllevaría un análisis más exhaustivo del modelo conceptual y una toma de datos más representativos. No obstante, se puede considerar que el ajuste alcanzado es adecuado a la escala del estudio.

La recarga obtenida para el modelo de flujo en régimen transitorio, equivalente a un régimen natural, se sintetiza en la **tabla 5.7**. La infiltración total de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor es de 343,46 hm³/a, equivalente a una infiltración media de 286,7 mm/a, una tasa 41,55% de la precipitación. De este volumen, 207,89 hm³/a se infiltrarían en el territorio de la DHG y 135,57 hm³/a en la DHS. Los resultados obtenidos con el código RENATA son los que mejor se ajustan a la realidad del área de estudio, ya que han sido calibrados con los datos hidrométricos disponibles y son acordes con los resultados obtenidos en la bibliografía consultada. No obstante, la escasez e incertidumbre de los datos, especialmente de las descargas, obliga a tomar estos resultados con cautela.

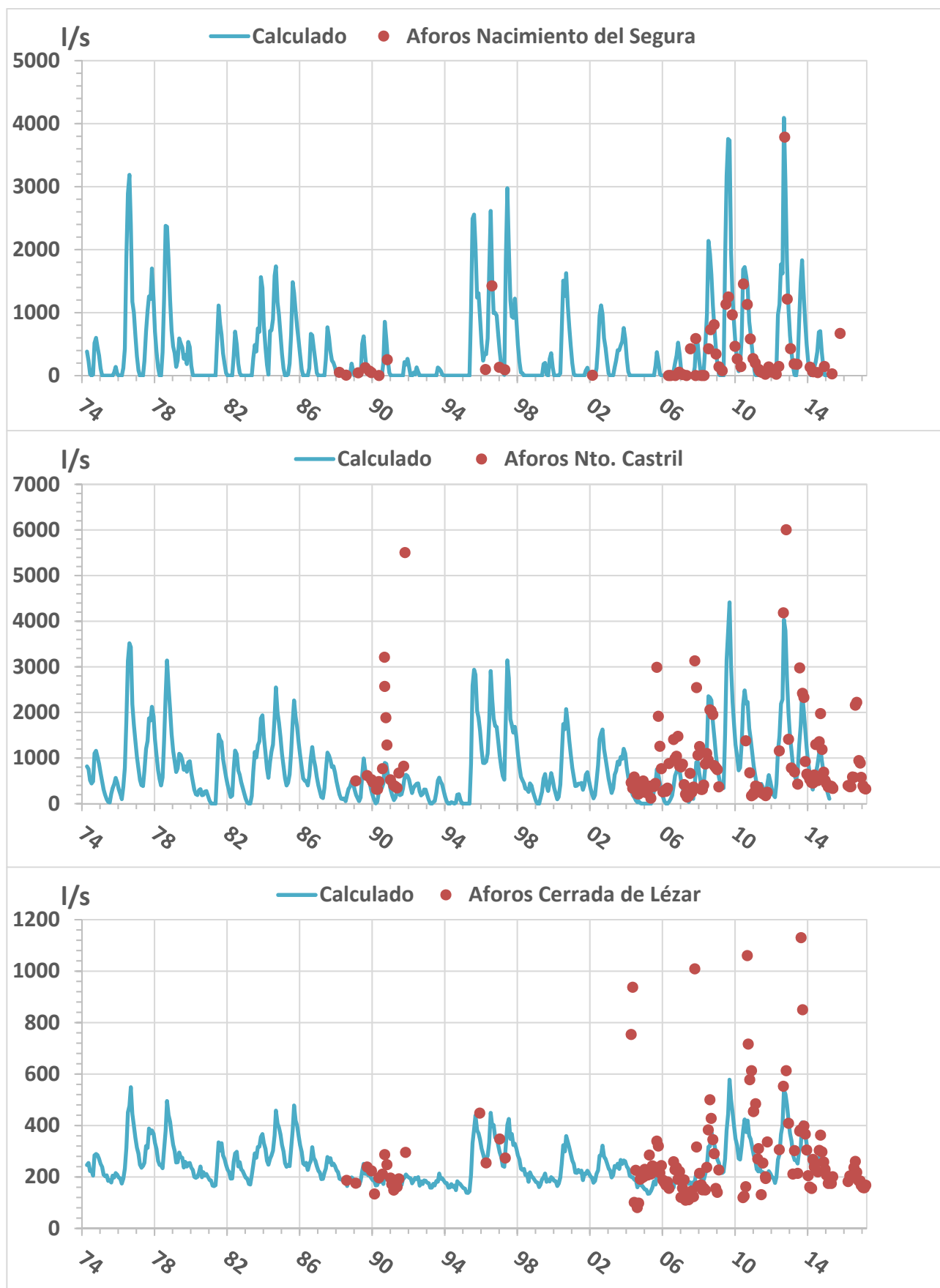


Figura 5.9. Hidrogramas resultantes de la calibración del código RENATA de los caudales registrados en manantiales de la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril.

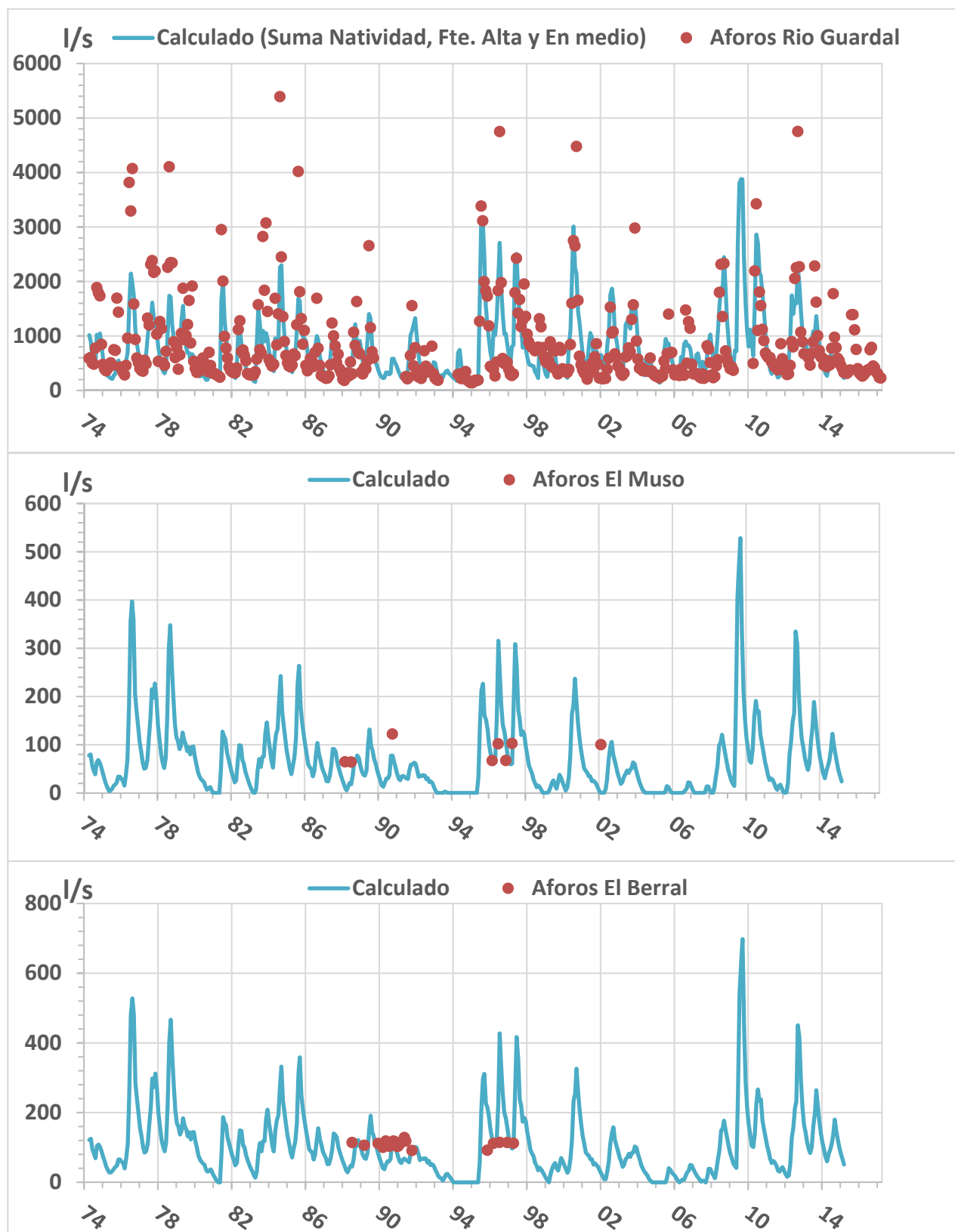


Figura 5.10. Hidrogramas resultantes de la calibración del código RENATA de los caudales registrados en manantiales de la MASCH Sierra Seca y MASCH Sierra de Segura Oriental-Socovos.

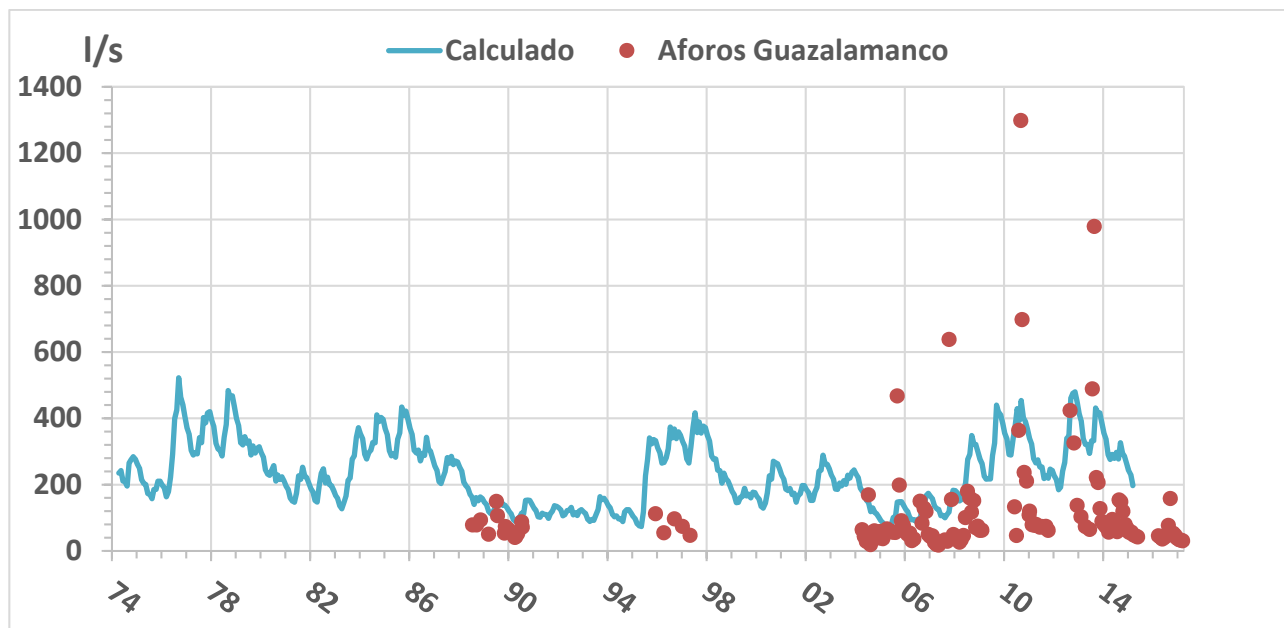


Figura 5.11. Hidrograma resultante de la calibración del código RENATA de los caudales registrados en el manantial de Guazalamanco en el acuífero Sierra del Pozo.

Tabla 5.7. Agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor: Recarga por demarcaciones hidrográficas (1974/75-2014/15) obtenida por RENATA

Cuenca hidrográfica	Afloramientos permeables (km ²)	Precipitación* (l/m ² /a)	Infiltración* lluvia (l/m ² /a)	Tasa recarga	Infiltración (hm ³ /a)
Guadalquivir	560	753,35	371,2	49,28%	207,89
Segura	639	634,27	212,5	33,50%	135,57
Total MASCHs	1.198	689,9	286,7	41,55%	343,46

*La precipitación e infiltración están ponderadas por polígonos de Thiessen sobre afloramientos permeables de cada cuenca hidrográfica

6. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL

Se considera que la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor se encuentra en condiciones de baja alteración, puesto que no existen bombeos de relevancia ni entradas inducidas por retornos de riego ni otras fuentes antrópicas, por lo que se estima que su régimen es prácticamente natural, cuyas oscilaciones se deben exclusivamente a las variaciones climáticas intermensuales y a variaciones en el almacenamiento debidas a subidas y bajadas del nivel piezométrico. Por ello, el balance hídrico se ha determinado en régimen transitorio no alterado para el periodo 1974/75-2014/15.

Los cálculos generados en RENATA se han realizado para la totalidad de la agrupación de MASCHs y son desglosados para cada una de las MASCH con el fin de evaluar los recursos de cada una de ellas asignados según las cuencas hidrográficas. En el Anexo I se recogen las tablas con los resultados del balance hídrico generado por RENATA a nivel anual para la totalidad de la agrupación de MASCHs, para cada cuenca hidrográfica y para cada uno de los sectores con continuidad hidrogeológica.

En la **tabla 6.1** se muestra el balance hídrico de la totalidad de la agrupación de MASCHs por demarcaciones hidrográficas. A las aportaciones totales, además de los recursos renovables en las referidas condiciones, procedentes únicamente de la infiltración de la precipitación atmosférica son de 343,47 hm³/a, se suma una media de 3,06 hm³/a procedente de las oscilaciones del volumen de agua almacenado en los acuíferos. De estas, 210,55 hm³/a (61%) se generan en territorio adscrito a la DHG y 135,98 hm³/a (39%) en el administrado por la DHS. Por lo que respecta a las salidas, la descarga se produce principalmente a través de manantiales y, en menor medida, ríos y transferencia lateral hacia la MASb ES070MSBT000000017 Acuíferos Inferiores de la Sierra de Segura. Por demarcaciones hidrográficas se producen unas salidas de 219,32 hm³/a en la DHG, que representa el 63% de las aportaciones y 127,21 hm³/a en la DHS, el 37% de las aportaciones, por lo que las proporciones globales son muy similares a la distribución de la recarga. No obstante, existe cierta transferencia de recursos generados en la DHS que circulan hacia la DHG en torno a 8,78 hm³/a.

Tabla 6.1. Balance hídrico de la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor por demarcaciones hidrográficas en régimen natural transitorio (1974/75-2014/15)

Demarcación hidrográfica	Recarga (hm ³ /a)	Variación del almacenamiento (hm ³ /a)	Aportes totales (hm ³ /a)	Transferencia DHS hacia DHG ⁽¹⁾ (hm ³ /a)	Salidas ríos (hm ³ /a)	Salidas manantial (hm ³ /a)	Salidas Totales (hm ³ /a)
Guadalquivir	207,89	2,66	210,55	8,78	20,93	198,39	219,32
Segura	135,58	0,41	135,98	-8,78	38,22	88,99⁽²⁾	127,21
Total MASCHs	343,47	3,06	346,53	0,00	59,15	287,38	346,53

(1) Los valores positivos representan entrada por transferencia lateral desde otra demarcación y los negativos representan salidas hacia otra demarcación.

(2) Incluye Transferencia lateral hacia la MASb Acuíferos Inferiores de la Sierra de Segura de 9,88 hm³/año, fuera del área de estudio

Sin embargo, teniendo en cuenta que dentro de la agrupación de MASCH hay 12 sectores total o parcialmente inconexos entre sí, pero todos incluidos en la MASb ES050MSBT000050200 Quesada Castril en la DHG, existiendo 8 MASCH, resulta conveniente desglosar el balance hídrico para cada una de ellas (**Tabla 6.2**).

Tabla 6.2. Balance hídrico desglosado para cada MASCH por demarcaciones hidrográficas en régimen natural transitorio (1974/75-2014/15)

MASCH Calar del Mundo	Demarcación hidrográfica	Recarga (hm³/a)	Var. Almac (hm³/a)	Aportes totales (hm³/a)	Transferencia Lateral ⁽¹⁾ (hm³/a)	Salidas ríos (hm³/a)	Salidas manantial (hm³/a)	Salidas Totales (hm³/a)
MASCH Calar del Mundo	Guadalquivir	14,97	0,08	15,05	-0,12	0,00	14,93	14,93
	Segura	28,12	0,11	28,22	0,12	6,14	22,20	28,34
	Total MASCH	43,09	0,18	43,27	0,00	6,14	37,13	43,27
MASCH Navalperal	Guadalquivir	1,44	0,03	1,47	0,73	0,00	2,20	2,20
	Segura	0,72	0,01	0,73	-0,73	0,00	0,00	0,00
	Total MASCH	2,16	0,04	2,20	0,00	0,00	2,20	2,20
MASCH Yelmo	Guadalquivir	4,33	0,06	4,39	0,5	0,00	4,89	4,89
	Segura	0,49	0,01	0,50	-0,5	0,00	0,00	0,00
	Total MASCH	4,82	0,07	4,89	0,00	0,00	4,89	4,89
MASCH Segura occidental Sierra de Guadalupe	Guadalquivir	102,19	2,11	104,31	-2,01 ⁽²⁾	28,79 ⁽³⁾	73,51	102,3
	Segura	32,26	1,13	33,39	-5,21	0,00	28,18	28,18
	Total MASCH	134,45	3,24	137,70	-7,22⁽²⁾	28,79	101,69	130,48
MASCH Sierra de Guadalupe	Guadalquivir	21,36	0,12	21,28	8,86	0,00	30,34	30,34
	Segura	1,64	0,00	1,64	-1,64	0,00	0,00	0,00
	Total MASCH	23,00	0,12	21,12	7,22⁽²⁾	0,00	30,34	30,34
MASCH Guillimona	Guadalquivir	5,03	-0,04	5,00	6,67	0,00	11,67	11,67
	Segura	6,68	-0,01	6,67	-6,67	0,00	0,00	0,00
	Total MASCH	11,71	-0,05	11,67	0,00	0,00	11,67	11,67
MASCH Sierra de Guadalupe	Guadalquivir	3,45	-0,04	3,41	-3,41	0,00	0,00	0,00
	Segura	5,65	-0,12	5,53	3,41	0,00	8,94	8,94
	Total MASCH	9,10	-0,17	8,94	0,00	0,00	8,94	8,94
MASCH Segura oriental Socovos	Guadalquivir	2,48	-0,04	2,44	-2,44	0,00	0,00	0,00
	Segura	60,02	-0,72	59,30	-7,44 ⁽⁴⁾	32,08	19,78	61,75
	Total MASCH	62,50	-0,75	61,75	-9,88⁽⁴⁾	32,08	19,79	61,75
Resto de acuíferos	Guadalquivir	52,63	0,38	53,01	0	20,93	32,07	53,01

(1) Los valores positivos representan entradas por transferencia lateral y viceversa. Cuando el balance es cero, la transferencia se produce entre demarcaciones hidrográficas en el mismo acuífero. En caso contrario existe transferencia entre acuíferos externos.

(2) La MASCH de Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril en la DHG recibe un volumen de 5,21 hm³/a de la DHS, sin embargo, transfiere 7,22 hm³/a a la MASCH Sierra Seca desde la DHG, por lo que su balance resulta negativo en esta demarcación.

(3) Corresponde al Manantial Molino de Peralta

(4) En la DHS, existe una transferencia lateral hacia los Acuíferos Inferiores de la Sierra de Segura de 9,88 hm³/a que salen de la MASCH, por lo que el balance resulta negativo a pesar de que recibe 2,44 hm³/a de la DHG.

Cabe destacar, que la transferencia de recursos hídricos entre las diferentes demarcaciones hidrográficas se hace efectiva en las siguientes MASCH: (1) MASCH Calar del Mundo, (2) MASCH Navalperal, (3) MASCH Yelmo, (4) MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril, (5) MASCH Sierra Seca, (6) MASCH Sierra Guillimona, (7) MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos y (8) MASCH Sierra de Taibilla, estando el resto de los acuíferos totalmente integrados en la DHG.

Como se puede observar en la **tabla 6.2**, la transferencia de recursos entre cuencas es variable de una MASCH a otra, sin embargo, no llegan a ser muy importantes. En 5 de las MASCH (Navalperal, Yelmo, Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril, Sierra Seca y Sierra Guillimona) se produce la transferencia de un total de 14,75 hm³/a desde la DHS a la DHG, mientras que en los 3 restantes (Calar del Mundo, Sierra de Segura oriental-Socovos y Sierra de Taibilla), ocurre lo contrario, con una transferencia de 5,97 hm³/a desde la DHG a la DHS.

En la MASCH Calar del Mundo la recarga media anual es de 43,09 hm³/a, generándose el 34,75% en la DHG y el 65,25% en la DHS. Por su parte, las descargas se producen por manantiales y cauces repartidos en ambas demarcaciones con proporciones muy similares (34,50% y 65,50%) respectivamente, siendo la transferencia entre demarcaciones de 0,12 hm³/a a favor de la DHS. En la DHG las descargas más importantes se producen por el manantial de Arroyofrío de Cotillas, y en la DHS en la cabecera de río Mundo (manantiales de Los Chorros, Los Molinos y San Agustín), aunque también existe cierta alimentación al río Tus.

En la MASCH Navalperal la recarga media anual es de 2,16 hm³/a, generándose el 66,7% en la DHG y el 33,3% en la DHS. Por su parte, las descargas se producen por manantiales ubicados en la DHG, por lo que la totalidad de los recursos del sector incluido en la DHS pasarían a la DHG. Lo mismo ocurre en el caso las MASCHs Yelmo, Sierra Seca y Sierra Guillimona, cuyas zonas de descarga se encuentran totalmente en la DHG. En el Yelmo la recarga media anual es de 4,82 hm³/a, generándose el 89,74% en la DHG y el 10,26% en la DHS. En Sierra Seca, la recarga media anual es de 23 hm³/a, generándose el 93% en la DHG y tan solo el 7% en la DHS. Las descargas, se producen fundamentalmente hacia la cabecera del Río Guardal (Fuente Alta, Enmedio, Natividad y Cuevas de San Clemente) y otros manantiales de la cuenca del río Castril, con un total de 30,3 hm³/a, por lo que además de los recursos procedentes de la DHS, que son mínimos, se produce una transferencia lateral oculta desde la MASCH Sierra de Segura Occidental-Sierra de Castril a Sierra Seca de 7,22 hm³/a. Por su parte, en la MASCH Sierra Guillimona, la recarga media anual es de 6,68 hm³/a, generándose el 57% en la DHG y el 43% en la DHS, descargando la totalidad sobre manantiales de las cabeceras del río Raigadas y Bravatas, ambos en la DHG.

En las MASCHs Sierra de Taibilla y Sierra de Segura oriental-Socovos ocurre lo contrario que los anteriores, ya que todos los puntos de descarga natural se encuentran en la DHS. En el caso de la sierra de Taibilla la recarga media anual es de 9,10 hm³/a, generándose el 38% en la DHG y el 62% en la DHS, descargando la totalidad sobre manantiales de la cabecera del río Taibilla en la DHS. En la MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos la recarga media anual es de 62,50 hm³/a, generándose tan solo el 4% en la DHG y el 96% en la DHS. Las descargas se producen fundamentalmente por alimentación difusa a los ríos Zumeta, Segura y Taibilla en diferentes sectores de la MASCH estando la cota más baja de descarga en el extremo NE en el entorno del embalse de Fuensanta, a 560 m s.n.m., aunque también destacan los manantiales de La Toba, Arroyofrío, Berral, Muso o Tobos. Asimismo, y en menor medida, existen ciertas transferencias ocultas hacia los acuíferos Inferiores de la Sierra del Segura, MASb ES070MSBT000000017, a través de materiales del Cretácico Inferior.

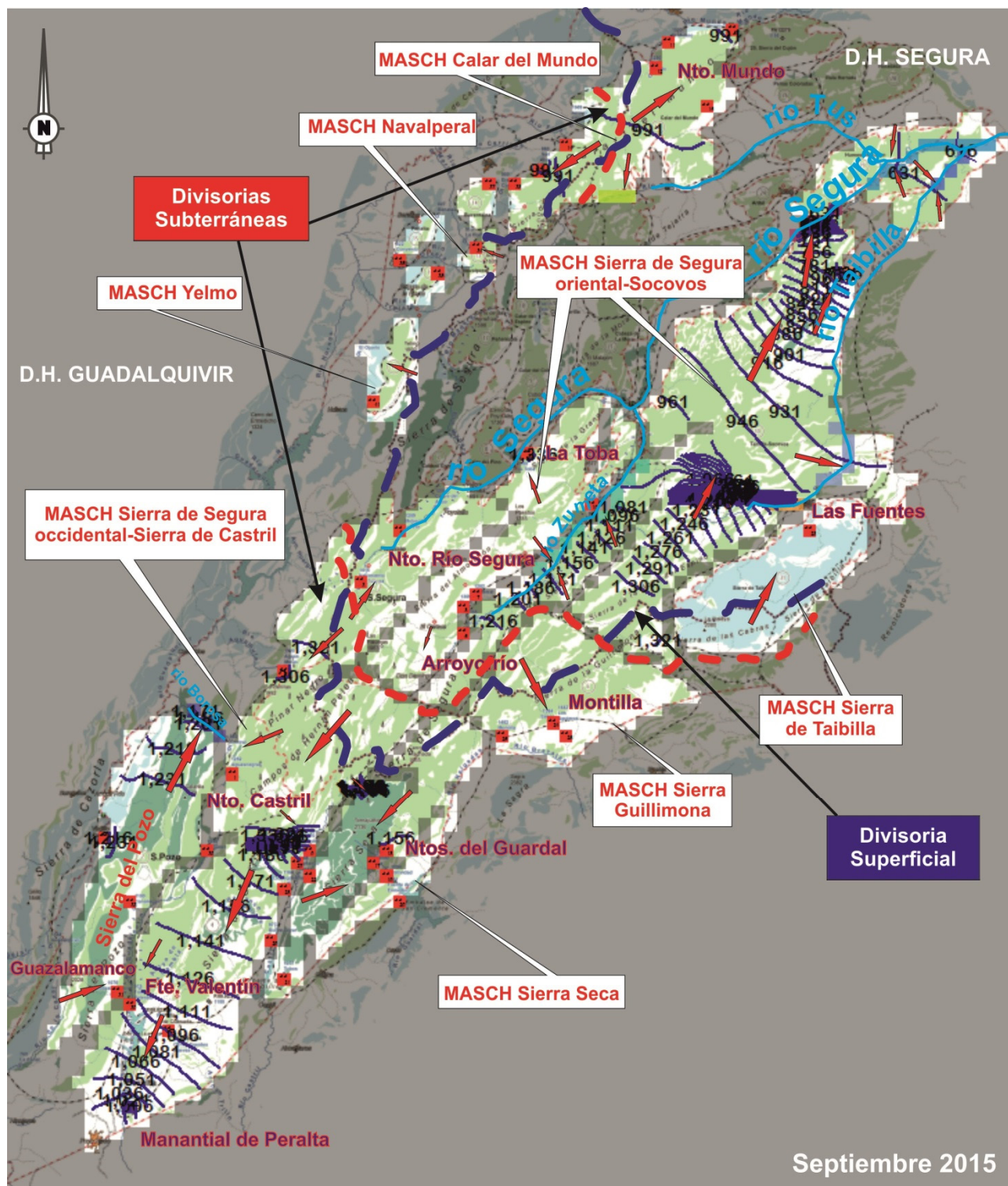


Figura 6.1. Superficie piezométrica y sentido del flujo subterráneo al final de la simulación para las 8 MASCH del área de estudio. Divisorias subterráneas y superficial y sentidos de flujo modelizados.

Con respecto a la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril la recarga media anual es de 134,45 hm³/a, generándose el 76% en la DHG y el 24% en la DHS. Por su parte, las descargas se producen por manantiales repartidos en ambas demarcaciones con proporciones muy similares (78,4% y 21,6% respectivamente), siendo la transferencia entre demarcaciones de 5,21 hm³/a a favor de la DHG. En la DHS las descargas más importantes se producen por manantiales que alimentan la cabecera del río Segura (Fuente Segura y Molino de Loreto) y en la DHG hacia el río

Castril (Nacimiento del río Castril, Túnez, Malena, Lézar), Guadalentín (Nacimiento del Guadalentín, Fuente de Valentín-Complejo del Arroyo de la Rambla, Ojos de Fuentes Nuevas y el Manantial de Peralta, siendo la zona de drenaje más baja del sector más meridional, a 802 m s.n.m.), y los manantiales de Aguamulas y Aguasnegras, tributarios del Guadalquivir.

Según esto se identifican dos cuencas hidrográficas y dos cuencas hidrogeológicas. Sin embargo, estas divisorias están presentes en sentido estricto tan solo en las MASCHs Calar del Mundo y en Sierra Segura Occidental-Sierra de Castril, coincidiendo en gran medida con la posición de la divisoria hidrográfica. En la **figura 6.1** se recogen sendas divisorias junto con las isopiezas calculadas para cada sector/demarcación hidrográfica en el último periodo de la simulación (sep-2015), así como la dirección y el sentido de flujo obtenidas.

7. BALANCE HÍDRICO SEGÚN DIVISORIA HIDROGRÁFICA E HIDROGEOLÓGICA

Desde un punto de vista estrictamente normativo la evaluación de los recursos hídricos subterráneos disponibles de una masa de agua subterránea, independientemente de que aquella presente continuidad hidrogeológica o no con otra localizada en un ámbito de planificación diferente, responde a la directriz aportada en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH, 2008) -apartado 1.2-55- donde se establece que los recursos disponibles de una masa de agua subterránea se determinarán a partir del *valor medio interanual de la tasa de recarga total de la masa de agua subterránea, menos el flujo interanual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica para el agua superficial asociada, para evitar cualquier disminución significativa en el estado ecológico de tales aguas, y cualquier daño significativo a los ecosistemas terrestres asociados.*

Estimar la tasa de recarga de un acuífero -especialmente la que procede de la precipitación- es una operación incierta e imprecisa, que depende de multitud de factores, como se viene exponiendo en diversos documentos técnico-científicos desde hace muchos años (Lerner et al., 1990; Custodio et al., 1997; Healy, 2010). Los resultados obtenidos con el código RENATA se ajustan en buena medida a la realidad de la agrupación de MASCHs, ya que han sido calibrados con los datos hidrométricos disponibles y son acordes con los resultados obtenidos en la bibliografía consultada. No obstante, la escasez e incertidumbre de los datos, unido a la complejidad estructural de un área tan extensa, obliga a tomarlos con cautela.

Por otro lado, en el apartado 1.2-55 de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH, 2008), también se hace alusión a las restricciones ambientales asociadas a las aguas subterráneas. A este respecto, en el texto refundido de la Ley de Aguas, en su apartado 5.2.4.1 “Estado cuantitativo”, se *dispone que las restricciones ambientales, asociadas a las aguas subterráneas, correspondan a los flujos medioambientales requeridos para cumplir con el régimen de caudales ecológicos y para prevenir los efectos negativos causados por la intrusión marina. En el régimen de caudales ecológicos se incluye tanto los caudales necesarios para mantener el caudal base en las masas superficiales categoría ríos como los requerimientos hídricos necesarios para la conservación de los lagos y zonas húmedas. En lo que se refiere a la intrusión marina considera los volúmenes mínimos necesarios para evitar el avance de la cuña salina.*

La situación que preside la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor puede considerarse excedentaria, ya que los bombeos existentes son despreciables, por lo que presenta un significativo buen estado. La simulación realizada con el código RENATA ha determinado una variación del almacenamiento mínima para el periodo simulado, del orden de 3 hm³/a que responde a variables climáticas

En la **tabla 7.1** se muestra la distribución de los recursos hídricos subterráneos renovables en régimen natural, según las divisorias hidrográfica e hidrogeológica correspondientes a las cuencas del Guadalquivir y del Segura. De la observación de la misma se desprende que en régimen natural los recursos hídricos subterráneos se distribuyen de manera muy similar según se aplique un criterio u otro. Atendiendo a la divisoria hidrográfica el 60,7% de los recursos totales de esta agrupación de MASCHs se generan en el ámbito de la DHG, mientras que el 39,3% en la DHS. Si se atiende a la divisoria hidrogeológica, los recursos drenados en régimen natural en la DHG son algo mayores, ya que existen afloramientos permeables dentro de la DHS que drenan sus recursos naturales hacia la DHG y viceversa, resultando de forma global el 63,3% pertenecientes a la cuenca hidrogeológica del Guadalquivir y el 36,7% a la del Segura debido a una transferencia de recursos generados en la DHS que circulan hacia la DHG, en torno a 8,78 hm³/a.

Tabla 7.1. Comparativa de la recarga en régimen natural en el periodo 1974/75-2014/15) en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Gadiana Menor según las divisorias hidrográfica e hidrogeológica correspondientes a las cuencas del Guadalquivir y del Segura. Variaciones absolutas y porcentuales.

Régimen de funcionamiento hídrico	Distribución de recursos según	(1) Cuenca Guadalquivir (hm³/a)	(2) Cuenca Segura (hm³/a)	(3) Total MASCHs (hm³/a)
Natural	Divisoria hidrográfica	210,55 (60,7%)	135,98 (39,3%)	346,53
	Divisoria hidrogeológica	219,32 (63,3%)	127,21 (36,7%)	

Los cálculos generados por RENATA se han realizado tanto para la totalidad de la agrupación de las MASCHs como para cada una de ellas tratada individualmente. En la tabla **Tabla 7.2** se desglosa el balance.

Según el desglose por MASCHs, la distribución de recursos entre cuencas es variable de una a otra, sin embargo, no llegan a ser muy importantes. En 6 de las MASCHs (Navalperal Yelmo, Sierra Seca, Sierra Guillimona, Sierra de Taibilla y Sierra de Segura oriental-Socovos) no existen divisorias hidrogeológicas en sentido estricto y la totalidad de los recursos infiltrados en ambas cuencas hidrográficas, acaban drenando totalmente hacia una de ellas, ya sea la DHG o la DHS según se localizan sus puntos de descarga. Tan solo en las MASCHs Calar del Mundo y Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril existen dos cuencas hidrogeológicas, que presentan una distribución de recursos escasamente significativa respecto a las de sus cuencas hidrográficas.

Tabla 7.2. Comparativa de la recarga y escorrentía subterránea en régimen natural (solo precipitación) el periodo 1974/75-2014/15) en la agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Gadiana Menor según las divisorias hidrográfica e hidrogeológica desglosada por MASCH. Variaciones absolutas y porcentuales.

	Distribución de Recursos según	(1) Cuenca Guadalquivir (hm³/a)	(2) Cuenca Segura (hm³/a)	(3) MASCH (hm³/a)
MASCH Calar del Mundo	Divisoria hidrográfica	15,05 (34,8%)	28,22 (65,2%)	43,27
	Divisoria hidrogeológica	14,93 (34,5%)	28,34 (65,5%)	
MASCH Navalperal	Divisoria hidrográfica	1,47 (66,8%)	0,73 (33,2%)	2,20
	Divisoria hidrogeológica	2,20 (100,0%)	0,00 (0,0%)	
MASCH Yelmo	Divisoria hidrográfica	4,39 (89,7%)	0,50 (10,3%)	4,89
	Divisoria hidrogeológica	4,89 (100%)	0,00 (0,0%)	
MASCH S. occidental Sierra de Castril	Divisoria hidrográfica	104,31 (75,8%)	33,39 (24,2%)	137,70
	Divisoria hidrogeológica	109,52 (79,5%)	28,18 (20,5%)	

MASCH Sierra Seca	Divisoria hidrográfica	21,48 (92,9%)	1,64 (7,1%)	23,12
	Divisoria hidrogeológica	23,12 (100,0%)	0,00 (0,0%)	
MASCH Guillimona	Divisoria hidrográfica	5,00 (42,8%)	6,67 (57,2%)	11,67
	Divisoria hidrogeológica	11,67 (100,0%)	0,00 (0,0%)	
MASCH Sierra de Taibilla	Divisoria hidrográfica	3,41 (38,1%)	5,53 (61,9%)	8,94
	Divisoria hidrogeológica	0,00 (0,0%)	8,94 (100,0%)	
MASCH Segura oriental	Divisoria hidrográfica	2,44 (4,0%)	59,30 (96,0%)	61,75
	Divisoria hidrogeológica	0,00 (0,0%)	61,75 (100,0%)	
Resto de acuíferos	Divisoria hidrográfica	53,01 (100,0%)	0,00 (0,0%)	53,01
	Divisoria hidrogeológica	---	---	

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los principales resultados y conclusiones obtenidas de los trabajos llevados a cabo se exponen en los siguientes puntos:

- Existen masas de agua subterránea, colindantes entre dos o más demarcaciones hidrográficas, cuya realidad física respecto de su conexión hídrica y funcionamiento hidrogeológico escapa a sus límites administrativos, por lo que resulta necesario afrontar su estudio y su gestión desde la óptica de su realidad hidrogeológica. Este es el caso de las masas de agua subterránea, que se contemplan en el presente informe, en las que no tiene sentido estimar los recursos de agua subterránea de manera independiente, unilateral y separadamente. A dichas masas se las ha agrupado bajo la denominación de "masas de agua subterránea que presentan continuidad hidrogeológica" (MASCH).
- En la presente memoria se contempla la definición, caracterización, evaluación y distribución de los recursos hídricos en 8 nuevas masas de agua subterráneas compartidas o con continuidad hidrogeológica (MASCH). Estas se han identificado a partir de la MASCH no catalogada en el Anexo I del PHN que contempla las MASb de Quesada-Castril (DHG), Calar del Mundo (DHS) y Machada (DHS), así como las MASb que presentan interconexión hídrica con las anteriores de "Fuente Segura-Fuensanta" y "Taibilla," adscritas ambas, según la documentación aportada en el segundo ciclo de planificación hidrológica, a la DHS.

Las nuevas Masas con continuidad hidrogeológica (MASCH), que se han analizado en el presente documento, son las siguientes: Calar del Mundo, Navalperal, Yelmo, Sierra de Segura Occidental-Sierra de Castril, Sierra Seca, Sierra de Guillimona, Sierra del Segura Oriental-Socovos y Sierra del Taibilla. Junto a las anteriores MASCH también se han identificado 4 MASb, que se localizan íntegramente en la DHG, y responden a las siguientes denominaciones: MASb Acuífero de Segura de la Sierra, MASb Acuífero Bucentaina, MASb Acuífero Peñalta y MASb Agrupación de acuíferos de la Sierra del Pozo. Por último, cabe indicar que el área estudiada también incluye un sector de 45 Km² que pertenece a los Campos de Hernán Pelea dentro de la DHG que no había asignado a MASb alguna. En definitiva, en la MASCH no catalogada en el Anexo I del PHN que se había considerado constituida por las MASb de Quesada-Castril (DHG), Calar del Mundo (DHS) y Machada (DHS), se han identificado, una vez realizado el presente estudio, 8 MASCH y 4 MASb.

- La formación hidrogeológica principal, sobre las que se asientan las MASCH y MASb anteriormente referenciadas, se corresponde con calizas y dolomías del Cretácico y Terciario del Prebético, que presenta una potencia aproximada de 450 m y una estructura muy compleja, y con carbonatos del jurásico Subbético en la Sierra de Taibilla que alcanzan una potencia de 250 m. En las 8 MASCHs y 4 MASb que se han identificadas en la presente memoria se pueden reconocer identifican numerosos acuíferos que presentan un comportamiento prácticamente individualizado, por lo que geológicamente se trata de una zona muy compartimentada.
- El grado de karstificación de estos acuíferos, MASCH y MASb es muy alto, por lo que se presentan bruscas descargas inmediatamente después de los periodos de recarga y rápidos agotamientos en ausencia de estos últimos. Algunos de los manantiales más importantes que descargan en ambas cuencas hidrográficas son los Chorros del Río Mundo (con puntas de hasta 25.000 l/s), el Nacimiento del río Segura (con hasta 4.000 l/s), La Natividad (con hasta 2.850 l/s) o nacimiento del río Castril (con hasta 6.000 l/s). El comportamiento de todos los manantiales responde exclusivamente a eventos climáticos, no estando perturbados por la explotación de las aguas subterráneas, por lo que se considera que se encuentran en régimen natural.

- El clima en la región es de tipo Mediterráneo con matices continentales y de montaña en las zonas más elevadas. El estudio de los datos de precipitación registrados durante el periodo histórico considerado (1974/75 – 2018/19) permite obtener un patrón espacial claro en cuanto a la distribución de las precipitaciones, relacionado con la altitud y orientación de las alineaciones montañosas, existiendo mayor precipitación en los sectores occidentales y a mayor altitud. Para un año medio, la precipitación varía entre menos de 300 mm (depresión de Baza) y más de 1.000 mm (sierra del Pozo y altiplano de los Campos de Hernán Pelea). La precipitación media anual caída sobre el área de estudio durante el periodo histórico, determinada mediante la media aritmética, es 557 mm, por planimetría de isoyetas asciende a 740 mm y por polígonos de Thiessen resulta 697 mm. No obstante, la ausencia de estaciones en zonas elevadas provoca incertidumbre en los registros. Además, buena parte de la precipitación se produce en forma de nieve, lo que puede acarrear errores por defecto en los datos de aquellas estaciones que no dispongan de instrumental específico para el registro de este meteoro.
- La recarga se produce en su mayor parte por infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos carbonáticos aunque existen eventos de recarga a través de sumideros. Buena parte de la descarga ocurre de manera puntual –visible– por numerosos manantiales permanentes localizados en los extremos de cada MASCH. También tiene lugar de forma difusa en los cauces del río Borosa (DHG) y Tus, Zumeta, Taibilla y Segura (DHS). Las extracciones por bombeo se consideran despreciables.
- Para la estimación de la recarga se ha aplicado el código RENATA a la totalidad de lo que se ha denominado “Agrupación de masas de agua subterránea con Continuidad Hidrogeológica del Alto Segura-Alto Guadiana Menor”. Los resultados se han desglosado individualmente, para cada una de las 8 MASCH identificadas, con el fin de evaluar los recursos propios de cada una de ellas, así como la descarga que tiene lugar en cada uno de los ámbitos de planificación a los que drenan. Los recursos hídricos renovables en régimen natural, dado que la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH, 2008) en su apartado 1.2-55 establece que recarga es asimilable a recurso hídrico subterráneo, se estiman en 343,47 hm³/a. De esta cuantía, 207,89 hm³/a (61%) se generan en territorio adscrito a la DHG y 135,58 hm³/a (39%) en el administrado por la DHS.
- En cuanto a las salidas de agua, en régimen natural transitorio, estas son de 219,32 hm³/a en la DHG, que representa el 63% de las aportaciones y 127,21 hm³/a en la DHS, el 37%, por lo que las proporciones globales en que se producen estas son muy similares a la distribución en que se origina la recarga. No obstante, existe una cierta transferencia de agua que circulan desde la DHS hacia la DHG. Esta se ha evaluado en 8,78 hm³/a.
- En las 8 MASCH identificadas se reconoce la existencia de dos cuencas hidrográficas: una en la DHG y otra en la DHS, aunque solo en las MASCH de Calar del Mundo y Sierra Segura Occidental-Sierra de Castril se aprecia la existencia de dos cuencas hidrogeológicas. En el resto de MASCH existen dos cuencas hidrográficas, pero tan solo una hidrogeológica, ya que toda el agua que se recarga, tanto sobre la superficie permeable de una como otra cuenca hidrográfica, se acaba descargando de forma natural hacia una única cuenca hidrográfica.
- En las MASCH de Calar del Mundo el 34,8 % de la recarga se origina en la DHG y el 65,2 en la DHS. La descarga a través de manantiales y cauces también se produce en proporciones muy similares (34,50 % en la DHG y 65,50 % en la DHS), siendo la transferencia entre demarcaciones de 0,12 hm³/a a favor de la DHS.
- En la MASCH Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril la recarga media anual es de 134,45 hm³/a, generándose el 76% en la DHG y el 24% en la DHS. Las descargas se producen por manantiales que se localizan en ambas demarcaciones. La cuantía de dicha descarga tiene lugar

en una proporción muy similares (78,4% y 21,6% respectivamente) al porcentaje en el que se origina la recarga. La transferencia entre demarcaciones es de 5,21 hm³/a a favor de la DHG.

- Las MASCHs Navalperal, Yelmo, Sierra Seca y Guillimona drenan todos sus recursos a través de manantiales que se localizan en el ámbito de la DHG. En Navalperal la recarga media anual es de 2,16 hm³/a, generándose el 66,7% en la DHG y el 33,3% en la DHS. En la MASCH Yelmo la recarga media anual es de 4,82 hm³/a, generándose el 89,74% en la DHG y el 10,26% en la DHS. En Sierra Seca, la recarga media anual es de 23 hm³/a, generándose el 93% en la DHG y tan solo el 7% en la DHS. En Sierra Guillimona, la recarga media anual es de 6,68 hm³/a, generándose el 57% en la DHG y el 43% en la DHS.
- Las MASCHs Sierra de Taibilla y Sierra de Segura oriental-Socovos drenan la totalidad de su escorrentía subterránea hacia la DHS. En el caso de Sierra de Taibilla la recarga media anual es de 9,10 hm³/a, generándose el 38% en la DHG y el 62% en la DHS. En la MASCH Sierra de Segura oriental-Socovos, la recarga media anual es de 62,50 hm³/a, generándose tan solo el 4% en la DHG y el 96% en la DHS.
- En la simulación realizada para el periodo 1974/75-2014/15 no se detectan diferencias significativas en la dirección y distribución de los flujos y en la posición que ocupan las divisorias hidrogeológicas de las MASCHs Calar del Mundo y Sierra de Segura occidental-Sierra de Castril, puesto que su esquema de funcionamiento depende exclusivamente del régimen climático imperante y de la variación de la relación recarga/almacenamiento en cada momento, que es muy reducida.
-

REFERENCIAS

- Andreo, B., Vías J.M., Durán, J.J., Jiménez, P., López-Geta, J.A. y Carrasco, F. (2008): Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: application to pilot sites in southern Spain. *Hydrogeology Journal*, 16: 911-925.
- Azema, J., Foucault, A., Fourcade, E., García-Hernández, M.; González-Donoso, J.M.; Linares, A.; Linares, D.; López-Garrido, A.C.; Rivas, P. y Vera, J.A. (1979): La microfacies del Jurásico y Cretácico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. *Publ. Univ. Granada*. 83 pp.
- Castillo, J.M. (1988): La abstracción climática, la realidad meteorológica y la aproximación geográfica: el clima de Andalucía desde la perspectiva del análisis regional con los tipos de tiempo. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Inédita.
- CHG (2015): Caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales. MASb ES050MSBT000050200. Quesada-Castril. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. 20 pp.
- CHG (2018): Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Revisión del tercer ciclo (2021-2027). Ministerio para la Transición Ecológica, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. 231 pp.
- CHG-CEH (1980): Plan de aprovechamiento integral de los ríos Castril y Guardal. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir-Centro de Estudios Hidrográficos. Informe inédito, Granada, 385 pp.
- CHG-IGME (2001): Norma de explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.02 (Quesada – Castril). Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Instituto Geológico y Minero de España, 40 pp.
- CHG-IGME (2014): Consideraciones sobre las nuevas masas de agua subterránea de la Cuenca del Guadalquivir (documento resumen). Confederación Hidrográfica del Guadalquivir – Instituto Geológico y Minero de España. 676 pp.
- CHG-ITGE (1993): Propuesta de normas de explotación de las restantes unidades hidrogeológicas, no afectadas por el decreto 735/1971 ni afección a embalses. Tomo V. Unidad Hidrogeológica 05.02 (Quesada-Castril).
- CHS (1997): Plan Hidrológico de Cuenca. Confederación Hidrográfica del Segura. Plano de Unidades Hidrogeológicas.
- CHS (2015): Memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Confederación Hidrográfica del Segura. 806 pp.
- Cruz San Julián, J.J., Alba, J., Valle, F., Arrojo, E., Gil, J. M., Moral, F., Picazo, J., Ruiz, I. y Salazar, C. (1992): Estudio de las condiciones actuales y de los posibles efectos en el río Castril del trasvase al embalse de San Clemente. Informe inédito, Universidad de Granada-Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, 160 pp.
- Dabrio, C.J. (1972): Geología del sector del Alto Segura (zona Prebética). Tesis doctoral, Universidad de Granada, 388 pp.
- Dabrio, C.J. y López-Garrido, A.C. (1979): Mapa y memoria explicativa de la hoja 909 (Nerpio). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Instituto Geológico y Minero de España, 36 pp.

- Delgado, J. (1985): Exploration, investigation and treatment of seepage in the basin of La Bolera dam. 15eme Congr s des Grands Barrages, Lausanne, pp. 1337 – 1358.
- DGOH (1995). Normas de explotación de las unidades hidrogeológicas con afección directa a los embalses de regulación y fuentes de abastecimiento a poblaciones de la Cuenca del Guadalquivir. Unidad hidrogeológica 05.02. Quesada-Castril.
- Diputación Provincial de Granada - ITGE (1990): Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Granada. Diputación Provincial de Granada – Instituto Tecnológico Geominero de España, Granada, 107 pp.
- Diputación Provincial de Jaén - IGME (2012): Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Jaén. Diputación Provincial de Jaén - Instituto Geológico y Minero de España, Jaén, 264 pp.
- Diputación Provincial de Jaén - ITGE (1997): Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Jaén. Diputación Provincial de Jaén - Instituto Tecnológico Geominero de España, Jaén, 175 pp.
- Foucault, A. (1971): Etude Géologique des environs des Sources du Guadalquivir (Prov. de Jaén et de Grenade). Tesis Doctoral. Universidad de Paris VI. 2T, 633 pp.
- García-Hernández, M. (1978): El Jurásico terminal y el Cretácico inferior en las Sierras de Cazorla y Segura (Zona Prebética). Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 344 pp.
- Girard, G., Ledoux, E. et Villeneuve, J. P. (1981). Le modèle couple: simulation conjointe des  coulements de surface et des  coulements souterrains sur un système hydrologique. Cahiers ORSTOM, S rie Hydrologie, XVIII.
- González-Ramón, A., Calaforra, J.M., Ronda, J.L., Rodríguez-Estrella, T. y Melero, J. (en prensa): The “los Chorros del Río Mundo” cave (Albacete, Spain). Hydrogeological functioning and cave patterns. 18 International Congress of Speleology. France.
- González-Ramón, A., Ortuño, I., Rubio, J.C., Rosales, M., Gay, J.J., Molina, A., Peinado, T. y Villanueva, M. (1996): Resultados de la campaña de sondeos realizada en el jurásico del sector norte de las Sierras de Cazorla y Segura y en diversas pedanías de Santiago-Pontones (provincia de Jaén). Propuesta de aprovechamiento de los recursos subter neos para el abastecimiento conjunto a la comarca de la Sierra de Segura. En: IV Simposio internacional del agua en Andalucía, pp. 425-432.
- González-Ríos, M.J., Santaella, A., Calaforra, J.M. y García, G. (2000): El Complejo del Arroyo de la Rambla (PG-4). Peal del Becerro (Jaén). En: Santiago, A. y Mayoral, J (Eds.), Actas del I Congreso Andaluz de Espeleología. Ronda pp. 257 – 260.
- Hargreaves, G.H y Samani, Z.A. (1985): Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1, 96–99.
- IGME - Diputación Provincial de Alicante (2012): RENATA: Recarga Natural a los ac feros.
- IGME (1972): Mapa Hidrogeológico Nacional, explicación de los mapas de lluvia útil, de reconocimiento hidrogeológico y de síntesis de los sistemas ac feros. Instituto Geológico y Minero de España. 46 pp.
- IGME (1975): Estudio hidrogeológico del Alto Júcar – Alto Segura. Instituto Geológico y Minero de España. Informe inédito, 217 pp más planos.
- IGME (1979): Mapa Hidrogeológico Nacional. Instituto Geológico y Minero de España. 46 pp.

- IGME (1982): Contribución al Plan Hidrológico Nacional. Cuenca alta del Segura. Instituto Geológico y Minero de España. Nota técnica, 34 pp.
- IGME (1995a): Estudio hidrogeológico para la mejora del abastecimiento a los núcleos de Pontones, Pontón Alto, El Cerezo y La Muela (Santiago-Pontones, Jaén). Informe inédito.
- IGME (1995b): Informe final del sondeo realizado para la mejora del abastecimiento en la pedanía de Valdemarín (Orcera, Jaén). Informe inédito.
- IGME (2001): Proyecto para la Actualización de la Infraestructura Hidrogeológica de las unidades 05.01. "Sierra de Cazorla", 05.02. "Quesada - Castril", 07.07. "Sierras de Segura - Cazorla" y carbonato de la Loma de Úbeda. Instituto Geológico y Minero de España. Informe inédito. 672 pp. 5 tomos.
- IGME-DGA (2010a). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. Masa de agua subterránea 051.002 Quesada-Castril. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Asistencia técnica para el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 156 pp.
- IGME-DGA (2010b). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. Masa de agua subterránea 071.016 Fuente Segura - Fuensanta. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Asistencia técnica para el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 105 pp.
- IGME-DGA (2010c). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. Masa de agua subterránea 071.015 Segura-Madera-Tus. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Asistencia técnica para el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 91 pp.
- IGME-DGA (2010d). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. Masa de agua subterránea 071.014 Calar del Mundo. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Asistencia técnica para el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 58 pp.
- IGME-DGA (2010e). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. Masa de agua subterránea 071.018 Machada. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Asistencia técnica para el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 29 pp.
- IGME-DGA (2010f). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. Masa de agua subterránea 071.019

- Taibilla. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Asistencia técnica para el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 31 pp.
- IGME-DPG-AAA (2010): El agua en el Parque Natural Sierra de la Sierra de Castril. Ed: Rubio-Campos, J.C., López-Geta, J.A., Beas-Torroba, J. y Estirado-Oliet, M. Instituto Geológico y Minero de España, Diputación Provincial de Jaén y Agencia Andaluza del Agua. Madrid. 181 pp.
- IGME-DPJ-AAA (2010): El agua en el Parque Natural de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas. Ed: González Ramón, A., Rubio-Campos, J.C. y López-Geta, J.A. Instituto Geológico y Minero de España, Diputación Provincial de Granada y Agencia Andaluza del Agua. Madrid. 202 pp.
- IGME-GHUMA (2003): Estudios metodológicos para la estimación de la recarga en diferentes tipos de acuíferos carbonatados: aplicación a la Cordillera Bética. Instituto Geológico y Minero de España. Informe inédito. 3 tomos.
- IGME-IRYDA (1972): Estudio hidrogeológico de la comarca Cazorla-Hellín-Yecla. Instituto Geológico y Minero de España – Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario. 5 tomos (3 anexos). Informe inédito.
- Instituto Geográfico Nacional. Iberpix 4. Sitio web: <https://www.ign.es/iberpix2/visor/>
- ITGE-Junta de Andalucía (1998): Atlas Hidrogeológico de Andalucía. Instituto Tecnológico Geominero de España; Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía; Consejería de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía. ISBN: 84-7840-351-5. 215 pp.
- ITGE-TEYGE (1999): Determinación del funcionamiento hidrogeológico de la parte oriental de la unidad 07.07 “Sierras de Segura y Cazorla”. Instituto Geológico y Minero de España, Tecnología y Medio Ambiente S.A. Informe inédito. 87pp.
- Junta de Andalucía (1996): Estudio informativo y propuesta de actuaciones en materia de abastecimiento y saneamiento de los municipios de la Sierra de Segura (Jaén). Estudio de alternativas. Informe inédito, 185 pp.
- Ley de Aguas (2001). Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. BOE núm. 176 de 24 de Julio de 2001.
- López-Bermúdez, F. (1974): El karst del Calar del Mundo (Albacete). Estudios Geográficos, 136: 359-404. Madrid.
- López-Garrido, A.C. (1971): Geología de la Zona Prebética al NE de la provincia de Jaén. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 317 pp.
- López-Limia, B. (1987): Geomorfología del karst del Pinar Negro. Lapiaz, Valencia. Monografías II, 55 pp.
- López-Limia, B. y López-Bermúdez, F. (1985): Tipos de lapiaz en un karst mediterráneo de montaña (Sierra de Segura, Jaén). Papeles de la Geografía Física de la Universidad de Murcia, 10: 21-32
- López-Limia, B. y López-Bermúdez, F. (1988): Morfología kárstica del sector oriental del Prebético andaluz. En: Durán-Valsero, J.J. y López-Martínez, J. El Karst en Andalucía. pp. 145-152. IGME.

- Lupiani, E., Roldán-García, F.J. y Villalobos, M. (2007): Mapa y memoria explicativa de la hoja 929 (Canal de San Clemente). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Instituto Geológico y Minero de España, 91 pp.
- Marín, A.I. (2009): Los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la evaluación de recursos hídricos y a la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos carbonatados. Caso de la Alta Cadena (provincia de Málaga). Tesis de licenciatura, Universidad de Málaga (España). 131 pp.
- Martínez-Garrido, J.C.; Moral, F.; Cruz-San Julián, J.J.; Benavente, J.; Rubio-Campos, J.C. y López-Geta, J.A. (1991): Caracterización hidrogeológica de los acuíferos carbonatados de la Sierra de Cazorla (Jaén). En: 3er Simposio sobre el Agua en Andalucía. Vol. I: 499-511. Córdoba.
- Martos-Rosillo, S., González-Ramón, A., Jiménez-Gavilán, P., Andreo, B., Durán, J.J. y Mancera, E. (2015): Review on groundwater recharge in carbonate aquifers from SW Mediterranean (Betic Cordillera, S Spain). *Environmental Earth Sciences*, 74: 7571-7581 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente (2005): Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias. Tomo I. 628 pp.
- MOPU-IGME (1988): Delimitación de las Unidades Hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares y síntesis de sus características. Estudio 07/88, Memoria General. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Instituto Geológico y Minero de España. 122 pp.
- Moral, F. (1992): Estudio hidrogeológico de la unidad del Espino (Sierra de Segura, Jaén). Tesis de Licenciatura, Universidad de Granada, 126 pp.
- Moral, F. (2005): Contribución al conocimiento de los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Segura (Alto Guadalquivir y Alto Segura). Tesis Doctoral, Univ. Pablo de Olavide, Sevilla, 580 pp.
- Moral, F. (2010): Hydrogeology and Geomorphology of the Calar del Espino (Betic Cordillera, Southern Spain), a Highly Interesting Scientific and Experimental Karstic System. En: B. Andreo *et al.* (Eds.), *Advances in Research in Karst Media*, 373 – 379. DOI 10.1007/978-3-642-12486-0, Springer.
- Moral, F., Cruz-Sanjulián, J. J., Benavente, J., y Aragón, R. (1992): Unidades hidrogeológicas de la cuenca alta del río Segura. En: V Simposio de Hidrogeología, Alicante, vol. XV, 191-205.
- Moral, F., Cruz-Sanjulián, J.J. y Olías, M. (2008): Geochemical evolution of groundwater in the carbonate aquifers of Sierra de Segura (Betic Cordillera, southern Spain). *Journal of Hydrology*, 360 (1-4), pp. 281-296. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.07.012.
- Moral, F., Fernández, P. y Rodríguez, M. (2005): Hidrología, usos del agua y nuevas amenazas para los recursos hídricos en Sierra Seca (cuenca alta de los ríos Castril y Guardal, Granada): un caso paradigmático. En: J.A. López-Geta, J. C. Rubio y M. Martín Machuca (Eds.), VI Simposio del Agua en Andalucía. IGME. pp 869-879.
- Moral, F., Martínez-Garrido, J.C., Cruz-Sanjulián, J.J., Benavente, J., López-Geta, J.A. y Rubio, J.C. (1991): Características hidrogeológicas de Sierra Seca (Granada-Jaén). En: 3er Simposio sobre el agua en Andalucía, Córdoba, tomo I, 542-549.
- Ortega, L., Manzano, M., Custodio, E., Hornero, J. y Rodríguez-Arévalo, J. (2015): Using ^{222}Rn to identify and quantify groundwater inflows to the Mundo River (SE Spain). *Chemical Geology*, 395: 67–79.

- Padilla, A. y Delgado, J. (2013): Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas. Programa TRASERO 2.0. Departamento de ciclo hídrico, Diputación Provincial de Alicante, 87 p.
- Padilla, A., Delgado, J. (2012). RENATA: 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. DPA-IGME
- Padilla, A., Delgado, J. y Rodríguez, A. (2019). RENATA V. 3.0.0. Programa para el cálculo de la recarga a los acuíferos a partir de los procesos que tienen lugar en el suelo. Diputación Provincial de Alicante e IGME.
- Pendás, F. (1971): Definición morfológica de los embalses subterráneos del Alto Sureste español. 1er Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Sec. 3, T2, pp. 529-550.
- PHN (2000): Delimitación y asignación de recursos en acuíferos compartidos. Plan Hidrológico Nacional. Madrid. 130 pp.
- Rodríguez-Estrella, T. (1976): El sistema hidrogeológico del Calar del Mundo. 1er Simposio Nacional de Hidrogeología, pp. 317-338.
- Rodríguez-Estrella, T. (1979): Geología e Hidrogeología del sector de Alcaraz-Liétor-Yeste (Prov. de Albacete). Síntesis Geológica de la Zona Prebética. Tesis Doctoral. Colección Memorias IGME, tomo 2, 170 pp.
- Rodríguez-Estrella, T. y Ballesta, F. (1999): Estudio Geohidroespeleológico del Calar del Mundo (provincias de Albacete y Jaén). Instituto de Estudios Albacetenses, Serie I, nº 109, 174 pp.
- Rodríguez-Estrella, T.; Ballesta, F.; Melero, J.M. y Martínez, J.A. (2002): Contribución de las medidas de conductividad y pH en las aguas de la cueva Los Chorros del río Mundo (Albacete), a la génesis del enigmático “reventón”. En: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (Eds.), Karst and Environment, 199-209.
- Romero-Díaz, M.A. (1985): El karst de la Sierra de la Guillimona (Cordillera Bética). Papeles de la Geografía Física de la Universidad de Murcia, 10: 5-19.
- Samper, J., García Vera, M. A. (1992). Manual de usuario del programa BALAN_8. Dpto. Ingeniería del terreno. E. T. S. de Ingenieros de Caminos. UPC. Barcelona. España
- Samper, J., Huguet, L., García, M.A. and Ares, J. (1999). Manual del usuario del programa VISUAL-BALANCE V.1.0: Código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga, Technical Report for ENRESA. Universidad de A Coruña. 124 pp.
- Témez, J. (1978): Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España.
- Thornthwaite, C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38(1): 55-94.
- Vera, J.A. y Martín-Algarra, A. (2004): Cordillera Bética y Baleares. En: Vera J.A. (Ed) Geología de España. SGE-IGME, Madrid, 345–464.

ANEXOS

ANEXO I
BALANCES HÍDRICOS GENERADOS POR RENATA

Total agrupación de MASCHs del Alto Segura-Alto Guadiana Menor

Fecha	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Ríos+ Manant Peralta hm³	Transferencia lateral externa hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³
74-75	749.80	-252.48	-57.50	-10.24	234.84	85.38
75-76	711.74	-159.24	-48.06	-9.53	153.47	63.36
76-77	1,164.84	-482.56	-64.82	-9.52	670.77	-113.88
77-78	1,068.96	-404.81	-64.32	-9.41	509.10	-30.55
78-79	1,043.22	-437.10	-67.94	-9.61	539.48	-24.83
79-80	825.41	-291.24	-62.74	-9.67	296.58	67.07
80-81	472.71	-147.86	-49.82	-9.62	106.58	100.72
81-82	709.51	-253.74	-49.27	-9.68	336.25	-23.57
82-83	565.11	-200.45	-46.89	-9.48	220.38	36.43
83-84	955.34	-330.48	-51.13	-9.21	467.58	-76.76
84-85	950.67	-394.83	-56.75	-9.05	475.26	-14.64
85-86	1,002.24	-375.76	-60.72	-9.14	476.60	-30.98
86-87	638.55	-245.89	-55.93	-9.31	241.73	69.40
87-88	853.53	-243.42	-55.40	-9.99	297.50	11.31
88-89	897.77	-197.11	-48.52	-9.85	233.20	22.28
89-90	788.71	-221.91	-52.87	-11.58	274.49	11.88
90-91	744.29	-190.98	-49.87	-10.88	252.25	-0.52
91-92	768.64	-192.04	-48.42	-10.62	231.39	19.68
92-93	598.10	-147.70	-45.10	-10.30	144.10	59.00
93-94	492.09	-125.65	-40.90	-9.38	135.67	40.26
94-95	451.99	-96.57	-36.35	-8.65	84.89	56.67
95-96	1,240.68	-419.21	-52.68	-9.55	694.02	-212.58
96-97	1,102.95	-432.10	-63.45	-10.77	528.53	-22.22
97-98	1,069.38	-437.14	-69.74	-11.44	528.34	-10.03
98-99	518.31	-159.59	-51.03	-10.24	90.06	130.79
99-00	673.75	-192.18	-46.29	-9.65	228.13	19.99
00-01	989.71	-359.35	-51.71	-9.62	513.32	-92.64
01-02	688.78	-185.83	-47.29	-9.39	169.90	72.62
02-03	814.78	-276.95	-48.15	-8.82	348.12	-14.19
03-04	948.28	-275.89	-55.85	-10.92	371.57	-28.92
04-05	364.69	-106.98	-45.37	-10.38	40.61	122.12
05-06	753.76	-151.78	-48.11	-9.10	216.17	-7.18
06-07	752.78	-172.69	-50.66	-8.49	240.11	-8.27
07-08	697.55	-171.72	-47.48	-8.02	198.79	28.44
08-09	1,014.20	-355.96	-73.01	-8.77	525.37	-87.63
09-10	1,346.13	-562.22	-101.42	-10.95	844.86	-170.27
10-11	980.46	-415.99	-98.49	-10.64	492.56	32.55
11-12	556.86	-175.18	-70.44	-10.07	156.61	99.08
12-13	1,368.00	-539.29	-105.72	-11.17	813.98	-157.80
13-14	824.87	-352.03	-99.26	-11.42	424.97	37.74
14-15	728.76	-243.67	-85.60	-11.10	274.05	66.31
MEDIA	826.53	-277.50	-59.15	-9.88	343.47	3.06

Resumen D.H. Guadalquivir (afloramientos carbonatados)

Fecha	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Río hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³	Transferencia DHS-DHG hm³
74-75	388.29	-186.36	-21.16	160.26	37.48	9.78
75-76	339.34	-121.20	-18.61	98.07	28.26	13.48
76-77	597.52	-315.99	-26.95	390.12	-54.91	7.73
77-78	558.58	-270.77	-26.28	302.64	-15.30	9.72
78-79	526.57	-288.00	-27.28	304.75	-2.42	12.95
79-80	419.56	-207.05	-23.92	177.59	41.19	12.18
80-81	273.68	-117.47	-19.61	83.83	45.45	7.79
81-82	373.43	-181.67	-19.04	200.87	-9.67	9.51
82-83	299.31	-150.14	-18.76	144.35	16.03	8.51
83-84	547.83	-236.02	-22.57	319.81	-62.88	1.65
84-85	515.20	-275.06	-25.74	292.54	-0.76	9.02
85-86	518.39	-267.05	-25.86	290.05	-5.93	8.78
86-87	330.70	-183.82	-22.69	152.09	44.83	9.58
87-88	421.50	-174.34	-21.69	186.93	4.02	5.08
88-89	390.44	-140.00	-17.11	115.70	21.01	20.39
89-90	357.70	-150.25	-16.01	142.86	10.87	12.52
90-91	328.13	-131.46	-16.09	133.56	-0.06	14.05
91-92	357.59	-138.65	-15.61	136.88	0.07	17.31
92-93	291.16	-109.39	-15.57	92.79	19.66	12.51
93-94	286.89	-101.26	-16.12	105.47	4.50	7.41
94-95	244.23	-80.87	-14.98	68.02	20.58	7.24
95-96	678.69	-288.95	-22.29	427.44	-115.85	-0.35
96-97	569.06	-300.95	-25.23	315.67	9.07	1.45
97-98	571.50	-302.43	-26.45	327.17	2.87	-1.16
98-99	255.33	-128.21	-19.64	66.51	70.19	11.15
99-00	338.20	-140.88	-17.91	141.82	5.27	11.70
00-01	520.67	-254.51	-20.08	302.63	-43.12	15.07
01-02	363.03	-148.64	-18.31	130.68	29.02	7.24
02-03	436.64	-208.19	-20.78	234.03	-12.00	6.93
03-04	463.36	-207.66	-20.24	216.60	-2.72	14.01
04-05	179.46	-89.12	-15.46	31.07	64.57	8.94
05-06	371.49	-120.75	-15.62	137.72	-13.15	11.80
06-07	393.18	-134.69	-16.53	161.40	-18.91	8.73
07-08	352.66	-132.84	-16.77	138.21	4.30	7.10
08-09	524.26	-255.94	-22.78	305.72	-31.49	4.48
09-10	648.73	-373.09	-25.20	429.53	-42.97	11.72
10-11	527.31	-302.46	-26.75	307.26	18.90	3.05
11-12	275.67	-135.47	-20.70	105.01	42.52	8.64
12-13	696.16	-358.65	-27.44	454.22	-66.26	-1.88
13-14	422.79	-248.72	-26.19	245.67	27.10	2.15
14-15	342.59	-175.02	-22.28	145.87	39.62	11.81
MEDIA	421.87	-198.39	-20.93	207.89	2.66	8.78

Resumen D.H. Segura (afloramientos carbonatados)

Fecha	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Río hm³	Transferencia lateral externa hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³	Transferencia DHS-DHG hm³
74-75	361.51	-66.13	-36.34	-10.24	74.58	47.90	-9.78
75-76	372.41	-38.04	-29.45	-9.53	55.40	35.11	-13.48
76-77	567.32	-166.57	-37.87	-9.52	280.66	-58.97	-7.73
77-78	510.37	-134.04	-38.05	-9.41	206.46	-15.25	-9.72
78-79	516.65	-149.10	-40.66	-9.61	234.73	-22.41	-12.95
79-80	405.86	-84.19	-38.83	-9.67	118.99	25.88	-12.18
80-81	199.03	-30.39	-30.21	-9.62	22.75	55.27	-7.79
81-82	336.08	-72.07	-30.23	-9.68	135.38	-13.90	-9.51
82-83	265.81	-50.31	-28.13	-9.48	76.03	20.39	-8.51
83-84	407.51	-94.46	-28.57	-9.21	147.77	-13.88	-1.65
84-85	435.47	-119.77	-31.00	-9.05	182.72	-13.88	-9.02
85-86	483.85	-108.71	-34.87	-9.14	186.55	-25.06	-8.78
86-87	307.85	-62.07	-33.24	-9.31	89.63	24.57	-9.58
87-88	432.03	-69.07	-33.71	-9.99	110.57	7.29	-5.08
88-89	507.33	-57.11	-31.41	-9.85	117.49	1.27	-20.39
89-90	431.01	-71.66	-36.87	-11.58	131.63	1.01	-12.52
90-91	416.17	-59.52	-33.78	-10.88	118.68	-0.46	-14.05
91-92	411.04	-53.39	-32.81	-10.62	94.52	19.61	-17.31
92-93	306.94	-38.31	-29.53	-10.30	51.30	39.35	-12.51
93-94	205.20	-24.39	-24.78	-9.38	30.20	35.76	-7.41
94-95	207.76	-15.70	-21.37	-8.65	16.86	36.09	-7.24
95-96	561.99	-130.26	-30.39	-9.55	266.58	-96.73	0.35
96-97	533.90	-131.15	-38.22	-10.77	212.86	-31.28	-1.45
97-98	497.88	-134.71	-43.29	-11.44	201.17	-12.90	1.16
98-99	262.98	-31.37	-31.39	-10.24	23.55	60.60	-11.15
99-00	335.55	-51.29	-28.38	-9.65	86.31	14.72	-11.70
00-01	469.04	-104.84	-31.63	-9.62	210.69	-49.53	-15.07
01-02	325.74	-37.20	-28.99	-9.39	39.22	43.59	-7.24
02-03	378.14	-68.76	-27.37	-8.82	114.09	-2.20	-6.93
03-04	484.93	-68.23	-35.61	-10.92	154.96	-26.19	-14.01
04-05	185.24	-17.87	-29.91	-10.38	9.54	57.56	-8.94
05-06	382.27	-31.03	-32.49	-9.10	78.46	5.97	-11.80
06-07	359.60	-38.00	-34.13	-8.49	78.71	10.64	-8.73
07-08	344.89	-38.89	-30.72	-8.02	60.58	24.14	-7.10
08-09	489.93	-100.02	-50.23	-8.77	219.65	-56.15	-4.48
09-10	697.40	-189.13	-76.23	-10.95	415.33	-127.30	-11.72
10-11	453.14	-113.52	-71.73	-10.64	185.30	13.65	-3.05
11-12	281.20	-39.71	-49.73	-10.07	51.59	56.56	-8.64
12-13	671.83	-180.64	-78.28	-11.17	359.75	-91.54	1.88
13-14	402.08	-103.31	-73.07	-11.42	179.30	10.64	-2.15
14-15	386.17	-68.65	-63.32	-11.10	128.18	26.70	-11.81
MEDIA	404.66	-79.11	-38.21	-9.88	135.58	0.41	-8.78

MASCH CALAR DEL MUNDO**DHG****DHS**

Fecha	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Infiltración hm³	Variación Almacén. hm³	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Río hm³	Infiltración hm³	Variación Almacén. hm³
74-75	26.79	-13.08	11.19	0.61	50.08	-19.58	-6.01	25.83	1.04
75-76	23.79	-9.99	8.05	-0.14	48.95	-12.52	-5.60	20.44	-0.24
76-77	41.06	-26.67	26.73	0.02	83.03	-49.75	-8.62	58.24	0.06
77-78	39.60	-23.83	21.74	0.17	84.90	-46.91	-8.08	56.64	0.27
78-79	39.03	-22.89	22.18	-0.25	80.45	-46.15	-7.89	55.60	-0.59
79-80	30.45	-16.26	14.60	0.38	55.52	-23.96	-6.66	31.10	0.80
80-81	19.04	-5.71	4.80	0.05	31.77	-7.03	-4.29	12.03	0.14
81-82	25.83	-13.34	13.64	0.20	44.11	-22.50	-5.22	26.96	0.25
82-83	20.10	-8.55	8.68	0.07	32.26	-11.91	-4.59	16.11	0.19
83-84	36.43	-19.10	19.93	-0.08	57.80	-28.13	-6.69	34.32	-0.25
84-85	36.15	-18.67	18.75	0.36	62.19	-34.16	-6.60	39.83	0.50
85-86	38.45	-20.11	20.79	0.02	64.09	-31.55	-7.15	38.07	-0.07
86-87	25.88	-11.83	12.40	0.01	39.59	-15.09	-5.60	20.09	0.01
87-88	32.08	-13.86	12.95	0.17	58.45	-22.42	-6.21	29.05	0.33
88-89	34.61	-15.28	14.36	-1.02	65.59	-23.72	-6.83	34.05	-1.56
89-90	31.96	-16.16	15.24	1.01	57.86	-28.38	-6.62	33.40	1.52
90-91	31.25	-13.14	12.90	-0.07	55.49	-19.17	-6.07	25.71	-0.16
91-92	29.59	-13.47	12.34	0.06	49.94	-17.13	-6.36	24.44	0.13
92-93	22.82	-8.70	7.84	0.20	37.73	-10.61	-5.12	15.99	0.41
93-94	19.66	-5.61	6.00	-0.07	27.91	-3.66	-4.22	7.65	-0.10
94-95	16.16	-3.52	3.43	0.10	24.05	-3.36	-3.53	6.63	0.25
95-96	45.16	-24.69	28.79	-0.62	66.02	-36.82	-7.61	42.13	-1.17
96-97	43.12	-23.57	26.60	0.01	63.01	-35.06	-7.82	39.77	0.08
97-98	43.91	-23.35	26.03	0.54	57.64	-28.70	-7.87	32.60	0.76
98-99	17.48	-5.12	4.52	0.18	29.40	-5.43	-4.55	10.19	0.21
99-00	28.71	-13.70	13.90	0.36	46.04	-19.08	-5.73	23.61	0.64
00-01	34.03	-18.27	19.40	-0.51	53.58	-25.92	-6.58	32.59	-0.71
01-02	22.40	-8.62	7.29	0.44	34.72	-7.52	-5.15	12.87	0.68
02-03	30.42	-12.82	13.36	-0.06	43.23	-14.92	-5.83	20.38	-0.12
03-04	30.54	-14.96	13.40	0.21	51.30	-19.39	-6.09	26.47	0.35
04-05	12.68	-1.53	2.67	-0.42	17.33	-1.44	-2.87	4.01	-0.42
05-06	27.64	-10.72	10.01	-0.09	40.20	-8.19	-5.70	15.04	-0.36
06-07	26.18	-11.22	10.50	0.13	38.64	-10.02	-5.57	15.94	0.24
07-08	29.32	-11.42	12.50	-0.03	40.66	-13.28	-5.60	17.97	-0.14
08-09	32.84	-18.24	18.16	0.35	52.32	-24.99	-6.39	30.50	0.61
09-10	50.75	-28.78	32.22	0.03	81.69	-50.12	-8.56	55.27	-0.06
10-11	33.63	-17.27	17.09	0.56	53.77	-24.43	-6.49	29.81	0.73
11-12	20.81	-7.23	7.30	-0.67	33.57	-8.91	-4.57	15.06	-0.99
12-13	52.53	-33.71	35.15	0.59	88.75	-55.24	-9.70	62.35	0.57
13-14	28.85	-16.14	16.66	0.38	49.95	-25.54	-6.02	30.00	0.66
14-15	23.51	-10.85	9.77	-0.10	45.24	-17.75	-4.98	24.01	-0.11
MEDIA	30.61	-14.93	14.97	0.08	51.19	-22.21	-6.14	28.12	0.11

MASCH NAVALPERAL**DHG****DHS**

Fecha	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³
74-75	2.15	-1.30	0.80	0.09	1.08	0.00	0.40	0.02
75-76	1.57	-0.57	0.37	0.01	0.79	0.00	0.19	0.00
76-77	3.41	-3.42	2.26	0.02	1.70	-0.01	1.13	0.02
77-78	3.04	-2.11	1.40	0.01	1.52	0.00	0.70	0.00
78-79	3.03	-2.29	1.51	0.02	1.51	-0.01	0.75	0.01
79-80	2.45	-1.62	1.05	0.04	1.22	0.00	0.53	0.00
80-81	1.66	-0.39	0.26	0.00	0.83	0.00	0.13	0.00
81-82	2.32	-1.72	1.12	0.03	1.16	-0.01	0.56	0.01
82-83	1.79	-1.08	0.71	0.02	0.89	0.00	0.35	0.00
83-84	3.52	-3.08	2.00	0.06	1.76	-0.01	1.00	0.02
84-85	3.27	-2.42	1.57	0.05	1.63	-0.01	0.78	0.02
85-86	3.22	-2.49	1.64	0.02	1.61	-0.01	0.82	0.02
86-87	2.45	-1.78	1.15	0.05	1.23	-0.01	0.58	0.01
87-88	2.48	-1.08	0.72	0.01	1.24	0.00	0.36	0.00
88-89	2.67	-1.17	0.88	-0.12	1.34	0.00	0.44	-0.03
89-90	2.83	-2.04	1.23	0.16	1.42	0.00	0.62	0.03
90-91	2.53	-1.53	1.00	0.03	1.26	0.00	0.50	0.01
91-92	2.36	-1.23	0.81	0.02	1.18	0.00	0.40	0.00
92-93	1.98	-0.77	0.50	0.01	0.99	0.00	0.25	0.00
93-94	2.02	-0.95	0.63	0.01	1.01	0.00	0.31	0.00
94-95	1.58	-0.34	0.23	0.00	0.79	0.00	0.11	0.00
95-96	4.69	-4.51	2.99	0.01	2.34	-0.01	1.49	0.03
96-97	4.58	-4.22	2.83	-0.01	2.29	-0.01	1.41	0.00
97-98	4.59	-4.06	2.64	0.07	2.29	0.00	1.32	0.03
98-99	1.79	-0.52	0.30	0.05	0.89	0.00	0.15	0.01
99-00	2.80	-2.17	1.37	0.09	1.40	0.00	0.69	0.02
00-01	4.27	-3.88	2.66	-0.09	2.13	-0.01	1.33	-0.01
01-02	2.64	-1.40	0.85	0.11	1.32	0.00	0.42	0.02
02-03	3.91	-2.95	1.95	0.02	1.95	0.00	0.98	0.00
03-04	3.91	-2.95	1.92	0.05	1.95	0.00	0.96	0.01
04-05	1.59	-0.46	0.39	-0.10	0.80	0.00	0.19	-0.02
05-06	3.32	-2.11	1.33	0.09	1.66	0.00	0.67	0.02
06-07	3.22	-2.35	1.54	0.03	1.61	0.00	0.77	0.01
07-08	3.44	-2.26	1.48	0.03	1.72	-0.01	0.74	0.02
08-09	4.20	-3.99	2.61	0.06	2.10	0.00	1.31	0.01
09-10	5.75	-5.63	3.77	-0.04	2.87	-0.01	1.89	0.02
10-11	3.49	-2.90	1.83	0.12	1.74	0.00	0.92	0.03
11-12	2.20	-0.98	0.71	-0.07	1.10	0.00	0.36	-0.02
12-13	5.27	-5.45	3.52	0.13	2.63	-0.02	1.76	0.07
13-14	2.76	-2.55	1.66	0.05	1.38	0.00	0.83	0.01
14-15	2.19	-1.28	0.85	0.01	1.09	-0.01	0.43	0.01
MEDIA	3.00	-2.19	1.44	0.03	1.50	0.00	0.72	0.01

MASCH YELMO**DHG****DHS**

Fecha	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³
74-75	7.24	-4.47	3.39	0.63	0.83	0.00	0.39	0.06
75-76	6.84	-3.13	2.77	0.04	0.80	0.00	0.32	0.00
76-77	13.10	-10.83	9.68	0.01	1.52	0.00	1.13	0.01
77-78	10.91	-8.19	7.42	-0.09	1.26	0.00	0.87	-0.01
78-79	12.76	-10.39	9.20	0.09	1.50	0.00	1.09	0.01
79-80	9.18	-6.37	5.52	0.18	1.07	-0.01	0.65	0.03
80-81	5.41	-2.04	1.60	0.24	0.62	0.00	0.18	0.02
81-82	6.95	-4.80	4.30	0.00	0.79	0.00	0.49	0.01
82-83	6.00	-3.46	2.96	0.15	0.69	0.00	0.34	0.01
83-84	10.89	-8.24	7.71	-0.32	1.24	-0.01	0.88	-0.02
84-85	10.64	-7.86	6.73	0.33	1.22	0.00	0.77	0.04
85-86	10.84	-7.97	7.19	-0.04	1.25	-0.01	0.83	0.01
86-87	7.17	-4.77	4.15	0.14	0.82	-0.01	0.47	0.02
87-88	7.63	-4.16	3.58	0.14	0.88	0.00	0.42	0.02
88-89	8.50	-3.88	3.79	-0.32	0.98	0.00	0.44	-0.03
89-90	6.23	-3.98	3.13	0.46	0.71	0.00	0.35	0.05
90-91	8.04	-4.25	4.28	-0.49	0.94	-0.01	0.50	-0.04
91-92	6.13	-3.51	2.65	0.50	0.70	0.00	0.31	0.04
92-93	4.89	-2.21	1.91	0.08	0.56	0.00	0.22	0.00
93-94	4.92	-2.00	1.76	0.04	0.57	0.00	0.20	0.00
94-95	3.66	-1.03	0.86	0.06	0.42	0.00	0.10	0.00
95-96	11.96	-8.76	8.47	-0.63	1.37	-0.01	0.97	-0.04
96-97	10.56	-7.44	6.63	0.04	1.21	-0.01	0.76	0.01
97-98	10.67	-7.88	6.66	0.40	1.23	0.00	0.77	0.05
98-99	4.98	-1.80	1.44	0.18	0.58	0.00	0.17	0.02
99-00	6.34	-3.65	3.27	0.02	0.73	0.00	0.37	0.00
00-01	10.75	-7.99	7.29	-0.13	1.24	0.00	0.84	-0.01
01-02	5.80	-2.62	2.13	0.23	0.66	0.00	0.24	0.02
02-03	7.85	-5.39	4.71	0.13	0.90	0.00	0.54	0.01
03-04	7.72	-3.76	3.45	-0.07	0.88	0.00	0.38	-0.01
04-05	2.87	-0.79	0.57	0.14	0.33	0.00	0.07	0.01
05-06	7.28	-3.05	2.82	-0.07	0.82	0.00	0.31	0.00
06-07	5.68	-2.47	2.26	-0.02	0.62	0.00	0.23	0.00
07-08	5.22	-2.10	1.82	0.09	0.57	0.00	0.19	0.00
08-09	7.10	-3.89	3.52	-0.02	0.81	0.00	0.39	0.00
09-10	11.67	-9.03	8.04	0.07	1.33	-0.01	0.91	0.01
10-11	8.60	-6.12	5.33	0.17	0.98	-0.01	0.60	0.02
11-12	3.72	-1.40	1.38	-0.12	0.42	0.00	0.15	-0.01
12-13	10.46	-7.99	7.30	-0.11	1.17	-0.01	0.80	0.00
13-14	6.07	-4.26	3.50	0.35	0.69	0.00	0.38	0.03
14-15	5.50	-2.59	2.24	0.09	0.63	0.00	0.26	0.00
MEDIA	7.77	-4.89	4.33	0.06	0.89	0.00	0.49	0.01

MASCH SIERRA DE SEGURA OCCIDENTAL-SIERRA DE CASTRIL**DHG****DHS**

Fecha	Precipitac hm³	Dren/ Manant hm³	Peralta hm³	Transfer lateral SSeca hm³	Infiltrac hm³	Variación Almacen hm³	Precipitac hm³	Dren/ Manantial hm³	Infiltrac hm³	Variación Almacen hm³
74-75	179.04	-69.83	-29.18	-5.24	81.45	16.88	53.61	-20.87	19.64	7.15
75-76	149.30	-39.65	-25.18	-4.94	48.89	10.90	51.52	-7.80	15.69	2.08
76-77	283.49	-133.98	-36.46	-13.12	197.47	-14.40	100.16	-67.22	68.37	-0.66
77-78	256.57	-104.61	-33.71	-9.88	148.48	-4.12	88.27	-44.76	50.21	-1.63
78-79	243.43	-117.30	-35.51	-11.01	154.06	3.61	95.07	-54.82	59.44	1.52
79-80	185.96	-73.08	-28.72	-6.36	84.82	15.24	63.51	-25.29	29.19	4.20
80-81	127.04	-36.65	-26.42	-3.56	43.83	16.05	34.83	-4.43	5.79	5.40
81-82	175.68	-67.17	-29.42	-7.01	104.06	-7.07	58.06	-22.64	30.94	-1.69
82-83	139.07	-54.97	-28.14	-5.30	71.43	9.62	45.03	-14.20	18.65	2.92
83-84	257.34	-92.21	-31.82	-10.83	163.95	-26.35	75.70	-37.38	42.66	-8.03
84-85	236.10	-110.62	-35.02	-8.75	142.63	6.88	78.16	-46.29	46.56	4.61
85-86	229.68	-101.78	-35.54	-8.33	138.65	2.65	72.18	-36.41	39.57	1.20
86-87	148.67	-64.76	-29.45	-5.73	76.25	16.75	48.68	-17.74	20.34	4.34
87-88	197.12	-64.07	-28.02	-7.36	98.08	-0.77	58.53	-19.54	22.28	-0.60
88-89	155.89	-38.13	-24.66	-4.36	45.21	6.68	65.50	-8.76	24.15	-0.14
89-90	150.36	-47.60	-25.18	-4.79	62.59	3.46	52.15	-14.60	23.12	3.02
90-91	145.95	-46.76	-24.04	-7.06	69.90	-1.63	61.76	-16.44	27.88	-1.85
91-92	155.56	-44.51	-23.96	-5.63	65.95	-4.80	61.77	-12.47	27.08	-1.65
92-93	127.74	-38.89	-23.77	-4.87	47.32	9.28	49.59	-9.09	16.33	3.68
93-94	132.25	-36.71	-23.50	-5.54	58.71	0.58	42.47	-8.01	13.88	0.60
94-95	111.33	-24.62	-22.68	-3.61	36.08	8.43	34.64	-2.81	6.74	2.48
95-96	306.88	-113.62	-31.13	-13.37	203.29	-42.61	104.31	-59.66	68.14	-11.03
96-97	257.31	-119.62	-34.46	-8.93	149.42	14.12	84.85	-54.75	47.85	6.36
97-98	260.24	-122.42	-33.40	-11.41	163.21	7.58	92.75	-61.28	53.39	4.31
98-99	114.45	-40.43	-25.68	-3.15	32.60	26.71	40.07	-6.80	8.69	8.05
99-00	149.07	-45.79	-23.84	-6.67	71.43	-3.68	53.35	-13.81	24.86	-2.50
00-01	223.16	-91.30	-29.73	-7.87	132.88	-13.57	86.98	-41.24	52.50	-1.67
01-02	156.71	-49.22	-25.93	-4.61	61.88	12.51	48.57	-9.67	11.98	3.07
02-03	196.90	-76.12	-28.01	-7.45	114.48	-5.22	66.27	-29.36	32.36	-0.68
03-04	205.81	-71.97	-27.37	-6.77	103.39	-3.61	75.37	-25.93	34.16	-1.90
04-05	78.13	-25.56	-24.12	-1.82	15.12	27.86	25.82	-2.28	2.40	8.40
05-06	158.50	-36.89	-22.69	-5.56	67.12	-9.04	57.92	-9.41	19.97	-3.50
06-07	182.62	-45.25	-23.10	-6.44	82.38	-12.19	58.66	-14.24	22.16	-3.32
07-08	158.45	-44.55	-23.96	-5.69	67.95	0.60	55.25	-13.28	19.76	-0.83
08-09	247.69	-102.68	-29.73	-9.58	152.55	-8.34	81.85	-49.23	46.46	0.54
09-10	289.14	-147.34	-36.62	-11.31	195.91	-4.25	118.86	-79.44	80.75	2.29
10-11	239.78	-115.23	-34.64	-7.80	147.11	12.60	74.78	-47.45	40.95	4.45
11-12	129.18	-45.78	-26.11	-5.42	55.04	13.90	43.61	-9.13	16.07	1.43
12-13	330.54	-147.73	-37.34	-14.17	228.59	-22.77	110.23	-77.39	73.26	-2.46
13-14	207.35	-100.24	-33.29	-8.78	128.59	14.11	60.16	-39.58	34.80	4.39
14-15	167.62	-64.35	-28.68	-6.13	77.23	14.12	55.39	-19.63	23.59	3.86
MEDIA	191.39	-73.51	-28.79	-7.22	102.19	2.11	65.52	-28.17	32.26	1.13

MASCH SIERRA SECA**DHG****DHS**

Fecha	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Transferencia Sierra de Castril hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³	Precipitación hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³
74-75	47.60	-26.72	5.24	15.64	4.49	3.96	1.24	0.11
75-76	41.83	-12.01	4.94	5.77	0.74	3.79	0.55	0.02
76-77	56.55	-41.12	13.12	27.13	-1.18	4.78	2.08	-0.02
77-78	65.42	-37.55	9.88	26.87	-1.32	5.58	2.15	-0.03
78-79	61.85	-34.00	11.01	23.25	-1.92	4.94	1.74	-0.07
79-80	52.61	-27.70	6.36	16.19	3.64	4.54	1.40	0.10
80-81	29.48	-10.58	3.56	4.94	1.59	2.51	0.47	0.02
81-82	48.44	-29.12	7.01	21.27	-0.70	3.90	1.54	-0.01
82-83	31.38	-19.39	5.30	11.93	1.04	2.79	1.09	0.02
83-84	60.67	-32.15	10.83	23.45	-3.97	5.10	1.91	-0.07
84-85	61.91	-40.17	8.75	28.49	0.81	4.93	2.12	0.00
85-86	60.86	-35.82	8.33	25.63	-0.40	5.23	2.27	-0.02
86-87	35.81	-20.12	5.73	10.96	2.43	3.22	0.93	0.06
87-88	41.78	-18.76	7.36	10.61	-0.18	3.67	0.96	0.00
88-89	63.01	-26.08	4.36	22.84	-3.01	5.61	2.01	-0.11
89-90	44.28	-24.63	4.79	14.84	3.15	4.42	1.74	0.10
90-91	37.48	-13.76	7.06	6.33	-0.28	3.26	0.65	0.00
91-92	49.94	-27.36	5.63	21.93	-1.83	4.27	1.68	-0.06
92-93	32.87	-12.96	4.87	5.43	1.90	3.28	0.72	0.05
93-94	30.92	-10.05	5.54	3.27	0.85	2.79	0.35	0.03
94-95	29.66	-11.42	3.61	6.37	0.97	2.49	0.45	0.02
95-96	90.12	-56.42	13.37	50.07	-10.71	7.36	3.96	-0.27
96-97	69.72	-50.11	8.93	35.29	3.05	5.80	2.79	0.04
97-98	66.27	-45.51	11.41	29.06	2.37	5.89	2.62	0.05
98-99	39.65	-16.11	3.15	10.13	2.17	2.97	0.59	0.07
99-00	42.16	-18.32	6.67	9.89	0.98	3.54	0.72	0.05
00-01	80.30	-55.58	7.87	45.64	-1.53	6.63	3.64	-0.04
01-02	53.01	-24.37	4.61	17.33	0.78	4.73	1.64	0.01
02-03	58.89	-36.91	7.45	27.35	0.07	4.69	2.03	0.01
03-04	74.23	-43.00	6.77	35.17	-1.21	5.54	2.30	-0.03
04-05	30.48	-12.54	1.82	6.53	3.73	2.32	0.37	0.08
05-06	54.37	-19.80	5.56	15.56	-2.44	4.58	1.18	-0.07
06-07	52.20	-23.50	6.44	18.84	-3.17	4.03	1.45	-0.07
07-08	46.08	-22.23	5.69	13.70	2.01	3.45	0.78	0.06
08-09	72.41	-50.29	9.58	38.76	-0.48	5.05	2.45	-0.01
09-10	99.78	-82.04	11.31	68.55	-2.28	7.08	4.55	-0.09
10-11	80.96	-60.45	7.80	46.49	3.06	5.80	3.01	0.09
11-12	33.49	-12.86	5.42	8.33	-1.35	2.48	0.50	-0.05
12-13	80.43	-54.89	14.17	39.03	-1.16	6.16	2.88	-0.02
13-14	43.61	-28.63	8.78	15.84	2.74	3.36	1.20	0.08
14-15	39.73	-19.00	6.13	11.15	1.30	2.63	0.40	0.02
MEDIA	53.47	-30.34	7.22	21.36	0.12	4.37	1.64	0.00

MASCH SIERRA GUILLIMONA**DHG****DHS**

Fecha	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³	Precipitación hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³
74-75	28.19	-10.70	0.12	5.77	15.94	1.51	3.30
75-76	31.72	-8.74	0.24	4.41	19.76	1.58	2.51
76-77	33.90	-10.72	8.31	-7.50	27.84	14.09	-4.17
77-78	40.06	-12.50	9.28	-4.66	26.86	10.43	-2.55
78-79	32.69	-13.68	5.49	-2.12	25.80	11.42	-1.11
79-80	33.56	-13.15	3.14	3.84	20.64	4.10	2.06
80-81	19.67	-10.58	0.03	6.79	10.90	0.00	3.75
81-82	27.83	-10.64	6.42	-2.33	19.11	7.82	-1.27
82-83	21.97	-11.02	5.62	0.57	14.22	4.52	0.32
83-84	37.02	-10.92	4.76	-1.44	22.79	8.38	-0.77
84-85	34.94	-12.56	9.25	-5.14	25.41	11.28	-2.82
85-86	40.71	-14.69	10.15	-5.77	29.84	13.43	-3.12
86-87	25.89	-13.98	1.60	5.46	17.22	3.98	2.96
87-88	28.33	-12.72	3.81	2.85	19.69	4.51	1.55
88-89	41.02	-11.60	4.10	1.35	24.05	5.40	0.76
89-90	41.17	-13.13	11.97	-3.12	20.22	5.98	-1.70
90-91	23.33	-11.79	0.53	3.81	19.04	5.36	2.10
91-92	29.65	-9.92	0.53	4.74	18.73	2.04	2.62
92-93	27.99	-8.35	1.55	3.59	15.76	1.15	2.07
93-94	20.87	-7.01	0.04	3.91	12.68	0.81	2.26
94-95	17.00	-5.64	0.00	3.57	11.84	0.00	2.07
95-96	48.60	-9.94	18.77	-15.79	33.72	16.01	-9.04
96-97	41.13	-13.28	12.81	-6.37	27.12	10.02	-3.18
97-98	43.53	-14.70	11.17	-4.83	27.42	10.47	-2.11
98-99	17.87	-13.41	0.02	9.01	12.84	0.19	4.19
99-00	24.34	-11.30	0.82	3.98	18.17	4.30	2.21
00-01	43.15	-14.97	16.94	-12.16	30.07	16.81	-6.62
01-02	35.55	-14.36	5.80	4.76	17.73	1.23	2.58
02-03	30.01	-13.99	6.38	-0.16	21.66	7.87	-0.09
03-04	32.29	-13.04	1.86	2.72	24.14	6.99	1.46
04-05	14.76	-10.78	0.00	6.95	8.63	0.00	3.83
05-06	32.01	-8.99	0.16	3.29	20.26	3.67	1.88
06-07	26.99	-7.89	0.78	2.40	19.72	3.34	1.38
07-08	17.70	-6.79	0.08	3.16	16.52	1.74	1.82
08-09	25.06	-7.77	4.57	-4.34	24.25	10.05	-2.51
09-10	34.87	-12.49	14.05	-14.44	35.20	20.80	-7.92
10-11	28.00	-14.79	5.00	-0.89	24.53	11.15	-0.47
11-12	15.04	-12.19	0.02	7.72	12.37	0.35	4.12
12-13	39.52	-14.24	14.04	-9.74	30.27	15.13	-5.19
13-14	23.38	-15.26	5.89	0.06	18.98	9.27	0.04
14-15	16.10	-13.99	0.29	4.54	18.30	6.71	2.45
MEDIA	29.94	-11.66	5.03	-0.04	20.98	6.68	-0.01

MASCH S. SEGURA ORIENTAL-SOCOVS**DHG****DHS**

Fecha	Precip hm³	Dren/ Manantial hm³	Infiltración hm³	Variación Almacen hm³	Precip hm³	Dren/ Manantial hm³	Ríos hm³	Transferencia lat. A. Inferiores hm³	Infiltración hm³	Variación Almacen hm³
74-75	5.42	0.00	0.59	1.46	206.85	-17.02	-30.33	-10.24	23.31	32.23
75-76	6.82	0.00	0.61	1.00	217.30	-11.00	-23.85	-9.53	15.81	26.96
76-77	9.92	0.00	5.30	-2.45	306.17	-40.74	-29.25	-9.52	121.58	-44.92
77-78	9.36	0.00	3.82	-0.85	265.99	-32.03	-29.97	-9.41	78.81	-10.37
78-79	9.16	0.00	4.33	-0.98	273.31	-36.87	-32.76	-9.61	95.70	-19.80
79-80	7.11	0.00	1.52	1.35	224.74	-23.58	-32.16	-9.67	46.17	16.37
80-81	3.70	0.00	0.00	1.96	102.36	-10.03	-25.92	-9.62	4.15	39.47
81-82	6.68	0.00	2.92	-0.65	183.82	-18.25	-25.01	-9.68	60.20	-9.54
82-83	4.93	0.00	1.61	0.52	147.98	-15.76	-23.53	-9.48	31.55	15.09
83-84	7.85	0.00	3.16	-0.71	213.66	-20.99	-21.88	-9.21	53.49	-3.87
84-85	8.94	0.00	4.19	-1.06	229.75	-30.00	-24.41	-9.05	73.06	-12.73
85-86	10.51	0.00	4.99	-1.29	269.91	-29.99	-27.72	-9.14	82.63	-19.48
86-87	5.99	0.00	1.52	1.41	170.34	-17.65	-27.64	-9.31	35.86	15.82
87-88	6.89	0.00	1.66	0.78	252.22	-16.48	-27.50	-9.99	47.24	4.29
88-89	8.23	0.00	2.01	0.29	300.55	-15.35	-24.58	-9.85	46.42	1.07
89-90	6.72	0.00	1.99	0.29	259.41	-18.91	-30.24	-11.58	60.65	-2.21
90-91	6.78	0.00	2.09	0.11	241.58	-15.05	-27.71	-10.88	51.87	-0.43
91-92	6.48	0.00	0.78	0.80	241.00	-15.49	-26.44	-10.62	35.75	15.22
92-93	5.36	0.00	0.41	1.01	176.59	-11.86	-24.41	-10.30	16.01	29.14
93-94	4.36	0.00	0.32	0.83	103.18	-7.54	-20.56	-9.38	6.57	29.76
94-95	4.15	0.00	0.00	0.86	117.21	-5.66	-17.84	-8.65	2.83	28.46
95-96	11.80	0.00	5.76	-3.31	307.09	-27.26	-22.78	-9.55	122.49	-65.36
96-97	9.43	0.00	3.55	-0.87	305.13	-32.28	-30.40	-10.77	100.32	-29.56
97-98	9.47	0.00	3.80	-0.86	276.94	-33.85	-35.42	-11.44	92.28	-14.52
98-99	4.51	0.00	0.08	1.92	152.34	-10.23	-26.84	-10.24	3.47	41.83
99-00	6.41	0.00	1.67	0.29	185.41	-10.95	-22.64	-9.65	28.99	12.30
00-01	10.53	0.00	6.10	-2.49	251.67	-28.45	-25.04	-9.62	93.25	-33.74
01-02	5.91	0.00	0.31	1.91	189.81	-11.47	-23.84	-9.39	10.45	32.03
02-03	7.61	0.00	2.91	-0.42	210.19	-16.53	-21.54	-8.82	45.33	-0.91
03-04	8.52	0.00	2.69	-0.15	289.20	-15.08	-29.51	-10.92	78.85	-25.89
04-05	2.95	0.00	0.00	1.65	111.15	-7.40	-27.04	-10.38	2.03	41.15
05-06	7.01	0.00	1.43	0.20	227.19	-7.83	-26.80	-9.10	35.34	6.75
06-07	6.94	0.00	1.29	0.32	208.45	-8.80	-28.56	-8.49	33.05	11.19
07-08	5.96	0.00	0.68	0.69	199.78	-8.06	-25.12	-8.02	18.50	21.33
08-09	8.78	0.00	3.82	-1.73	287.46	-19.34	-43.84	-8.77	118.08	-48.21
09-10	12.79	0.00	7.77	-4.14	401.08	-47.05	-67.67	-10.95	226.90	-104.87
10-11	8.80	0.00	4.23	-0.11	258.98	-27.28	-65.24	-10.64	91.49	7.55
11-12	4.41	0.00	0.14	2.49	166.59	-10.21	-45.16	-10.07	18.62	44.20
12-13	10.71	0.00	5.53	-2.34	387.99	-35.23	-68.58	-11.17	189.35	-77.56
13-14	6.76	0.00	3.50	0.10	236.83	-24.80	-67.05	-11.42	94.39	5.28
14-15	6.71	0.00	2.64	0.64	232.75	-18.89	-58.33	-11.10	67.90	17.15
MEDIA	7.35	0.00	2.48	-0.04	229.02	-19.79	-32.08	-9.88	60.02	-0.72

MASCH SIERRA DE TAIBILLA**CHG****DGH**

Fecha	Precipitación hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³
74-75	11.06	0.79	1.61	29.16	-8.66	2.27	4.00
75-76	12.87	0.70	1.41	29.51	-6.71	0.81	3.78
76-77	17.15	7.24	-3.17	42.12	-8.83	14.05	-9.29
77-78	16.78	5.29	-0.66	35.99	-10.33	6.65	-0.95
78-79	15.51	5.51	-0.89	34.07	-11.25	8.99	-2.37
79-80	13.79	2.32	0.86	34.62	-11.34	5.84	2.31
80-81	7.18	0.00	2.42	15.20	-8.90	0.00	6.47
81-82	11.84	4.08	-0.62	25.12	-8.67	6.87	-1.67
82-83	9.21	2.49	0.69	21.94	-8.43	3.41	1.84
83-84	14.46	4.04	-0.34	29.46	-7.93	5.14	-0.90
84-85	15.48	5.79	-1.30	32.17	-9.31	8.31	-3.49
85-86	18.36	6.74	-1.35	39.74	-10.74	8.94	-3.59
86-87	11.16	2.33	0.50	26.75	-11.56	7.39	1.34
87-88	13.22	2.53	0.64	37.35	-10.64	5.75	1.71
88-89	16.54	2.81	0.58	43.71	-9.28	4.59	1.31
89-90	14.36	3.82	-0.02	34.83	-9.76	5.77	0.19
90-91	12.12	2.63	0.09	32.85	-8.85	6.21	-0.08
91-92	12.61	1.05	1.11	33.44	-8.30	2.82	3.31
92-93	10.41	0.64	1.49	22.44	-6.74	0.63	3.99
93-94	7.92	0.35	1.20	14.60	-5.18	0.42	3.21
94-95	7.41	0.00	1.05	16.33	-3.87	0.00	2.82
95-96	20.49	8.66	-3.71	39.77	-6.49	11.39	-9.85
96-97	17.80	5.77	-1.64	44.49	-9.03	9.94	-5.04
97-98	17.11	5.58	-0.95	33.73	-10.88	7.71	-1.47
98-99	8.53	0.09	2.51	23.87	-8.91	0.10	6.22
99-00	11.36	1.95	0.74	26.91	-7.44	2.75	1.99
00-01	18.42	8.72	-2.51	36.75	-9.22	9.73	-6.72
01-02	12.33	1.02	1.93	28.22	-8.54	0.40	5.18
02-03	13.37	3.93	-0.16	29.25	-7.94	4.58	-0.42
03-04	15.17	3.25	-0.07	36.54	-7.83	4.84	-0.19
04-05	6.27	0.04	1.70	18.86	-6.74	0.47	4.54
05-06	13.04	1.59	0.46	29.63	-5.58	2.29	1.24
06-07	12.28	1.50	0.45	27.87	-4.94	1.77	1.21
07-08	10.14	0.76	0.70	26.94	-4.25	0.91	1.88
08-09	14.48	5.07	-2.45	36.11	-6.46	10.41	-6.57
09-10	20.60	11.15	-6.23	49.29	-12.50	24.25	-16.67
10-11	14.52	5.27	0.47	32.56	-14.35	7.36	1.25
11-12	7.78	0.17	2.93	21.04	-11.46	0.48	7.89
12-13	18.68	8.06	-2.58	44.63	-12.75	14.23	-6.95
13-14	11.89	4.73	0.06	30.72	-13.37	8.43	0.15
14-15	10.89	2.93	1.24	30.14	-12.37	4.89	3.31
MEDIA	13.28	3.45	-0.04	31.19	-8.94	5.65	-0.12

**RESTO ACUIFEROS
DHG**

Fecha	Precipitación hm³	Dren/ Manantial hm³	Río Borosa hm³	Infiltración hm³	Variación Almacenamiento hm³
74-75	80.80	-31.07	-21.16	46.29	5.94
75-76	64.60	-21.94	-18.61	30.66	9.88
76-77	138.93	-52.79	-26.95	106.00	-26.26
77-78	116.84	-48.28	-26.28	78.35	-3.79
78-79	109.10	-51.95	-27.28	79.23	0.01
79-80	84.44	-40.15	-23.92	48.42	15.65
80-81	60.49	-25.10	-19.61	28.36	16.36
81-82	67.86	-25.46	-19.04	43.04	1.46
82-83	64.86	-23.52	-18.76	38.92	3.36
83-84	119.64	-38.50	-22.57	90.81	-29.74
84-85	107.78	-47.74	-25.74	75.16	-1.67
85-86	105.77	-48.64	-25.86	74.27	0.22
86-87	67.66	-37.13	-22.69	41.74	18.08
87-88	91.97	-31.67	-21.69	52.98	0.37
88-89	59.96	-19.21	-17.11	19.72	16.60
89-90	59.79	-17.53	-16.01	28.05	5.48
90-91	60.65	-16.19	-16.09	33.90	-1.62
91-92	65.28	-14.68	-15.61	30.83	-0.54
92-93	57.10	-13.74	-15.57	27.20	2.11
93-94	63.97	-15.42	-16.12	34.40	-2.86
94-95	53.27	-11.61	-14.98	21.05	5.53
95-96	138.99	-39.87	-22.29	100.64	-38.48
96-97	115.43	-48.26	-25.23	72.76	0.73
97-98	115.70	-51.11	-26.45	79.02	-1.46
98-99	46.07	-25.15	-19.64	17.33	27.46
99-00	67.01	-22.12	-17.91	37.53	2.50
00-01	96.05	-32.79	-20.08	63.00	-10.13
01-02	68.69	-22.12	-18.31	34.08	6.35
02-03	87.68	-31.99	-20.78	58.96	-6.19
03-04	85.18	-30.62	-20.24	51.47	-0.60
04-05	29.73	-13.33	-15.46	5.74	23.05
05-06	68.33	-16.51	-15.62	37.68	-5.56
06-07	77.06	-18.91	-16.53	42.30	-6.86
07-08	76.35	-19.53	-16.77	39.25	-2.95
08-09	111.71	-39.35	-22.78	76.66	-14.53
09-10	123.39	-51.15	-25.20	88.05	-11.70
10-11	109.54	-51.06	-26.75	74.90	2.91
11-12	59.04	-28.92	-20.70	31.93	17.69
12-13	148.04	-57.29	-27.44	113.01	-28.28
13-14	92.12	-48.35	-26.19	65.30	9.25
14-15	70.35	-34.27	-22.28	38.77	17.79
MEDIA	85.05	-32.07	-20.93	52.63	0.38

