

# 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

Duero-Ebro

### Informe nº 3. (ARAVIANA-BOROBIA)

#### 3. Araviana-Borobia



## ÍNDICE GENERAL

### MEMORIA

### PRESENTACIÓN

	Pág.
<b>1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO .....</b>	1
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	3
<b>3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA .....</b>	5
3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	5
3.2. GEOMETRÍA, ESTRUCTURAS Y LÍMITES. ....	7
3.3. FORMACIONES HIDROGEOLÓGICAS .....	12
3.4. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y PIEZOMETRÍA.....	19
3.5. RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO .....	25
3.6. USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	28
<b>4. CLIMATOLOGÍA .....</b>	29
4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	29
4.2. ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL .....	31
4.2.1. <i>Análisis espacial</i> .....	31
4.2.2. <i>Análisis temporal</i> .....	32
<b>5. RECARGA A LOS ACUÍFEROS .....</b>	39
5.1. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL MÉTODO APLIS.....	39
5.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE VISUAL BALAN .....	45
5.3. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA.....	48
5.3.1. <i>Metodología de cálculo y entrada de datos</i> .....	49
5.3.2. <i>Calibración</i> .....	56
<b>6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS .....</b>	61
<b>7. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL .....</b>	63
<b>8. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....</b>	65

Anexo I. Datos climáticos mensuales utilizados

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema general de situación de las MASCH Araviana-Borobia y adyacentes .....	1
Figura 3.1. Esquema de la Cordillera Ibérica. Geología de España. Vera, J.A (2004).....	5
Figura 3.2. Sistema de poljes de Noviercas sobre modelo digital del terreno y corte transversal (E. Sancho Ruiz, 2019) .....	9
Figura 3.3. Karst aluvial de Borobia sobre modelo digital del terreno y corte transversa (E. Sancho Ruiz, 2019).....	10
Figura 3.4. Mapa Hidrogeológico de la MASCH Araviana-Borobia .....	16
Figura 3.5. Cortes hidrogeológicos de la MASCH Araviana-Borobia (modificados de MAGNA)...	17
Figura 3.6. Cortes esquemáticos hidrogeológicos de la MASCH Araviana-Borobia (modificado Hydrogeo, CHE).....	18
Figura 3.7. Evolución de los niveles de agua subterránea en los piezómetros de Noviercas (PZ023401-SO) y de Ciria (2415-4-0005).....	20
Figura 3.8. Vista del manantial de Lagüén o El Estanque. Aranda de Moncayo. (Tomada de la Web <a href="https://www.verpueblos.com/">https://www.verpueblos.com/</a> ) .....	21
Figura 3.9. Evolución de caudales en la Estación de aforo A236 SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Ebro .....	22
Figura 3.10. Evolución de los niveles de agua subterránea en el piezómetro PZ0234002-SO.....	23
Figura 3.11. Corte E-F (modificado de MAGNA, Hoja 350-SORIA).....	24
Figura 3.12. Manantial de los Ojos o los Manaderos en Renieblas (Tomada de la Web <a href="http://www.renieblas.es/galeria-el-medio">http://www.renieblas.es/galeria-el-medio</a> ).....	25
Figura 3.13. Esquema explicativo de la génesis del manantial de Almenar (Modificado de IGME 2009).....	27
Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas .....	29
Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos .....	34
Figura 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen .....	35
Figura 4.4. Hietograma anual de la precipitación media caída en la MASB .....	35
Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos .....	36
Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio.....	36
Figura 4.7. Desviaciones de la precipitación anual respecto a la media acumuladas .....	37
Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) Suelo (S)e Infiltración (I) para el método APLIS.....	43
Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS).....	45

---

Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la MASb Araviana - Borobia (acuífero jurásico) (1990/91-2014/15) .....	47
Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA.....	49
Figura 5.5. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.....	50
Figura 5.6.Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA.....	51
Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA.....	52
Figura 5.8.Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.....	53
Figura 5.9.Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo .....	54
Figura 5.10.Condiciones en los límites del modelo de flujo .....	55
Figura 5.11.Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros.....	58
Figura 5.12.Piezometría representada en Renata para el régimen permanente .....	59
Figura 5.13.Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo .....	60
Figura 7.1.Superficie piezométrica flujo subterráneo y manantiales de la MASCH Araviana-Borobia (acuífero jurásico) en régimen natural permanente. .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Caudales en estaciones de medida y control hidrométrico en MASCH Araviana-Borobia (modificado de IGME 2009) .....	28
Tabla 4.1. Relación de estaciones climáticas utilizadas para realizar el estudio climático.....	30
Tabla 4.2. Valores característicos de las estaciones meteorológicas .....	31
Tabla 4.3. Valores característicos de las series anuales de precipitación para el período 1990/91-2014/15 .....	32
Tabla 4.4. Análisis de los diferentes períodos climáticos acontecidos de octubre de 1990 a septiembre de 2015 .....	32
Tabla 5.1. Puntuaciones a asignar para cada parámetro de la metodología APLIS, Parámetro Altitud (m) Puntuación.....	40
Tabla 5.2. Porcentaje y clases de recarga metodología APLIS.....	44
Tabla 5.3. Parámetros aplicados para evaluar la recarga mediante el método VISUAL BALAN ...	46
Tabla 5.4. Recarga estimada por cuencas hidrográficas (1990/91-2014/15) en la MASCH Araviana - Borobia (acuífero jurásico) mediante VISUAL BALAN .....	47
Tabla 5.5. Características de los sectores climáticos (1992-2015) .....	51
Tabla 5.6. Sectores de suelo: parámetros utilizados .....	53
Tabla 5.7. Áreas establecidas con diferente recarga.....	54
Tabla 5.8. Recarga en cada una de las áreas (1992-2015) .....	57
Tabla 5.9. Precipitación media, recarga media por precipitación y tasa de recarga en los sectores de suelo que se han denominado carbonático y detrítico (1990-2015) .....	58
Tabla 5.10. Recarga del acuífero jurásico por Demarcaciones Hidrográficas (1992-2015) .....	59
Tabla 6.1. Valor de la recarga de la MASCH denominada Araviana-Borobia (acuífero jurásico) mediante la utilización de los métodos APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1990/91-2014/15)....	61
Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen natural estacionario de la MASCH de Araviana-Borobia (acuífero jurásico) por Demarcaciones Hidrográficas .....	63
Tabla 7.2. Distribución de recursos subterráneos por cuencas .....	64

## Glosario de Acrónimos

CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CHE	Confederación Hidrográfica del Ebro
CHD	Confederación Hidrográfica del Duero
CLC	Corine Land Cover
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
DGA	Dirección General del Agua
DPA	Diputación Provincial de Alicante
ETP	Evapotranspiración potencial
ETR	Evapotranspiración real
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IRNASA	Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca
LBAS	Libro Blanco de las Aguas Subterráneas
MASb	Masa de Agua Subterránea
MDE	Modelo Digital de Elevación
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transporte
PHE	Plan Hidrológico del Ebro
PHN	Plan Hidrológico Nacional
PIAS	Plan nacional de Investigación de Aguas Subterráneas
SGOP	Servicio Geológico de Obras Públicas
SIG	Sistema de Información Geográfica
TFM	Trabajo Fin de Master
UPC	Universidad Politécnica de Cataluña

El presente documento científico-técnico 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 o con Continuidad Hidrogeológica 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.*

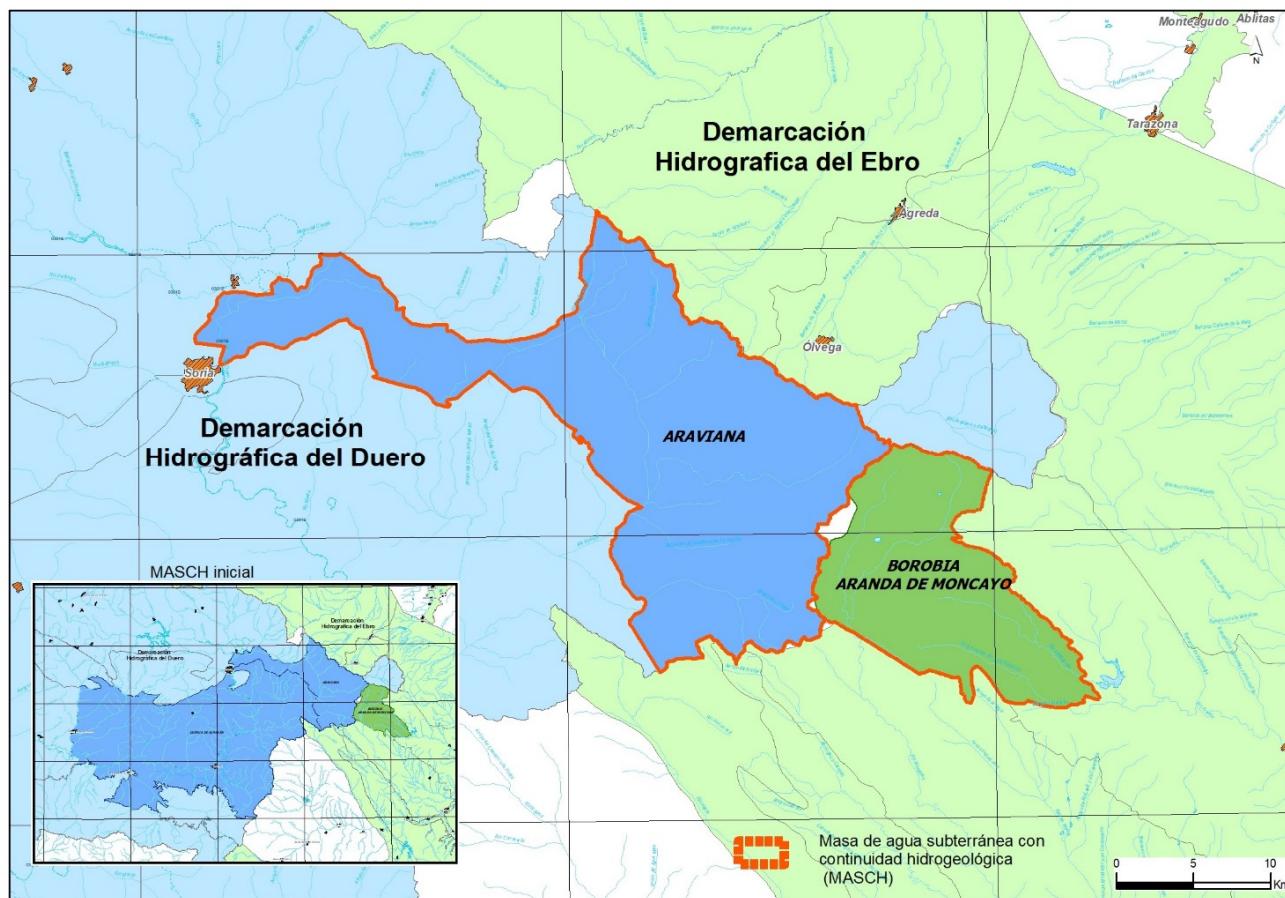
*En concordancia con los objetivos perseguidos, esta memoria contempla la identificación, caracterización y mejora del conocimiento de los acuíferos compartidos en la MASCH de Araviana-Borobia (integrada por la MASb 091.073 Borobia-Aranda de Moncayo de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y parte de las MASb 020.400003 Araviana de la Demarcación Hidrográfica del Duero) Los resultados obtenidos servirán como referencia técnica en la tarea de actualización de los contenidos que a este respecto debe incluir el Plan Hidrológico Nacional a partir de las propuestas de los planes hidrológicos de cuenca.*



## 1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO

La Masa de Agua Subterránea Compartida o con Continuidad Hidrogeológica (MASCH) en estudio incluía inicialmente las MASb de la Demarcación Hidrográfica del Duero, Araviana y Cuenca de Almazán y la MASb de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, Borobia-Aranda de Moncayo, ocupando una extensión total de 2991,69 km<sup>2</sup>.

En este trabajo se ha redefinido la MASCH, al considerarse que la MASb del Duero, Cuenca de Almazán, no presenta una relación directa con el resto de las masas, pudiendo funcionar únicamente como colector y transmisor de los posibles flujos profundos de los niveles acuíferos mesozoicos que se prolongan bajo los materiales terciarios que rellenan la cuenca, por lo que la MASCH pasa a estar formada únicamente por la MASb Araviana, perteneciente a la Demarcación del Duero y la MASb Borobia-Aranda de Moncayo, de la demarcación del Ebro, con la denominación de: MASCH Araviana-Borobia (Figura 1.1).



*Figura 1.1. Esquema general de situación de las MASCH Araviana-Borobia y adyacentes*

La MASCH Araviana-Borobia está definida sobre una superficie total de 603,39 km<sup>2</sup>, de los que 434,67 km<sup>2</sup> corresponden a la Demarcación del Duero y 168,72 km<sup>2</sup> a la del Ebro.

Administrativamente se encuentra a caballo entre las provincias de Soria y Zaragoza, entre las Comunidades Autónomas de Castilla y León y Aragón. Las principales poblaciones aledañas a la MASCH son: Soria, situada en el extremo oeste y Aranda de Moncayo, situada en el extremo sureste.

Los principales ríos de la MASCH son, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, el Manubles y el Valdepomer, como precursor del Aranda y, en la Demarcación Hidrográfica del Duero, el propio Duero, el Rituerto y el Araviana, que atraviesa la zona, procedente de la adyacente MASCH Vozmediano-Moncayo, donde nace.

Los mayores relieves se encuentran en las sierras de Tablado (Cabezarredonda, 1339 m s. n. m.), Toranzo (Toranzo, 1620 m s. n. m.) y del Madero (Cerro Valdevecinos y Alto de la Modorra, 1486 y 1454 m s. n. m. respectivamente), que se extienden alineadas a lo largo del límite noreste de la MASCH, entre las localidades de Borobia y Pozalmuro, constituyendo la divisoria de aguas superficiales de las cuencas del Ebro y Duero en este sector.

## 2. ANTECEDENTES

Como se ha indicado anteriormente, la MASCH estaba definida inicialmente por las MASb Araviana y Cuenca de Almazán, de la Demarcación Hidrográfica del Duero, y la MASb Borobia-Aranda de Moncayo, de la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

Tradicionalmente, algunos estudios realizados en estas masas establecían una relación entre las MASb de Araviana y Borobia-Aranda de Moncayo, ya que los materiales mesozoicos que ocupan la vertiente sur de las sierras del Tablado y del Madero tienen continuidad bajo los materiales terciarios y cuaternarios de las cuencas de los ríos Araviana y Manubles, en la vertiente sur de la sierra del Toranzo, por lo que puede existir continuidad hidráulica entre ambas MASb, al margen de la divisoria de aguas superficiales Ebro-Duero.

Por el contrario, la MASb Cuenca de Almazán no presenta una relación directa con las masas anteriores y su funcionamiento, aunque es probable que se produzca una transferencia subterránea profunda desde las masas colindantes a través de los materiales mesozoicos que se prolongan bajo los depósitos terciarios que rellenan la cuenca y que descargan, a través de estos últimos, al río Duero. La relación a través del límite sur de la MASCH Araviana-Borovia, constituida fundamentalmente por los niveles carbonatados del Jurásico, será bastante limitada, ya que la mayor parte de este límite está formado por los afloramientos de los niveles carbonatados del cretácico superior y las formaciones margosas infrayacentes del Kimmeridgiense y Cretácico inferior, que funcionan como sustrato impermeable de estos y confinante de los acuíferos carbonatados del Dogger.

Por tanto, como se ha indicado al inicio de esta memoria, en este estudio se ha redefinido la MASCH, que pasa a estar formada únicamente por la MASb Araviana, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Duero y la MASb Borobia-Aranda de Moncayo, de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, con la denominación de: MASCH ARAVIANA-BOROBIA (Figura 1.1).

Los estudios hidrogeológicos en estos acuíferos comenzaron a desarrollarse a partir del año 1975 cuando el IGME llevó a cabo, dentro del Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), el estudio de las Cuencas del Duero y Ebro, que continuó posteriormente con el Plan Nacional de Vigilancia y Control de Acuíferos, con el que se mejoró y actualizó el conocimiento de los acuíferos de ambas cuencas.

Posteriormente se fueron desarrollando diferentes estudios y proyectos desde las distintas administraciones y organismos, aunque en las masas que nos ocupan son más bien escasos, al tratarse de acuíferos con casi nula explotación y demanda, estableciéndose redes de control e infraestructura hidrogeológica.

En el año 1989 el IGME elaboró una síntesis de la Hidrogeología de la provincia de Soria en la que se resumen las características, funcionamiento y balance hídrico de los principales acuíferos definidos en la provincia, entre los que se incluyen: el acuífero del manantial de Aranda de Moncayo, el acuífero de la cuenca del río Rituerto y el acuífero calcáreo de Soria, que se corresponden, a grandes rasgos, con la actual MASCH Araviana-Borovia. En esta síntesis ya se indica que el área de alimentación del manantial de Aranda de Moncayo se extiende más allá de la divisoria Duero-Ebro, alcanzando la cuenca del río Araviana, produciéndose por tanto una transferencia subterránea desde la cuenca del Duero a la del Ebro. Los recursos medios conjuntos de los tres acuíferos, procedentes de la infiltración del agua de lluvia y de los ríos, se estimaron en unos  $33 \text{ hm}^3/\text{a}$ , de los que  $22 \text{ hm}^3/\text{a}$  serían drenados por el manantial de Aranda de Moncayo y  $8 \text{ hm}^3/\text{a}$  por el río Duero y manantiales en el extremo occidental.

En 1999, la CHE llevó a cabo la delimitación de las Unidades Hidrogeológicas de la cuenca para el Plan Hidrológico, definiendo la UH nº 622 Borovia-Aranda de Moncayo, con los mismos límites de la masa compartida actual, excepto en el este, que en la UH se establecía en el cauce del río Rituerto, desde la divisoria Duero-Ebro hasta su confluencia con el río Araviana. Se consideraba que todos los recursos subterráneos generados en esta unidad, estimados en 13-15 hm<sup>3</sup>/a, descargaban por el manantial de Aranda de Moncayo, en el extremo oriental.

Más adelante, para el Plan Hidrológico, la CHE definió la MASb Borovia-Aranda de Moncayo (073), que junto a la MASb Araviana de la cuenca del Duero constituyen la actual MASCH, estableciendo el límite entre ambas en la divisoria de cuencas, aunque extendiendo su área de recarga a la cuenca del Araviana y los relieves mesozoicos de la Sierra del Madero en la cuenca del Duero.

### 3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

#### 3.1. Contexto geológico

La MASCH se encuentra en el extremo septentrional de la Rama aragonesa de la Cordillera Ibérica englobando materiales del zócalo Hercínico, del recubrimiento pérmico y triásico, y de las formaciones de cobertura del Jurásico marino y de las “facies Purbeck-Weald”.

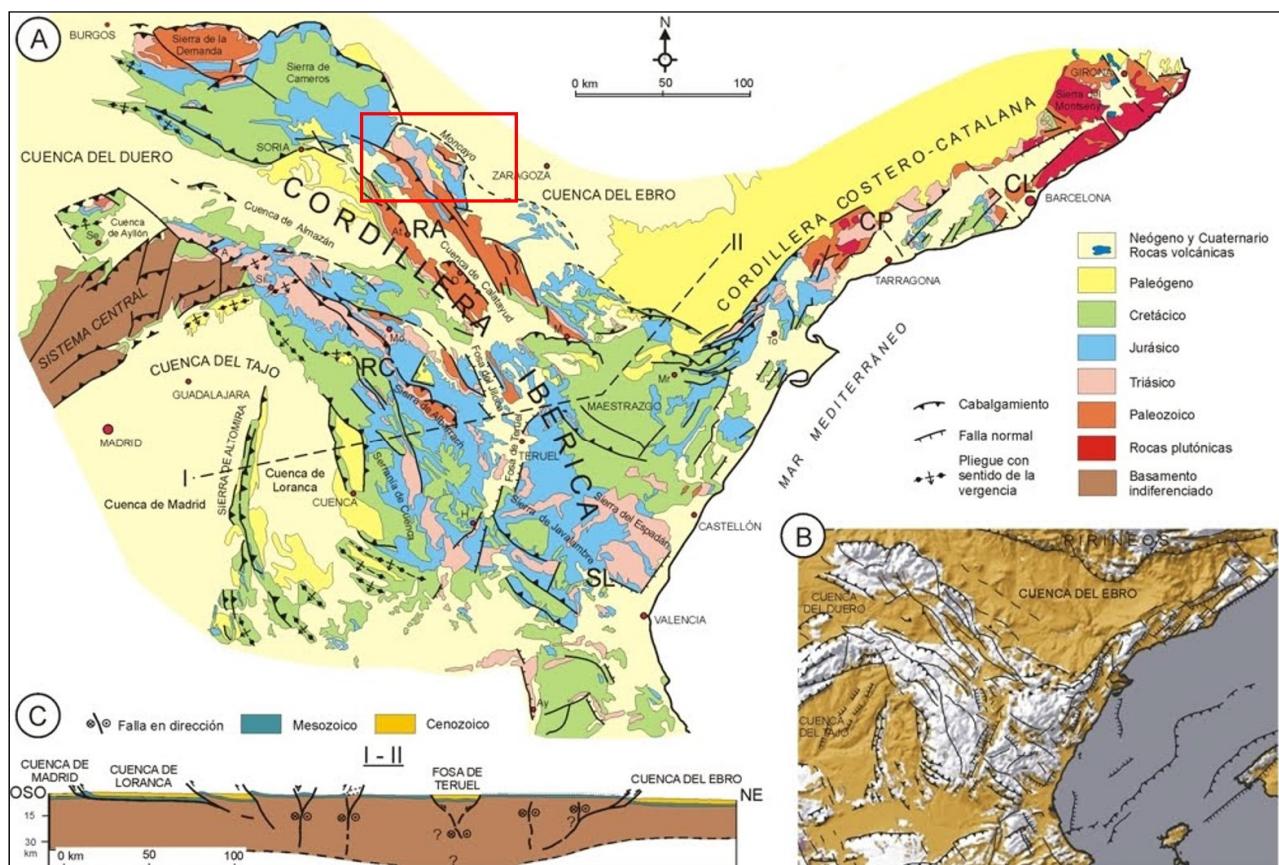


Figura 3.1. Esquema de la Cordillera Ibérica. Geología de España. Vera, J. A (2004)

Los afloramientos paleozoicos corresponden a materiales del Cámbrico inferior y medio y del Ordovícico, que se distribuyen en diferentes zonas de los límites de la mitad oriental de la masa, especialmente en el noreste de la misma, a lo largo de la falla del Tablado, en las sierras de Tablado y de Toranzo. Están representados, de muro a techo, por una alternancia de 200 m de potencia de areniscas y limolitas verdosas, sobre las que se sitúa un paquete de 150 m de limolitas rojas arenosas que a techo son más finas y calcáreas, sobre las que se disponen finalmente una alternancia de arcosas, subarcosas y argilitas de 100 m de potencia que continúa con limolitas rojas coronadas por un tramo de dolomías, calizas y calizas dolomíticas de 100 m de espesor. Esta serie del Cámbrico inferior continúa con los materiales del Cámbrico medio, compuestos por una formación de esquistos y calcoesquistos de unos 300 m de potencia, seguida por una alternancia de areniscas y arcillas de más de 300 m de espesor.

El Ordovícico está representado, de muro a techo, por un nivel de cuarcitas con intercalaciones de argilitas esquistosas, sobre el que se sitúa una alternancia arenisco-esquistosa de unos 300 m de

potencia, que continúa con un tramo de 75 m de argilitas rojas sin intercalaciones areniscosas, culminando con un tramo de cuarcitas.

El Triásico aflora principalmente en los límites de la mitad oriental de la MASb, especialmente en el límite noreste, en la vertiente sur de las sierras del Madero, Toranzo y Tablado, en discordancia angular erosiva sobre materiales paleozoicos y en el cierre del extremo oriental en torno a la localidad de Aranda de Moncayo. Se trata de un conjunto de materiales en “facies germánicas” constituido por una serie limolítico-areniscosa de facies Buntsandstein, con una potencia estimada de 650 m, sobre la que se encuentra un paquete de arcillas y margas y una barra dolomítica en facies Muschelkalk y, finalmente sobre estos, arcillas, lutitas y yesos versicolores de facies Keuper.

Sobre el Triásico se sitúan discordantes los materiales carbonatados que constituyen la serie del Jurásico marino, correspondientes a los depósitos del Lías y Dogger fundamentalmente.

La serie del Jurásico marino se inicia con unos niveles de carniolas, calizas, calizas dolomíticas y calizas brechoides mal estratificadas, que a techo se presentan bien estratificadas, de entre 90 y 170 metros de espesor, correspondientes al tramo superior del Keuper (Retiense) y al Lías inferior (Hetangiense), que pasan a calizas estratificadas con intercalaciones que van aumentando a techo de calizas margosas y margas del Lías medio (Sinemuriense-Pliensbaquiense), con potencias que oscilan entre los 250 m en Noviercas a los escasos 30 m de Aranda de Moncayo.

La serie va haciéndose progresivamente más margosa, pasando a una alternancia de calizas margosas, margas y margocalizas del Lías superior-Dogger inferior (Pliensbachiense-Aalenense) de 50-100 m de espesor.

El Dogger continúa con un tramo de calizas nodulosas que pasan a calizas oolíticas estratificadas en bancos (Bajociense-Bathoniense) de 80-100 m de potencia, sobre las que se encuentran unas calizas detríticas finas que lateralmente pasan a calizas con arenas y gravas (Calloviense-Kimmeridgiense inferior), con espesores de 140 m en el corte de Tajahuerce y 680 m en Noviercas. Sobre este conjunto de materiales se sitúa un nivel de calizas pararrecifales del Kimmeridgiense (Malm inferior), de 50-80 m de potencia, con abundantes fragmentos de coral y tallos de crinoides, que constituye el tramo superior del Jurásico marino.

Sobre el nivel de calizas pararrecifales anterior, y en continuidad estratigráfica aparente, se encuentran los materiales correspondientes al Jurásico terminal y Cretácico inferior de la Facies Weald. Se trata de una formación continental de ambiente deltaico o marino restringido, constituido por conglomerados, areniscas, lutitas y calizas que afloran a lo largo del límite sur de la masa, especialmente en su extremo oeste, entre Soria y Tajahuerce y al norte, entre Valdejeña y Pozalmuro.

Discordante sobre la formación anterior se sitúan unos niveles de arenas blancas, limos y arcillas con bancos de arenisca intercalados correspondientes a la Facies Utrillas, con espesores que alcanzan los 270 m. Sus afloramientos, al igual que la formación anterior, se distribuyen en diferentes zonas, especialmente a lo largo del límite sur de la masa, entre Soria y la localidad de Ciria, en el río Manubles.

Sobre la formación de arenas de las Facies Utrillas se encuentran una serie de formaciones integradas por niveles de calizas, calizas dolomíticas, calizas bioclásticas y dolomías que en conjunto forman una potente serie de 250-300 m de espesor, ampliamente superada en algunos puntos, y que abarcan la totalidad del Cretácico superior. Estos materiales afloran igualmente a lo largo del límite sur de la masa, especialmente en su tramo central, entre las localidades de Tajahuerce y Ciria.

Por último, en los valles y depresiones de la MASCH se sitúan, recubriendo todos estos materiales, los depósitos terciarios del Oligoceno-Plioceno y Pliocuaternarios.

El Terciario está constituido por depósitos de conglomerados, areniscas, arenas, limos y arcillas, mientras que el Pliocuaternario está representado por depósitos tipo raña, formados por conglomerados, areniscas, arcillas, arenas y limos, que se extienden fundamentalmente por la parte central de la masa, ocupando un amplio sector entre los ríos Araviana y Manubles, así como por el ancho valle del río Rituerto, entre las localidades de Villar del Campo y Jaray, en este caso cubiertos en gran medida por depósitos cuaternarios.

El cuaternario está formado principalmente por depósitos aluviales recientes de los ríos Araviana y Rituerto, derrubios de laderas y afloramientos indiferenciados correspondientes a depósitos eluviales, coluviales y aluviales poco diferenciados, constituidos litológicamente por conglomerados, arenas, limos y gravas, con una distribución geográfica similar a la de los depósitos pliocuaternarios, a los que cubre parcialmente.

### 3.2. Geometría, estructuras y límites.

La MASCH Araviana-Borovia se encuentra en el extremo noroeste de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, en la zona de transición desde la Unidad de Cameros. Está constituida fundamentalmente por las formaciones carbonatadas del jurásico, que se extienden entre Soria y Aranda de Moncayo, comprendidas entre el cabalgamiento de La Pica y el sinclinal de Calderuela, en el tercio occidental de la masa y entre la falla del Tablado y la Cuña de Ciria, en la parte oriental de esta, incluyendo también los niveles carbonatados cretácicos que afloran al sur, en el límite con las formaciones terciarias de la Cuenca de Almazán.

El cabalgamiento de Valdecureña-La Pica condiciona la geometría y los límites de la MASCH en el tercio noroeste. Se extiende desde la propia ciudad de Soria hasta la localidad de Tajahuerce, al sureste de la Sierra de La Pica, superponiendo los materiales del Jurásico inferior sobre los de distintas formaciones cretácicas. El sistema de fallas de Fuensaúco lo separa en dos sectores, el occidental, muy complejo, dividido en varias escamas con superficies irregulares y cambios de dirección, y el oriental, más homogéneo, con una superficie única y de dirección más constante, aproximadamente E-O.

Otras estructuras importantes en este sector de la MASCH son: el mencionado sistema de Fallas de Fuensaúco, constituido por un conjunto de fallas de dirección NNO-SSE transversal a las estructuras, que desplaza el cabalgamiento de Valdecureña; y la Falla de la Fuente del Rey, de dirección E-O, en el extremo del límite SO de la masa, entre la ciudad de Soria y el propio Sistema de Fallas de Fuensaúco.

La zona central de la MASCH delimitada por las localidades de Valdegeña-Jaray-Tordesalas-Borobia, está ocupada por las formaciones carbonatadas jurásicas, en su mayor parte del Jurásico superior (Dogger-Malm), aflorantes en la mitad norte de este sector y bajo los depósitos pliocuaternarios de la mitad sur del mismo.

El límite N de la masa en este sector viene marcado por la Falla del Tablado, que se extiende desde el barranco de La Mata, al norte de Pozalmuro, hasta Toranzo. Esta falla inversa, con un salto estimado de 1500 m, supone el límite hidrogeológico de esta masa con la de Vozmediano-Moncayo situada inmediatamente al norte, aunque el límite administrativo actual está fijado en la divisoria de cuencas Duero-Ebro.

El sinclinal de Noviercas, constituye una larga estructura de dirección NO-SE, cuyo eje presenta suaves inflexiones. Se extiende desde el río Rituerto, al este de Pozalmuro, hasta la margen izquierda del río Araviana, al este de Noviercas. Al NE y SO presenta ligeras divergencias de dirección que le dan al conjunto estructura de sinclinorio.

El anticlinal de Pinilla que se extiende desde Tajahuerce hasta el río Araviana manteniendo la dirección general NO-SE de las estructuras en este sector, enlaza al sur con el anticlinal de Jaray cuyo flanco SO está cortado por una importante falla que lo hunde respecto a los materiales cretácicos de la Sierra de Tajahuerce.

Este sector constituye una gran depresión tectónica que sigue la dirección general de las estructuras de la zona NO-SE, limitada por los bloques levantados que forman las sierras del Madero, Toranzo y Tablado al NE y las de La Pica, del Cortado, de Aleza y del Costanazo al SO, a favor de la cual se ha desarrollado el Sistema de Poljes de Noviercas y el Karst Aluvial Borobia, ambos de notable interés hidrogeológico, ya que suponen de las principales áreas de recarga de la MASCH.

El Sistema de Poljes de Noviercas se extiende por la depresión tectónica comprendida entre las localidades de Valdegeña, Jaray y Noviercas, dentro de la cual, E. Sancho Ruiz (2019), diferencia cuatro sectores interiores:

- Polje central de Noviercas
- Depresión secundaria-Polje de Pozalmuro
- Pequeño polje de Noviercas
- Cañón fluviokárstico del Araviana

Por este sector discurren los ríos Rituerto y Araviana, generalmente secos o con escaso caudal, excepto en los períodos de altas precipitaciones, debido al carácter netamente perdedor o influente de ambos a lo largo de su recorrido por la zona. En la Figura 3.2. Sistema de poljes de Noviercas sobre modelo digital del terreno y corte transversal (E. Sancho Ruiz, 2019) se muestra el esquema de situación del Sistema de poljes de Noviercas sobre modelo digital del terreno y un corte esquemático transversal.

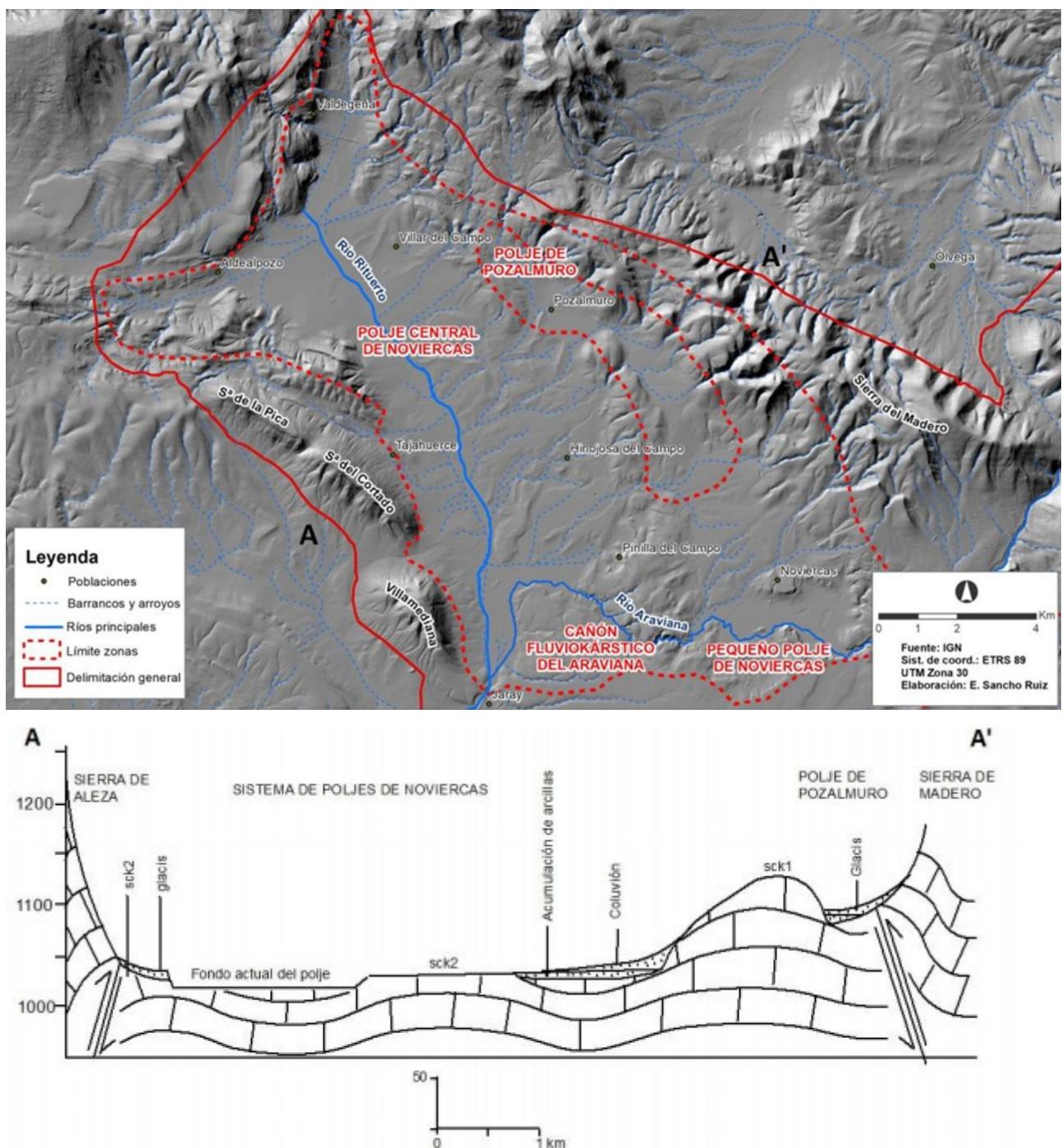


Figura 3.2. Sistema de poljes de Noviercas sobre modelo digital del terreno y corte transversal (E. Sancho Ruiz, 2019)

El Karst Aluvial de Borobia se ha desarrollado en el extremo oriental de esta depresión tectónica, entre los ríos Araviana y Manubles, con formas kársticas, dolinas de karst aluvial y un cañón fluvio-kárstico, ligadas a las formaciones carbonatadas jurásicas subyacentes a los depósitos pliocuaternarios aflorantes en la mayor parte de este sector. En la Figura 3.3. Karst aluvial de Borobia sobre modelo digital del terreno y corte transversal (E. Sancho Ruiz, 2019) se muestra el esquema de situación sobre modelo digital del terreno y un corte esquemático transversal.

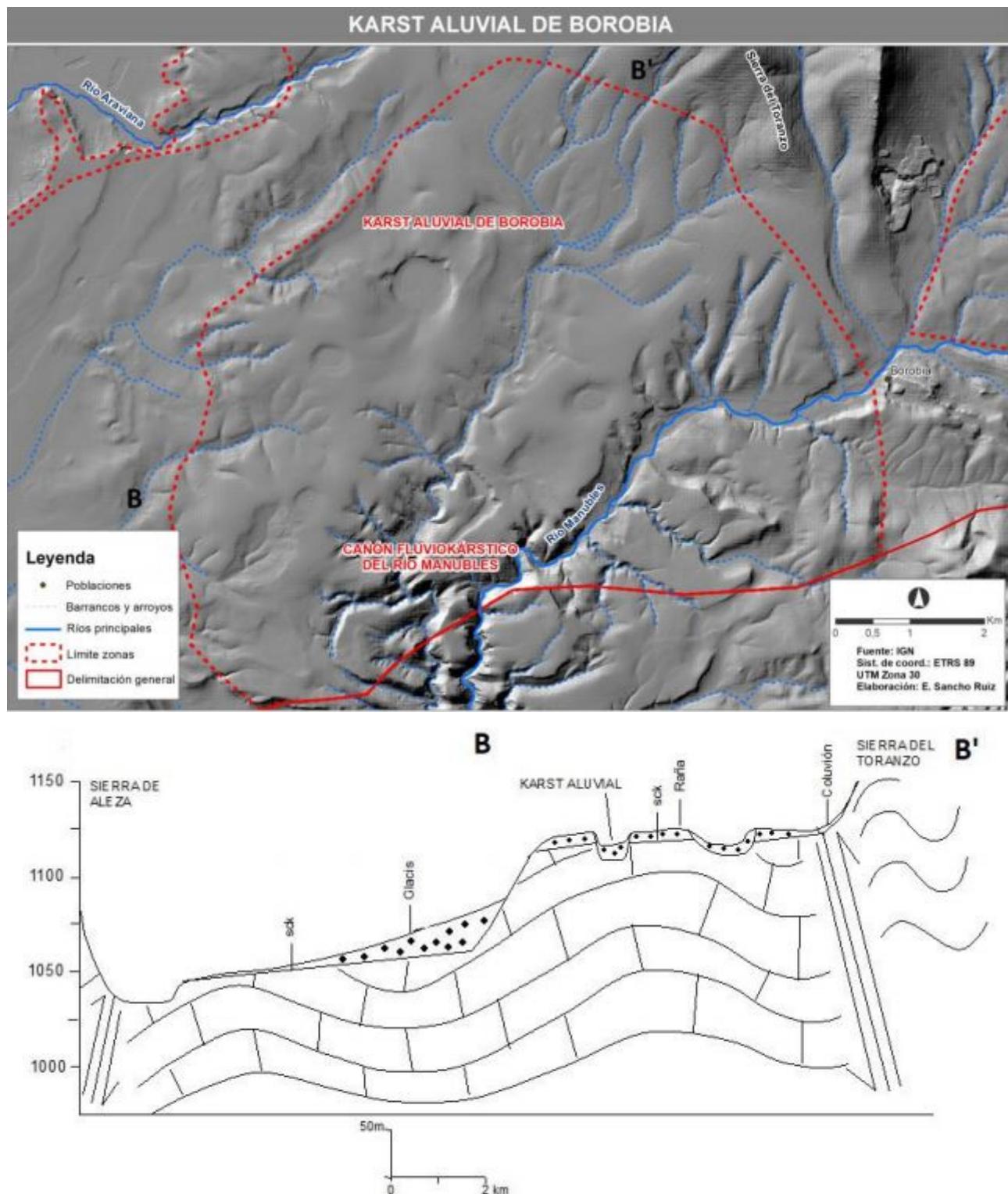


Figura 3.3. Karst aluvial de Borobia sobre modelo digital del terreno y corte transversa (E. Sancho Ruiz, 2019)

El tercio oriental de la MASCH está ocupada en su mayor parte por los afloramientos de los materiales carbonatados jurásicos, fundamentalmente del Jurásico inferior, que se extienden entre Borobia, el río Manubles y Aranda de Moncayo, en su totalidad dentro de la Cuenca del Ebro.

En este sector se establecen tres áreas estructurales diferenciadas: Área tabular jurásica, Cuña de Ciria y Sinclinorio de Aranda.

El Área Tabular jurásica delimitada entre los afloramientos triásicos de la vertiente meridional de la Sierra de Tablado al norte y el conjunto de fallas inversas que definen la Cuña de Ciria al sur, constituye una estructura muy simple, formada por el amplio Sinclinal de Muelacerrada, de directriz O-E, fondo plano y flancos muy tendidos, excepto en el contacto con la Cuña de Ciria, en donde las capas se encuentran verticalizadas, formando en conjunto una estructura subhorizontal de tipo tabular.

La Cuña de Ciria, comprendida entre las localidades de Ciria y Malanquilla y el Barranco de Valdepuerta, al sur de Pomer, constituye una zona fuertemente tectonizada, muy apretada, que ha sufrido un importante acortamiento por dos sistemas de fallas inversas con vergencias contrapuestas, las del norte con vergencia S y las del sur con vergencia N, formando una estructura en forma de cuña, coincidente, además, con un accidente de primer orden que condicionó la paleogeografía durante el Mesozoico e invirtió las polaridades tectónicas de las estructuras en el ciclo alpino, actuando como un alto durante gran parte de la historia post-hercínica.

El Sinclinorio de Aranda ocupa el extremo oriental de la masa, constituido por materiales mesozoicos del Buntsandstein, que forman el sustrato y límite hidrogeológico del acuífero, hasta el Dogger. Esta estructura se encuentra limitada por los afloramientos paleozoicos que constituyen el Sinclinal de Oseja al NE y el de Viver al S, ya fuera de los límites de la MASCH.

El límite NE de la MASCH, entre Valdegeña y Aranda de Moncayo se ha establecido en su mitad occidental entre el extremo septentrional de la masa, al norte de Valdegeña y las proximidades del río Araviana, en la divisoria de las cuencas de los ríos Duero y Ebro, aunque hidrogeológicamente podría situarse un poco más al norte, en la prolongación de la falla del Tablado, que constituiría a su vez el límite sur en ese sector de la MASCH Vozmediano-Moncayo y de la MASb Añavieja-Valdegutur. No obstante, las divisorias de aguas superficiales y subterráneas parecen coincidir en este sector, aunque la escasez de datos piezométricos, no permiten afirmarlo con total seguridad.

Este límite continúa hasta el extremo oriental de la masa, en Aranda de Moncayo, por los materiales triásicos y paleozoicos del flanco sur del Moncayo, que la falla del Tablado eleva hasta ponerlos en contacto con los del Lías inferior de la MASCH de Vozmediano-Moncayo, situada inmediatamente al norte de esta. Entre Toranzo y el arroyo de la Virgen este límite se ha hecho coincidir con la divisoria superficial Duero-Ebro.

El límite NE de la MASCH Araviana-Borobia puede considerarse por tanto cerrado en su totalidad aunque, como se ha indicado anteriormente, entre el extremo septentrional de la masa, al norte de Valdegeña y las proximidades del río Araviana, podría existir cierta continuidad hidráulica entre las formaciones carbonatadas del Dogger que afloran a ambos lados de la falla del Tablado.

El límite NO, entre Soria y el extremo septentrional de la masa, al norte de Valdegeña, se establece, en su mayor parte, en el contacto de las formaciones carbonatadas del Jurásico medio-superior (Dogger-Malm) con las formaciones de baja permeabilidad del Cretácico inferior que afloran al norte de la MASCH, excepto en el tramo entre Renieblas y Garray, que queda establecido en el contacto con las Formaciones terciarias. Este límite puede considerarse igualmente cerrado hasta el propio río Duero, donde se produce parte de la descarga de agua subterránea de la masa.

El límite SO, entre Soria y la Sierra del Costanazo, en Sauquillo de Alcázar, se ha definido por el contacto con los materiales terciarios de la Cuenca de Almazán, ya que se han englobado en la MASCH los afloramientos cretácicos que se alinean a lo largo de este límite, en contacto mecánico

(cabalgamientos y fallas) con las formaciones jurásicas, aunque hidrogeológicamente estarían desconectadas, en su mayor parte, por los niveles de baja permeabilidad del Cretácico inferior.

Este límite se ha considerado abierto en el modelo realizado con el código RENATA, en el tramo comprendido entre la Sierra de la Pica y Jaray, en el río Araviana, al ponerse en contacto directo las formaciones carbonatadas del Jurásico con las del Cretácico superior, debido a la importante fractura de dirección NNO-SSE que hunde el flanco SO del anticinal de Jaray, prolongándose a su vez los materiales cretácicos bajo las formaciones terciarias de la Cuenca de Almazán, descargando finalmente al río Duero a través de estos. El resto del límite hacia el este se considera cerrado por los materiales triásicos y paleozoicos, que afloran a lo largo de este tramo. Algo similar ocurre al oeste de la Sierra de La Pica hasta el extremo occidental en Soria, donde los materiales triásicos, fundamentalmente del Keuper, se encuentran asociados al cabalgamiento de Valdecureña-La Pica, llegando a aflorar en varios puntos a lo largo de este.

El límite S, desde la Sierra del Costanazo, hasta el extremo oriental de la MASCH en Aranda de Moncayo se establece, en su mitad occidental, hasta la Sierra de la Vigornia, al sur de Ciria, en la divisoria de aguas de las cuencas del Duero y Ebro, con características similares a las descritas en el extremo oriental del límite SO, continuando hacia el E, desde la Sierra de la Vigornia hasta Malanquilla, por los afloramientos triásicos asociados al sistema de fallas inversas que constituyen la Cuña de Ciria, estableciéndose el tramo final del límite, entre Malanquilla y Aranda de Moncayo, en el contacto con los afloramientos triásicos y paleozoicos del Sinclinal de Viver. Todo este límite S se considera, por tanto, cerrado desde el punto de vista hidrogeológico.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, la geometría de la MASCH y de los acuíferos kársticos que la forman, queda definida fundamentalmente por las formaciones carbonatadas del Jurásico marino cuyos afloramientos se extienden como una banda de dirección NO-SE entre Soria y Aranda de Moncayo, sobre los materiales triásicos y Paleozoicos del flanco sur de la gran falla del Tablado al NE hasta las formaciones terciarias de la Cuenca de Almazán al SO, siendo las arcillas triásicas en facies Keuper las que constituyen el impermeable de base de estos acuíferos.

Aunque la MASCH está formada principalmente por los acuíferos kársticos jurásicos, se han incluido también, dentro de ésta, la estrecha banda de afloramientos carbonatados del Cretácico superior que se extienden a lo largo del límite SO y S, que forman los relieves de las sierras de La Pica, del Cortado, de Aleza, del Costanazo y de la Vigornia.

### 3.3. Formaciones hidrogeológicas

Los materiales aflorantes en el ámbito de la MASCH descritos anteriormente, se han agrupado, de acuerdo con sus características hidrogeológicas, en diferentes niveles, que constituyen las distintas unidades cartográficas representadas en el mapa hidrogeológico (Figura 3.4) y en los cortes hidrogeológicos (Figura 3.5 y Figura 3.6):

- Formación detrítico-carbonatada del Cámbrico-Ordovícico (1) (Permeabilidad: baja-muy baja)
- Formación triásica (2) (Permeabilidad: baja-muy baja)
- Formación calizo-dolomítica del Lías inferior (3) (Permeabilidad: alta-muy alta)
- Formación margosa del Lías superior-Dogger inferior (4) (Permeabilidad: baja)
- Formación carbonatada del Dogger-Malm inferior (5) (Permeabilidad: media-alta)
- Formación continental del Cretácico inferior (Facies Weald) (6) (Permeabilidad: media-baja)

- Formación arenosa (Facies Utrillas) (7) (Permeabilidad: media-baja)
- Formación carbonatada del Cretácico superior (8) (Permeabilidad: alta-muy alta)
- Formación detritico-arcillosa del Terciario (9) (Permeabilidad: baja)
- Formación detrítica del Cuaternario (10) (Permeabilidad: media)

A continuación, se describen de forma resumida cada una de estas Formaciones.

### **Formación detrítico-carbonatada del Cámbrico-Ordovícico (1)**

Se agrupan en esta formación todos los materiales paleozoicos que afloran en la mitad oriental de la MASCH, especialmente en el sector de Toranzo-Borobia, en la vertiente sur de la Sierra del Tablado, en la Sierra del Costanazo al sur y en el extremo oriental, al este de Malanquilla.

En general, se trata de una potente Formación constituida por cuarcitas con intercalaciones de argilitas, esquistos, calcoesquistos, areniscas y limolitas que, considerada en conjunto, presenta una baja a muy baja permeabilidad.

Forman parte de los límites NE y S de la MASCH, cerrando las formaciones permeables que forman los acuíferos de esta, impidiendo el flujo de agua subterránea través del mismo.

### **Formación triásica (2)**

Está formada por los materiales del Triásico que afloran en la mitad oriental de la MASCH, especialmente en el límite NE, en la vertiente sur de las sierras del Madero, Toranzo y Tablado, entre Borobia y Aranda de Moncayo y, al sur, en las Sierras de Aleza y del Costanazo, así como en entre las localidades de Malanquilla y Pomer, encontrándose también algunos afloramientos asociados al sistema de fallas inversas de la cuña de Ciria y al cabalgamiento de Valdecureña-La Pica.

Está formada por las areniscas, limolitas y conglomerados del Buntsandstein, y las arcillas y lutitas del Keuper, encontrándose entre ambas la barra dolomítica y el nivel de margas del Muschelkalk.

La permeabilidad de todo el conjunto triásico es baja-muy baja, a pesar de que el nivel dolomítico del Muschelkalk puede tener una alta permeabilidad, pero su escasa potencia y desarrollo hacen que no sea significativo en el conjunto de la Formación, encontrándose además desconectado de los acuíferos jurásicos.

Tanto en el mapa como en los cortes hidrogeológicos, se ha representado como una única formación, diferenciándose el nivel dolomítico del Muschelkalk solo en los cortes esquemáticos de la Figura 3.6, en los que su aparente mayor espesor se debe, en parte, a la mayor escala vertical.

Las arcillas y lutitas del Keuper, constituyen el impermeable de base de la MASb.

### **Formación calizo-dolomítica del Lías inferior (3)**

Agrupa los niveles de carniolas, calizas, calizas dolomíticas y calizas brechoides masivas del suprakeuper -Lías inferior (Retiense-Hettangiense) que a techo pasan progresivamente a calizas, calizas margosas y margas del Lías medio (Sinemuriense-Pliensbachense). La potencia del conjunto puede variar entre 200 y 450 metros.

Esta formación aflora fundamentalmente en el tercio oriental de la MASCH, aunque también existen importantes afloramientos en el tercio occidental, entre Tajahuerce y Soria, cabalgando sobre las formaciones del Cretácico superior y al norte de Noviercas.

Entre Tajahuerce, al SE de la Sierra de la Pica y Jaray, la formación se pone en contacto directo con la Formación Carbonatada del Cretácico superior (8), que probablemente continúa bajo los

depósitos terciarios que rellenan la depresión de Almazán, descargando a través de éstos al río Duero.

Aunque no se dispone apenas de datos de parámetros hidráulicos de esta formación y el único dato directo de Transmisividad, obtenido del ensayo de bombeo realizado en el piezómetro 2415-4-0005, se estableció entre 25-120 m<sup>2</sup>/día, por sus características litológicas e hidrogeológicas, se estima que su permeabilidad será alta-muy alta, especialmente en el tramo de materiales del Lías inferior en los que el grado de karstificación es elevado, Coloma (1999) estima unos valores de Transmisividad para formaciones equivalentes a esta de 100 a 3000 m<sup>2</sup>/día.

La permeabilidad disminuirá probablemente hacia el techo de la Formación a medida que la serie va haciéndose más margosa, en tránsito a la formación suprayacente.

#### **Formación margosa del Lías superior-Dogger inferior (4)**

Esta Formación, con una potencia estimada de 50-100 m, está integrada por una alternancia de calizas margosas, margas y margocalizas del Pliensbachiense-Aalenense, que por su composición litológica y potencia constituye un nivel de baja permeabilidad, que se comporta como acuíclido, dificultando y limitando el flujo de agua subterránea entre las Formaciones permeables situadas a muro y techo de la misma.

#### **Formación carbonatada del Dogger-Malm inferior (5)**

En esta Formación se agrupan los diferentes niveles carbonatados del Dogger-Malm, integrados por un nivel de calizas nodulosas, al que le sigue un potente paquete de calizas detríticas y calizas con arenas y gravas que culmina con el nivel de calizas pararrecifales del Kimmeridgiense. La potencia estimada para el conjunto de la formación es de 270-860 m.

Los afloramientos de estos materiales se encuentran principalmente en el sector central de la MASCH, en el área de Valdegeña-Jaray-Noviercas, encontrándose también, con toda probabilidad, bajo los materiales neógenos y cuaternarios del área de Noviercas-Jaray-Borobia-Cardejón y del valle del río Rituerto. En el sector oriental se encuentran algunos afloramientos, especialmente en el núcleo del sinclinal de Muelacerrada, al NE de Ciria. En el resto de la masa, los afloramientos son más escasos y de menor entidad.

Aunque no se dispone de datos de parámetros hidráulicos de esta formación, por sus características litológicas e hidrogeológicas, así como por su similitud con las formaciones equivalentes de masas vecinas, se estima que la permeabilidad del conjunto de la formación podría ser media-alta.

#### **Formación continental del Cretácico inferior (Facies Weald) (6)**

Está formada por depósitos continentales de ambiente deltaico o marino restringido, conglomerados, areniscas, lutitas y calizas, correspondientes al Jurásico terminal y Cretácico inferior en Facies Weald, que constituye un grupo de materiales heterogéneo con una permeabilidad estimada por sus características litológicas, ya que no se dispone de datos de parámetros hidráulicos ni caudales de descarga, media-baja.

Sus afloramientos se distribuyen principalmente a lo largo del límite sur de la masa, especialmente en su extremo occidental, entre Soria y Tajahuerce y al norte, entre Valdegeña y Pozalmuro, encontrándose también algunos afloramientos de cierta entidad en el tercio oriental de la masa, entre el núcleo del sinclinal de Muelacerrada al norte de Ciria y Malanquilla.

### **Formación arenosa (Facies Utrillas) (7)**

Sobre la formación anterior se sitúan los niveles arenosos de la Facies Utrillas, integrados por niveles de arenas blancas, limos y arcillas, con intercalaciones de bancos de areniscas, pudiendo alcanzar el conjunto de materiales que constituyen esta formación los 270 m de potencia.

Los materiales de esta formación se distribuyen en la MASCH de la misma manera que la formación anterior, aunque con afloramientos de menor extensión, a lo largo del límite SO, especialmente en su extremo occidental, entre Soria y Tajahuerce y al noroeste de Pozalmuro, encontrándose también algunos afloramientos próximos al límite S de la masa, entre las sierras de Aleza y de la Vigornia.

Tampoco se dispone de datos de parámetros hidráulicos ni de otra información que permita cuantificar la permeabilidad del conjunto de la formación, salvo sus características litológicas e hidrogeológicas y de formaciones equivalentes en otras masas, por lo que, de acuerdo con estas, se le asigna una permeabilidad media-baja.

### **Formación carbonatada del Cretácico superior (8)**

Sobre la formación arenosa anterior, se encuentran una serie de niveles carbonatados que agrupados constituyen una potente formación integrada por calizas, calizas dolomíticas, calizas bioclásticas y dolomías que abarcan la totalidad del Cretácico superior y que alcanza espesores de más de 300 m, que en algunos puntos, como en la Sierra de la Pica, son ampliamente superados.

Estos materiales afloran a lo largo de todo el límite SO y parte del límite S de la masa, especialmente en su tramo central, entre las localidades de Tajahuerce y Ciria, formando las sierras de la Pica, del Cortado, Villamediana, de Aleza, del Costanazo y de la Vigornia.

Al conjunto de la formación, a falta de datos específicos, en especial de parámetros hidráulicos, se le estima, por sus características litológicas e hidrogeológicas, una permeabilidad alta-muy alta.

### **Formación detrítico-arcillosa del Terciario (9)**

En esta Formación se han agrupado los conglomerados, areniscas, arenas, limos y arcillas que constituyen los depósitos del Terciario que se extienden sobre las formaciones anteriores, principalmente en el área central de la masa, ocupando un amplio sector entre los ríos Araviana y Manubles, y el ancho valle del río Rituerto, entre las localidades de Villar del Campo y Jaray.

En conjunto constituye una formación fundamentalmente arcillosa, a la que se le estima una permeabilidad baja.

### **Formación detrítica del Cuaternario (10)**

En esta formación se han integrado todos los materiales que constituyen los depósitos cuaternarios presentes en el ámbito de la masa, que corresponden a los depósitos aluviales recientes de los ríos Araviana y Rituerto, derrubios de laderas y afloramientos indiferenciados de depósitos eluviales, coluviales y aluviales poco diferenciados, constituidos litológicamente por conglomerados, arenas, limos y gravas.

La distribución de los depósitos que integran esta formación es similar a la de los materiales de la formación terciaria anterior, a los que cubre en parte, pero con una extensión mucho más limitada.

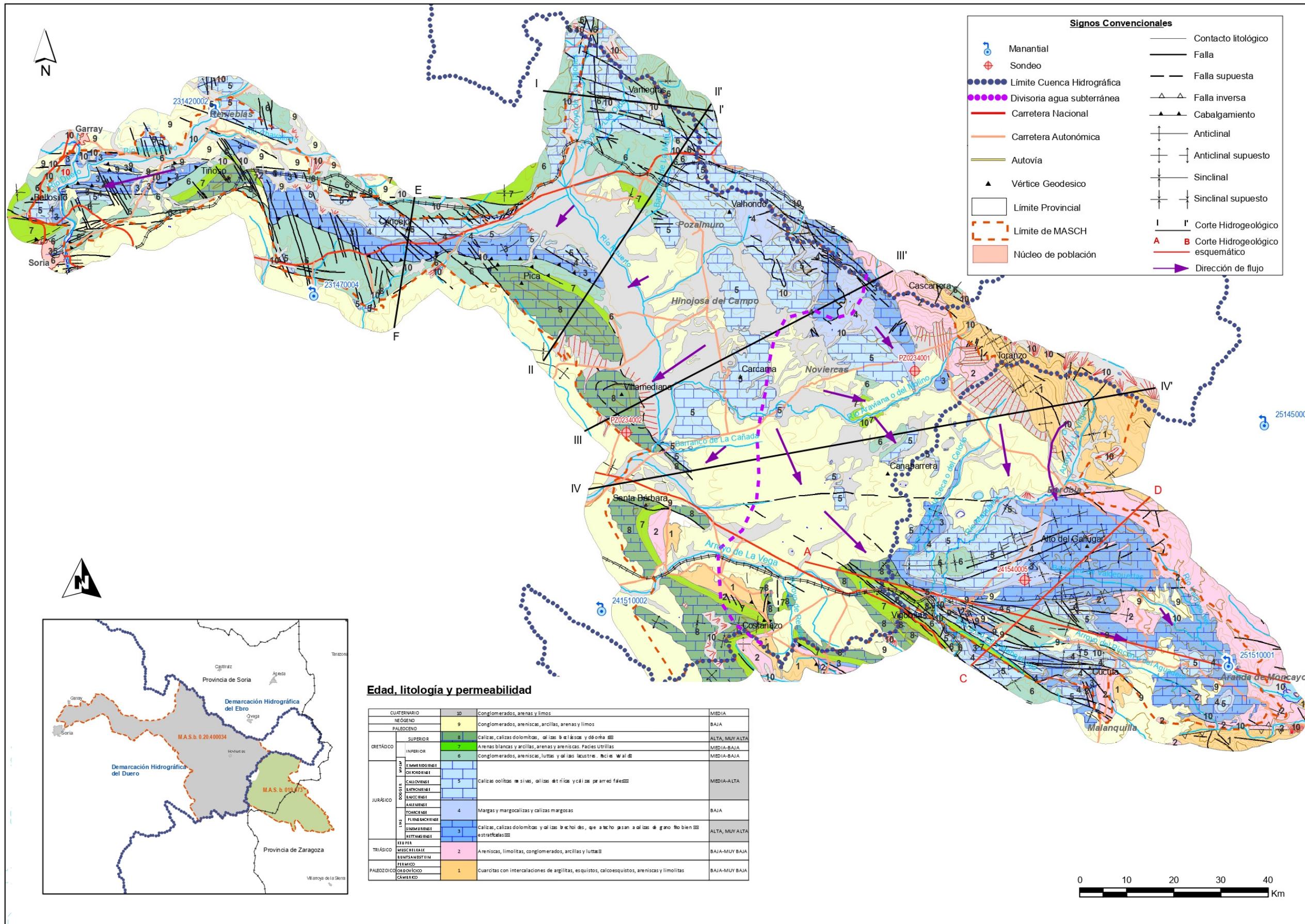


Figura 3.4. Mapa Hidrogeológico de la MASCH Araviana-Borobia

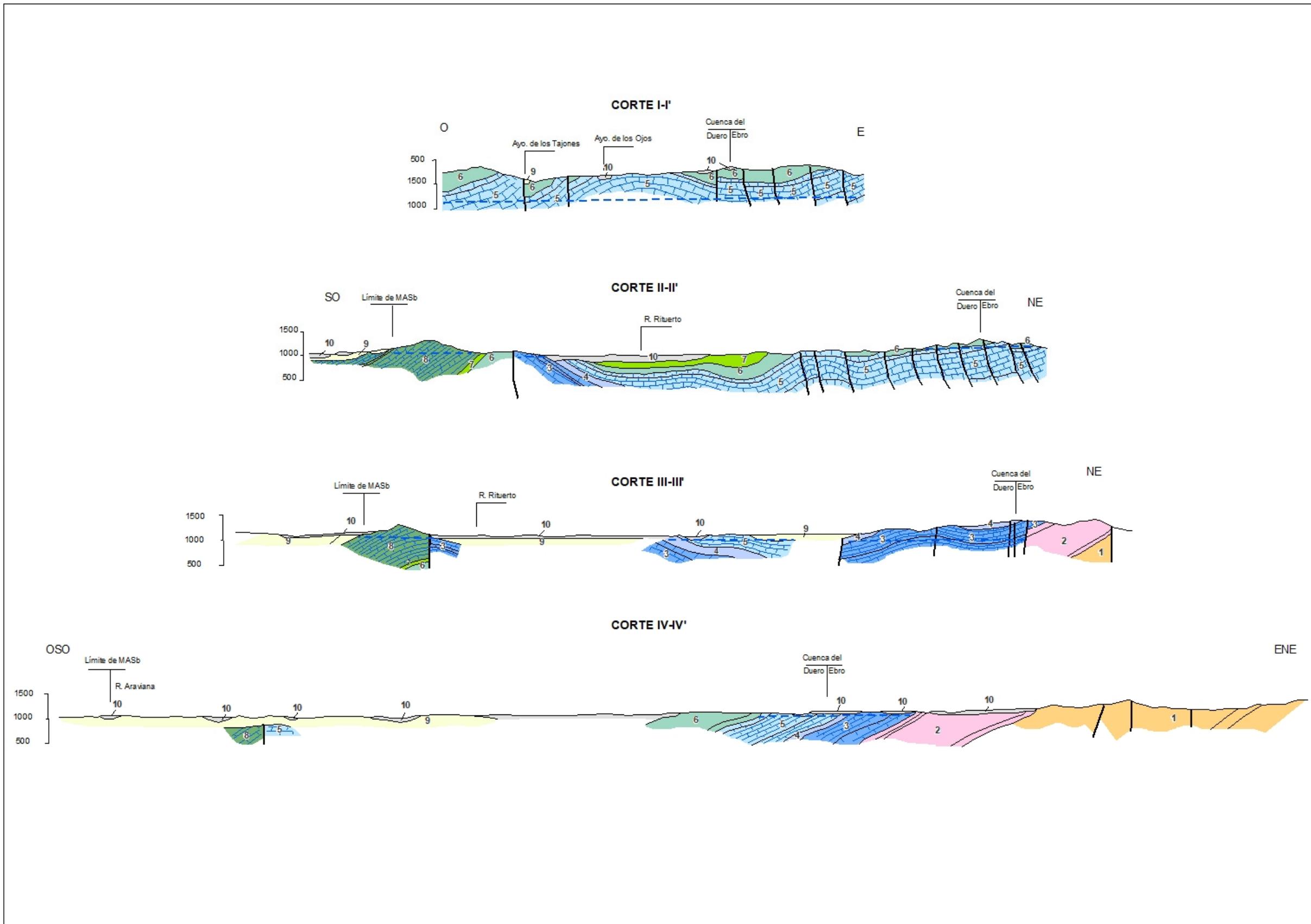


Figura 3.5. Cortes hidrogeológicos de la MASCH Araviana-Borobia (modificados de MAGNA)

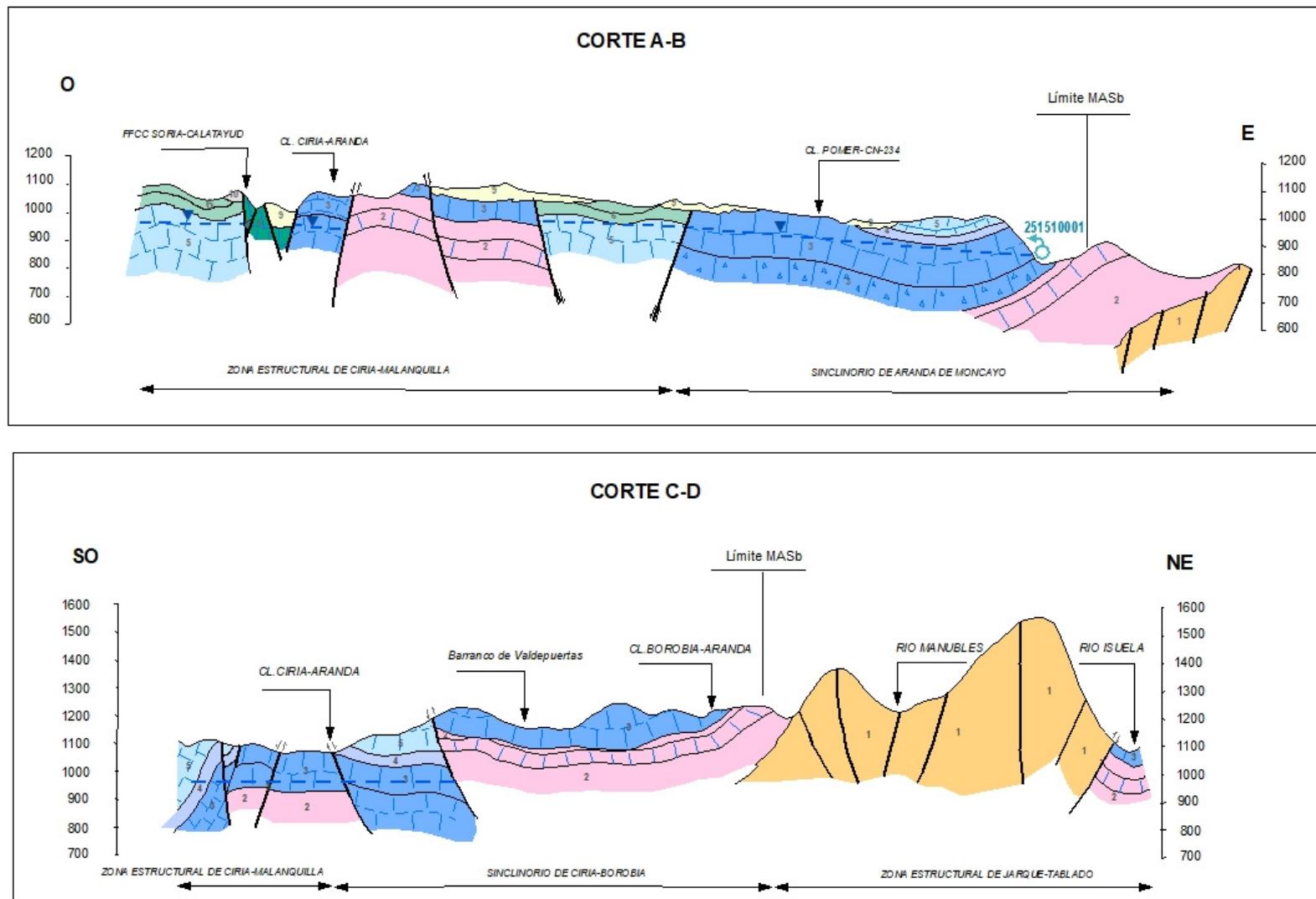


Figura 3.6. Cortes esquemáticos hidrogeológicos de la MASCH Araviana-Borobia (modificado Hydrogeo, CHE)

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. (ARAVIANA-BOROBIA)

De las formaciones descritas anteriormente, solo la Formación calizo-dolomítica del Lías inferior (3) y la Formación carbonatada del Dogger-Malm (5), constituyen formaciones de interés hidrogeológico, formando, por tanto, los principales acuíferos de la MASCH.

La Formación carbonatada del Cretácico superior (8) podría constituir igualmente acuíferos de interés, aunque la escasa extensión y desconexión de sus afloramientos, su situación marginal y la desconexión de las formaciones jurásicas que constituyen los acuíferos principales de la MASCH, le restan interés, a pesar de los grandes espesores que presentan en algunos de sus afloramientos, como ocurre en la Sierra de la Pica.

El resto de las formaciones paleozoicas y mesozoicas, por sus características y baja permeabilidad, funcionan generalmente como base o confinante de las anteriores pudiendo, no obstante, llegar a formar en algunos casos pequeños acuíferos de escaso interés y desarrollo.

Los materiales pliocuaternarios y cuaternarios, aunque presentan un cierto grado de permeabilidad, no constituyen acuíferos de entidad ya que funcionan fundamentalmente como transmisores de la recarga hacia las dos formaciones hidrogeológicas que forman los acuíferos principales de la masa subyacente a estos. Esto se hace especialmente patente en un amplio sector del valle del río Rituerto y en el área comprendida entre los ríos Araviana y Manubles, en donde estos materiales se encuentran sobre las formaciones carbonatadas del Lías inferior y del Dogger-Malm inferior, que en estas zonas presentan un alto grado de karstificación, formando parte del sistema de poljes de Noviercas y del Karst Aluvial de Borobia, respectivamente y donde los ríos y arroyos se encuentran generalmente secos, excepto en períodos y episodios de precipitaciones elevadas, infiltrándose en su totalidad el agua procedente de sus cabeceras y afluentes.

### **3.4. Funcionamiento hidrogeológico y piezometría.**

De acuerdo con lo descrito anteriormente, la geometría de la MASCH y de los acuíferos kársticos que la forman, queda definida fundamentalmente por la Formación calizo-dolomítica del Lías inferior (3) y la Formación carbonatada del Dogger-Malm inferior (5), cuyos afloramientos se extienden como una banda de dirección NO-SE entre Soria y Aranda de Moncayo, sobre los materiales triásicos y paleozoicos del flanco sur de la gran falla del Tablado al NE y hasta las formaciones terciarias de la Cuenca de Almazán al SO, siendo las arcillas triásicas en facies Keuper el impermeable de base de estos acuíferos.

Estas dos formaciones constituyen dos acuíferos kársticos separados por la Formación margosa del Lías superior-Dogger inferior (4) que puede dificultar y limitar el flujo de agua subterránea entre los dos acuíferos situados a muro y techo de la misma.

Aunque es muy probable que la tectónica y estructura de la zona permitan la conexión hidráulica entre las dos formaciones, especialmente en el extremo occidental de la MASCH, la unidad margosa podría constituir, en algunas zonas, una barrera a la circulación del agua subterránea entre ambos, actuando simultáneamente como confinante del acuífero inferior y sustrato impermeable del acuífero superior. No obstante, la escasez de datos de piezometría impide valorar tanto el grado de conexión entre ambas como su distribución.

#### **Sector Oriental**

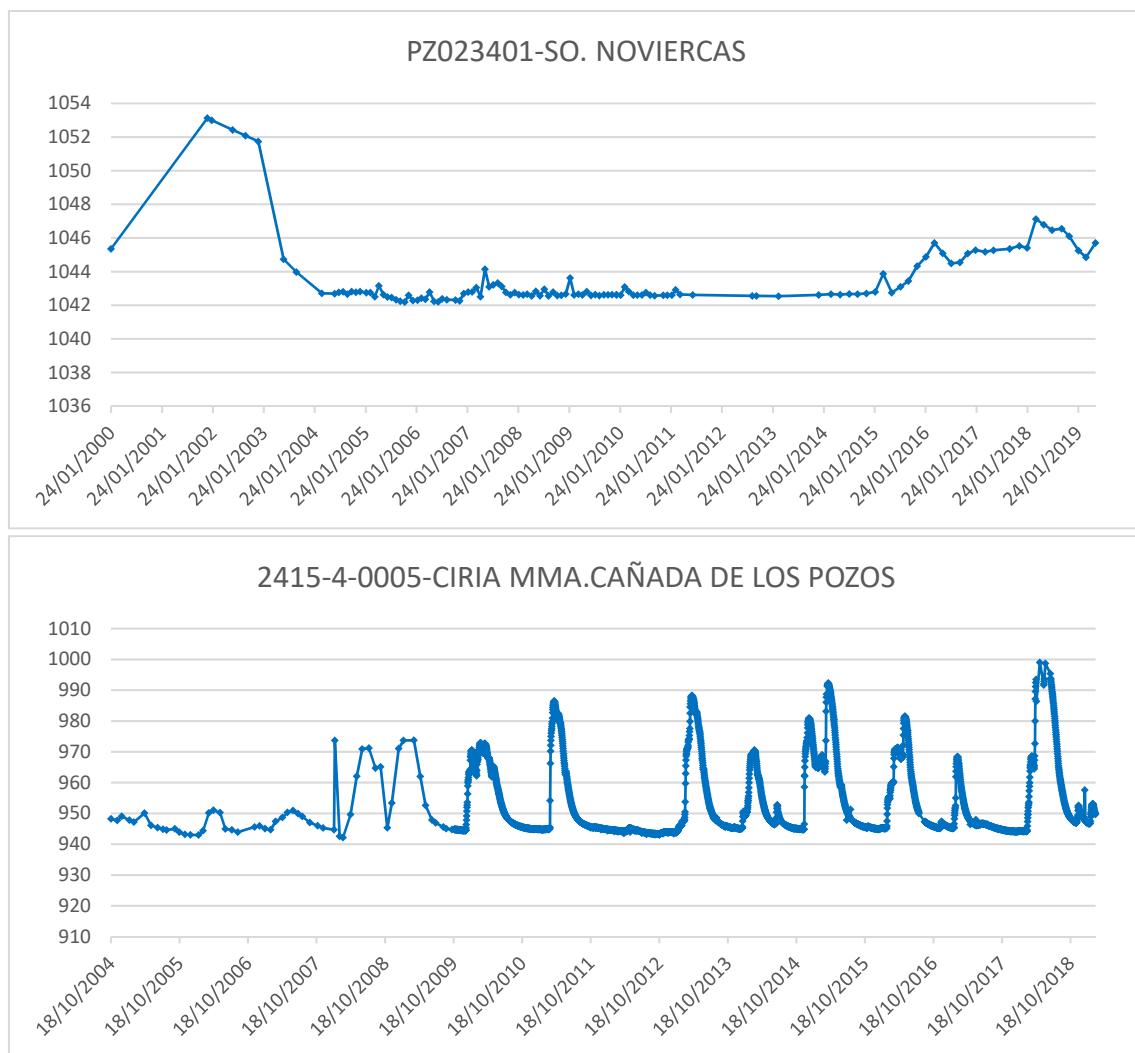
En el sector oriental comprendido entre Jaray-Noviercas-Aranda de Moncayo, ocupado mayoritariamente por los afloramientos de materiales calizo-dolomíticos del Lías inferior (3), donde los de la Formación carbonatada del Dogger-Malm inferior (5) son escasos y de reducido espesor, las calizas y dolomías del Lías constituyen el único acuífero de la MASCH en esta zona.

La piezometría en este sector está marcada por los piezómetros de Noviercas PZ023401-SO y Ciria 2415-4-0005 y la zona de descarga de Aranda de Moncayo, representada por el manantial de Lagüén y otros existentes en el área, así como el cauce del propio río de Aranda en ese tramo final de la MASCH.

El piezómetro de Noviercas (PZ023401-SO), situado al E de la población de Noviercas, en las proximidades del río Araviana, presenta una evolución de niveles bastante constante en general, con el nivel medio en torno a 1044 m s.n.m. y pequeñas variaciones estacionales que no superan los 2 metros, con un máximo de piezometría en los primeros años de control de 1053 m s.n.m. y mínimo en 1042 m s.n.m.

El piezómetro de Ciria (2415-4-0005) presenta la evolución característica de un acuífero kárstico en régimen natural, con un nivel más o menos constante, próximo a los 950 m s.n.m. con picos muy marcados entre 970-1000 m s.n.m y de corta duración, correspondientes a las estaciones de mayor precipitación o a eventos puntuales de lluvias intensas.

En la Figura 3.7 se representan gráficamente la evolución de los niveles de agua en los dos piezómetros mencionados.



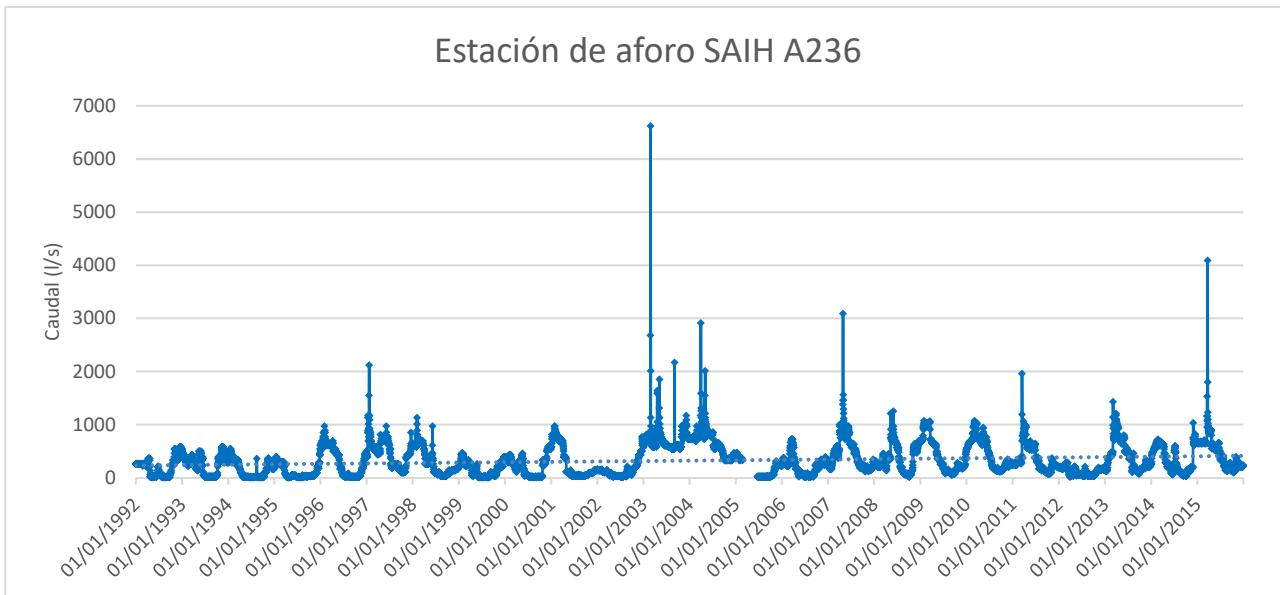
**Figura 3.7. Evolución de los niveles de agua subterránea en los piezómetros de Noviercas (PZ023401-SO) y de Ciria (2415-4-0005)**

El río Valdepomer, se encuentra casi permanentemente seco aguas arriba de los manantiales del área de Aranda de Moncayo, por lo que, a partir de este punto, pasa a denominarse Río de Aranda estableciéndose aquí su nacimiento. El manantial de Lagüén, conocido también como del Estanque, el más importante de la zona, es captado y conducido aguas abajo para su uso. Asimismo, existen captaciones de agua en el propio río Aranda, en esta zona. La cota del río y del manantial que marca la cota de descarga del acuífero en este punto es de 850 m s.n.m. En la Figura 3.8 se muestra una imagen del manantial.



*Figura 3.8. Vista del manantial de Lagüén o El Estanque. Aranda de Moncayo. (Tomada de la Web <https://www.verpueblos.com/>)*

A poca distancia, aguas abajo del manantial, en la cola del embalse de Maidevera, donde vierten las aguas subterráneas descargadas en esta zona, se encuentra la estación de control A236 de la Red SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, que registra los caudales del río en ese punto, correspondientes, casi en su totalidad, a la descarga subterránea del acuífero, por lo que se ha tomado la serie de datos medidos en esta estación como la de descarga del acuífero, ya que no se dispone de datos de caudales del manantial ni del río en los puntos de descarga. Aunque en este punto no se controlan los caudales derivados del manantial ni del río y algunas de las puntas de caudales en eventos de lluvias excepcionales se verán incrementadas en mayor o menor medida por aportes superficiales de la cuenca del río Valdepomer, se consideran, en general, bastante representativos de la descarga de la MASCH en esta zona. En la Figura 3.9 se ha representado la evolución de caudales en esta estación de aforo.



**Figura 3.9. Evolución de caudales en la Estación de aforo A236 SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Ebro**

La evolución de caudales refleja, como corresponde a la descarga de un acuífero kárstico, importantes variaciones de caudal que responden rápidamente, con picos muy marcados, a los episodios y épocas de lluvia, en los que el incremento y reducción de los caudales se producen rápidamente. El caudal medio del periodo 1992-2015 ronda los 300 l/s (9,46 hm<sup>3</sup>/a), siendo los caudales máximo y mínimo registrados de 6620 l/s y 10 l/s respectivamente.

El flujo de agua subterránea en este sector presenta, por tanto, una dirección general de componente SE, desde los 1100 m s.n.m. de la divisoria de aguas subterráneas, al N de Noviercas, hacia la zona de descarga a 850 m s.n.m., en el entorno de Aranda de Moncayo. En el Mapa Hidrogeológico (Figura 3.4), se ha representado la divisoria de aguas subterráneas establecida a partir de la piezometría obtenida de la modelización realizada con RENATA, sintetizándose el funcionamiento del acuífero mediante flechas indicativas de la dirección y sentido del flujo del agua subterránea. En el corte esquemático A-B de la Figura 3.6. Cortes esquemáticos hidrogeológicos de la MASCH Araviana-Borobia (modificado Hydrogeo, CHE) se muestra un corte representativo de este sector en la dirección general del flujo subterráneo, en el que se muestra la posición aproximada del nivel de agua y, de forma esquemática, el funcionamiento del acuífero en este sector de la masa.

### **Sector Central**

En el sector central de la MASCH comprendido entre Valdegeña-Jaray-Noviercas, aflora mayoritariamente la Formación carbonatada del Dogger-Malm inferior (5), quedando los afloramientos de la Formación calizo-dolomítica del Lías inferior (3) restringidos a un pequeño sector próximo al límite NE de la masa, al NE de Noviercas, continuando bajo la primera en el resto del sector.

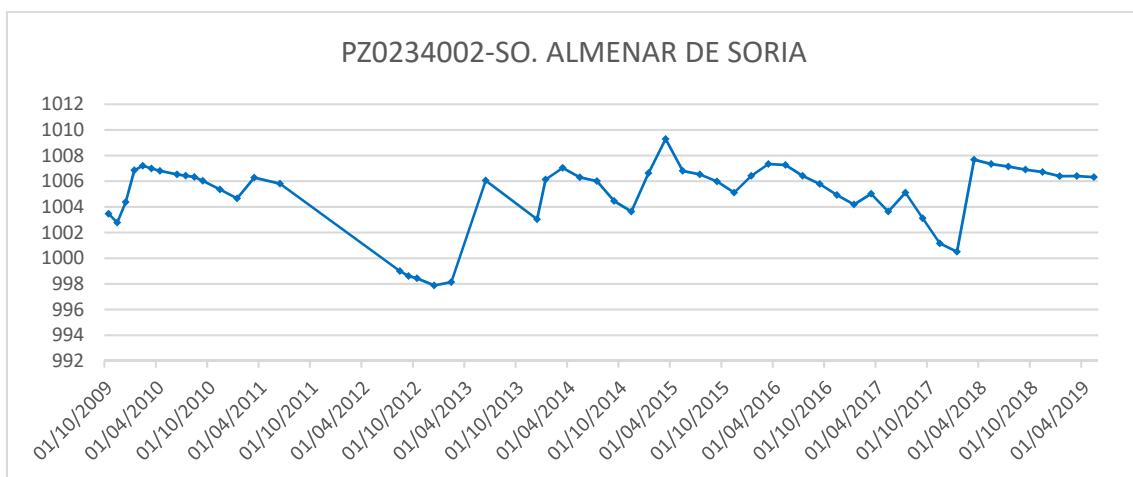
Como se ha indicado al inicio de este apartado, aunque ambas formaciones se encuentran separadas por la Formación margosa del Lías superior-Dogger inferior (4), es probable que la tectónica de la zona permita la comunicación hidráulica entre ellas, especialmente a lo largo del límite NE y, sobre todo, en el extremo N, entre Pozalmuro y Valdegeña, aunque no se puede descartar cierta desconexión en algunas zonas.

Aunque no se dispone en este sector de puntos de control piezométrico situados al O de la divisoria de aguas subterráneas, límite entre este sector y el oriental, que atraviesen los materiales de las formaciones carbonatadas jurásicas o, al menos alguna de ellas, sí que se dispone del piezómetro de Almenar PZ0234002, que aunque atraviesa únicamente los materiales de la Formación carbonatada del Cretácico superior (8), se considera que en esta zona se encuentran en continuidad con los de las formaciones carbonatadas jurásicas.

No obstante, teniendo en cuenta las zonas de descarga y los resultados del modelo realizado mediante el código RENATA, incluido el mapa de isopiezas obtenido para el régimen permanente (Figura 5.12), se ha podido establecer el funcionamiento aproximado del acuífero en este sector, estimándose que los flujos subterráneos tendrán componente SO desde la divisoria de aguas subterráneas y el límite NO de la masa, a cotas superiores a los 1100 m s.n.m., hacia las zonas de descarga, constituidas por el manantial de Almenar, en la zona de Jaray y, probablemente, al río Rituerto, a partir de la desembocadura del río Araviana, en torno a los 1010 m s.n.m.

Además, se supone que se produce una descarga subterránea a los materiales de la Cuenca de Almazán a través de los materiales carbonatados del Cretácico superior del tramo del límite SO comprendido entre la Sierra de la Pica y Jaray, donde se ponen en contacto directo con las formaciones carbonatadas del Jurásico, debido a la importante fractura de dirección NNO-SSE que hunde el flanco SO del anticlinal de Jaray, prolongándose a su vez los materiales cretácicos bajo las formaciones terciarias a través de las que probablemente descargarán al río Duero. El nivel piezométrico en los materiales carbonatados del Cretácico superior, registrados por el piezómetro de Almenar, en las inmediaciones de Jaray, se sitúa alrededor de los 1005 m s.n.m., acorde con la cota de descarga en el río Rituerto y el manantial de Almenar (1010 m s.n.m.).

En la Figura 3.10 se representa la evolución de los niveles de agua subterránea en el piezómetro de Almenar PZ0234002. El nivel medio se sitúa en torno a 1005 m s.n.m., siendo los niveles máximo y mínimo registrados en el periodo de control de 1009 m s.n.m. y 998 m s.n.m. respectivamente.



**Figura 3.10. Evolución de los niveles de agua subterránea en el piezómetro PZ0234002-SO**

El límite entre ambos sectores de la MASCH, estaría marcado por la mencionada divisoria de aguas subterráneas cuyo trazado aproximado N-S se extiende desde la divisoria de cuencas Duero-Ebro, en el Pico de la Modorra, en la Sierra del Madero, hasta esta misma divisoria Duero-Ebro en la Sierra del Costanazo. En el Mapa Hidrogeológico (Figura 3.4) se ha representado esta divisoria de aguas subterráneas y mediante flechas, las direcciones y sentido del flujo de agua en este sector.

### Sector Occidental

La estrecha franja que forma el sector occidental, entre Soria y Aldealpozo, presenta una gran complejidad estructural, marcada por el cabalgamiento de la Pica, en el que los materiales del Jurásico se superponen a las formaciones cretácicas que constituyen la mayor parte del límite sur de la MASCH en esta zona y por la intensa fracturación.

Los afloramientos jurásicos se distribuyen, en general, como estrechas bandas de dirección E-O paralelas al cabalgamiento, con la Formación carbonatada del Dogger-Malm inferior (5) al norte y la Formación calizo-dolomítica del Lías inferior (3) sobre los materiales cretácicos, al sur. Por otra parte, el sistema de fallas de Fuensaúco separa a su vez este sector en dos partes.

En la Figura 3.11 se presenta un corte perpendicular al cabalgamiento de la Pica (la traza está marcada en el Mapa Hidrogeológico de la Figura 3.4), que muestra gráficamente la estructura y disposición de las formaciones que constituyen la MASCH y los límites de esta. En el corte se puede apreciar como el relativo poco espesor de la formación margosa del Lías superior (4) y la fracturación pueden permitir, en este sector, la conexión entre las formaciones carbonatadas jurásicas que constituyen los principales acuíferos de la masa.

La estructura general de la zona y los límites cerrados de la masa en este sector, condicionan definitivamente el funcionamiento hidrogeológico de esta parte de la MASCH, con flujos E-O hacia los puntos de descarga, constituidos por el manantial de Los Ojos en Renieblas (1030 m s.n.m.) y el río Duero en Soria (1012 m s.n.m.) y su afluente, por la margen izquierda, el río Merchando.

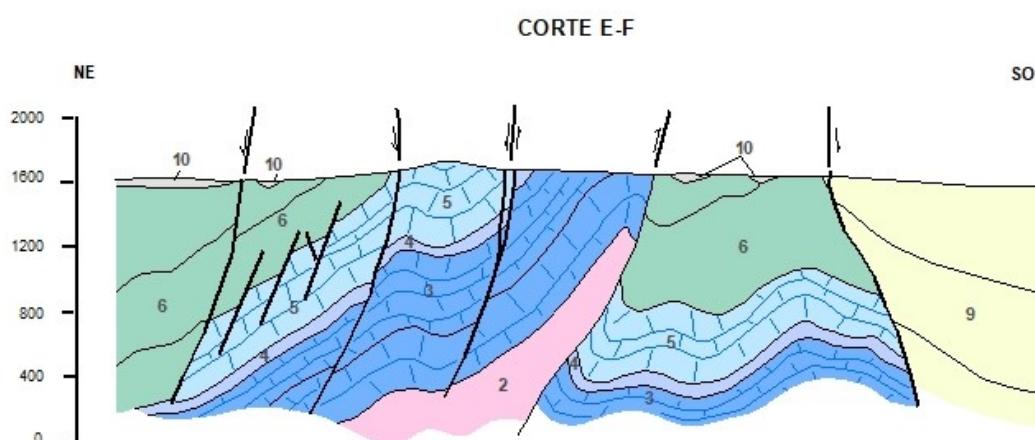


Figura 3.11. Corte E-F (modificado de MAGNA, Hoja 350-SORIA)

El manantial de los Ojos y la zona de descarga de su entorno se encuentran ligados probablemente al sistema de fallas de Fuensaúco, que al desplazar hacia el norte los materiales cretácicos que constituyen el límite S producen un estrechamiento del acuífero, viéndose además favorecida la descarga por la propia fracturación.

No se dispone de datos de caudales de este manantial, salvo algunas estimaciones puntuales, ya que no se realiza ningún control periódico ni seguimiento del mismo y, mucho menos aún de las descargas difusas a cauces y zonas de encharcamiento. En algunos estudios se ha llegado a estimar el caudal medio en 300 l/s (9,46 hm<sup>3</sup>/a). En la Figura 3.12 se muestra una imagen del Manantial de los Ojos o los Manaderos en Renieblas

Este sector de la MASCH descarga finalmente a los ríos Duero y Merchando, en el extremo occidental, aunque no existen datos precisos en la bibliografía que permitan estimar, aunque sea de forma aproximada, su magnitud.



**Figura 3.12. Manantial de los Ojos o los Manaderos en Renieblas (Tomada de la Web <http://www.renieblas.es/galeria-el-medio>)**

### 3.5. Relación río-acuífero

Según los datos consultados de la Actividad 4 de la Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas, en la MASB Borobia-Aranda de Moncayo, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, no se han definido tramos con conexión de los cauces existentes con el acuífero.

Por el contrario, en la parte de la MASCH Araviana-Borobia que corresponde a la Demarcación Hidrográfica del Duero, sí que se han definido algunos tramos con distintos tipos de conexión.

#### Río Araviana y Rituerto.

En el año 1985, dentro del Proyecto de Investigación Hidrogeológica Básica del sistema nº 13 Jurásico Oriental de Soria (IGME, 1986), se realizaron 2 campañas de aforos en los ríos de la MASCH. El resultado del estudio aportó que el cauce del Araviana era claramente perdedor en todo su recorrido por la MASCH ya que discurre sobre el polje de Noviercas. Se estimó un caudal de 2-

3 l/s de pérdida, pero éste dato incluía el cauce del Rituerto también, ya que ambos discurren sobre dicho polje.

También dentro del Estudio hidrogeológico de Soria (SGOP, 1991), se realizaron aforos en la confluencia del Rituerto con el Araviana. En este caso contempla, a su vez, el caudal del manantial de Almenar. La génesis del manantial de Almenar está relacionada con la descarga al cauce, del agua anteriormente infiltrada a lo largo del curso fluvial, este punto a partir del cual el cauce del Araviana sería ganador por la descarga del manantial de Almenar (este manantial no se encuentra en la BD del IGME) quedaría en el límite de la MASCH (ver Figura 3.13).

En resumen, la relación río-acuífero del tramo que comprende tanto el cauce del Araviana como el del río Rituerto que discurre por la MASCH Araviana-Borobia hasta la surgencia del manantial de Almenar en la población de Jaray, se defina como Conexión difusa indiferenciada en cauces influentes.

Por otro lado, el tramo de río Rituerto que discurre por la masa desde la surgencia del mencionado manantial se ha definido como Descarga puntual por un único manantial en cauces efluentes.

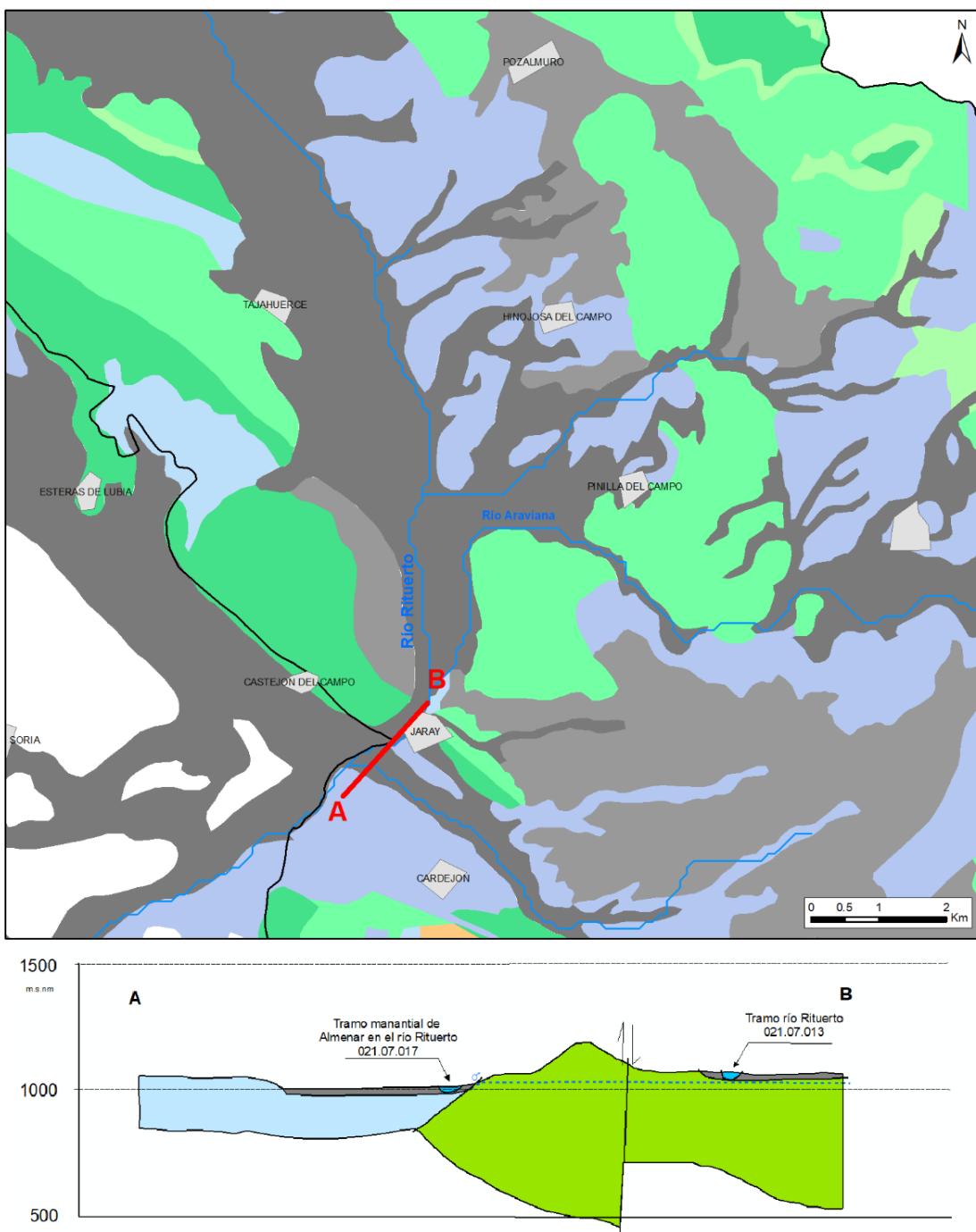


Figura 3.13. Esquema explicativo de la génesis del manantial de Almenar (Modificado de IGME 2009)

#### Río Merdacho y afluentes.

Los aforos directos realizados en la cabecera del Merdacho, en el referido estudio IGME, 1986, no permiten cuantificar la relación río-acuífero, en cuanto a que las secciones llevadas a cabo, se ubican en el extremo septentrional, aguas arriba de la delimitación de la MASb de Araviana.

En el estudio hidrogeológico de Soria, realizado por el SGOP (SGOP, 1991), los aforos se realizaron aguas abajo de la confluencia de los ríos Merdacho y Moñigón, a diferencia de las secciones realizadas en el estudio del IGME (IGME, 1986), recogen la descarga del manantial Los Ojos. Este

manancial, así como el del Almenar, situado en el cauce del Rituerto tienen una génesis directamente relacionada con los acuíferos carbonatados jurásicos (Lías inferior y Dogger-Malm inferior), procedente del rebosamiento de la superficie piezométrica a favor de conductos kársticos que propician la presencia de surgencias. El esquema explicativo del manancial de Almenar (Figura 3.13), puede explicar igualmente la génesis del manancial de Los Ojos. De igual forma la relación río-acuífero, a partir de este punto, cambia pasando, el cauce del río Merdacho, de presentar un comportamiento netamente perdedor a comportarse como un cauce efluente receptor de la descarga puntual.

A continuación, se presenta una tabla modificada de la *Actividad 4 de la Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas*, que recoge las mediciones de caudales que se realizaron en las campañas de los estudios mencionados de IGME 1986 y SGOP 1991 y que justificarían las relaciones río-acuífero definidas.

**Tabla 3.1. Caudales en estaciones de medida y control hidrométrico en MASCH Araviana-Borobia (modificado de IGME 2009)**

Código Estación	Cauce (sección)	Caudales (l/s)		
		IGME 1986		SGOP 1991
		Agosto 1985	Septiembre 1985	Febrero 1989
EA021.0182	Araviana	3.3	2.2	
EA021.0180	Rituerto	0.0	0.0	
EA021.0181	Rituerto	0.0	0.0	
EA021.0177	Merdacho	10.5	7.3	
EA021.0178	Merdacho	2.0	1.0	
EA021.0179	Moñigón	1.0	0.0	
EA021.0151	Merdacho			10
EA021.0152	Merdacho			50
EA021.0153	Merdacho			90
EA021.0154	Merdacho			100
EA021.0147	Araviana			0
EA021.0148	Rituerto			34-45
EA021.0150	Rituerto			4

### 3.6. Usos del agua subterránea.

Apenas existe explotación de los recursos de agua subterránea dentro de la MASCH Araviana-Borobia, dado que la casi la totalidad de la superficie cultivada es de secano y la población asentada en su interior no es muy numerosa., los núcleos de población más relevantes son Soria, que queda fuera de la masa en el extremo occidental y Noviercas, en la parte de la Demarcación Hidrográfica del Duero y en la MASb de Borobia correspondiente a la Demarcación Hidrográfica del Ebro, se encuentran Borobia y Aranda de Moncayo en el límite oriental de la MASCH.

Por tanto, se puede considerar que la MASCH se encuentra en régimen natural, sin alteraciones ni afecciones a sus recursos ni a su funcionamiento.

## 4. CLIMATOLOGÍA

### 4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La base principal de los datos climáticos disponibles es de siete estaciones meteorológicas, de las cuales dos son automáticas, cinco termopluviométricas y una pluviométrica. Si bien, una vez analizadas las series de datos, únicamente se han utilizado dos estaciones, la 2030 (Soria) y la 9407A (Aranda de Moncayo D.G.A.) (Figura 4.1).

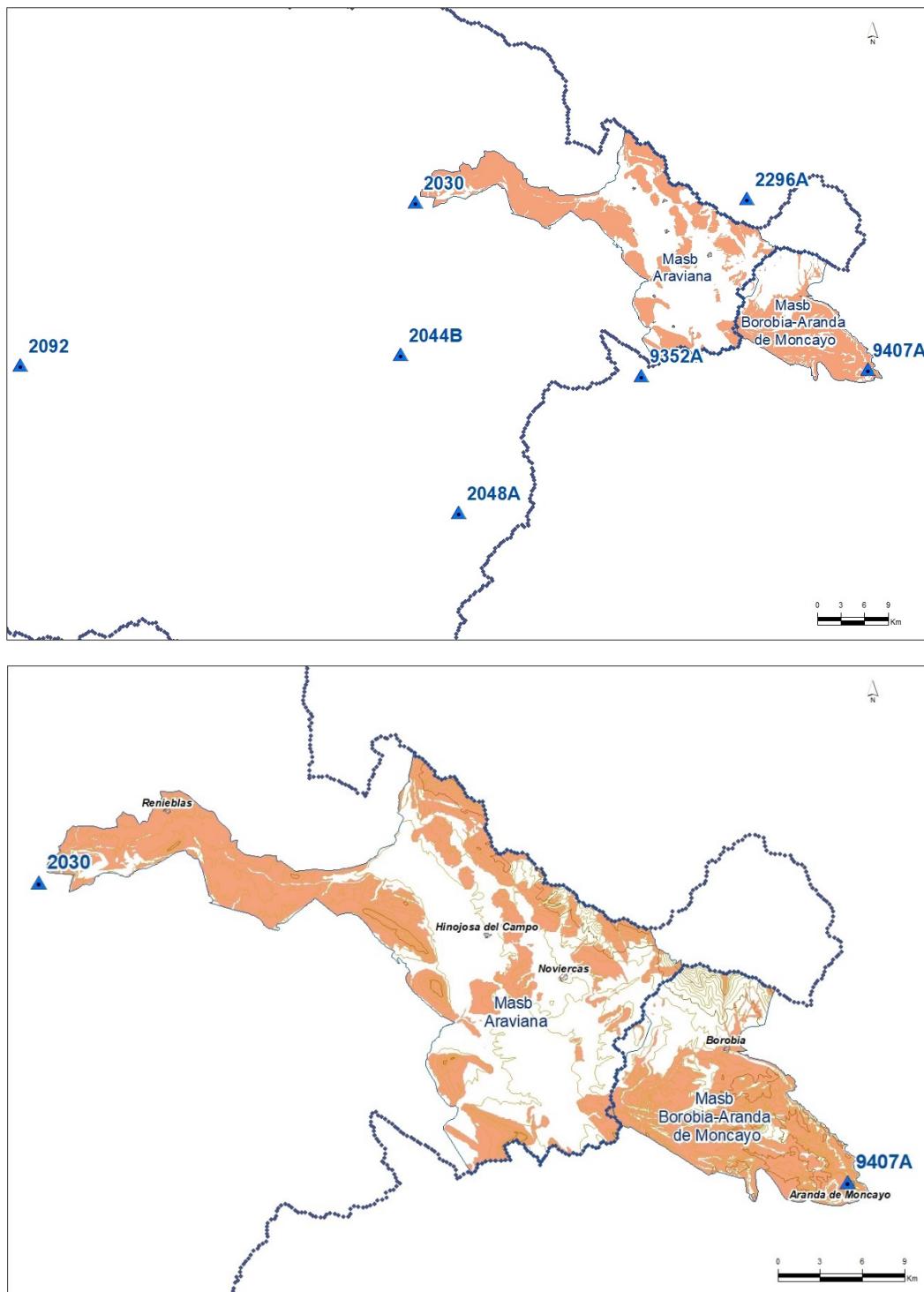


Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas

Los datos diarios de las 7 estaciones más cercanas disponibles abarcan los períodos mostrados en el siguiente cuadro.

**Tabla 4.1. Relación de estaciones climáticas utilizadas para realizar el estudio climático**

Código	Nombre	Cota	Tipo	Desde	Hasta
2030	SORIA Completa	1082	P T	01-01-1955 01-01-1955	31-12-2015 31-12-2015
2044B	LUBIA-CEDER Automática	1100	P T	22-07-2009 22-07-2009	31-12-2015 31-12-2015
2048A	MORÓN DE ALMAZÁN Automática	978	P T	01-09-2003 02-11-2003	31-12-2015 31-12-2015
2092	BURGO DE OSMA-POZUELOS Automática	932	P T	21-07-2009 21-07-2009	31-12-2015 31-12-2015
2296A	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA Automática	1039	P T	23-07-2009 23-07-2009	31-12-2015 31-12-2015
9352A	ALMAZUL Automática	1000	P T	29-11-2009 30-11-2009	31-12-2015 31-12-2015
9407A	ARANDA DE MONCAYO (D.G.A) Pluviométrica	860	P T	01-01-1990 20-05-1990	31-12-2015 31-12-2015

Los años con datos se muestran en las siguientes gráficas.

#### Precipitación

Precipitac.	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
2030*																											
2044B																											
2048A																											
2092																											
2296A																											
9352A																											
9407A																											

(\*) Desde 01/01/1955

#### Temperatura

Temperat.	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
2030*																											
2044B																											
2048A																											
2092																											
2296A																											
9352A																											
9407A																											

(\*) Desde 01/01/1955

El estudio climático y el cálculo de las aportaciones por la infiltración directa de la precipitación se han realizado con los datos diarios del periodo común de las estaciones meteorológicas 2030 y 9407A comprendido entre octubre de 1990 y septiembre de 2015. Las otras estaciones próximas a la MASb no se han utilizado por ser sus series de datos mucho más cortas.

Originalmente la estación 2030 presenta pocas lagunas de datos (unos 40 días sin dato de P y T en el periodo de estudio), pero la 9407A presenta más de 21 meses sin datos. El proceso de completado de los datos se ha realizado para el periodo 01/01/1990 a 31/12/2015 mediante regresión simple entre las series correspondientes de ambas estaciones.

Los valores característicos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4.2. Valores característicos de las estaciones meteorológicas**

Estación	Coordenadas UTM* y m.s.n.m.	Observaciones	Valores**
2030 SORIA	X: 542963 Y: 4624924 Z: 1082	Completa Caracteriza el sector Este Superficie de influencia: 197.45 km <sup>2</sup>	P media: 530,5 mm/a P max: 789,6 mm P min: 257,8 mm T media: 11,2 °C
9407A ARANDA DE MONCAYO (D.G.A) (Zaragoza)	X: 600462,6 Y: 4603659 Z: 860	Termopluviométrica Caracteriza el sector Oeste Superficie de influencia: 405.90km <sup>2</sup>	P media: 470,0 mm/a P max: 681,9mm P min: 294,3mm T media: 12,7 °C

(\*) Proyección ETRS89

(\*\*) Período 1990-2015 una vez realizado el completado de las series

Por otro lado, a partir de los valores diarios de temperatura se ha calculado la evapotranspiración potencial (ETP) utilizando el método de Thornthwaite.

Los datos de precipitación y temperatura completados así como los de la ETP se recogen en el **anexo II** agrupados mensualmente, aunque el tratamiento se ha realizado diario.

## 4.2. ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL

### 4.2.1. Análisis espacial

A partir de los datos de estas dos estaciones se han elaborado los planos de isoyetas para la precipitación media de las series (1990/91-2014/15), para la media de los años secos y la media de los años húmedos (Figura 4.2).

Para cada serie de valores anuales de precipitación se ha obtenido su distribución normal acumulada. Clasificando los datos de menor a mayor, se consideran años medios los comprendidos entre el 25% y el 75% de probabilidad de ocurrencia, los años secos los comprendidos entre el 0% y el 25% y los húmedos entre el 75% y el 100%. El año “tipo húmedo” es el más próximo al 50% de probabilidad, el “tipo seco” al 12,5% (entre el 0% y el 25%) y el tipo húmedo el más próximo al 87,5% (entre el 75% y el 100%). Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Estación	2030	9407A
Precipitación media (1990/91-2014/15)	530,5 mm	470,0 mm
Nº años secos	5	8
Nº años medios	13	10
Nº años húmedos	7	7

Estación	2030	9407A
Año tipo seco	2008/09 (410 mm)	2004/05 (316 mm)
Año tipo medio	1990/91 (527 mm)	2001/02 (457 mm)
Año tipo húmedo	2000/01 (661 mm)	2012/13 (578 mm)
Media de los años secos (mm)	361.2 mm	352.7 mm
Media de los años húmedos (mm)	679.7 mm	597.1 mm

Tabla 4.3. Valores característicos de las series anuales de precipitación para el período 1990/91-2014/15

#### 4.2.2. Análisis temporal

La precipitación global en la MASb se ha obtenido ponderando la de las dos estaciones pluviométricas consideradas en función del área de influencia calculada mediante polígonos de Thiessen (Figura 4.3). El hietograma anual resultante se muestra en la Figura 4.4 junto a la distribución normal ajustada en la Figura 4.5. En esta última se indican los valores representativos de la serie. Según la distribución ajustada el año *Tipo Medio* (el que más se acerca a la precipitación media de 489.8 mm/a) es 1998/99 con 477 mm, el año *Tipo Seco* el 1991/92 con 360 mm (el que más se acerca a la precipitación con el 12,5% de probabilidad de ser menor) y el *Tipo Húmedo* el 2003/04 con 611 mm (el que más se acerca a la precipitación con el 87,5% de probabilidad de ser menor).

En la Figura 4.6 se muestra el diagrama ombrotérmico para la precipitación y temperatura media mensual de la MASCH. Como se puede observar, el periodo de sequía anual ocupa los 4 meses de verano (junio a septiembre).

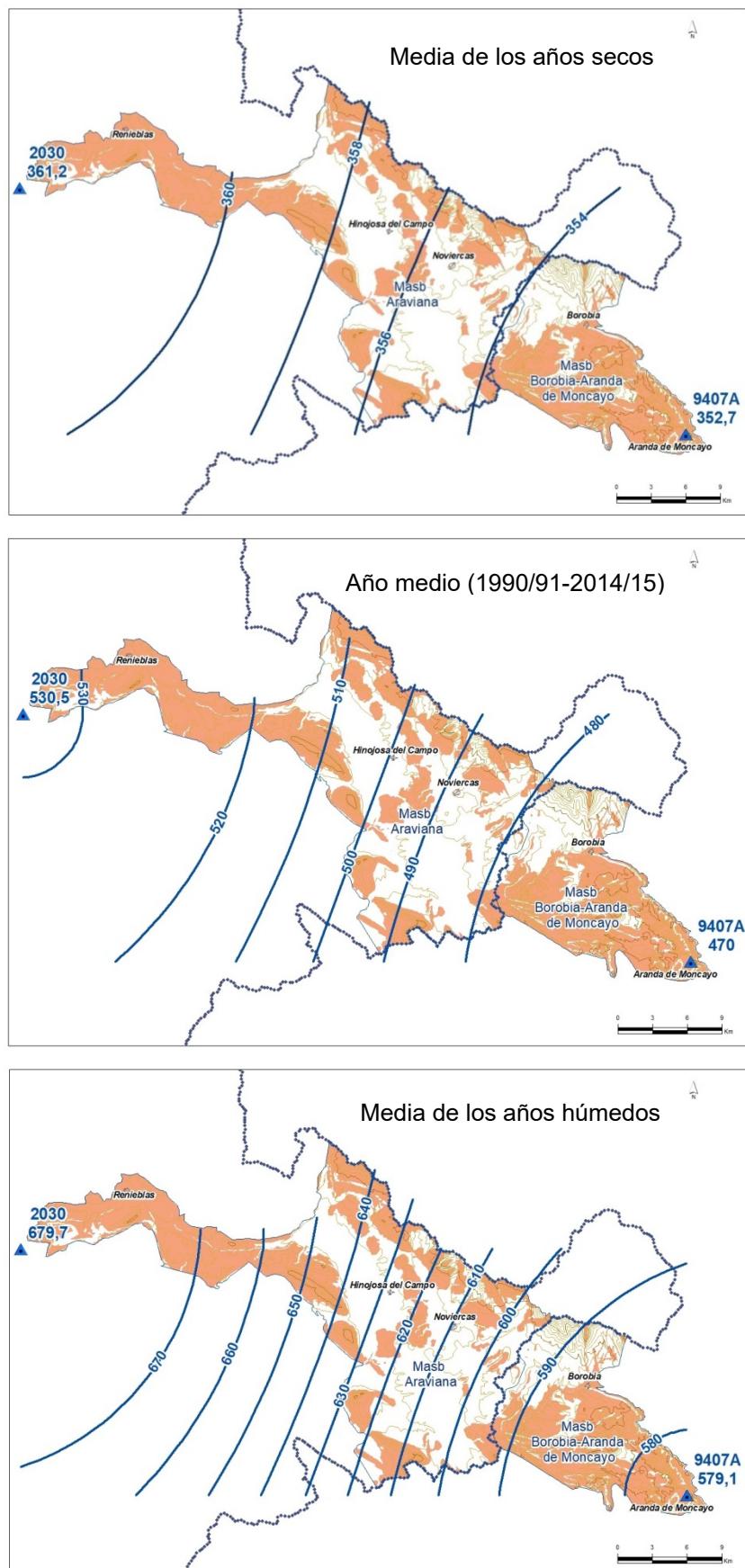
Para distinguir mejor los periodos húmedos de los secos de la serie se han representado las desviaciones acumuladas anualmente respecto a la media en la Figura 4.7. En esta representación los periodos secos se indican como líneas descendentes (rojo), los periodos húmedos con líneas ascendentes (azul) y los periodos considerados medios son líneas con tendencia horizontal (verde). Los resultados permiten diferenciar los periodos que se analizan en la Tabla 4.4. En dicha tabla se identifican como años “Muy Secos” aquellos cuya precipitación es inferior a la del año “Tipo Seco” y como “Muy Húmedos” aquellos en la que es superior al año “Tipo Húmedo”.

Existe un período inicial 1991/92 a 1993/94 que corresponde a años secos y muy seco (precipitación media de 373 mm). A este período le siguen dos años medios (1994/95 a 1995/96) cuya precipitación media es de 462 mm y un año muy húmedo (1996/97, con 686 mm). A continuación, un período de seis años medios (1997/98 a 2001/02) con una precipitación media de 470 mm. El período 2002/03 a 2003/04 corresponde a años muy húmedo y húmedo (precipitación media de 640 mm), y le sigue un año muy seco (2004/05, con 297 mm). El siguiente período 2005/06 a 2007/08 es de tres años medios, cuya precipitación media es de 534 mm. Del 2008/09 al 2012/13 se alternan año seco, muy húmedo, medio, muy seco y húmedo, para finalizar con el período de años medios 2013/14 a 2014/15 (2 años) cuya precipitación media es de 540 mm.

Tabla 4.4. Análisis de los diferentes períodos climáticos acontecidos de octubre de 1990 a septiembre de 2015

Período	Tipología climática	Duración (años)	Diferencia respecto a la media (mm)	Porcentaje de precipitación con respecto a la media
1990/91	Media	1		
1991/92 a 1992/93	Seca	2	-109.1	22% inferior
1993/94	Muy Seca		-130.6	27% inferior
1994/95 a 1995/96	Media	2		

Periodo	Tipología climática	Duración (años)	Diferencia respecto a la media (mm)	Porcentaje de precipitación con respecto a la media
<b>1996/97</b>	Muy Húmeda	1	196.7	40% superior
<b>1997/98 a 2001/02</b>	Media	6		
<b>2002/03</b>	Muy Húmeda	1	180.0	37% superior
<b>2003/04</b>	Húmeda	1	121.3	25% superior
<b>2004/05</b>	Muy Seca	1	-192.9	39% inferior
<b>2005/06 a 2007/08</b>	Media	3		
<b>2008/09</b>	Seca	1	-104.8	21% inferior
<b>2009/10</b>	Muy Húmeda	1	147.7	30% superior
<b>2010/11</b>	Media	1		
<b>2011/12</b>	Muy Seca	1	-179.4	37% inferior
<b>2012/13</b>	Húmeda	1	114.0	23% superior
<b>2013/14 a 2014/15</b>	Media	2		



**Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos**

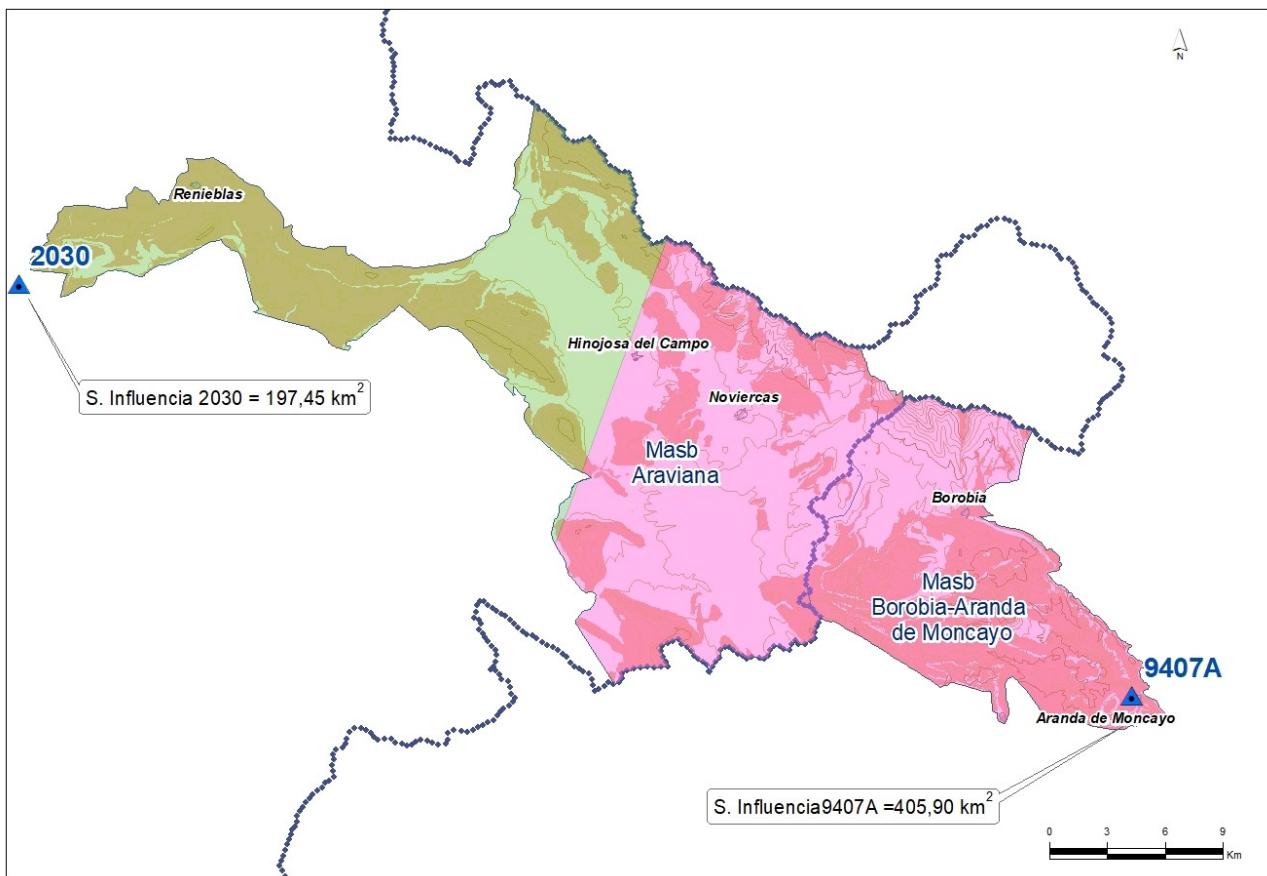


Figura 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen

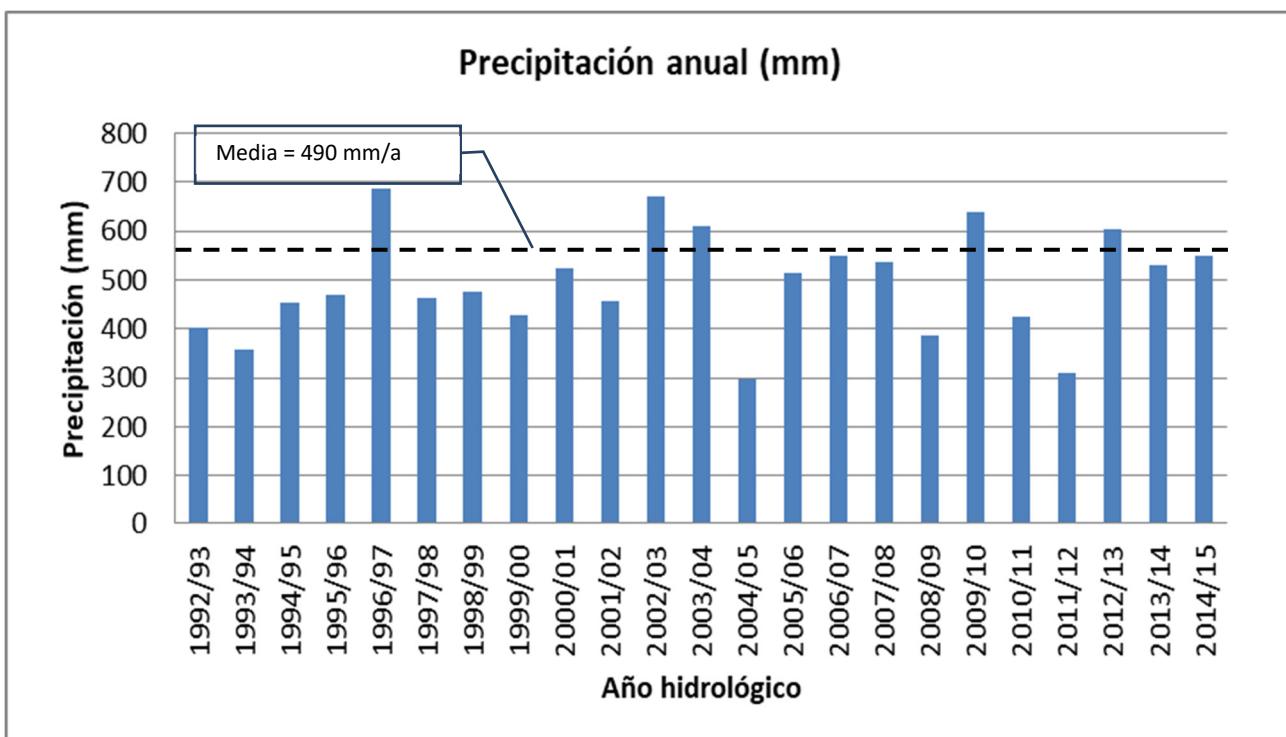
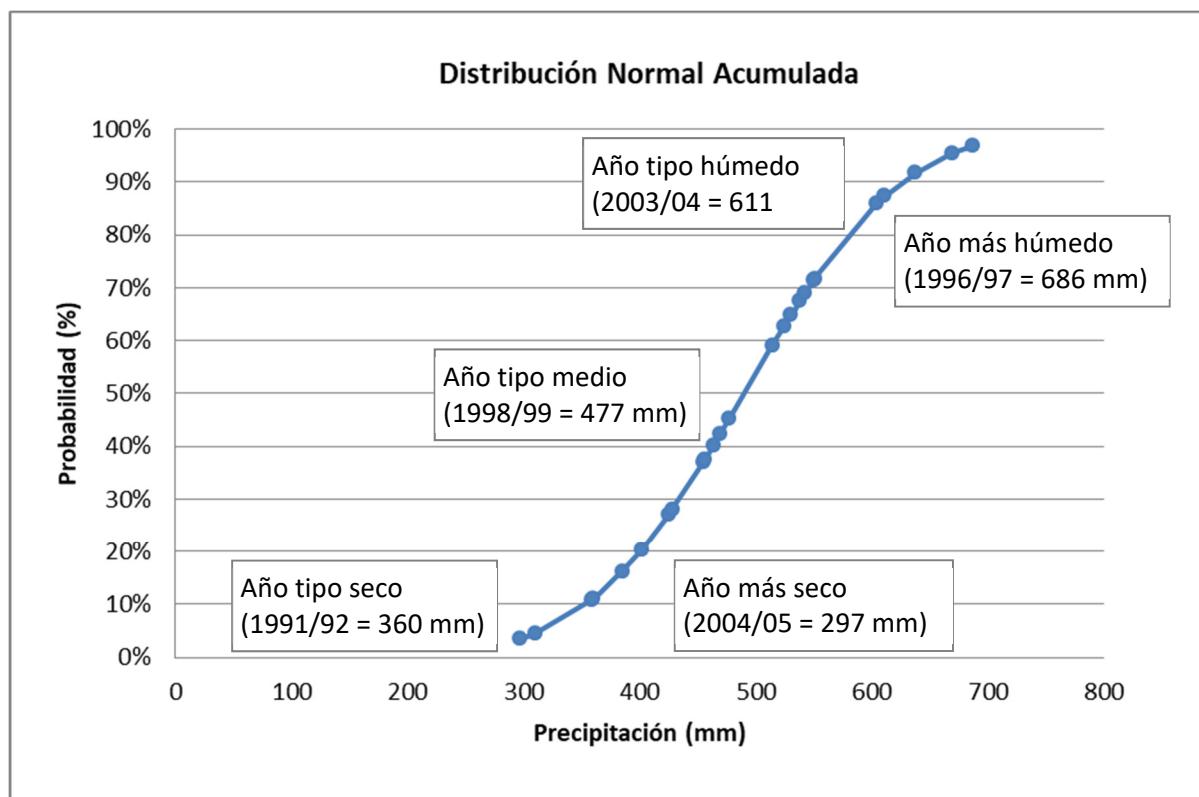
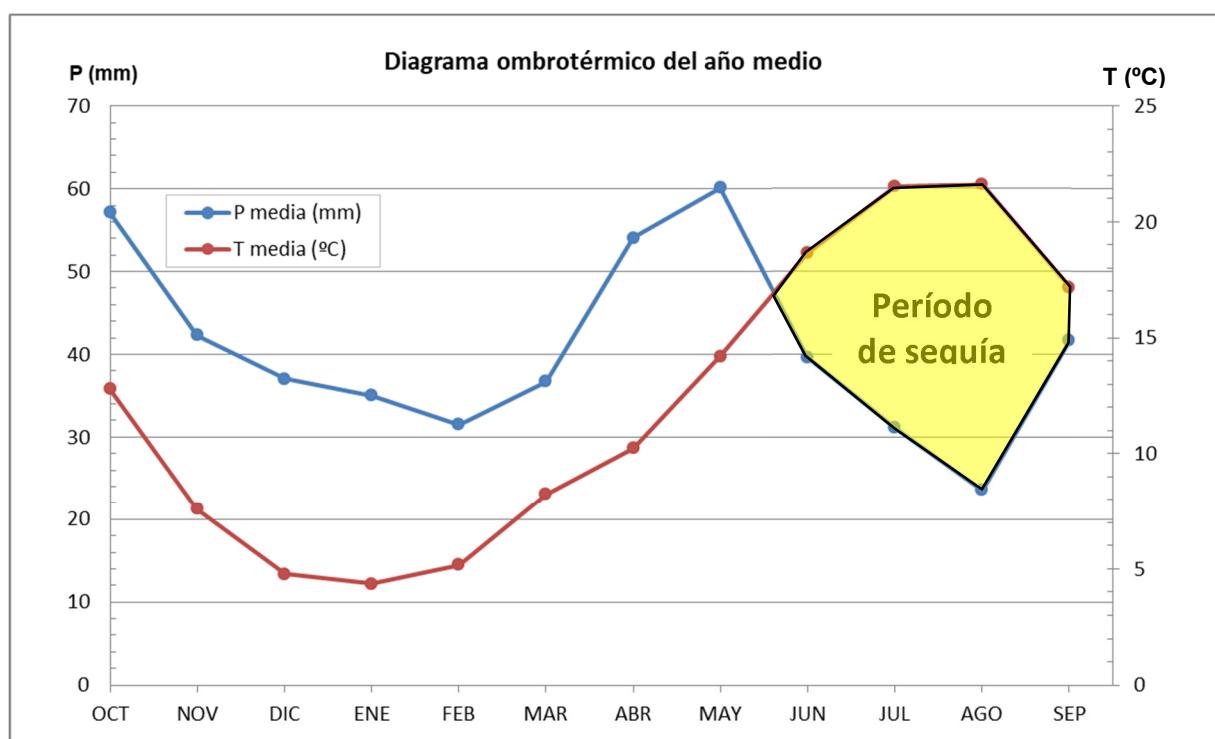


Figura 4.4. Histograma anual de la precipitación media caída en la MASB



**Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos**



**Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio.**

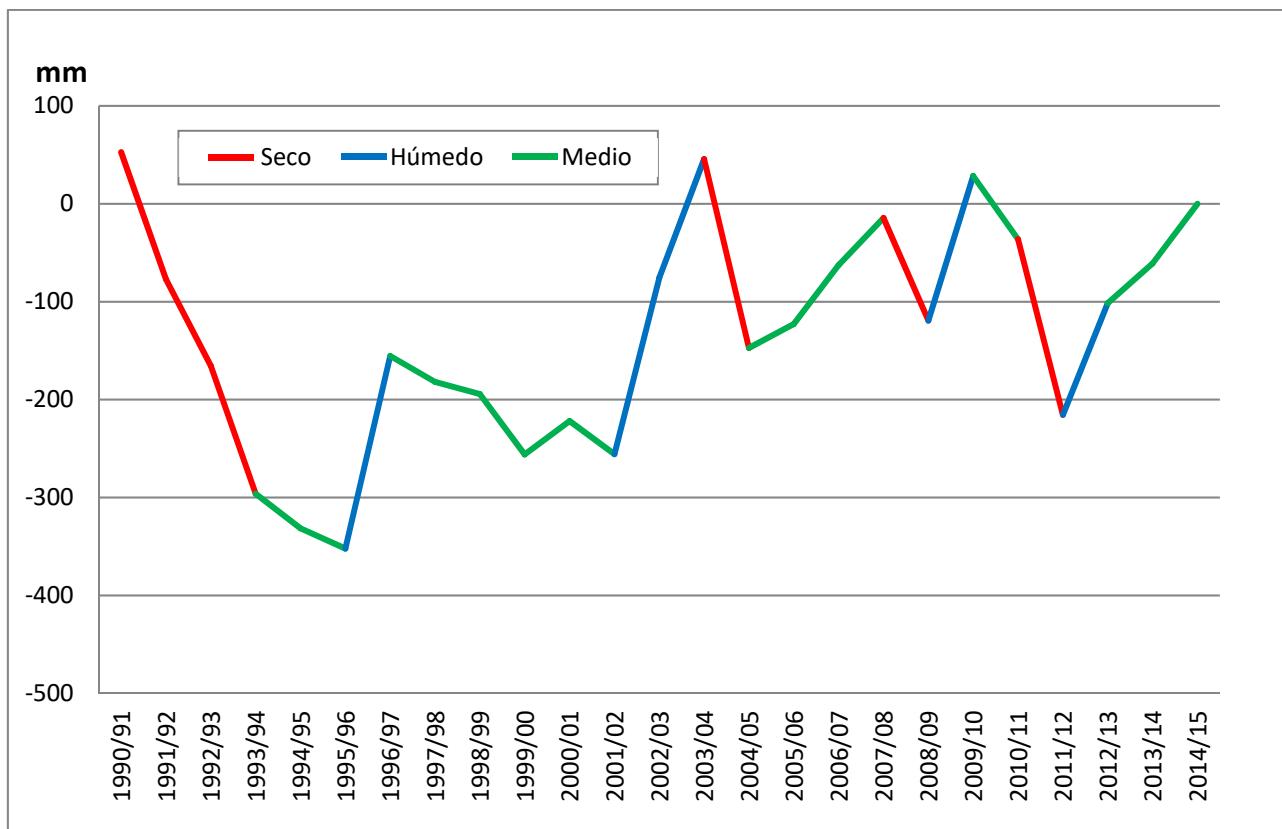


Figura 4.7. Desviaciones de la precipitación anual respecto a la media acumuladas



## 5. RECARGA A LOS ACUÍFEROS

En el presente trabajo se aplican tres metodologías diferentes para el cálculo de la recarga: el método APLIS (*Andreo et al.*, 2004), el software VISUAL BALAN (*Samper et al.* 1992) y el software RENATA (*DPA-IGME*, 2012), ya que numerosos autores (*Lerner et al.*, 1990; *Custodio*, 1998) recomiendan utilizar varios métodos de cálculo y contrastar sus resultados dado que cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes.

El método APLIS, utilizado para acuíferos carbonáticos, se basa en la estimación de la tasa de infiltración de las precipitaciones medias anuales en función de las características intrínsecas del acuífero. La aplicación VISUAL BALAN calcula la recarga a partir de balances de agua en el suelo edáfico, en la zona no saturada y en el acuífero utilizando un entorno interactivo de entrada de datos y postproceso de resultados. El software RENATA es una herramienta matemática desarrollada específicamente para estimar la recarga natural a los acuíferos de forma distribuida en el espacio y en el tiempo. Es una herramienta de modelización matemática desarrollada específicamente para la estimación de la recarga natural de acuíferos. Dado que el paquete de cálculo cuenta con un modelo de flujo en diferencias finitas, integrado en el mismo, se pueden caracterizar, entre otra muchas cosas, las direcciones de flujo, por lo que resulta una herramienta útil para la identificación y delimitación de divisorias hidrogeológicas, que es uno de los objetivos del presente trabajo.

Puesto que la MASCH de “Araviana - Borobia de Moncayo” está constituida por varios acuíferos carbonáticos de edad jurásica (Lías inferior y Dogger), separados por un acuitardo (Lías superior). Todas las formaciones son aflorantes en mayor o menor medida por lo que todas ellas se tendrán en cuenta en la recarga, así como los materiales detriticos del Triásico que aunque no se consideren acuífero tienen cabida como receptores de precipitación y distribuidores de escorrentía.

### 5.1. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL MÉTODO APLIS

El método APLIS relaciona la recarga y la precipitación a partir de la parametrización de cinco variables intrínsecas del terreno: altitud, pendiente, litología, estructuras de absorción preferencial y tipo de suelo. Tratados mediante su procesado geoespacial y el álgebra de mapas con herramientas SIG, obteniéndose un mapa de distribución de la tasa recarga expresada en porcentaje de la precipitación.

Su aplicación requiere de un sistema de puntuaciones de 1 (mínima influencia en la recarga) a 10 (máxima influencia) para las variables implicadas. Los valores obedecen a criterios meramente empíricos y se tabulan en la Tabla 5.1. La superposición de las capas de cada variable permite obtener la distribución espacial de la tasa de recarga, así como su valor medio para el conjunto del acuífero.

La expresión matemática que se aplicada a las capas de cada variable para obtener el porcentaje de la precipitación infiltrada es la siguiente:

$$R = \frac{[A + P + 3L + 2I + S]}{0.9} \cdot Fh$$

Donde:

- R = Tasa de recarga.
- A = Parámetro Altitud.
- P = Parámetro Pendiente.

- L = Parámetro Litología.
- I = Parámetro Infiltración.
- S = Parámetro Suelo.
- Fh = Factor de corrección.

Puesto que este método sólo es aplicable en acuíferos carbonatados, se ha utilizado el método APLIS modificado, que presenta algunas mejoras el parámetros I, además de añadir un factor de corrección (Fh) Permite distinguir entre formaciones con características acuíferas (Factor = 1), ya sea por su litología, porosidad o grado de alteración y fracturación y formaciones que no las presentan (Factor = 0,1). De este modo se corrigen la sobreestimación de la recarga sobre materiales tradicionalmente considerados como poco o nada permeables.

**Tabla 5.1. Puntuaciones a asignar para cada parámetro de la metodología APLIS, Parámetro Altitud (m)**  
**Puntuación**

Parámetro	Altitud (m)	Puntuación
<b>A</b> <b>Altitud</b>	≤ 300	1
	(300-600)	2
	(600-900)	3
	(900-1200)	4
	(1200-1500)	5
	(1500-1800)	6
	(1800-2100)	7
	(2100-2400)	8
	(2400-2700)	9
	≥2700	10
Parámetro	Pendiente (%)	Puntuación
<b>P</b> <b>Pendiente</b>	≤ 3	10
	(3-5)	9
	(5-10)	8
	(10-15)	7
	(15-20)-	6
	(20-30)	5
	(30-45)	4
	(45-65)	3
	(65-100)	2
	> 100	1
Parámetro	Litología	Puntuación
<b>L</b> <b>Litología</b>	Calizas y dolomías karstificadas	10,9
	Calizas y dolomías fracturadas algo karstificadas	8,7
	Calizas y dolomías fisuradas	6,5
	Arenas y gravas, coluviones	4

	Brechas y conglomerados	3
	Rocas plutónicas y metamórficas	2
	Esquistos pizarras, limos, arcillas 1	1
Parámetro	Infiltración-absorción preferencial	Puntuación
I Infiltración	Abundantes formas de infiltración preferencial	10
	Escasas formas de infiltración preferencial	1
Parámetro	Suelo	Puntuación
S Suelo	Leptosoles	10
	Arenosoles álbicos y Xerosoles cárnicos	9
	Regosoles calcáreos y Fluvisoles	8
	Regosoles eútricos, dísticos y Solonchaks	7
	Cambisoles cárnicos	6
	Cambisoles eútricos	5
	Histosoles eútricos, Luvisoles órticos y cárnicos	4
	Luvisoles crómicos	3
	Planosoles	2
	Vertisoles crómicos	1

Toda la información cartográfica digital utilizada para la obtención de los distintos parámetros se encuentra en el sistema de referencia geodésico ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) y proyección UTM (universal transversal de Mercator) en el huso 30.

### Parámetro Altitud (A) y Pendiente (P)

Se obtienen del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con paso de malla 25 m del IGN (Instituto Geográfico Nacional), recortado sobre la superficie de la MASb y reclasificado para cada píxel según la altura o la pendiente. La puntuación de cada intervalo de Altitud (Tabla 5.1) está relacionada con un incremento aritmético a favor de la altitud, por lo que, a mayor altitud, mayor precipitación y recarga del acuífero. El parámetro pendiente, por el contrario, se puntuá de menor a mayor (Tabla 5.1), por lo que a mayor pendiente mayor escorrentía y menor infiltración. Para su cálculo se ha reclasificado el ráster “Slope” obtenido a partir del MDE de acuerdo con los intervalos establecidos por el método.

En la Figura 5.1 se presentan los mapas de altura y pendiente obtenidos para la zona de estudio, donde se registran altitudes comprendidas entre 815 y 1619 m.s.n.m. con rangos de pendientes suaves. Las zonas de orografía algo más abrupta corresponden a pequeños barrancos localizados al sureste de las MASb y las zonas de mayor elevación se localizan en las sierras de las estribaciones de la MASb.

### Parámetro Litología (L)

Este parámetro se ha obtenido a partir de reclasificación de las unidades litológicas que figuran en la Cartografía GEODE (Cartografía geológica digital continua) a escala 1:50.000 proporcionada por el IGME (Instituto Geológico y Minero de España), según los intervalos que figuran en la Tabla 5.1. Estos intervalos se han definido teniendo en cuenta las características hidrogeológicas de los afloramientos cartografiados. A las arcillas y limos se les ha asignado un valor de 1 punto, las margas y margocalizas de la Fm Turmiel tienen un valor de 2 puntos, el valor de 3 puntos se ha reservado para las areniscas y conglomerados, mientras que, a los bloques y gravas de depósitos de terrazas, rañas, coluviones, etc. se les ha asignado un valor de 4 puntos. Para las calizas, calizas con sílex y dolomías se les ha dado un valor de 5 puntos, un valor de 6 puntos cuando son calizas oolíticas, bioclásticas o micritas y el valor de 7 puntos se ha reservado para las calizas arrecifales y las Carniolas de la Fm. Cortes de Tajuña e Imón. Su distribución se recoge en la Figura 5.1.

### Parámetro Estructuras de Infiltración preferencial (I)

En el área de estudio existen pequeñas áreas endorreicas donde se concentra la escorrentía superficial y se favorece la infiltración preferencial, por lo que a estas zonas el valor para el parámetro de infiltración que se le ha asignado es de 10 mientras que el resto del área presenta un valor constante de 1 punto.

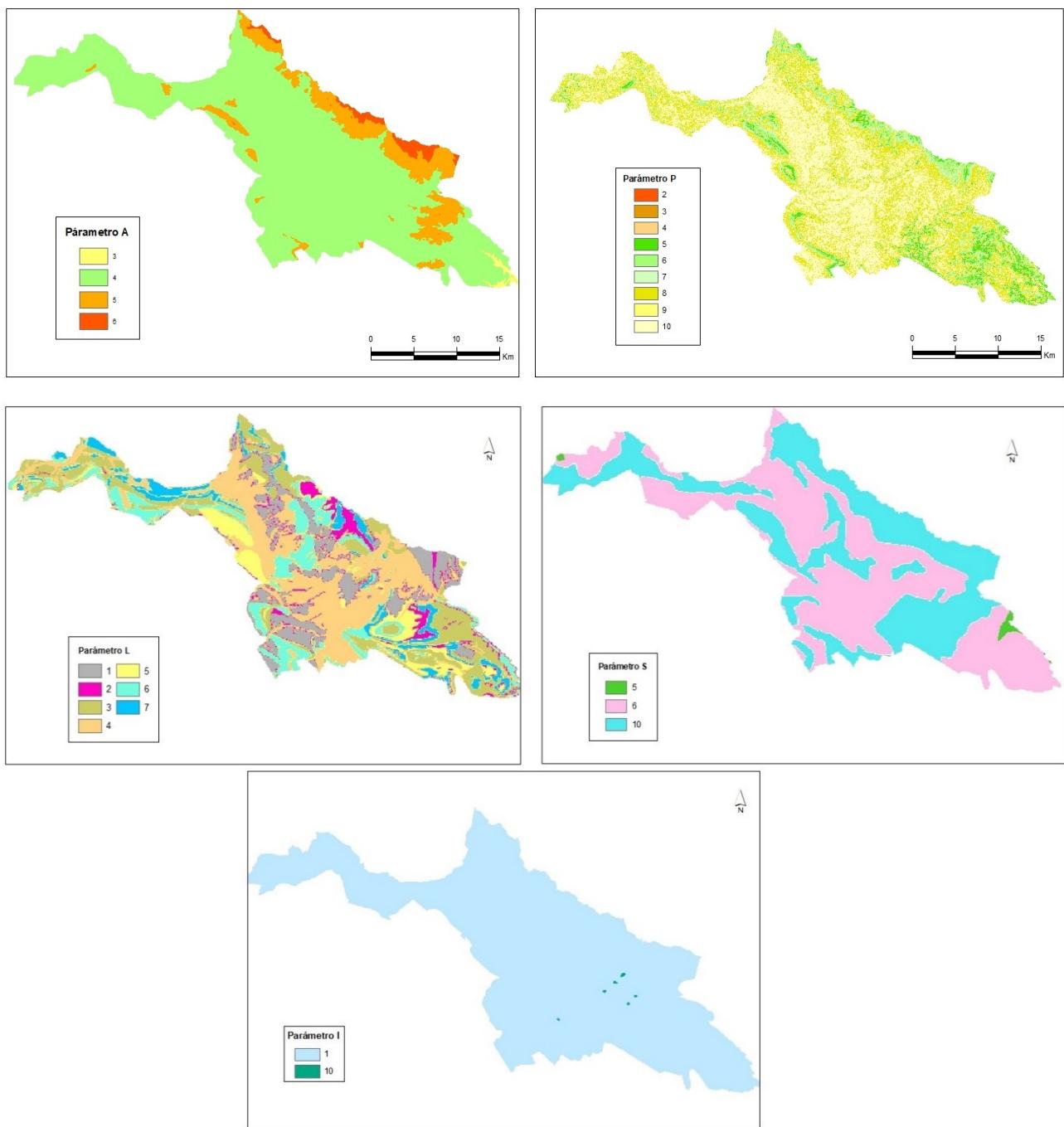
### Parámetro Suelo (S)

Se ha utilizado como fuente de información el Mapa de clases de suelo de toda la comunidad de Castilla y León, publicado por el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA-CSIC) a escala 1:400.000 que utiliza la Base de Referencia Mundial para Recursos de Suelos (WRB 2006).

La reclasificación de los tipos de suelo que figura en la Tabla 5.1 se ha realizado en función de las características de espesor y textura de los diferentes horizontes edafológicos, entendiéndose que, en suelos poco desarrollados, se produce mayor infiltración y viceversa.

Los tipos de suelos presentes en el ámbito de estudio corresponden en su mayor parte a leptosoles, que se les ha asignado un valor de 10 puntos y a cambisoles calcáricos con un valor de 8 puntos y cambisoles calcáricos con un valor de 6 puntos.

Su distribución se recoge en la Figura 5.1.



**Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) Suelo (S) e Infiltración (I) para el método APLIS.**

**Factor de corrección (Fh):** Como se ha comentado, el método APLIS es representativo de la recarga de acuíferos en macizos carbonatados karstificados. Esta circunstancia complica su correcta aplicación a la MASCH Araviana - Borobia, ya que sus características geológicas e hidrogeológicas, con un 61,35 % de afloramientos de naturaleza detrítica, no responden a las condiciones ideales requeridas por esta metodología. En consecuencia, en este tipo de afloramientos a la recarga calculada por APLIS se ha aplicado un factor de corrección (Fh) (APLIS modificado) con el fin de restar peso a los valores hallados inicialmente y permitir su aplicación al caso estudiado. Con dicho fin, se ha asignado un factor  $Fh = 0,1$  a las referidas superficies (61,35%),

mientras que al 38,64 % restante, correspondiente a afloramientos de naturaleza carbonatada, se le ha asignado un  $F_h = 1$ . De este modo, se mantiene el valor de la recarga obtenida por APLIS en los materiales carbonatados y se reduce en los materiales detríticos.

El método APLIS, permite agrupar la tasa media de recarga anual en cinco intervalos regulares en función del porcentaje, a cada uno de los cuales se le asigna una categoría, tal y como se recoge en la Tabla 5.2.

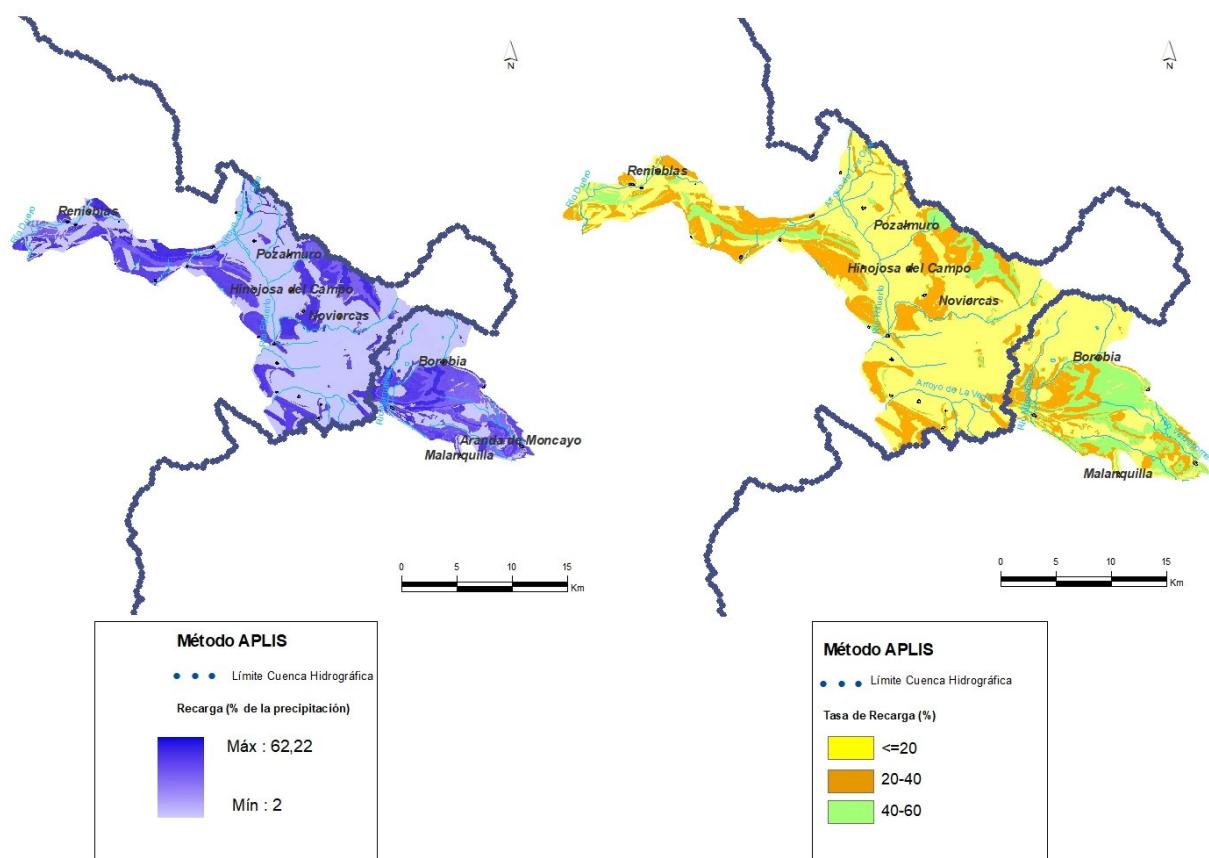
*Tabla 5.2. Porcentaje y clases de recarga metodología APLIS*

Clase de recarga	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta
<i>Intervalos de recarga (% precipitación)</i>	$\leq 20$	(20-40)	(40-60)	(60-80)	$> 80$

Tras aplicar el álgebra de mapas con las puntuaciones de cada parámetro, se ha obtenido la distribución espacial de la tasa de recarga en la MASCH Araviana - Borobia, referida al porcentaje de la precipitación caída sobre la misma.

En Figura 5.2 se puede observar la distribución espacial de la recarga tanto en porcentaje, como la distribución espacial clasificada según los intervalos que figuran en la Tabla 5.2.

La tasa media de recarga estimada en la MASCH Araviana-Borobia obtenida por el método APLIS es de 18,24 % para toda su superficie (21,7% en la cuenca del Ebro y 16,9% en la del Duero), incluyendo los materiales poco permeables. Esta recarga va desde un 2 a un 62,22%, comprobándose que, las zonas de mayor recarga corresponden a los afloramientos permeables de las calizas del jurásico superior y del Permo-Trias. Tal y como puede observarse en la Figura 5.2. Aplicando la distribución obtenida en la totalidad de la MASCH compartida, con una superficie de 603 km<sup>2</sup> a la precipitación media obtenida por polígonos de Thiessen, la recarga media anual del acuífero debida a la infiltración de la lluvia sería de 53,6 hm<sup>3</sup>/año, valor acorde con los estudios de recarga previos. Por cuencas se distribuye en 17,6 hm<sup>3</sup>/año en el Ebro y 36 hm<sup>3</sup>/año en el Duero.



*Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS)*

## 5.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE VISUAL BALAN

El código Visual BALAN realiza balances de agua en el suelo edáfico, en la zona no saturada y en el acuífero utilizando un entorno interactivo. Los términos de entrada al programa son la precipitación y los retornos riego; las salidas que proporciona el programa son: escorrentía superficial, evapotranspiración, flujo hipodérmico y flujo subterráneo, así como la variación del contenido de humedad en el suelo, en la zona no saturada y de agua en el acuífero.

El programa evalúa cada uno de esos términos de forma secuencial; comienza por la precipitación y las dotaciones de riego, que son datos conocidos; continua con la intercepción, la escorrentía superficial y la evapotranspiración real (ETR) y finaliza con la recarga en tránsito, que constituye la entrada de agua a la zona no saturada. En la zona vadosa determina primero la salida por flujo hipodérmico y posteriormente la recarga al acuífero.

El balance lo realiza para un intervalo de cálculo diario. El programa calcula valores diarios del nivel de agua en un piezómetro representativo y el caudal de descarga en el punto de salida de la cuenca. El programa permite realizar automáticamente la calibración de los parámetros del modelo a partir de datos de nivel piezométrico y/o el caudal, así como un análisis de sensibilidad para evaluar los resultados de los cálculos.

Los parámetros asignados se han obtenido por comparación de otros estudios realizados con VISUAL BALAN y apoyándose en la caracterización hidrogeológica previamente realizada de la

zona. Como estaciones meteorológicas se han utilizado las tres mencionadas en el epígrafe de climatología, con valores ponderados por el método de polígonos de Thiessen.

Los resultados con los valores medios obtenido con VISUAL BALAN para los distintos componentes del balance hídrico se muestran gráficamente en la Figura 5.3 (pantalla principal de salida) y en la Tabla 5.4, resumen de los resultados de mayor interés para los objetivos de este trabajo. De los datos que se muestran en la Figura 5.3 se deduce que la recarga al acuífero coincide prácticamente con la infiltración, ya que el flujo hipodérmico es muy pequeño.

**Tabla 5.3. Parámetros aplicados para evaluar la recarga mediante el método VISUAL BALAN**

CONCEPTOS	Valores considerados
<b>EL SUELO EDÁFICO</b>	
Porosidad total (tanto por uno)	0,08
Punto de marchitez (tanto por uno)	0,03
Capacidad de campo (tanto por uno)	0,06
Humedad inicial (mm)	0,03
Espesor del suelo (m)	0,4
Permeabilidad vertical (cm/s)	1.00E-04
Reserva útil resultante (mm)	12
<b>DATOS GEOGRÁFICOS</b>	
Latitud	41° 41' 45"
(1) Área (km <sup>2</sup> )	311.4
<b>INTERCEPCIÓN</b>	
RECARGA EN TRÁNSITO (O LLUVIA EFICAZ) DIFERIDA	Método convencional
<b>FLUJO PREFERENTE</b>	
Evapotranspiración potencial (ETP)	Método de Thornthwaite
Evapotranspiración real (ETR)	Penman-Grindley modificado
CRPG (mm)	0
CEPG (adimensional)	1
<b>ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</b>	
Lluvia mínima del aguacero (en mm)	0
Número de curva	60
<b>LA ZONA NO SATURADA</b>	
Coeficiente de agotamiento del flujo hipodérmico (días <sup>-1</sup> )	0,007
Permeabilidad vertical (mm/día)	1000
Coeficiente de agotamiento de la recarga al acuífero (días <sup>-1</sup> )	0.6931 (1 día)
Humedad inicial (mm)	0
<b>ZONA SATURADA: ACUÍFERO</b>	
Coeficiente de agotamiento del acuífero o descarga subterránea (días <sup>-1</sup> )	0.0039 (180 días)
Coeficiente de almacenamiento del acuífero (adimensional)	0.02
Nivel inicial en el acuífero (m)	930
Nivel de descarga del acuífero <sup>(2)</sup> (m)	850

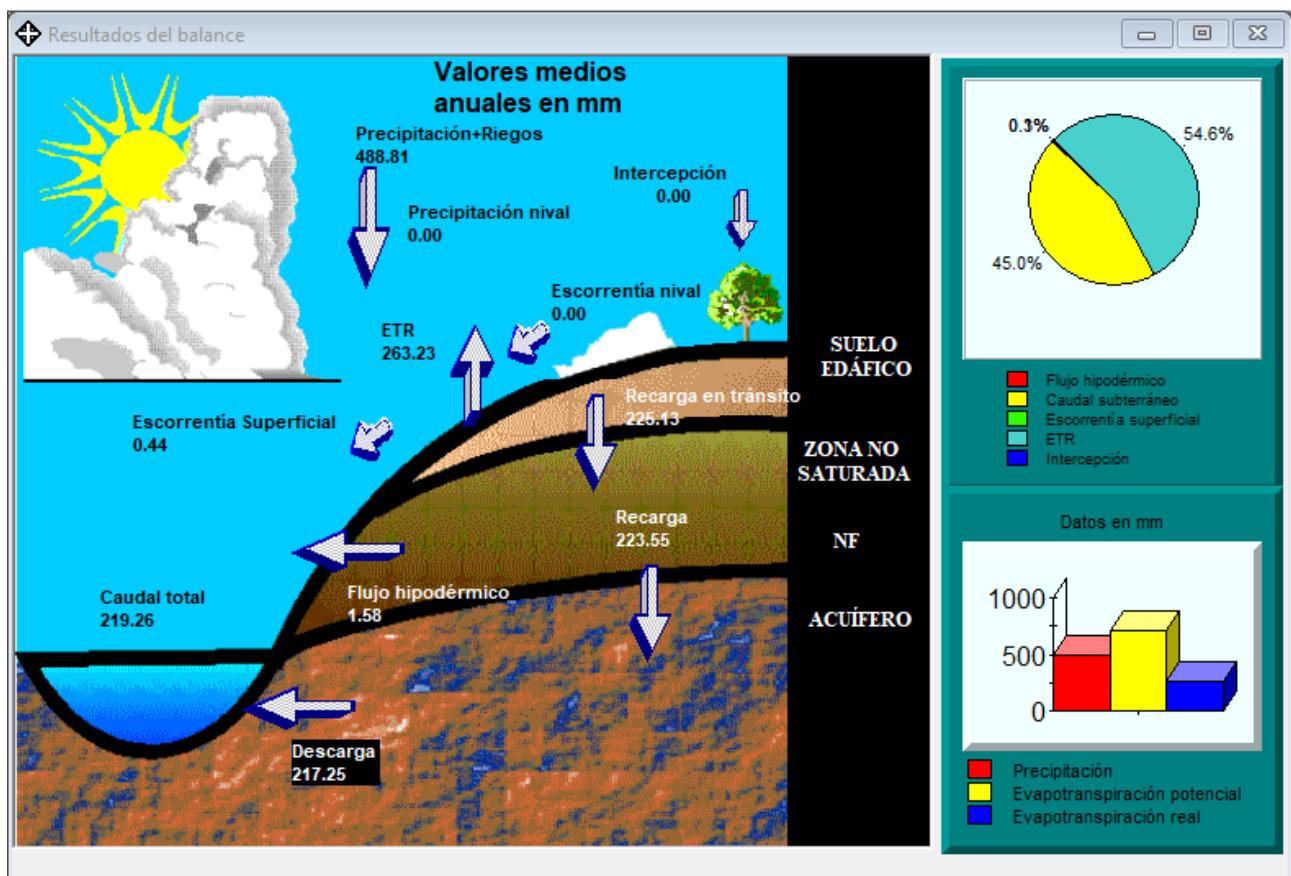
(1) Superficie correspondiente a los afloramientos carbonatados permeables

(2) Cota del manantial 2515-1-0001 (Manantial de Los Estanques)

**Tabla 5.4. Recarga estimada por cuencas hidrográficas (1990/91-2014/15) en la MASCH Araviana - Borobia (acuífero jurásico) mediante VISUAL BALAN**

Cuenca hidrográfica	Afloramientos (km <sup>2</sup> )carbonáticos	Precipitación (mm)	Infiltración lluvia (mm)	Infiltración (hm <sup>3</sup> /a)
Duero <sup>(1)</sup>	206,46	488,8	223,5	46,1
Ebro <sup>(1)</sup>	104,93	488,8	223,5	23,5
<b>Total acuífero</b>	<b>311,39</b>	<b>488,8</b>	<b>223,5</b>	<b>69,6</b>

(1) Valores en función de la superficie carbonática aflorante en cada demarcación a partir de la recarga total.



**Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la MASb Araviana - Borobia (acuífero jurásico) (1990/91-2014/15)**

### 5.3. 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 5.4). 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).

La nueva versión de RENATA, 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.

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.

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 5.4.

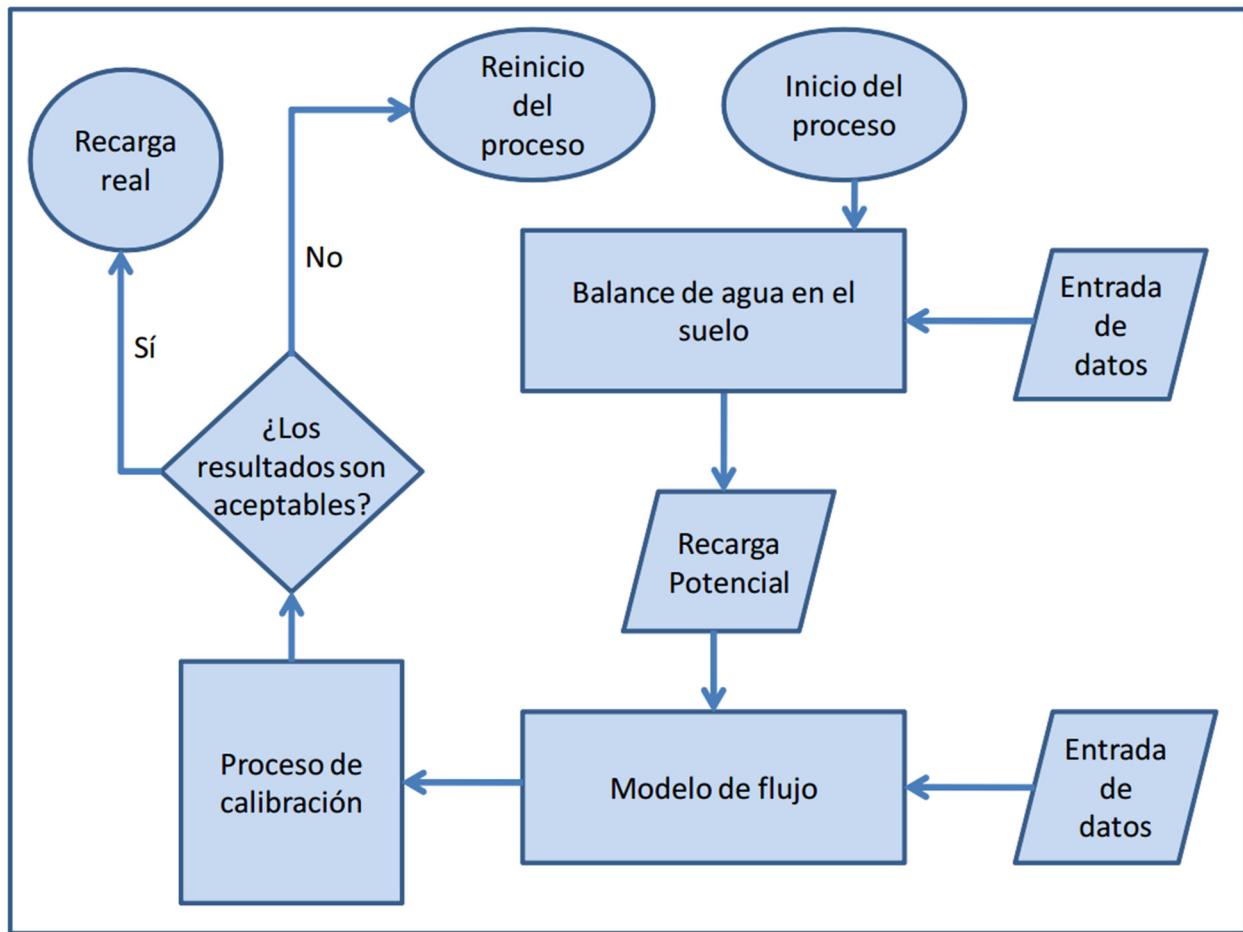


Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA

### 5.3.1. Metodología de cálculo y entrada de datos

En el documento elaborado por DPA-IGME (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) mediante el método de Thornthwaite (1948).
- 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 EEUU.

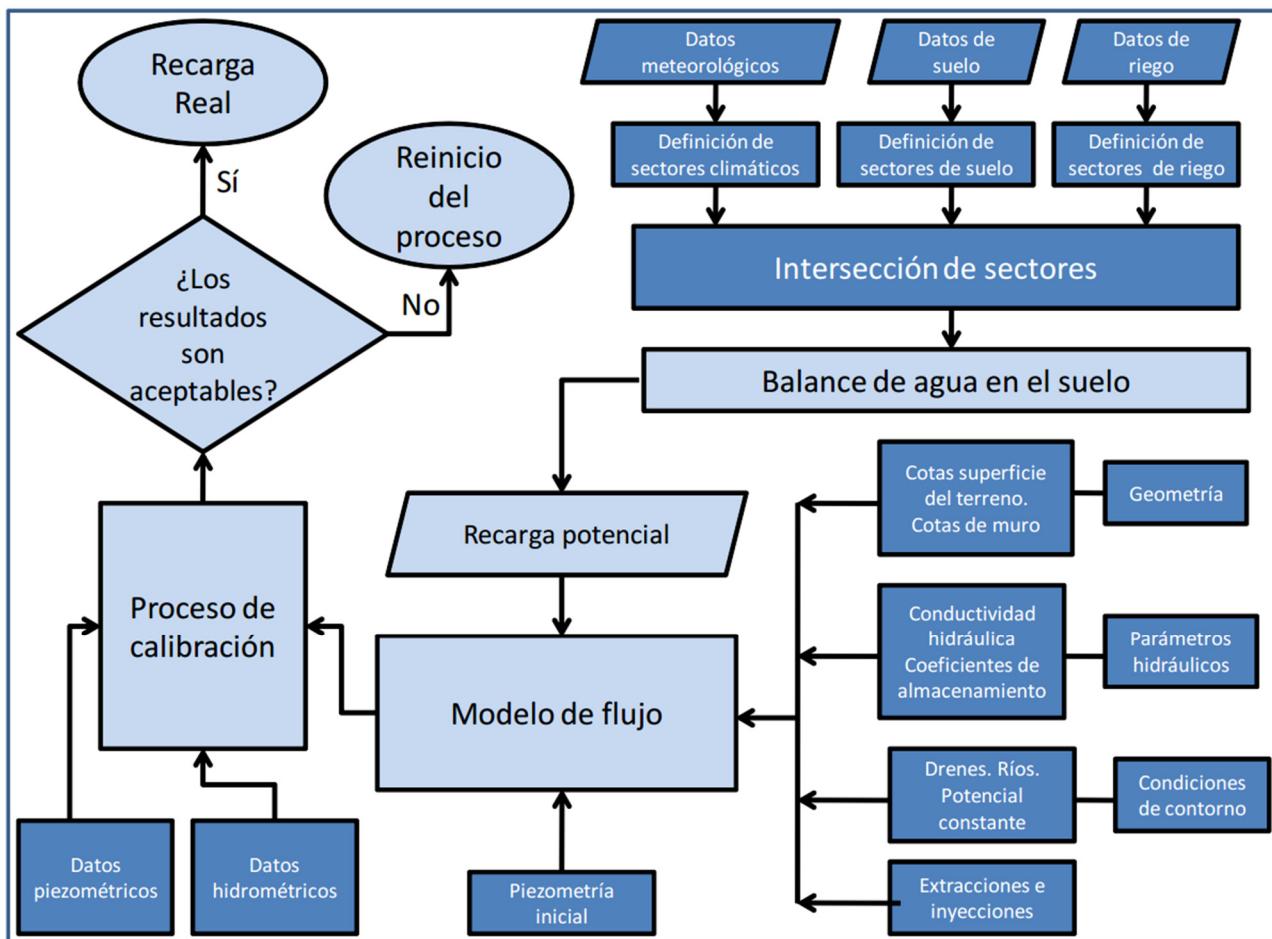


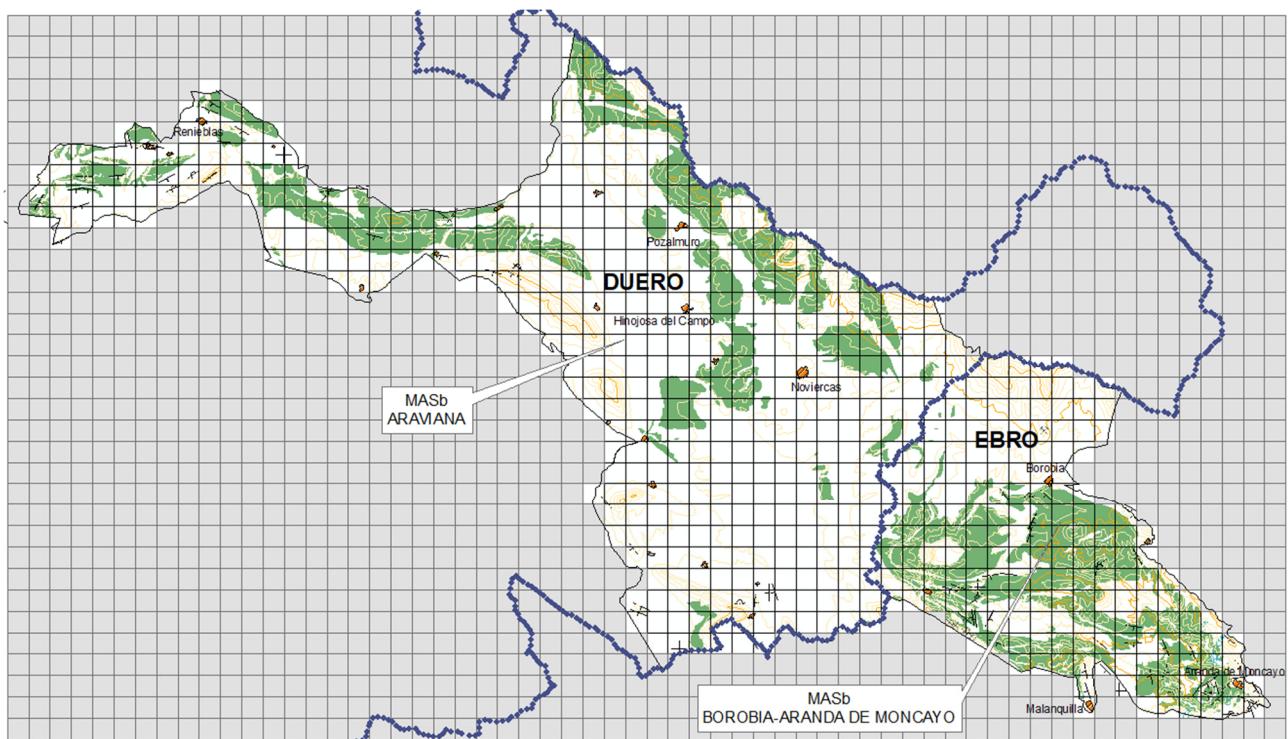
Figura 5.5. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.

### Generación de la malla y establecimiento del periodo de cálculo

Se ha definido, dentro del entorno de RENATA, un mallado rectangular de coordenadas UTM X: 543000 - 603000 e Y: 4601000 - 4635000 en la que queda enmarcada la superficie sujeta al cálculo y estimación de la recarga.

La malla definida consta de 34 filas y 60 columnas con celdas de tamaño 1x1 km. Las de tipo activo (superficie permeable) ocupan una extensión de 633 km<sup>2</sup>.

El cálculo de la recarga se ha realizado a nivel diario en cada una de las celdas activas del mallado para un periodo de 25 años, comprendidos entre 1990 y 2015.



**Figura 5.6. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA.**

### Sectores climáticos

Para la definición de los sectores climáticos se han utilizado dos estaciones pluviométricas (2030-SORIA y 9407A-ARANDA DE MONCAYO). A cada una de ellas se le han asignado sus series termométricas para determinar la ETP.

**Tabla 5.5. Características de los sectores climáticos (1992-2015)**

Sector climático	Estación pluviométrica	Superficie (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm/a)	ETP media (mm/a)
2030	2030-Soria	212	530,5	56,0
9407A	9407A-Aranda de Moncayo	421	470,0	60,4

Los sectores climáticos que se han determinado por el método de los polígonos de Thiessen (ver capítulo de climatología, Figura 4.3) quedan caracterizados por su correspondiente estación pluviométrica y serie de ETP. Dichos sectores se han adaptado al mallado definido para poder aplicar el código RENATA (Figura 5.7).

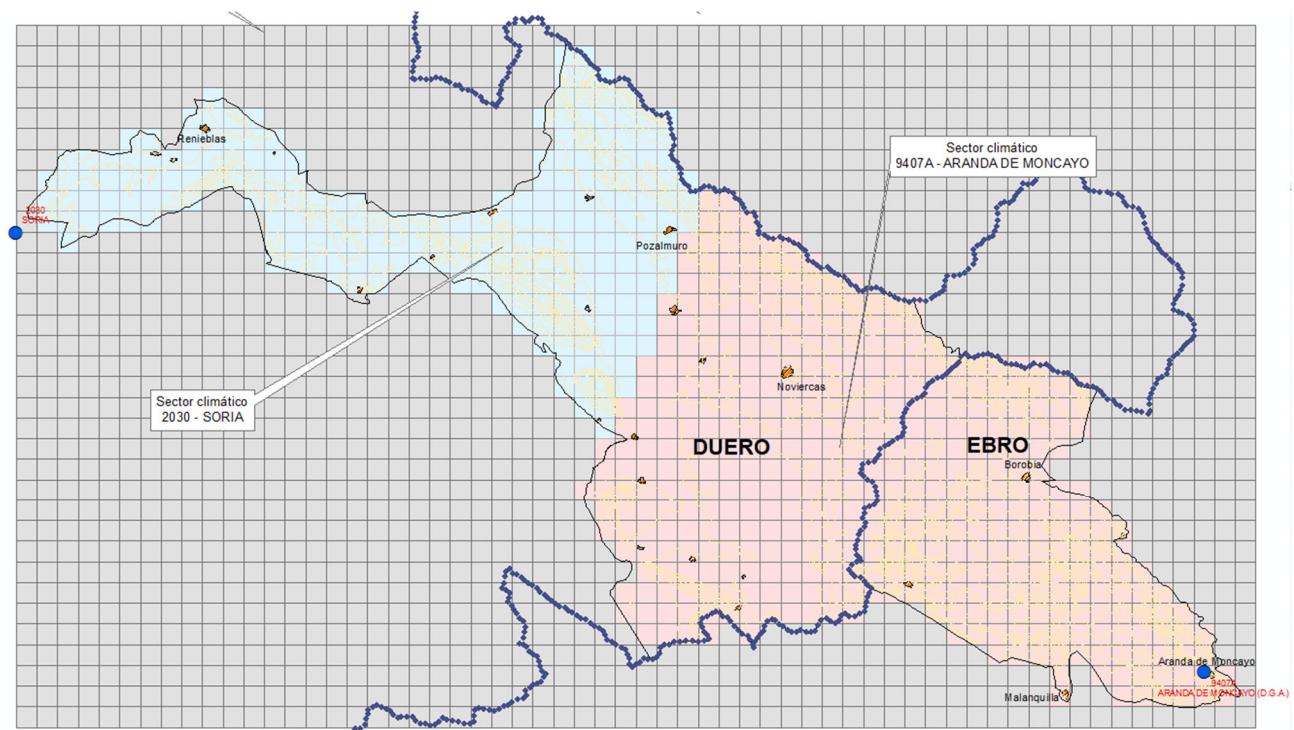


Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA

### Sectores de suelo

Los sectores de suelo se han definido a partir de la cartografía del GEODE, muy sintéticamente, definiendo únicamente dos clases de afloramientos de materiales permeables: carbonáticos y no carbonáticos (o detriticos) (Figura 5.8).

Para asignar un valor inicial a los parámetros del suelo, además de criterios hidrogeológicos se ha utilizado el conocimiento geomorfológico de la zona, por ello se ha dividido por formaciones con comportamientos diferentes frente a la infiltración en función de su litología.

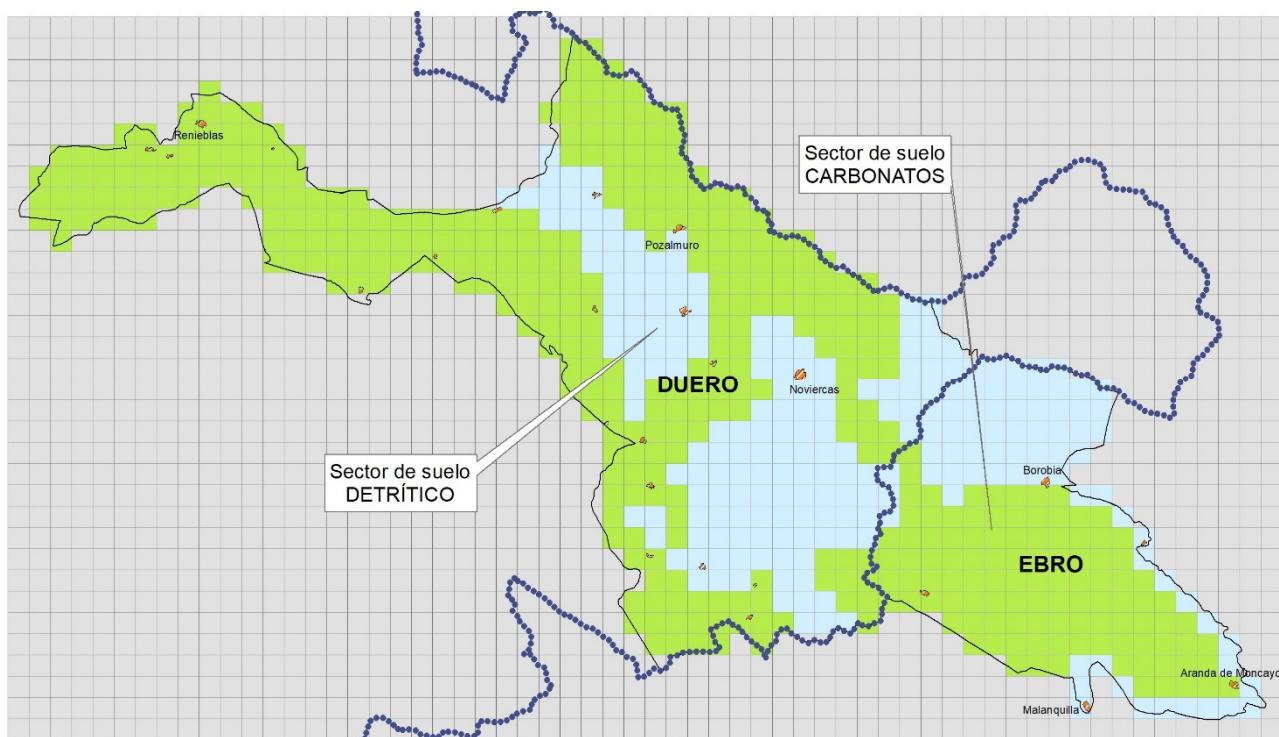


Figura 5.8. Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.

Para asignar un valor inicial a los parámetros del suelo, lo más acorde a la realidad posible, además de criterios hidrogeológicos se ha utilizado el conocimiento geomorfológico de la zona, por ello se ha dividido por formaciones con comportamientos diferentes frente a la infiltración en función de su litología, pendiente y disposición de los materiales, obteniéndose un total de 4 sectores de suelo.

En la Tabla 5.6 se muestran los valores asignados a cada uno de los sectores diferenciados.

Tabla 5.6. Sectores de suelo: parámetros utilizados

Sector de suelo	Superficie (km <sup>2</sup> )	Parámetros
<b>Carbonatos</b>	409	$RU_{min}=50$ $RU_{max}=60$ $P_0=50$ $NC=50$
<b>Detritico</b>	224	$RU_{min}=200$ $RU_{max}=240$ $P_0=2$ $NC=96$

### Sectores de riego

Para el cálculo de la recarga en las masas que nos ocupan no se han asignado sectores de riego, ya que no se tiene constancia de zonas, que por su extensión o número, sean mínimamente significativas.

Se han identificado diversas superficies agrícolas en el mapa de usos del suelo del Corine Land Cover, pero la práctica totalidad de la superficie agrícola detectada corresponde a cultivos de secano, primordialmente cereales.

### Intersección de sectores y definición de áreas de recarga

En el proceso de estudio de la MASCH se han creado un total de 4 áreas que pueden presentar diferente tasa de recarga (Tabla 5.7). Las intersecciones o áreas creadas son el resultado de la superposición de los distintos sectores creados en los apartados de clima y suelo, ya que en el de riego no se han definido sectores, como se ha indicado anteriormente.

En la Figura 5.9 se muestra su distribución espacial, así como la superficie que ocupa, los tipos de sectores climáticos y los sectores de suelo que les corresponden.

Tabla 5.7. Áreas establecidas con diferente recarga

Área	Superficie (km <sup>2</sup> )	Sector climático	Sector de suelo
1	175	2030-Soria	Carbonatos
2	37	2030-Soria	Detritico
3	235	9407A-Aranda de Moncayo	Carbonatos
4	186	9407A-Aranda de Moncayo	Detritico

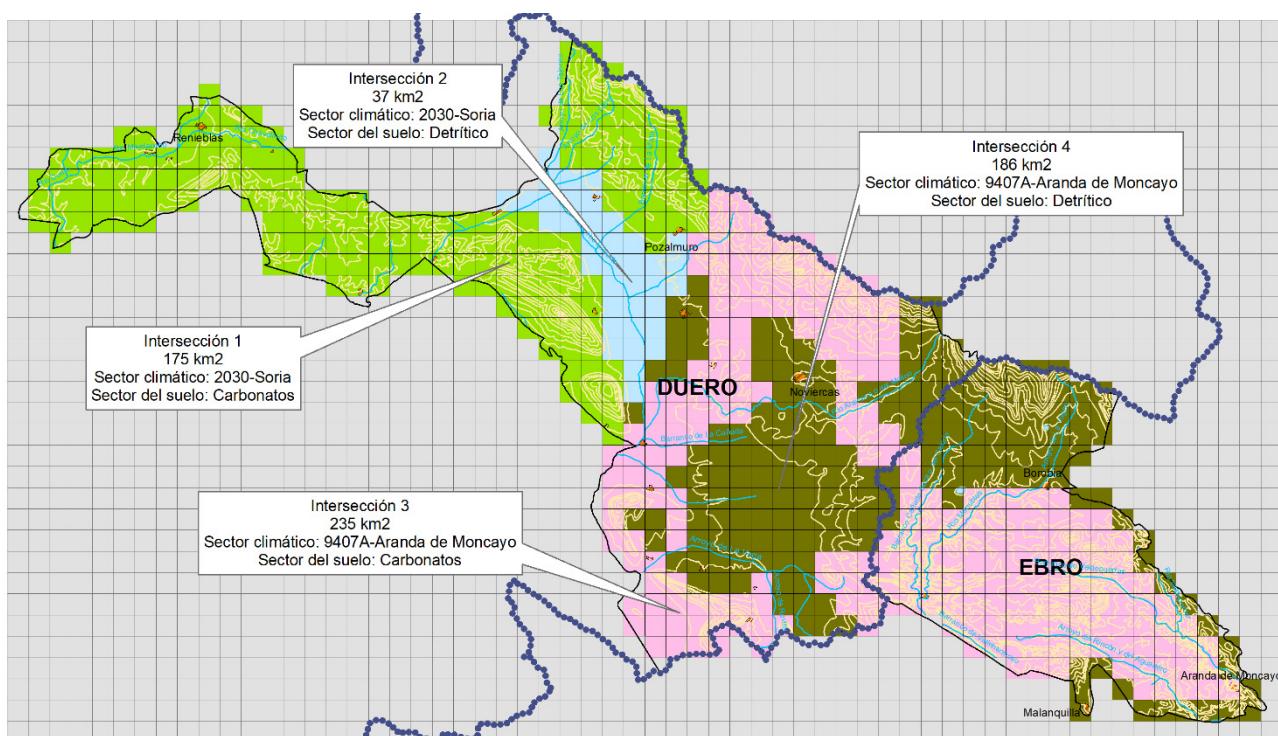


Figura 5.9. Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo

## Condiciones de contorno

Todas las celdas exteriores a los límites de la MASCH Araviana-Borobia se han definido como de flujo nulo. La condición de contorno tipo dren se ha aplicado a los manantiales de los que se tiene constancia que drenan la zona, al sureste, en la parte que pertenece a la Demarcación Hidrográfica del Ebro, el manantial de El Estanque o de Aranda de Moncayo (2515-1-0001), cercano a la población de Aranda de Moncayo, situado en el río Valdepomer que a partir de su paso por la población comienza a llamarse río Aranda y por tanto se suele considerar como nacimiento del río Aranda y en el otro extremo, al noroeste, en la Demarcación Hidrográfica del Duero, el manantial de Los Ojos (2314-2-0002), en el cauce del río Merchando, afluente del Duero, en la localidad de Renieblas.

Dentro de la condición de río se han representado tanto los principales de la zona como son, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, el Manubles y el Valdepomer, como precursor del Aranda y, en la Demarcación Hidrográfica del Duero, el propio río Duero, el Merchando, el Rituerto y el Araviana, que atraviesa la zona y además la conecta con la MASCH adyacente (aguas arriba) denominada Vozmediano-Moncayo.

Con el fin de conseguir una representación mejor, a lo largo del proceso de ajuste se han añadido unas celdas de caudal constante al sureste de la masa, en los materiales cretácicos por los que se produce cierto drenaje hacia la MASb adyacente, Almazán, de la Demarcación Hidrográfica del Duero.

Los límites del modelo corresponden a los límites hidrogeológicos establecidos en el capítulo 3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.

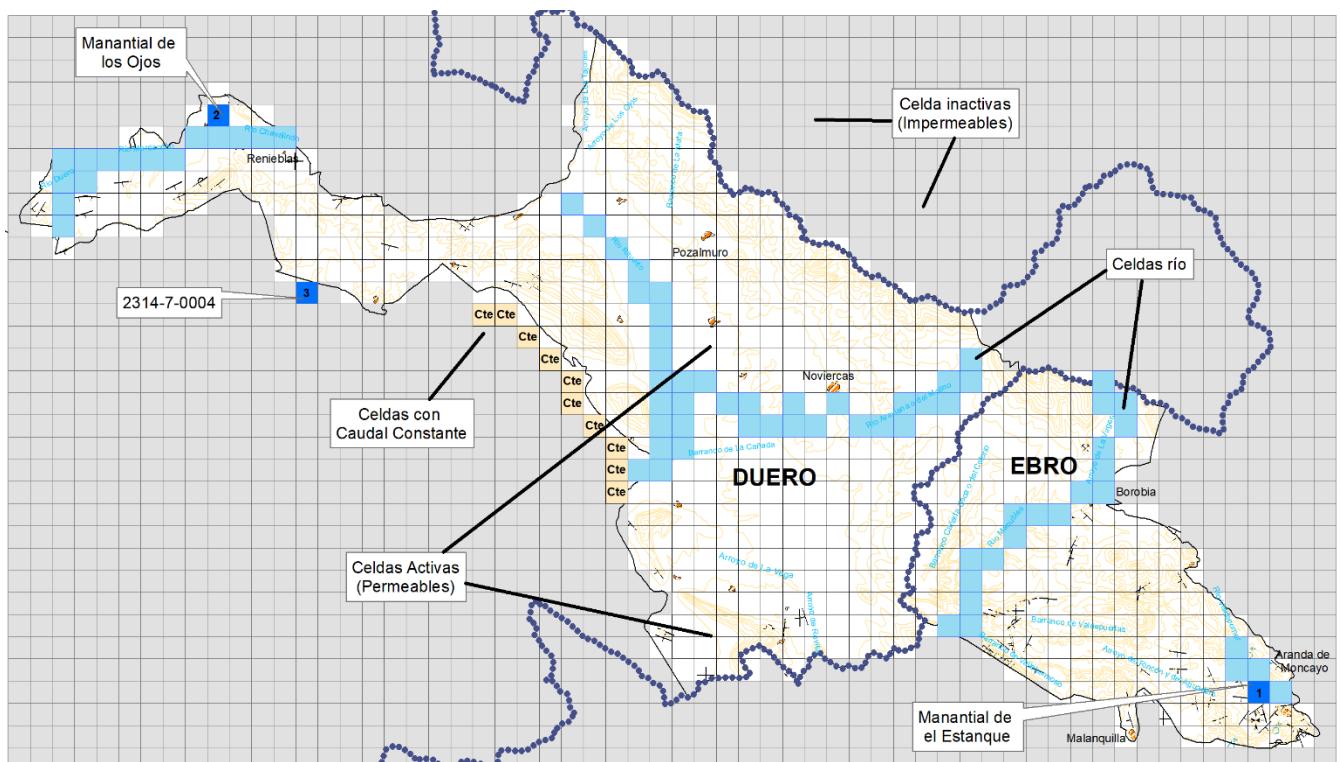


Figura 5.10. Condiciones en los límites del modelo de flujo

## Geometría

Para diseñar la geometría se ha importado la topografía del modelo digital del terreno de 200 m referido a ETRS89 tomado del IGN y se ha considerado una sola capa limitada por la superficie topográfica extraída de dicho MDT y una profundidad media estimada del muro del acuífero carbonatado a cota de 800 m s.n.m.

## Parámetros hidráulicos

Dado que no existen datos de parámetros hidráulicos obtenidos de ensayos específicos, para la asignación espacial de estos se ha partido de las características hidrogeológicas definidas para las diferentes formaciones establecidas en la caracterización hidrogeológica, apoyadas en la información aportada por la bibliografía consultada, especialmente las caracterizaciones de las unidades hidrogeológicas y las masas de aguas de subterráneas realizadas en los planes hidrológicos.

## Extracciones

Al no existir explotaciones de regadío ni abastecimientos a poblaciones relevantes, no se han localizado extracciones de interés en la zona.

## Piezometría inicial

Dado que la MASCH Araviana-Borobia se encuentra en régimen natural, debido a la mínima extracción de recursos que se realiza en ella, los piezómetros reflejan únicamente las variaciones estacionales, manteniéndose constantes en su evolución a lo largo del tiempo, por lo que se han utilizado como niveles iniciales una media aproximada de las cotas registradas en las series de los 3 piezómetros existentes en la zona, dos de ellos en la cuenca del Duero (PZ0234001-SO. Noviercas y PZ0234002-SO-Almenar de Soria) y uno en la del Ebro (2415-4-0005 o 09.622.02 Ciria MMA. Cañada de los Pozos).

### 5.3.2. Calibración

En el proceso de calibración, para el caso del balance hídrico, se han ido variando las reservas de agua y los umbrales de escorrentía para intentar reproducir el comportamiento real de los distintos sectores. Partiendo de los datos bibliográficos de los estudios realizados en la zona y de los planes hidrológicos. También se han ido variando las reservas de agua en los materiales no carbonatados para ajustar lo más posible al comportamiento real, observado en los piezómetros.

En régimen permanente, para conseguir una calibración idónea se ha utilizado el ajuste de la evolución piezométrica de los tres piezómetros de los que se tiene datos de nivel en la MASCH compartida, dos de ellos en la Demarcación Hidrográfica del Duero (PZ023401 y PZ023402) y uno en la del Demarcación Hidrográfica del Ebro (2415-4-0005), así como la coherencia del funcionamiento hidrológico, lugares por donde se producen los drenajes naturales y la cuantificación de éstos, así como el conocimiento que se tiene de la zona.

En la Figura 5.11 se muestra la evolución de los niveles de los 3 piezómetros y el ajuste obtenido con la piezometría calculada en la simulación. El piezómetro PZ023402, situado en la cuenca del

Duero, junto a la localidad de Castejón del Campo, no se consigue una calibración adecuada, que puede ser debido a la proximidad al límite de la MASCH. No se ha podido obtener la columna litológica del sondeo para saber exactamente que niveles corta y que nivel mide. La imposibilidad de calibración también puede ser debida a la falta de estos datos.

En los otros dos piezómetros (PZ023401 y 2415-4-0005) se ha conseguido una calibración bastante buena con RENATA, como muestra la evolución de las medidas de la Figura 5.11. Dicha calibración tan buena no se ha conseguido en el PZ023402 ya que para conseguir la calibración de este tercer piezómetro era necesario variar los datos del balance hídrico, haciéndolos poco coherentes.

Los datos de recarga según las áreas creadas en la simulación quedan recogidos en las tablas Tabla 5.8 y Tabla 5.9, los cuales también tienen coherencia con los datos bibliográficos disponibles. En la Tabla 5.8 se presentan los valores obtenidos de recarga para cada una de las intersecciones generadas con el código RENATA con los sectores establecidos anteriormente. Al no existir riegos, no hay retornos de riegos por lo que todas la recarga se produce por la precipitación.

*Tabla 5.8. Recarga en cada una de las áreas (1992-2015)*

Área	Superficie (km <sup>2</sup> )	Sector climático	Sector del Suelo	Recarga por precipitación (hm <sup>3</sup> /a)	Recarga total (hm <sup>3</sup> /a)
1	175	2030-Soria	Carbonatos	28,05	28,05
2	37	2030-Soria	Detritico	1,02	1,02
3	235	9407A-Aranda de Moncayo	Carbonatos	23,61	23,61
4	186	9407A-Aranda de Moncayo	Detritico	1,36	1,36

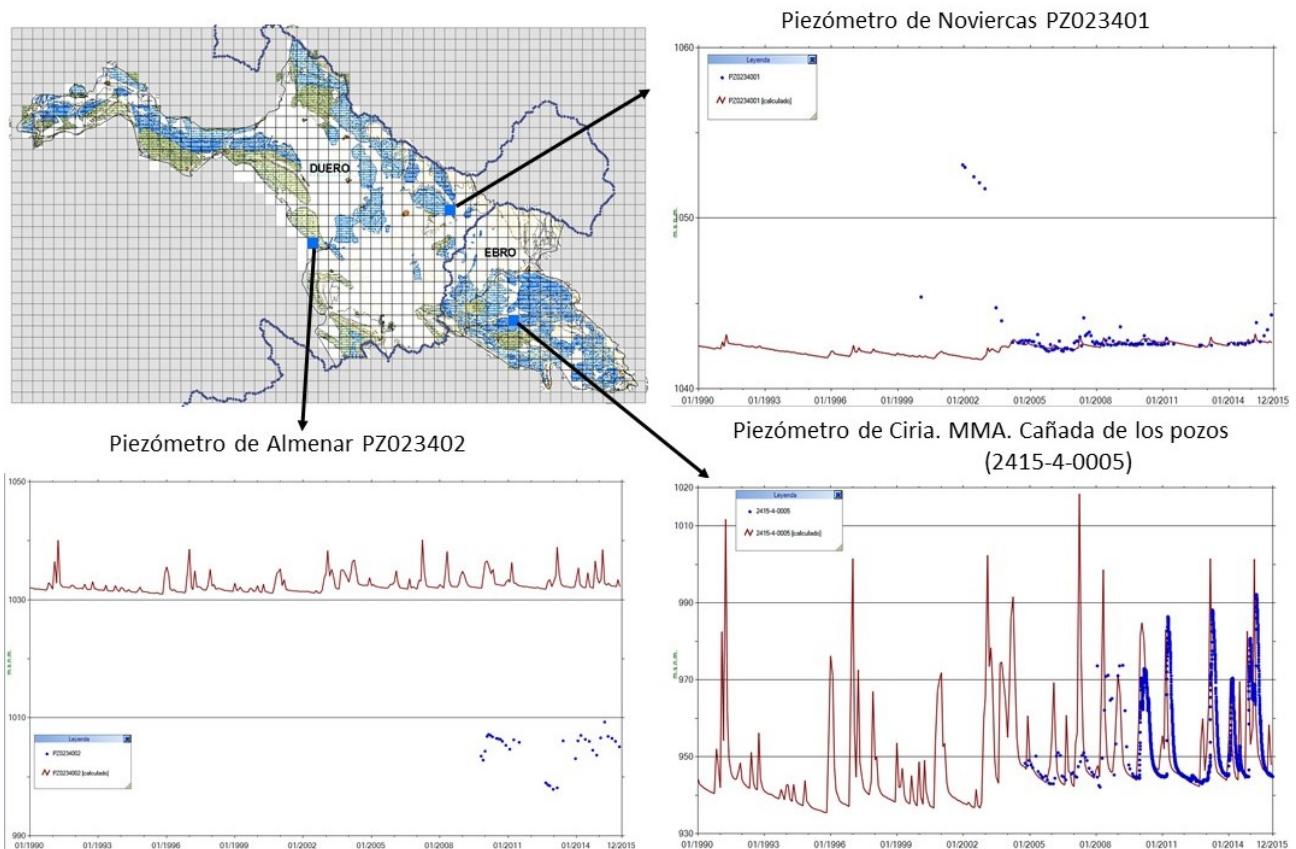


Figura 5.11. Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros

A continuación, en la Tabla 5.9 se presenta la precipitación media, la recarga media originada por precipitación y la tasa de recarga por sectores de suelo

Tabla 5.9. Precipitación media, recarga media por precipitación y tasa de recarga en los sectores de suelo que se han denominado carbonático y detrítico (1990-2015)

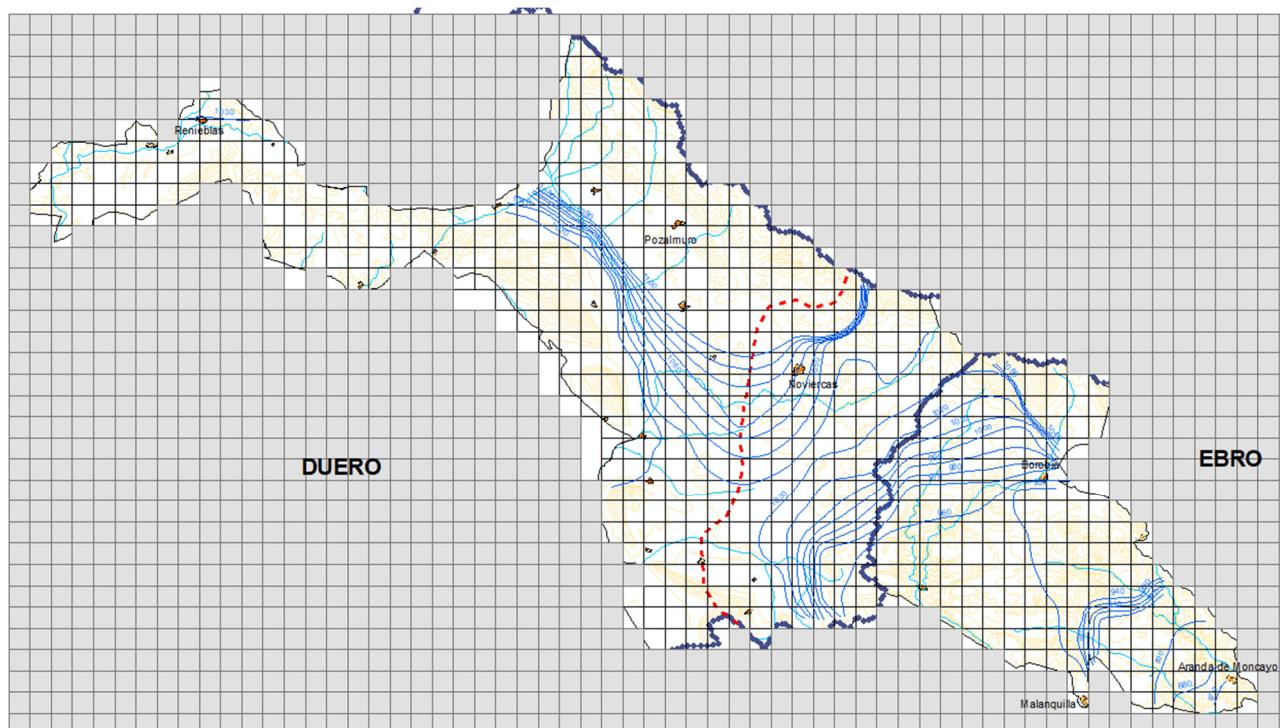
Área	Superficie (km <sup>2</sup> )	Parámetros	Precipitación (P) media (hm <sup>3</sup> /a)	Recarga media (R) (hm <sup>3</sup> /a)	Tasa de recarga
<b>Detrítico</b>	223	RU <sub>min</sub> =200 RU <sub>max</sub> =240 P <sub>0</sub> =2 NC=96	105,42	2,38	2,25
<b>Cretácico</b>	410	RU <sub>min</sub> =40 RU <sub>max</sub> =60 P <sub>0</sub> =50 NC=50	200,26	51,66	25,79

En la Tabla 5.10 se presentan los resultados globales de la recarga al acuífero distribuida por demarcaciones hidrográficas.

**Tabla 5.10. Recarga del acuífero jurásico por Demarcaciones Hidrográficas (1992-2015)**

Demarcación Hidrográfica	Superficie (km <sup>2</sup> )	Precipitación (hm <sup>3</sup> /a)	Infiltración (hm <sup>3</sup> /a)	Recarga total (hm <sup>3</sup> /a)
<b>Duero</b>	457	220,82	39,79	39,79
<b>Ebro</b>	176	84,86	14,25	14,25
<b>Total MASCH</b>	633	305,68	54,04	54,04

En la Figura 5.12 se refleja la piezometría que aporta la simulación realizada con el código RENATA en la MASCH Araviana-Borobia.

**Figura 5.12. Piezometría representada en Renata para el régimen permanente**

En la Figura 5.13 se muestra una captura de la pantalla de calibración del modelo con los resultados expuestos en las tablas anteriores.

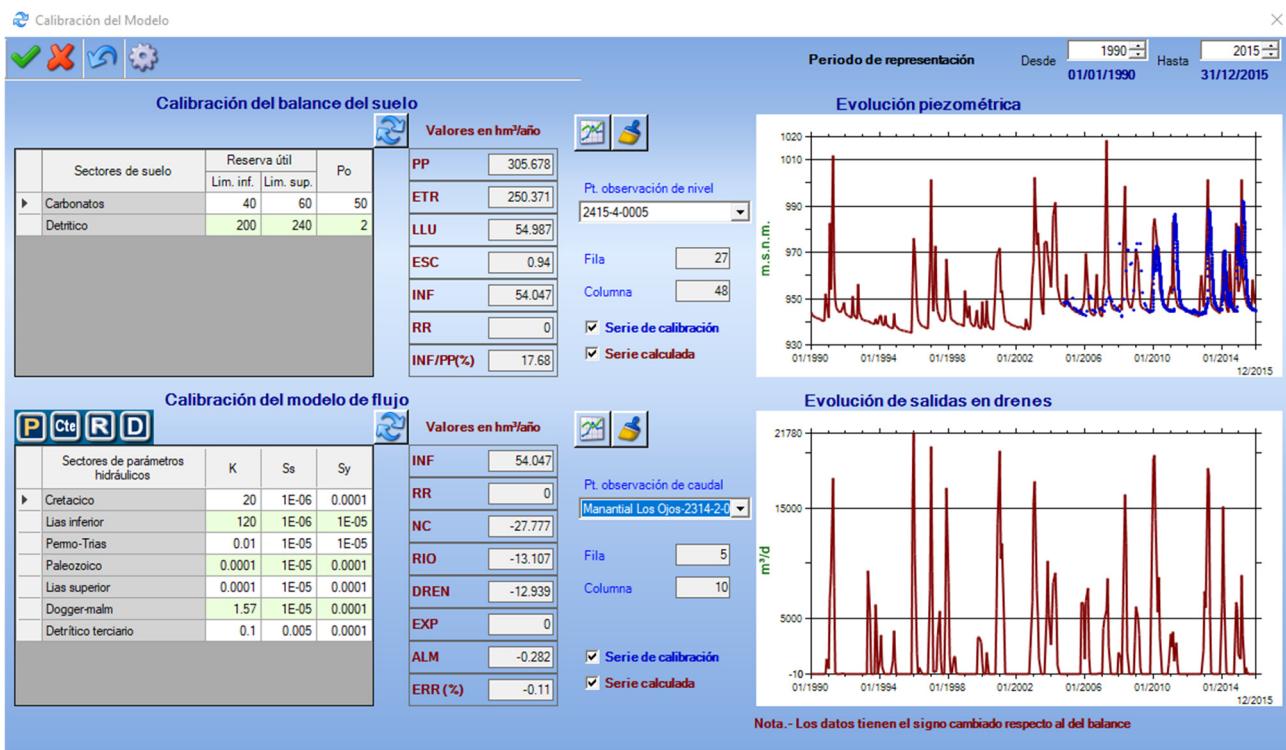


Figura 5.13. Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo

## 6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los tres métodos (APLIS, VISUAL BALAN y RENATA) que se han empleado para evaluar la recarga se muestran resumidos a continuación, en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1. Valor de la recarga de la MASCH denominada Araviana-Borobia (acuífero jurásico) mediante la utilización de los métodos APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1990/91-2014/15)**

Método	Recarga (hm <sup>3</sup> /a)			Tasa de recarga por precipitación
	Duero	Ebro	TOTAL	
<b>APLIS</b>	36,00	17,60	<b>53,60</b>	17,53%
<b>VISUAL BALAN</b>	46,10	23,50	<b>69,60</b>	22,77% <sup>(1)</sup>
<b>RENATA</b>	39,79	14,25	<b>54,04</b>	17,67%

(1) El método sólo considera permeable la superficie carbonática.

Ninguno de los métodos, en general, aportan cálculos muy dispares, aunque el valor obtenido con Visual Balan es el más alto de los 3 empleados y se considera un poco sobrevalorado, probablemente debido a la propia metodología de cálculo, en el que se utilizan multitud de parámetros, habitualmente desconocidos y que tienen que ser estimados la mayor parte de las veces, sin criterios suficientes para su valoración.

Los valores obtenidos con el código RENATA, al ser los valores medios de los 3, y por el método de estimación, sería el que mejor se ajustarían a la realidad de la MASCH (a los acuíferos que la forman y a su funcionamiento), aunque los valores obtenidos con APLIS son muy similares e igualmente aceptables. No obstante, la escasez de datos, especialmente de las descargas de la MASCH a través del manantial de Almenar y de Los Ojos (2314-2-0002), las descargas difusas a cauces, especialmente importantes en esta MASCH y las posibles salidas subterráneas laterales a través de los materiales cretácicos, obliga a tomar estos resultados con la reserva y cautela debida.



## 7. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL

En la masa que nos ocupa no existe un régimen influenciado por lo que solo se describirá el régimen natural.

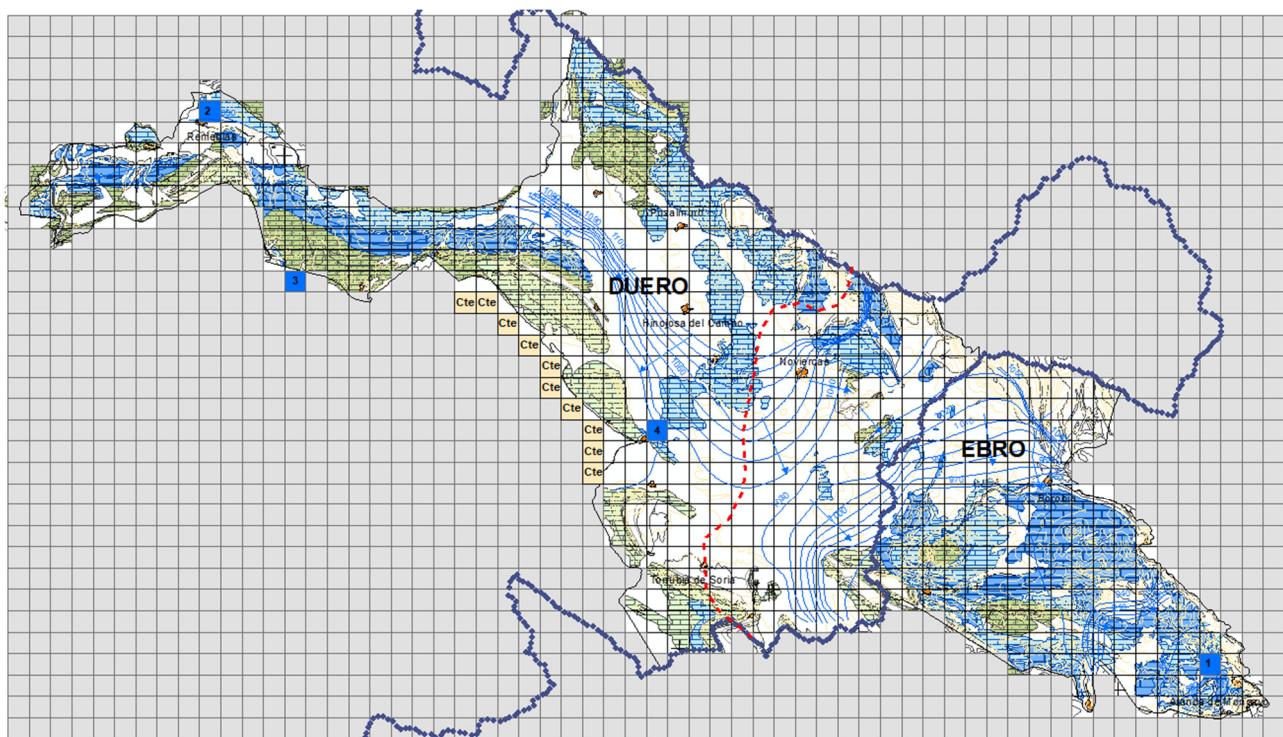
En régimen natural las entradas de agua al acuífero corresponden sólo a la recarga que proporciona la precipitación atmosférica, no se contemplan los retornos de riego ni las salidas por bombeos. Dado que el régimen inicialmente es permanente, las entradas y las salidas de agua en el acuífero tienen que ser iguales y por lo tanto el balance ser 0. Puesto que no hay variación del almacenamiento a lo largo del tiempo, la superficie piezométrica será siempre la misma, hasta que no se produzcan presiones que alteren el régimen natural (explotación) o cambien las condiciones ambientales naturales, especialmente el régimen de precipitaciones.

Los recursos renovables en régimen natural que proporciona el código RENATA para el acuífero del Jurásico (Lías inferior y Dogger) de la MASCH de Araviana-Borobia, durante el periodo 1990/1991-2014-2015, son de 54,04 hm<sup>3</sup>/a. De este volumen, como se muestra en la Tabla 7.1, en la Demarcación Hidrográfica del Duero se generan 39,79 hm<sup>3</sup>/a, lo que supone un 73,63% del total de los recursos generados en la MASCH, mientras que 14,25 hm<sup>3</sup>/a se generarían en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, que suponen un 26,37% de los recursos de la masa.

**Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen natural estacionario de la MASCH de Araviana-Borobia (acuífero jurásico) por Demarcaciones Hidrográficas**

Demarcación Hidrográfica	Recarga (hm <sup>3</sup> /a)	%	Descarga por manantiales (hm <sup>3</sup> /a)	%
Duero	39,79	73,63%	0,17	1,36%
Ebro	14,25	26,37%	12,25	98,55%
<b>Total MASCH</b>	<b>54,04</b>	<b>100%</b>	<b>12,43</b>	<b>100%</b>

Los recursos del acuífero drenados por manantiales en régimen natural, que son todos los generados (54,04 hm<sup>3</sup>/a), ya que no existe almacenamiento, se distribuyen de la siguiente manera: por las surgencias del manantial de Lagüén o Los Estanques (2515-1-0001) y su entorno, en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, se descargan un total de 12,25 hm<sup>3</sup>/a, mientras que por el manantial de Los Ojos (2314-2-0002), en la Demarcación Hidrográfica del Duero, se drenan 0,17 hm<sup>3</sup>/a. En cuanto a los recursos que se drenan directamente a cauces, del total de 13,26 hm<sup>3</sup>/a, a la Demarcación Hidrográfica del Duero descargan 7,96 hm<sup>3</sup>/a, a través del cauce del propio río Duero, el Araviana, el Rituerto y el Merchando, y 5,30 hm<sup>3</sup>/a lo hacen a la Demarcación Hidrográfica del Ebro, principalmente al cauce del río Aranda o Valdepomer ya que el cauce del Manubles es fundamentalmente perdedor. El resto de las salidas, 23,54 hm<sup>3</sup>/a, se producen subterráneamente a través de los materiales cretácicos presentes en el suroeste de la MASCH hacia la MASb Cuenca de Almazán en la Demarcación Hidrográfica del Duero.



**Figura 7.1. Superficie piezométrica flujo subterráneo y manantiales de la MASCH Araviana-Borobia (acuífero jurásico) en régimen natural permanente.**

Como se aprecia en la Figura 7.1, en régimen natural la divisoria de aguas subterráneas no coincide con la divisoria de aguas superficiales de las dos Demarcaciones Hidrográficas. La cuenca subterránea vertiente a la Demarcación del Ebro tiene mayor superficie que su cuenca superficial, captando parte de la cuenca que superficialmente pertenece a la Demarcación Hidrográfica del Duero.

Debido a las incertidumbres presentadas a la hora de trazar la divisoria de aguas subterráneas por la falta de datos que sustentan el trazado de las isopiezas en algunos puntos, la distribución de recursos obtenida debe tomarse con reserva y cierta precaución.

En función de la superficie subterránea de cada Demarcación Hidrográfica el balance hídrico por cuencas hidrográficas se muestra en la Tabla 7.2.

**Tabla 7.2. Aportación subterránea por cuencas hidrográficas**

Demarcación Hidrográfica	Área superficial	%	Área subterránea	%	Recarga (hm <sup>3</sup> /año)	Transferencia (hm <sup>3</sup> /año)	Aportación subterránea (hm <sup>3</sup> /año)
<b>Duero</b>	434,67	72,04%	306,20	50,75%	39,79	-8,47	31,32
<b>Ebro</b>	168,72	27,96%	297,19	49,25%	14,25	8,47	22,72
<b>Total MASCH</b>	<b>603,39</b>	<b>100%</b>	<b>603,39</b>	<b>100%</b>	<b>54,04</b>	<b>0</b>	<b>54,04</b>

## 8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

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

- Se han ajustado los límites de la MASCH Almazán-Aranda de Moncayo a los acuíferos de ambas cuencas que pueden tener conexión hidráulica entre sí, estableciéndose un nuevo límite para la MASCH, pasando a denominarse Araviana-Borobia, que abarca la actual MASb Borobia-Aranda de Moncayo de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y la MASb Araviana de la Demarcación Hidrográfica del Duero. (ver Figura 1.1).
- En la Masa de Agua Subterránea Compartida o con Continuidad Hidrogeológica (MASCH) denominada Araviana-Borobia las formaciones que constituyen acuíferos de interés son la Formación calizo-dolomítica del Lías inferior y la Formación carbonatada del Dogger-Malm inferior, que forman sendos acuíferos kársticos separados por la Unidad margosa del Lías superior que puede dificultar y limitar en algunas zonas el flujo de agua subterránea entre los dos acuíferos, situados a muro y techo de la misma, funcionando como acuitardo, aunque la tectónica y en particular la fracturación pueden permitir la comunicación entre ambas a nivel regional. Para la simulación del funcionamiento se han considerado como un único acuífero con diferentes permeabilidades, para reproducir el funcionamiento real del Lías superior.
- Todos los cálculos y estimaciones que se realizan en el presente informe se refieren principalmente al acuífero jurásico, compuesto por las formaciones del Lías inferior y Dogger, en conjunto.
- La precipitación media sobre la superficie permeable de la masa de agua subterránea es de 490 mm/a. siendo la precipitación media para años secos de 360 mm/a y en años húmedos de 611 mm/a.
- La recarga al acuífero en régimen natural para el período 1990/1991-2014/2015 se ha estimado por tres métodos: APLIS, VISUAL BALAN y RENATA, con resultados distintos, pero dentro de un cierto rango. Se encuentran comprendidos entre los 53,60 hm<sup>3</sup>/a obtenidos con APLIS y los 69,60 hm<sup>3</sup>/a que se obtienen con VISUAL BALAN, quedándose el código RENATA con 54,04 hm<sup>3</sup>/a, muy cercano a los resultados aportados por APLIS.
- Se considera que los valores obtenidos con el código RENATA son los que mejor se ajustan a la realidad de la MASCH y más acordes, tanto con los resultados obtenidos en la bibliografía consultada como con las descargas estimadas del sistema, además de que es el único método que ha permitido una cierta calibración con los piezómetros existentes. No obstante, la escasez e incertidumbre de los datos, especialmente de las descargas de la MASCH (aportes a ríos o manantiales como Los Ojos (2314-2-0002)), obliga a tomar estos resultados con la reserva y cautela debida.
- Los recursos generados en la MASCH son de 54,04 hm<sup>3</sup>/a, de los que 39,79 hm<sup>3</sup>/a (73,63%) se generan en la superficie perteneciente administrativamente a la Demarcación Hidrográfica del Duero y 14,25 hm<sup>3</sup>/a en la del Ebro (26,37%).
- De los 54,04 hm<sup>3</sup>/a que suponen los recursos totales que se generan en la MASCH Araviana-Borobia, 22,72 hm<sup>3</sup>/a drenan a la Demarcación Hidrográfica del Ebro y 31,32 hm<sup>3</sup>/a son drenados a la Demarcación Hidrográfica del Duero, lo que supone el 42,04% y 57,95% respectivamente de los recursos totales.

Con el objetivo de mejorar el conocimiento de la MASCH Araviana-Borobia en lo que se refiere a la forma y cuantía de la recarga y descarga de los recursos subterráneos, deberían realizarse, al menos las siguientes actuaciones:

- Construcción de nuevos piezómetros en la zona central con objeto de definir con mayor detalle la divisoria de aguas subterráneas y en la parte este de la MASB Araviana, de la que se tiene poco conocimiento de los niveles piezométricos y su evolución, así como de los parámetros hidrogeológicos. A este respecto se adjunta la ubicación que deberían tener dichos piezómetros:

### **PIEZÓMETRO 1**

TM de Cardejón

X=576530

Y=4613505

Z=1052

Profundidad 350 m

Objetivo: Calizas jurásicas

### **PIEZÓMETRO 2**

TM Pinilla del Campo

X=576938

Y=4616046

Z=1007

Profundidad 315 m

Objetivo: calizas jurásica

### **PIEZÓMETRO 3**

T. Municipal. - Torrubia de Soria (Soria)

X.= 575.880 ;

Y.= 4.611.470 ;

Z.= 1035;

Profundidad 325 m.

Objetivo:Calizas Cretácico-Jurásico.

- Control de los caudales de descarga de la MASCH Araviana-Borobia mediante el establecimiento de estaciones de aforo que registren de forma continua el caudal total que drena la salida de la MASCH por el manantial de Los Ojos (2314-2-0002) así como las salidas a los ríos con estaciones en las confluencias del Araviana y el Rituerto. Este control es especialmente necesario dado el carácter kárstico del acuífero.
- Aunque la descarga por el manantial de Lagüén y las descargas difusas de su entorno en Aranda de Moncayo se controlan en la estación de aforo A236 de la Red SAIH de la

Demarcación Hidrográfica del Ebro, situada en cola del embalse de Maidevera, el registro de las salidas directas por el manantial podría aportar una valiosa información para el conocimiento del funcionamiento del acuífero en este sector.

## REFERENCIAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente. Corine Land Cover. (2018). Programa de Coordinación de información de Medioambiente.
- Andreo, B., Vías, J., López- Geta, J.A., Carrasco, F., Durán, J.J., Jiménez. P. (2004). Propuestas metodológicas para la estimación de la recarga en acuíferos carbonáticos. Boletín Geológico y Minero 115 (2):177-186.
- CHE (1998). Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro.
- CHE (1999). Delimitación de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Ebro (Plan Hidrológico)
- CHD (1998). Plan Hidrológico de la cuenca del Duero.
- CHE (2015). Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.
- CHD (2015). Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Duero 2015-2021.
- Custodio, E. (1998). Recarga de los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. Boletín Geológico y Minero. Vol. 109, nº 4, 19-40.
- DPA- IGME (2012). RENATA (Recarga Natural de Acuíferos). Manual del Usuario. Convenio IGME-DPA.
- IGME (1971-75). Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS).
- IGME (1972). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 351 Olvega
- IGME (1974). Reconocimiento hidrogeológico de las comarcas de Almenar de Soria y Tierras altas de Soria.
- IGME (1975). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 381 Illueca.
- IGME (1977). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 319 Ágreda.
- IGME (1986). Proyecto de Investigación Hidrogeológica Básica del sistema nº 13 Jurásico Oriental de Soria
- IGME (1988). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 350 Soria.
- IGME (1988). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 380 Borobia.
- IGME (2009). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 4: identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico, Demarcación Hidrográfica del Duero. Sistema de explotación Alto Duero.
- ITGE (1989). Hidrogeología de la provincia de Soria. III Congreso Nacional de Geoquímica.
- Lerner, D., A. Issar, and I. Simmers (1990). Groundwater Recharge: A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge. Heise, Germany: International Contributions to Hydrogeology.
- MAPA (1991). Caracterización agroclimática de la provincia de Soria
- MMA (2000). Plan Hidrológico Nacional. Delimitación y asignación de recursos en acuíferos compartidos.

- MOPT (1993). Delimitación y síntesis de las características de las unidades hidrogeológicas intercuencas.
- MOPTMA-MINER (1994). Libro blanco de las Aguas Subterráneas.
- 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.
- 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
- Sancho Ruiz, E. (2019). Sistema de Poljes de Noviercas, Borobia y Cuevas de Ágreda-Beratón (Cordillera Ibérica, Soria): Cartografía geomorfológica y materiales para la divulgación. TFG. Universidad de Zaragoza
- SGOP (1991). Estudio hidrogeológico de Soria
- Vera, J.A. (2004). Geología de España

## ANEXOS

**ANEXO I**  
**DATOS MENSUALES CLIMÁTICOS UTILIZADOS**

## 2030 Soria

P (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1990/91	44.9	60.2	29.1	14.2	60.8	53.4	125.5	27.5	31.3	14.3	3.0	62.4	<b>526.6</b>
1991/92	69.2	43.3	4.6	4.6	12.4	19.0	32.7	42.2	51.5	32.3	10.9	24.5	<b>347.2</b>
1992/93	79.3	2.5	58.5	0.0	12.2	25.2	46.4	143.5	16.6	0.7	11.6	53.6	<b>450.1</b>
1993/94	122.4	17.8	6.6	51.1	35.6	14.5	15.8	52.9	62.5	28.3	24.5	26.9	<b>458.9</b>
1994/95	109.9	42.4	35.3	17.7	27.5	14.3	10.7	59.1	20.3	10.8	98.5	30.0	<b>476.5</b>
1995/96	11.6	53.1	154.2	86.5	29.8	26.7	42.3	64.1	9.9	27.6	23.0	16.7	<b>545.5</b>
1996/97	20.8	54.2	100.6	106.5	4.9	0.0	75.2	97.8	55.2	136.9	101.1	36.4	<b>789.6</b>
1997/98	22.2	124.1	99.3	19.7	18.5	21.4	77.3	87.1	53.6	20.1	18.0	61.0	<b>622.3</b>
1998/99	13.1	23.6	10.4	40.9	17.4	27.7	41.2	52.7	90.3	55.4	13.4	61.3	<b>447.4</b>
1999/00	120.9	29.8	38.8	11.6	3.7	19.4	92.2	40.7	19.1	55.4	14.3	30.4	<b>476.3</b>
2000/01	42.5	114.6	79.2	104.9	38.1	105.5	8.4	40.4	17.9	53.8	43.5	12.2	<b>661.0</b>
2001/02	67.6	8.1	3.6	31.7	25.0	25.3	36.8	85.1	31.7	24.4	82.4	31.5	<b>453.2</b>
2002/03	74.6	79.0	51.6	94.7	64.4	41.8	63.8	28.6	7.9	2.3	56.7	79.4	<b>644.8</b>
2003/02	127.7	68.5	23.4	35.3	50.5	61.4	74.1	74.6	33.2	31.6	35.4	32.6	<b>648.3</b>
2004/05	78.7	12.1	21.0	7.0	27.6	15.4	31.0	34.3	17.5	0.0	3.8	9.4	<b>257.8</b>
2005/06	98.5	66.2	34.1	12.2	60.6	51.6	20.5	52.6	76.9	26.2	5.8	67.4	<b>572.6</b>
2006/07	71.8	64.4	18.5	14.3	65.5	43.7	79.6	110.2	29.1	20.6	10.5	22.1	<b>550.3</b>
2007/08	28.3	36.9	18.6	51.8	23.0	15.9	103.7	164.5	74.7	24.6	13.7	39.4	<b>595.1</b>
2008/09	56.6	28.2	55.9	42.0	38.5	26.5	46.4	27.0	22.6	2.3	40.3	23.7	<b>410.0</b>
2009/10	53.0	30.1	141.2	76.7	85.3	57.6	45.0	116.6	66.9	21.3	3.0	37.8	<b>734.5</b>
2010/11	48.7	43.9	48.7	36.8	24.0	52.2	56.1	109.2	26.8	8.0	15.2	10.7	<b>480.3</b>
2011/12	30.2	29.7	7.2	11.8	6.2	7.2	83.4	51.2	33.6	33.0	12.6	37.4	<b>343.5</b>
2012/13	86.8	29.2	41.0	61.1	30.6	135.6	84.4	40.6	49.4	81.2	5.0	12.6	<b>657.5</b>
2013/14	56.8	15.4	63.6	66.8	79.4	22.2	50.2	24.4	50.7	53.4	23.2	32.4	<b>538.5</b>
2014/15	37.0	138.0	22.6	27.6	22.0	81.4	37.2	12.0	95.0	41.2	32.6	28.0	<b>574.6</b>
<b>Media</b>	<b>62.9</b>	<b>48.6</b>	<b>46.7</b>	<b>41.1</b>	<b>34.5</b>	<b>38.6</b>	<b>55.2</b>	<b>65.6</b>	<b>41.8</b>	<b>32.2</b>	<b>28.1</b>	<b>35.2</b>	<b>530.5</b>

T (°C)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1990/91	11.4	6.0	2.3	2.2	2.4	6.9	6.9	10.3	16.8	20.6	22.5	17.9	<b>10.5</b>
1991/92	8.8	5.6	4.4	0.8	3.9	6.4	9.3	14.3	12.8	20.6	21.1	16.5	<b>10.4</b>
1992/93	9.2	8.8	4.4	3.8	3.0	6.5	7.6	11.4	16.7	19.0	20.5	14.0	<b>10.4</b>
1993/94	7.8	5.4	4.7	3.0	4.3	9.5	7.3	12.8	17.2	23.0	21.7	14.2	<b>10.9</b>
1994/95	11.3	9.1	4.8	4.1	5.9	7.0	9.9	13.8	17.1	21.6	19.9	13.6	<b>11.5</b>
1995/96	13.6	8.3	4.7	4.8	2.9	6.4	9.9	12.1	17.7	20.0	18.9	14.7	<b>11.2</b>
1996/97	11.6	6.6	4.3	3.1	7.1	10.4	11.3	13.0	15.2	18.1	20.4	17.9	<b>11.6</b>
1997/98	14.1	7.0	4.5	4.8	7.0	9.2	7.1	12.3	17.7	20.4	21.2	16.5	<b>11.8</b>
1998/99	10.8	6.5	3.5	3.2	4.2	6.8	9.1	14.7	17.0	21.1	20.7	16.6	<b>11.2</b>
1999/00	11.4	4.7	4.0	2.0	7.4	8.0	7.3	14.3	18.3	19.6	20.3	17.2	<b>11.2</b>
2000/01	11.3	5.5	4.9	4.2	4.9	9.2	9.2	13.4	19.0	19.5	21.0	15.4	<b>11.5</b>
2001/02	13.1	4.8	1.5	4.2	5.5	7.8	9.7	11.7	18.3	19.5	18.7	15.5	<b>10.9</b>
2002/03	11.9	7.5	5.3	2.8	2.9	8.8	9.5	13.5	21.2	21.6	22.9	16.5	<b>12.0</b>
2003/02	10.2	7.7	3.9	4.7	4.3	5.6	7.6	11.3	19.1	20.0	19.8	17.8	<b>11.0</b>
2004/05	12.3	6.1	3.6	2.4	0.5	6.5	9.5	14.4	20.2	21.4	20.4	16.3	<b>11.1</b>
2005/06	12.4	5.5	3.0	2.6	3.1	7.6	10.6	14.8	18.8	22.4	18.5	17.8	<b>11.4</b>

2006/07	13.6	9.3	3.5	4.1	5.8	5.8	9.8	13.0	16.2	19.6	18.8	16.1	<b>11.3</b>
2007/08	11.7	6.4	2.7	4.9	5.7	6.0	9.3	11.8	16.4	19.4	20.1	15.2	<b>10.8</b>
2008/09	10.6	4.6	3.6	1.6	4.4	7.6	8.0	14.6	19.0	21.5	21.9	16.4	<b>11.1</b>
2009/10	14.0	8.0	3.1	2.2	2.7	5.2	10.2	11.0	15.9	21.7	20.5	16.3	<b>10.9</b>
2010/11	10.4	4.8	3.8	3.3	5.5	6.4	12.8	14.9	17.4	18.9	20.8	17.9	<b>11.4</b>
2011/12	12.7	8.2	4.3	3.7	1.5	7.4	6.8	14.2	18.9	19.9	21.4	16.6	<b>11.3</b>
2012/13	11.5	6.1	4.2	4.0	2.8	5.6	7.8	9.3	15.0	20.9	20.0	17.0	<b>10.4</b>
2013/14	12.4	6.1	3.1	4.3	3.5	7.0	11.8	12.3	17.2	18.5	20.0	18.2	<b>11.2</b>
2014/15	14.7	7.9	4.2	3.6	2.2	7.7	10.4	14.4	18.6	23.2	20.0	14.8	<b>11.8</b>
<b>Media</b>	<b>11.7</b>	<b>6.7</b>	<b>3.9</b>	<b>3.4</b>	<b>4.1</b>	<b>7.2</b>	<b>9.2</b>	<b>12.9</b>	<b>17.5</b>	<b>20.5</b>	<b>20.5</b>	<b>16.3</b>	<b>11.2</b>

## ETP por Thornthwaite

<b>ETP(mm)</b>	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1990/91	44.8	18.4	6.3	7.0	7.5	26.8	29.5	54.8	98.8	130.7	137.0	92.4	<b>654.0</b>
1991/92	36.5	18.8	13.2	3.2	11.5	24.6	42.5	79.8	71.5	130.1	127.1	83.8	<b>642.5</b>
1992/93	38.2	30.8	13.4	12.7	11.1	28.4	35.9	64.2	101.1	120.0	123.3	70.1	<b>649.4</b>
1993/94	33.4	19.3	15.3	8.7	11.6	37.4	30.5	67.7	99.4	146.2	127.1	66.0	<b>662.6</b>
1994/95	45.4	29.2	14.2	11.2	17.3	26.9	44.5	75.3	98.9	134.2	112.4	61.0	<b>670.6</b>
1995/96	55.8	26.7	13.4	14.4	9.2	26.3	46.2	67.5	106.0	124.5	108.6	69.9	<b>668.4</b>
1996/97	48.3	21.9	13.2	9.4	21.8	41.2	50.2	69.1	84.8	108.3	118.1	86.9	<b>673.3</b>
1997/98	60.2	21.2	12.0	13.8	21.6	37.4	30.4	66.1	104.4	125.3	122.4	79.1	<b>693.9</b>
1998/99	42.3	20.0	9.6	9.7	12.9	25.5	39.0	80.1	98.5	132.6	122.4	82.8	<b>675.4</b>
1999/00	47.5	15.0	11.2	5.5	22.5	31.1	30.6	78.8	108.6	120.2	116.7	83.8	<b>671.8</b>
2000/01	45.5	16.2	13.9	11.4	14.5	37.7	40.4	74.7	113.8	118.6	120.3	71.3	<b>678.2</b>
2001/02	53.5	14.2	6.4	12.2	16.7	32.3	45.4	63.4	110.2	119.6	105.8	73.0	<b>652.6</b>
2002/03	48.4	24.0	15.6	8.3	7.3	31.8	38.7	69.8	126.9	134.9	138.0	79.0	<b>722.6</b>
2003/02	39.8	23.4	9.6	13.8	13.4	21.7	33.0	60.1	114.5	123.9	114.6	88.2	<b>655.9</b>
2004/05	52.1	19.1	10.5	7.6	4.1	26.0	39.7	75.3	119.0	135.3	122.8	82.3	<b>693.8</b>
2005/06	53.6	17.7	8.0	6.7	8.1	28.4	44.5	78.6	109.2	140.8	103.6	87.3	<b>686.5</b>
2006/07	56.2	29.6	8.8	13.6	18.1	22.9	45.7	71.5	94.8	122.1	110.2	80.0	<b>673.7</b>
2007/08	50.4	21.7	7.9	15.5	18.6	24.6	44.5	65.6	97.5	120.2	116.4	73.0	<b>655.7</b>
2008/09	43.9	15.5	11.0	6.6	11.4	27.0	30.7	76.3	110.1	134.7	130.9	79.8	<b>677.9</b>
2009/10	59.7	25.2	10.7	8.2	9.6	20.8	46.5	58.4	92.1	139.5	123.6	83.7	<b>678.0</b>
2010/11	45.3	17.4	13.3	10.1	14.8	22.5	57.0	79.5	100.3	113.9	121.5	87.6	<b>683.0</b>
2011/12	53.2	25.6	10.6	9.9	7.8	28.2	27.1	77.7	111.9	123.1	127.6	81.9	<b>684.4</b>
2012/13	48.8	19.1	11.7	12.9	9.6	22.8	36.2	49.1	88.0	132.8	118.3	85.3	<b>634.4</b>
2013/14	54.9	21.8	9.4	11.7	9.3	26.6	54.5	64.3	99.4	111.0	113.4	88.5	<b>664.8</b>
2014/15	61.8	24.7	10.8	9.6	6.6	28.4	44.2	76.2	108.8	147.8	115.4	68.9	<b>703.2</b>
<b>Media</b>	<b>48.8</b>	<b>21.5</b>	<b>11.2</b>	<b>10.2</b>	<b>12.7</b>	<b>28.3</b>	<b>40.3</b>	<b>69.8</b>	<b>102.7</b>	<b>127.6</b>	<b>119.9</b>	<b>79.4</b>	<b>672.3</b>

## 9407A Aranda de Moncayo (D.G.A)

<b>P (mm)</b>	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1990/91	64.3	50.0	20.5	0.0	82.5	30.0	139.0	36.0	13.0	59.0	0.0	56.0	<b>550.3</b>
1991/92	56.0	30.0	15.5	3.0	10.0	18.0	12.5	60.5	92.5	0.0	30.0	38.0	<b>366.0</b>

1992/93	82.5	2.2	36.0	0.0	15.5	38.5	23.5	90.5	26.5	3.5	15.0	44.0	<b>377.7</b>
1993/94	69.5	6.0	5.8	39.0	19.0	12.8	7.5	83.5	12.0	9.5	12.0	34.0	<b>310.7</b>
1994/95	71.0	34.5	31.2	15.7	9.0	13.0	9.5	64.5	55.0	16.5	90.8	33.0	<b>443.7</b>
1995/96	16.0	38.0	80.0	69.5	40.3	25.5	31.1	42.9	18.8	24.7	20.4	24.8	<b>432.0</b>
1996/97	16.2	48.0	76.0	98.4	1.5	0.0	103.5	66.9	40.4	71.2	50.8	63.5	<b>636.3</b>
1997/98	15.5	74.1	59.3	17.4	16.4	8.0	30.0	43.5	48.0	17.8	15.9	40.0	<b>385.9</b>
1998/99	36.0	20.9	19.0	47.0	2.0	34.0	62.5	36.5	47.0	87.0	0.0	100.0	<b>491.9</b>
1999/00	54.0	26.4	0.0	53.0	0.0	25.5	74.5	58.1	51.5	14.5	7.7	39.5	<b>404.7</b>
2000/01	90.5	67.0	54.5	50.5	28.6	34.7	12.0	23.4	15.0	25.0	10.5	45.5	<b>457.2</b>
2001/02	37.0	6.6	1.3	30.7	16.8	33.9	44.2	68.0	30.7	66.7	89.7	31.7	<b>457.3</b>
2002/03	58.7	59.2	49.8	48.6	93.1	57.0	70.1	77.5	26.2	2.2	29.1	110.4	<b>681.9</b>
2003/02	120.5	43.9	28.1	22.7	44.0	73.0	85.4	56.2	16.0	34.0	6.0	63.2	<b>593.0</b>
2004/05	62.7	9.7	42.0	0.0	14.5	8.7	36.2	52.1	28.6	0.0	1.9	59.5	<b>315.9</b>
2005/06	43.4	54.6	18.9	21.3	43.5	24.8	37.6	16.4	50.0	65.1	5.1	105.0	<b>485.7</b>
2006/07	39.4	52.3	8.6	17.0	53.7	43.2	169.6	85.2	40.3	3.2	25.9	11.6	<b>550.0</b>
2007/08	38.6	3.8	43.2	18.3	32.9	21.4	86.2	171.4	30.7	18.4	7.9	37.2	<b>510.0</b>
2008/09	75.7	25.9	38.4	46.9	33.1	9.6	34.9	50.0	16.2	0.0	22.0	20.1	<b>372.8</b>
2009/10	55.5	17.5	77.0	59.9	56.5	60.4	56.4	81.8	48.5	24.9	6.8	45.0	<b>590.2</b>
2010/11	42.1	43.2	35.3	25.2	16.3	78.4	35.4	64.7	35.4	7.1	1.7	13.6	<b>398.4</b>
2011/12	15.2	63.4	9.8	13.8	2.9	4.8	66.1	20.8	32.3	29.2	11.0	25.0	<b>294.3</b>
2012/13	99.9	41.3	3.2	39.7	43.2	110.6	54.5	41.4	27.9	63.1	33.1	19.8	<b>577.7</b>
2013/14	62.7	27.5	26.7	48.7	49.8	22.0	34.5	29.2	89.4	80.5	18.1	37.3	<b>526.4</b>
2014/15	33.8	134.7	27.4	14.9	24.8	107.0	22.2	15.2	73.3	41.5	22.8	21.5	<b>539.1</b>
<b>Media</b>	<b>54.3</b>	<b>39.2</b>	<b>32.3</b>	<b>32.0</b>	<b>30.0</b>	<b>35.8</b>	<b>53.6</b>	<b>57.4</b>	<b>38.6</b>	<b>30.6</b>	<b>21.4</b>	<b>44.8</b>	<b>470.0</b>

T (°C)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1990/91	12.9	8.1	3.5	2.9	3.7	8.5	6.6	9.7	18.2	19.5	21.9	15.6	<b>10.9</b>
1991/92	8.2	6.0	4.2	1.8	4.6	6.8	9.1	15.8	12.5	19.3	21.1	16.0	<b>10.4</b>
1992/93	9.9	10.4	5.3	5.6	4.6	7.5	9.2	13.1	17.9	20.1	20.8	15.7	<b>11.7</b>
1993/94	10.2	6.6	6.5	4.0	6.3	10.8	8.8	14.8	17.5	23.5	22.2	15.7	<b>12.2</b>
1994/95	13.1	10.9	6.3	5.8	7.5	7.3	10.0	15.3	17.1	21.5	20.6	14.4	<b>12.5</b>
1995/96	15.4	10.6	6.2	6.4	3.9	8.1	10.2	14.2	18.7	20.7	20.3	15.1	<b>12.5</b>
1996/97	13.2	8.3	5.2	3.5	9.1	11.8	12.2	14.2	16.5	18.7	22.1	19.0	<b>12.8</b>
1997/98	16.1	8.9	6.4	6.4	7.1	10.5	9.8	14.1	19.3	21.9	22.5	16.7	<b>13.3</b>
1998/99	11.3	6.2	4.2	4.1	5.9	7.2	10.7	16.3	18.4	24.2	22.1	18.6	<b>12.4</b>
1999/00	13.0	4.8	6.9	5.2	9.0	9.6	8.9	15.3	19.9	20.7	21.3	17.5	<b>12.7</b>
2000/01	12.6	7.2	6.4	5.5	6.6	11.1	11.3	15.9	21.7	21.6	23.5	17.3	<b>13.4</b>
2001/02	14.9	5.6	2.4	5.1	7.2	9.4	11.6	13.7	20.2	20.8	20.5	17.3	<b>12.4</b>
2002/03	13.6	8.6	6.2	4.0	4.0	10.3	11.5	15.5	22.8	23.4	24.6	17.7	<b>13.5</b>
2003/02	11.7	8.0	4.7	5.4	5.1	6.6	9.0	13.3	20.7	22.2	22.1	18.4	<b>12.3</b>
2004/05	13.7	6.6	4.2	3.4	2.2	7.4	11.2	16.2	22.5	24.2	21.4	17.0	<b>12.5</b>
2005/06	13.0	6.8	3.8	3.8	4.7	9.3	12.7	17.1	20.8	24.5	20.7	19.8	<b>13.1</b>
2006/07	15.3	10.6	5.1	5.6	7.4	7.7	12.2	14.9	18.7	22.0	21.5	18.3	<b>13.3</b>
2007/08	13.5	7.5	4.8	6.5	7.4	8.0	12.0	14.5	18.1	21.7	22.6	17.7	<b>12.9</b>
2008/09	12.5	5.9	5.4	4.2	5.7	9.4	10.0	17.8	22.2	24.4	24.4	18.7	<b>13.4</b>
2009/10	15.2	10.7	5.3	4.0	4.7	7.4	12.1	13.1	18.0	23.9	22.9	18.4	<b>13.0</b>
2010/11	12.5	7.0	4.9	4.7	6.6	7.1	13.9	16.8	19.3	20.7	23.9	20.4	<b>13.1</b>

2011/12	15.2	9.8	5.9	5.4	3.3	9.7	9.4	15.9	21.3	22.1	24.5	18.9	<b>13.5</b>
2012/13	14.4	8.7	6.7	6.1	5.1	7.8	10.9	11.4	17.5	23.3	22.6	18.9	<b>12.8</b>
2013/14	15.2	7.6	4.7	6.5	6.1	9.0	13.6	14.3	19.3	20.2	21.4	20.1	<b>13.2</b>
2014/15	16.5	9.6	5.7	5.2	4.0	9.2	12.2	16.8	20.7	25.6	22.4	17.3	<b>13.8</b>
<b>Media</b>	<b>13.3</b>	<b>8.0</b>	<b>5.2</b>	<b>4.8</b>	<b>5.7</b>	<b>8.7</b>	<b>10.8</b>	<b>14.8</b>	<b>19.2</b>	<b>22.0</b>	<b>22.2</b>	<b>17.6</b>	<b>12.7</b>

## ETP por Thornthwaite

<b>ETP(mm)</b>	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1990/91	50.0	23.7	8.5	9.6	12.0	36.0	28.9	52.2	110.0	122.4	130.3	77.1	<b>660.7</b>
1991/92	33.2	20.0	12.8	5.2	13.4	26.8	41.6	90.7	68.8	118.9	123.6	77.3	<b>632.4</b>
1992/93	40.0	36.1	15.5	16.8	14.4	29.8	40.8	70.6	105.0	123.8	121.0	74.1	<b>687.8</b>
1993/94	39.7	20.4	19.1	10.4	16.6	39.8	33.7	75.7	97.2	149.1	129.6	71.4	<b>702.6</b>
1994/95	50.7	33.9	16.2	14.8	21.1	25.4	41.8	82.0	96.0	131.6	115.2	62.4	<b>691.0</b>
1995/96	62.4	33.3	16.5	17.9	10.7	31.3	44.1	77.0	109.3	126.7	115.3	68.8	<b>713.3</b>
1996/97	52.9	25.5	14.0	9.0	26.0	43.9	50.3	71.3	88.3	108.7	128.2	91.2	<b>709.4</b>
1997/98	67.4	25.5	15.5	17.1	19.7	41.0	41.0	73.5	112.3	134.5	129.9	76.3	<b>753.5</b>
1998/99	41.4	17.1	9.9	10.2	15.3	23.1	42.9	87.3	103.8	154.3	126.6	88.5	<b>720.4</b>
1999/00	49.1	13.1	17.5	13.0	26.0	35.7	35.2	81.4	117.1	123.8	119.3	80.0	<b>711.1</b>
2000/01	47.1	19.1	16.3	12.3	16.7	41.1	45.6	85.1	129.2	129.9	136.0	76.5	<b>754.8</b>
2001/02	56.9	13.0	6.5	12.4	19.2	35.3	50.8	71.2	119.7	125.1	113.7	79.0	<b>702.9</b>
2002/03	51.9	24.4	15.4	9.1	8.4	35.5	46.1	78.8	138.1	146.1	148.0	79.7	<b>781.5</b>
2003/02	42.0	20.6	9.7	13.9	13.6	22.9	36.0	68.6	123.6	137.6	127.2	86.9	<b>702.6</b>
2004/05	54.6	17.7	9.9	8.1	5.4	27.4	45.9	84.7	135.8	155.8	124.0	80.1	<b>749.5</b>
2005/06	50.5	18.4	8.3	7.4	9.3	31.7	51.4	90.0	119.4	154.2	112.8	93.4	<b>746.7</b>
2006/07	58.0	29.2	11.1	14.8	19.7	26.0	53.8	77.8	106.0	135.0	123.0	85.6	<b>740.1</b>
2007/08	52.1	20.5	11.1	17.1	20.3	29.0	52.6	74.8	103.1	132.3	129.8	81.2	<b>723.9</b>
2008/09	47.2	15.5	13.3	9.3	12.1	29.1	34.9	92.6	131.5	154.0	144.4	85.5	<b>769.5</b>
2009/10	57.1	29.3	11.9	10.2	12.4	26.0	51.8	66.1	101.0	152.3	135.5	88.7	<b>742.5</b>
2010/11	48.5	20.9	12.9	11.4	15.2	21.3	57.6	87.0	108.9	121.8	140.3	97.8	<b>743.6</b>
2011/12	59.1	27.2	12.4	11.7	8.5	32.9	33.5	81.3	125.1	134.4	147.0	88.6	<b>761.7</b>
2012/13	56.5	23.4	15.6	15.7	13.6	26.7	46.1	54.0	97.8	145.9	130.6	89.1	<b>715.0</b>
2013/14	61.5	23.2	10.9	15.5	14.4	30.6	58.8	70.6	109.5	118.2	118.7	95.9	<b>727.7</b>
2014/15	65.3	26.5	12.4	11.0	8.6	29.9	47.1	86.4	119.8	166.2	127.7	76.3	<b>777.2</b>
<b>Media</b>	<b>51.8</b>	<b>23.1</b>	<b>12.9</b>	<b>12.2</b>	<b>14.9</b>	<b>31.1</b>	<b>44.5</b>	<b>77.2</b>	<b>111.0</b>	<b>136.1</b>	<b>127.9</b>	<b>82.1</b>	<b>724.9</b>