

**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**

Tajo-Ebro-Júcar

Informe nº 4. (MOLINA-POZONDON-GEA)

4. Molina-Pozondón-Gea

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

PRESENTACIÓN

Pág.

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO.....	1
2. ANTECEDENTES	3
3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	5
3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	5
3.2. GEOMETRÍA, ESTRUCTURAS Y LÍMITES.	6
3.3. FORMACIONES HIDROGEOLÓGICAS	10
3.4. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y PIEZOMETRÍA.....	17
3.5. RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO	26
3.6. USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	27
4. CLIMATOLOGÍA	28
4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	28
4.2. ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL	30
4.2.1. <i>Análisis espacial</i>	30
4.2.2. <i>Análisis temporal</i>	30
5. RECARGA A LOS ACUÍFEROS.....	35
5.1. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL MÉTODO APLIS.....	35
5.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE VISUAL BALAN	41
5.3. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA.....	44
5.3.1. <i>Metodología de cálculo y entrada de datos</i>	45
5.3.2. <i>Calibración</i>	54
6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	59
7. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL.....	60
8. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN INFLUENCIADO	64
9. RESUMEN Y CONCLUSIONES	68

Anexo I. Datos climáticos mensuales utilizados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema general de situación de las MASCH Molina-Pozondón-Gea y adyacentes	1
Figura 3.1. Esquema de la Cordillera Ibérica. Geología de España. Vera, J.A (2004).....	5
Figura 3.2. Esquema tectónico de la MASCH (compuesto del MAGNA 1:50.000, hojas: 514, 515, 539, 540, 541 y 566.	7
Figura 3.3. Esquema disposición estructural del Subsistema Cella-Molina de Aragón (Sistema Acuífero 57). Navarro Alvargonzález, A (ITGE, 1989).	9
Figura 3.4. Columna estratigráfica sintética del Triásico, Jurásico y tránsito Jurásico-Cretácico de la Sierra de Albarracín (Memoria MAGNA 1:50.000, hoja 541-Sata Eulalia, IGME 1983)	13
Figura 3.5. Mapa Hidrogeológico de la MASCH Molina-Pozondón-Cella	15
Figura 3.6. Cortes hidrogeológicos de la MASCH Molina-Pozondón-Cella (Modificados del MAGNA 1:50.000, hojas: 515, 540, 541 y 566).	16
Figura 3.7. Mapas piezométrico obtenidos por RENATA a partir de los dos modelos conceptuales simulados.....	19
Figura 3.8. Esquema sintético del funcionamiento hidrogeológico y balance de la MASCH (valores en hm ³ /a).	20
Figura 3.9. Superficie piezométrica de la MASCH Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) en régimen natural permanente.	21
Figura 3.10. Evolución de los niveles de agua en los piezómetros del sector N de la MASCH.....	22
Figura 3.11. Evolución de los niveles de agua en los piezómetros del sector S de la MASCH.....	23
Figura 3.12. Vista aérea de la Laguna del Cañizar en 2010 (https://es.wikipedia.org/wiki/Laguna_del_Cañizar).	24
Figura 3.13. Fuente de Cella (Gobierno de Aragón. https://patrimonioculturaldearagon.es/patrimonio/fuente-de-cella/).	25
Figura 3.14. Canal de salida de la Fuente de Cella y fuente seca en 2017 (tomadas de: http://info.igme.es/ielig/LIGInfo.aspx?codigo=ARP145#situaciongeologica y https://www.turismodeobservacion.com/)	26
Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas utilizadas.....	28
Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos	32
Figura 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen	33
Figura 4.4. Hietograma anual de la precipitación media caída en la MASb.....	33
Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos.....	34
Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio.....	34
Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) y Suelo (S) para el método APLIS.	39

Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS	41
Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la MASb Molina de Aragón - Pozondón - Gea de Albarracín (acuífero jurásico) (1986/87-2014/15)	43
Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA.....	45
Figura 5.5. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.	46
Figura 5.6. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA.	47
Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA.....	48
Figura 5.8. Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.	49
Figura 5.9. Sectores de riego asignados en el código RENATA.....	50
Figura 5.10. Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo	52
Figura 5.11. Condiciones en los límites del modelo de flujo	53
Figura 5.12. Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros.....	56
Figura 5.13. Piezometría representada en Renata para el régimen permanente	57
Figura 5.14. Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo	58
Figura 7.1. Superficie piezométrica flujo subterráneo y manantiales de la MASCH Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) en régimen natural permanente.	61
Figura 7.2. Esquema del funcionamiento hidrogeológico y balance de la MASCH en régimen permanente (valores en hm^3/a).....	62
Figura 7.3. Representación por demarcaciones del balance en régimen natural y las transferencias entre masas de agua subterráneas y cuencas hidrográficas.....	63
Figura 8.1. Superficie piezométrica flujo subterráneo y manantiales de la MASCH Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) en régimen transitorio	65
Figura 8.2. Esquema del funcionamiento hidrogeológico y balance de la MASCH en régimen influenciado (valores en hm^3/a).....	66
Figura 8.3. Representación por demarcaciones del balance en régimen influenciado y las transferencias entre masas de agua subterráneas y cuencashidrográficas.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Relación de estaciones climáticas utilizadas para realizar el estudio climático.....	28
Tabla 4.2. Valores característicos de las estaciones meteorológicas.....	29
Tabla 4.3. Valores característicos de las series anuales de precipitación para el período 1986/87-2014/15.....	30
Tabla 4.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos acontecidos entre octubre de 1986 y septiembre de 2015.	31
Tabla 5.1. Puntuaciones a asignar para cada parámetro de la metodología APLIS, Parámetro Altitud (m) Puntuación	36
Tabla 5.2. Porcentaje y clases de recarga metodología APLIS	40
Tabla 5.3. Parámetros aplicados para evaluar la recarga mediante el método VISUAL BALAN ...	42
Tabla 5.4. Recarga estimada por cuencas hidrográficas (1986/87-2014/15) en la MASb Molina de Aragón - Pozondón - Gea de Albarracín (acuífero jurásico) mediante VISUAL BALAN	43
Tabla 5.5. Características de los sectores climáticos (1986-2015).....	47
Tabla 5.6. Sectores de suelo: parámetros utilizados	49
Tabla 5.7. Áreas establecidas con diferente recarga.....	51
Tabla 5.8. Recarga en cada una de las áreas (1986-2015).....	55
Tabla 5.9. Precipitación media, recarga media por precipitación y tasa de recarga en los sectores de suelo que se han denominado carbonatico y detrítico (1986-2015).....	55
Tabla 5.10. Recarga del acuífero jurásico por Demarcaciones Hidrográficas (1986-2015)	57
Tabla 6.1. Valor de la recarga de la MASCH Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) mediante la utilización de los métodos APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1986-2015).....	59
Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen natural estacionario de la MASCH de Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) por Demarcaciones Hidrográficas.....	60
Tabla 7.2. Distribución de recursos subterráneos por cuencas	62
Tabla 7.3. Balance Hídrico en régimen permanente de la MASCH Molina-Pozondón-Gea.....	63
Tabla 8.1. Balance hídrico en régimen influenciado de la MASCH de Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) por Demarcaciones Hidrográficas.....	64
Tabla 8.2. Distribución de recursos subterráneos por cuencas en régimen influenciado.....	65
Tabla 8.3. Balance Hídrico en régimen influenciado de la MASCH Molina-Pozondón-Gea.....	67

Glosario de Acrónimos

CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CHE	Confederación Hidrográfica del Ebro
CHJ	Confederación Hidrográfica del Júcar
CHT	Confederación Hidrográfica del Tajo
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
PHJ	Plan Hidrológico del Júcar
PHT	Plan Hidrológico del Tajo
PHN	Plan Hidrológico Nacional
PIAS	Plan nacional de Investigación de Aguas Subterráneas
SGOP	Servicio Geológico de Obras Públicas
SIG	Sistema de Información Geográfica

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

PRESENTACIÓN

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

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

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

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

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

En concordancia con los objetivos perseguidos, esta memoria contempla la identificación, caracterización y mejora del conocimiento de los acuíferos compartidos en la MASCH Molina-Pozondon-Gea (integrada por la MASb 030.009 Molina de Aragón de la Demarcación Hidrográfica del Tago, la MASb 091.090 Pozondón de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y la MASb 080.114 Gea de Albarracín de la Demarcación Hidrográfica del Júcar). 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.

.

encuentran en la MASCH son: Molina de Aragón, que da nombre a la MASb del Tajo situada en el extremo noroeste de la MASCH, Pozondón, situado entre las Demarcaciones de Ebro y Júcar, la población de Cella en el extremo este de MASCH, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y la población de Albarracín, que se encuentra en el límite sureste de la MASCH, aunque fuera de ésta.

Los principales ríos de la MASCH son, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Tajo, el río Gallo y tributarios, que recorre toda la MASb del Tajo saliendo de ésta por la localidad de Molina de Aragón, en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, las ramblas de la Hoz y el Coscojar que también recorren la MASb de Pozondon y salen de la masa por Cella y, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, el río Túrria y su tributario la Rambla de Monterde, que entra a la MASb por la población de Albarracín y sale por Gea de Albarracín.

Los mayores relieves se encuentran en los Montes de Picaza y su continuación en las Peñas del Diablo, ambos en la zona del Alto Tajo. Dichos Montes tienen una orientación NO-SE entre el barranco de la Hoz y Piqueras. Se componen por cerros formados por el plegamiento de tierras que les da una forma redondeada y poco apuntada y menor altura a la de otras zonas del Alto Tajo sin que ninguno de ellos llegue a los 1500 m de altitud. Las mayores alturas se encuentran en la parte sureste, el Torrejón (1466 m), en Traíd, el alto del Francés (1432 m), entre Torrecuadrada de Molina y Traíd, el Matilla (1381 m) y el Rocho del Tío Braulio (1342 m), al este y norte de Tierzo, y Cabeza Fuembellida (1323 m), en Fuembellida.

Continuando los Montes de Picaza hacia el sureste se encuentran las Peñas del Diablo que a su vez lindan al sur con la sierra del Tremedal, que se encuentra ya en Montes Universales. Las Peñas del Diablo se extienden entre Alcoroches, Piqueras y Alustante en orientación NO-E. Son de mayor altura y de forma más apuntada que los de Picaza, mostrando formaciones propias de materiales paleozoicos. Sus alturas más destacadas se encuentran en el alto del Pinillo, punto más alto de la MASH con 1649 m, al noroeste de Alcoroches, y el alto de la Cueva (1528 m), al suroeste de Piqueras. En el collado de la Poveda, al sur del Pinillo nace el río Jándula.

2. ANTECEDENTES

Los estudios hidrogeológicos en estos acuíferos comenzaron con el inicio de la investigación hidrogeológica en España con el Programa “Mapa Hidrogeológico Nacional”, realizado por el IGME en el marco del Plan Nacional de la Minería, como contribución al Decenio Hidrológico Internacional y en cumplimiento de las recomendaciones séptima y octava de la Carta del Agua, firmada por la mayoría de los gobiernos europeos en 1968.

En la 1ª parte del Programa, que cubrió la totalidad del territorio nacional, se elaboraron los mapas de Lluvia Útil y de Reconocimiento Hidrogeológico (ambos a escala 1:1.000.000) y el Mapa de Síntesis de Sistemas Acuíferos a escala 1:1 500.000.

La segunda fase del Programa constituyó el Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), realizado igualmente por el IGME con la colaboración del Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA) en la ejecución de sondeos y bombeos de ensayo, planificándose la investigación por cuencas hidrográficas en dos fases sucesivas.

En la primera fase del PIAS, desarrollada entre los años 1971 y 1975, se investigaron las cuencas del **Júcar**, Segura, Guadiana, Sur y las Islas Baleares y posteriormente, a partir de 1975, en la segunda fase, las del Duero, **Tajo, Ebro** y Norte, pudiéndose dar por concluido el PIAS en 1984.

A partir de estos trabajos quedan definidos los distintos sistemas y subsistemas acuíferos, quedando la MASCH integrada en el Sistema Acuífero nº 57 Mesozoico de Monreal-Gallocanta, prácticamente coincidente con el Subsistema Cella-Molina de Aragón, de acuerdo con el “Estudio hidrogeológico de la cuenca hidrográfica del Tajo. Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas” (IGME, 1981).

Estos primeros trabajos de investigación hidrogeológica sistemática tuvieron su continuidad con el desarrollo de nuevos proyectos, como el Plan Nacional de Vigilancia y Control de Acuíferos, con el que se mejoró y actualizó el conocimiento de los acuíferos de las distintas cuencas, y los Proyectos de Actualización de Infraestructura Hidrogeológica y de vigilancia y Catálogo de Acuíferos.

A partir de la implantación de la Ley de Aguas, en la que se establece la unidad de las aguas continentales superficiales y subterráneas renovables dentro del ciclo hidrológico y se regula el Dominio Público Hidráulico, las Confederaciones Hidrográficas asumen las competencias en materia de aguas subterráneas, quedando integradas dentro de la planificación hidrológica de las distintas Demarcaciones Hidrográficas.

Con el estudio “Delimitación de las Unidades Hidrogeológicas del territorio peninsular e islas Baleares y síntesis de sus características” (DGOH-SGOP 1988), la MASCH queda integrada en la UH Cella-Molina de Aragón, quedando sus límites definidos por una poligonal, coincidente a grandes rasgos, con la masa actual. Posteriormente, el estudio de “Delimitación y síntesis de características de las unidades hidrogeológicas intercuenas”, realizado por el SGOP en 1993, que fueron recogidas en el Libro blanco de las Aguas Subterráneas (MOPTMA-MINER, 1994), considera la UH Cella-Molina de Aragón compartida por las cuencas del Tajo, Ebro y Júcar.

Más adelante, en los respectivos Planes Hidrológicos de Cuenca, se llevaron a cabo nuevas delimitaciones de las unidades hidrogeológicas, quedando dividida la UH en tres sectores por las respectivas divisorias superficiales de cuenca, al considerarse que no existía conexión hidráulica entre ellas, definiéndose las unidades hidrogeológicas UH 031.009 Molina de Aragón en la cuenca del Tajo, UH 091.090 Pozondón en la del Ebro y 081.114 Gea de Albarracín en la cuenca del Júcar.

Con la posterior implantación de las Masas de Agua Subterránea (MASb), emanada de la Directiva Marco del Agua que entró en vigor en diciembre de 2000, se definieron las actuales MASb que componen la MASCH Molina-Pozondón-Gea, que fueron definidas sobre los límites de los acuíferos y unidades hidrogeológicas anteriores, más ajustados a los límites geológicos e hidrogeológicos reales.

3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

3.1. Contexto geológico

La MASCH se encuentra en el dominio geológico-estructural de la Cordillera Ibérica, dentro de la denominada Rama Castellana.

La Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, de orientación NO-SE, origina los principales relieves al oeste de la fosa terciaria de Calatayud-Teruel (Serranía de Cuenca y sierra de Albarracín), donde afloran materiales mesozoicos (triásicos en facies germánica, jurásicos carbonatados y cretácicos), que configuran los relieves principales y, con menor extensión, materiales paleozoicos, terciarios y cuaternarios.

La MASCH se ubica, dentro de la citada Rama Castellana, entre la fosa del Jiloca al E y la Sierra de Albarracín al O, incluyendo los Montes de Picaza en el sector noroccidental de la misma y limitada por las sierras de Caldereros y Menera al N y NE.

En la Figura 3.1 se muestra un esquema general de la Cordillera Ibérica con la situación aproximada de la MASCH Molina-Pozondón-Cella.

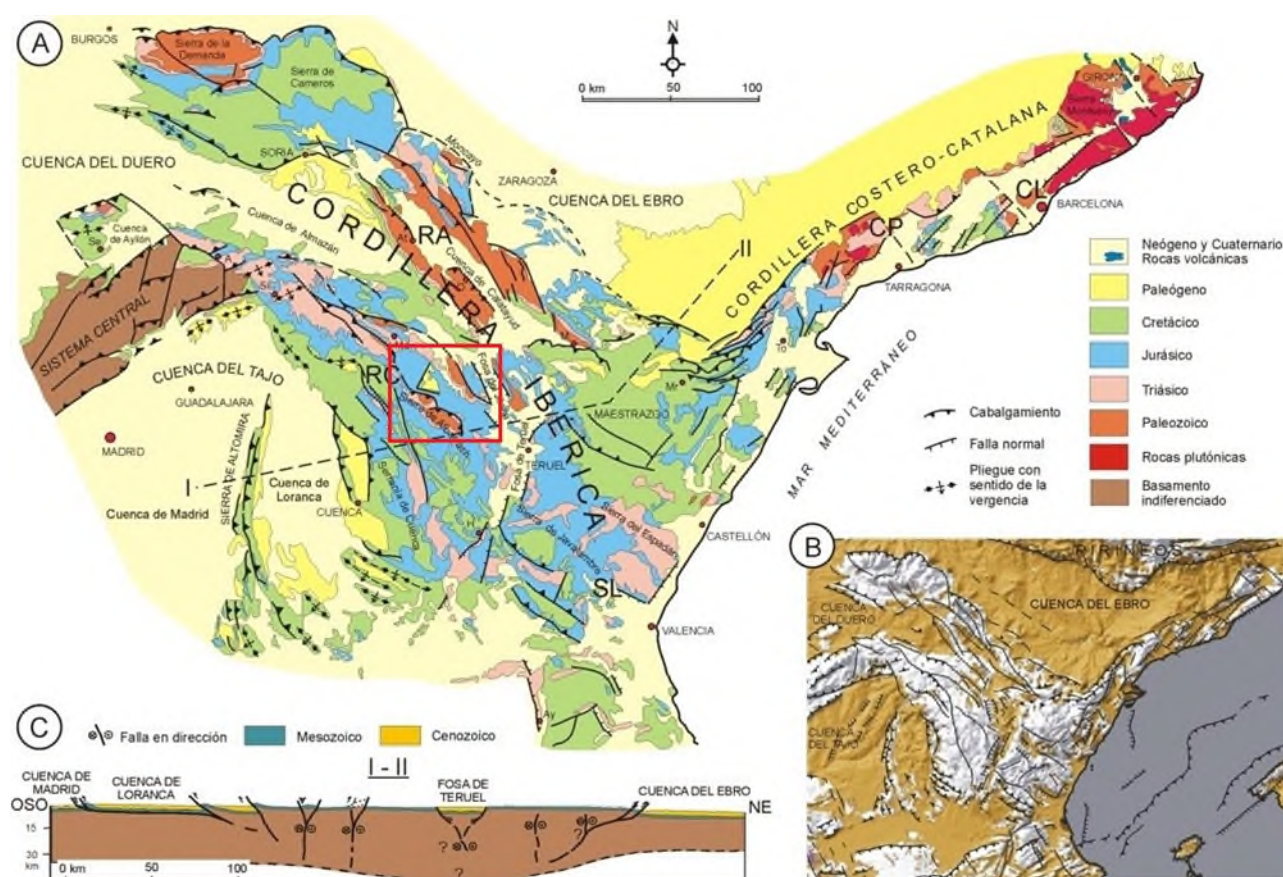


Figura 3.1. Esquema de la Cordillera Ibérica. Geología de España. Vera, J.A (2004)

En la zona afloran materiales que van desde el Ordovícico hasta los depósitos neógenos y cuaternarios más recientes.

Tectónicamente se caracteriza por un zócalo constituido por materiales precámbricos y paleozoicos, deformado durante la orogenia Hercínica, sobre el que se depositaron, en discordancia, los materiales mesozoicos y terciarios preorogénicos, que fueron posteriormente afectados y

deformados por la orogénia Alpina, originando dos direcciones estructurales de direcciones NO-SE (directriz Guadarrama) y NE-SO (directriz Ibérica).

Dentro de la MASCH afloran materiales mesozoicos, principalmente las formaciones carbonatadas del Jurásico inferior y medio (Lías y Dogger) que constituyen los acuíferos de la masa, limitados en casi todo su perímetro por afloramientos de materiales triásicos, integrados fundamentalmente por las arcillas y yesos del keuper, que foran el sustrato impermeable, que incluso llegan a florar en algunos sectores del interior de la masa.

Los materiales paleozoicos presentes en la zona, que abarcan desde el Ordovícico al Pérmico, afloran fuera de los límites de la MASCH, formando los relieves de las Sierras de Albarracín y Menera principalmente.

Las formaciones de materiales del Jurásico superior y Cretácico, se encuentran escasamente representados, con afloramientos restringidos casi exclusivamente al flanco sur del sinclinal de Piqueras, al N y E de la carretera entre Alcoroches y Alustante, bajo los depósitos terciarios.

Las formaciones terciarias depositadas en discordancia sobre los materiales mesozoicos erosionados, se extienden casi exclusivamente por la mitad noroccidental de la MASCH, ocupando el centro del sinclinal de Piqueras, formando el mayor afloramiento de estos materiales dentro de la masa, al que suceden afloramientos de menor entidad hasta Molina de Aragón, en el extremo N.

Los depósitos cuaternarios están constituidos fundamentalmente por aluviales, coluviales y arcillas de descalcificación.

3.2. Geometría, estructuras y límites.

La tectónica de la zona marca y condiciona la geometría de la MASCH y los acuíferos que la componen, así como su funcionamiento, tanto en sus límites, con el afloramiento de los materiales del sustrato impermeable, como en el flujo de agua subterránea y el grado de fracturación y conexión de las diferentes formaciones permeables y sectores de la masa.

Los materiales que constituyen la MASCH se encuentran afectados por la Orogenia Alpina, de carácter compresivo, desarrollada durante el Terciario, en el que se diferencian varios dominios tectónicos, caracterizados por los tipos y direcciones de las deformaciones producidas.

Las estructuras alpinas se presentan como una superposición de deformaciones según dos direcciones principales, una de dirección aproximada NE-SO de directriz Guadarrama y otra NNO-SSE de directriz Ibérica. En la Figura 3.2 se incluye un esquema tectónico compuesto a partir de los de las hojas MAGNA del IGME.

Desde este punto de vista, dentro de la MASCH se pueden diferenciar dos sectores en los que cada una de las dos direcciones preferentes de las deformaciones son dominantes. Estos dos sectores se sitúan al N y S de la alineación Megina-Traíd-Anquela de Pedregal-El Pobo de Dueñas, coincidente con un anticlinal de dirección NE-SO (directriz Guadarrama) y una serie de fracturas verticales o subverticales paralelas al eje, que elevan los materiales triásicos, que incluso llegan a aflorar en algunos tramos a lo largo de su eje, especialmente en la mitad sur del mismo, entre el límite de la MASCH al O de Alcoroches y el Cerro del Colmenar al S de Otila.

En el sector situado al N de esta estructura, las direcciones dominantes de los pliegues y fracturas son de dirección NE-SO, aunque también se encuentran algunas estructuras de directriz ibérica al E de Castellar de la Muela, próximas al borde NE de la MASCH. En general, los pliegues son

suaves, con buzamientos en los flancos entre 15° y 30° y longitudes que pueden llegar a los 10 km, a los que se asocian fallas inversas con saltos inferiores a 50 m y longitudes inferiores a 5 km.

En el sector S, que abarca más de dos tercios de la masa, las direcciones dominantes de las estructuras son NO-SE de directriz Ibérica, aunque también se encuentran algunas estructuras de direcciones NO-SE. Los pliegues son, en general suaves, con buzamientos inferiores a los 20°. La estructura general de este sector se asemeja a un sinclinal alargado de dirección NNO-SSE', suavemente plegado.

Al SE de la alineación que delimita los dos sectores descritos anteriormente se extiende, entre las localidades de Alustende, Alcoroches y Adobes, un amplio y suave sinclinal que forma una cubeta rellena por depósitos terciarios (Sinclinal de Piqueras), formado probablemente por la interacción de las dos direcciones estructurales descritas anteriormente, en cuyo flanco S se encuentran casi los únicos afloramientos de las formaciones del Jurásico superior (Malm) y cretácico de toda la MASCH.

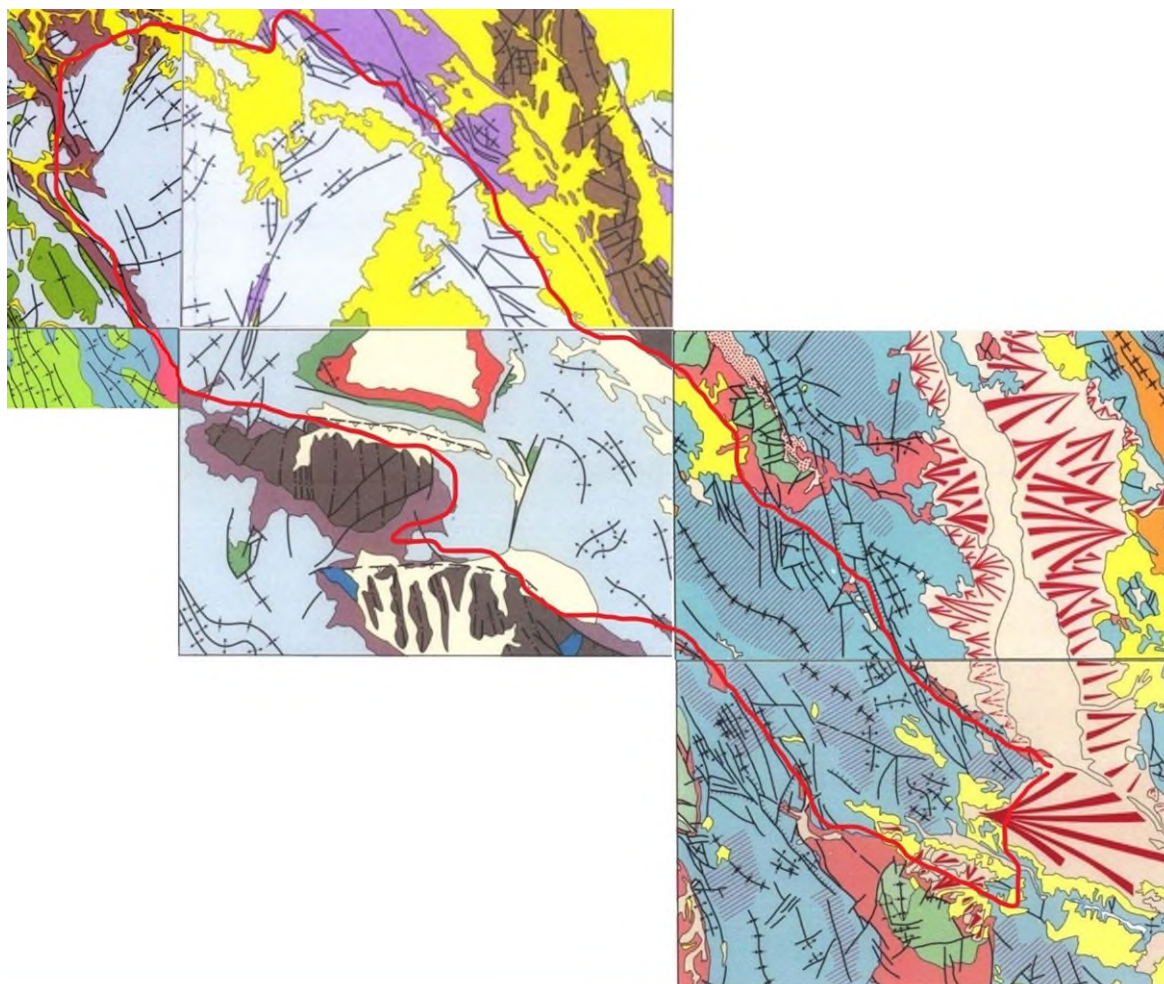


Figura 3.2. Esquema tectónico de la MASCH (compuesto del MAGNA 1:50.000, hojas: 514, 515, 539, 540, 541 y 566.

Los límites de la MASCH están definidos en casi todo su perímetro por los afloramientos de los materiales impermeables paleozoicos y triásicos, excepto entre las localidades de Cella y Santa Eulalia donde las formaciones jurásicas se sumergen bajo los depósitos terciarios y cuaternarios que rellenan la fosa del Jiloca.

El límite N, entre Molina de Aragón y Tordelpalo, está definido en el contacto de la Formación calcodolomítica Rethiense-Pliensbachense (3) con los materiales arcillosos impermeables del Keuper (2) de la Sierra de Caldereros.

El límite NE, entre Tordelpalo y Santa Eulalia está igualmente formado por el contacto de las formaciones carbonatadas Jurásicas (3,4,5 y 6) con los materiales impermeables del Triásico (2) de Sierra Menera, muy próximo en algunos puntos también a los afloramientos paleozoicos que forman el núcleo de la sierra.

El límite SE, entre Santa Eulalia y Cella, viene marcado por el contacto con los depósitos terciarios y cuaternarios que rellenan la cuenca de la Fosa del Jiloca-Teruel. Este tramo del límite SE se considera abierto, por lo que puede existir conexión hidráulica entre la MASCH Molina-Pozondón-Gea y la MASb Cella-Ojos de Monreal contigua. El resto del límite hasta el extremo S de la MASCH parece similar al tramo anterior, aunque la proximidad de afloramientos de arcillas y yesos del Keuper, que podrían encontrarse también subaflorantes bajo los depósitos terciarios y cuaternarios que cubren la zona, podrían sellar el límite o, al menos, restringir la conexión.

El límite SO entre Gea de Albarracín y Megina, al O de Alcoroches, está definido en general por el contacto de los materiales Jurásicos con los impermeables del Keuper aunque, en el tramo entre las localidades de Albarracín y Monterde de Albarracín, podría existir alguna conexión. aunque improbable o muy limitada, entre los materiales carbonatados de la MASCH y los de la Sierra de Albarracín, por la presencia de los materiales arcillosos del Keuper, que llegan a aflorar en algunos retazos a lo largo de la fractura que los separa. Entre Bronchales y Orihuela del Tremedal, aunque el contacto con los materiales triásicos se encuentra oculto por depósitos terciarios, estos deben encontrarse también bajo los depósitos terciarios.

El límite NO, entre Megina y Molina de Aragón, está definido también por el contacto de los materiales impermeables triásicos que afloran a lo largo de todo este límite de la MASCH hasta Molina de Aragón.

En la Figura 3.3 se muestran unos cortes transversales a la disposición general de la MASCH que representan esquemáticamente la su geometría y límites.

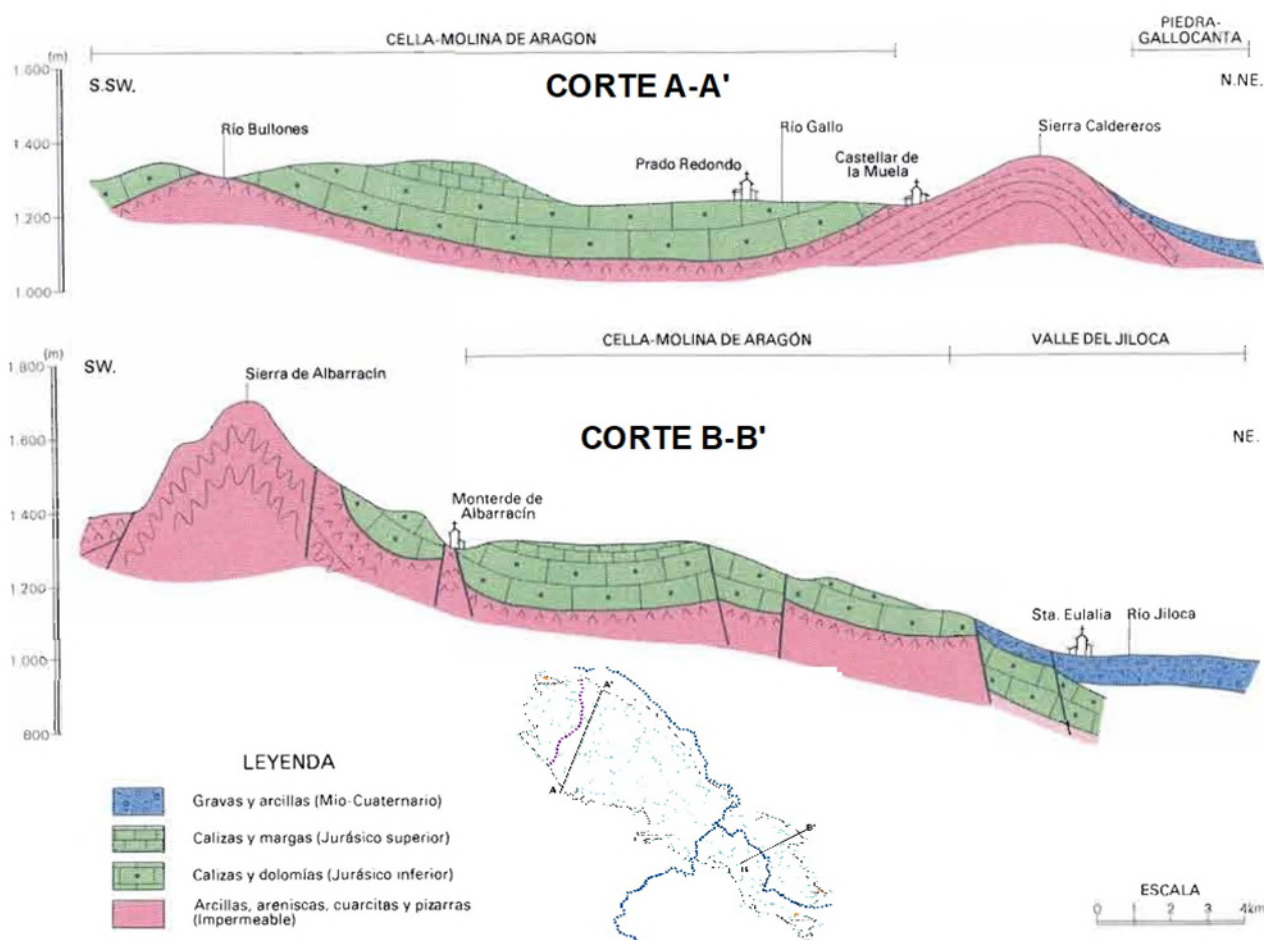


Figura 3.3. Esquema disposición estructural del Subsistema Cella-Molina de Aragón (Sistema Acuífero 57). Navarro Alvargonzález, A (ITGE, 1989).

De lo expuesto anteriormente se puede establecer que los límites de la MASCH se encuentran sellados, en la mayor parte de su perímetro, por los materiales arcillosos impermeables triásicos que constituyen el sustrato impermeable, excepto en el tramo del límite SE, entre las localidades de Santa Eulalia y Cella, que puede considerarse abierto por el contacto con los depósitos terciarios y cuaternarios que rellenan la cuenca formada por la Fosa del Jiloca.

Como se ha indicado anteriormente, la estructura general de la MASCH se asemeja, en su mayor parte, a un largo y suave sinclinal que se extiende hasta las localidades de Cella y Gea de Albarracín, en el extremo S de la masa, desde los anticlinales de directriz Guadarrama (NE-SO) de la alineación Megina-Traíd-Anquela de Pedregal-El Pobo de Dueñas y, al N de dicha alineación, por una sucesión de suaves pliegues de dirección NE-SO hasta la localidad de Molina de Aragón, en el extremo N de la MASCH.

En el mapa y cortes hidrogeológicos representados en las figuras Figura 3.5 y Figura 3.6 se puede observar la estructura, geometría y disposición de las formaciones carbonatadas jurásicas que conforman la MASCH Molona-Pozondón-Gea y la naturaleza de sus límites.

3.3. Formaciones hidrogeológicas

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

- Formación Paleozoico indiferenciado (1)
- Formación triásica (2)
- Formación calizo-dolomítica del Lías inferior (3)
- Formación margosa del Lías superior (4)
- Formación carbonatada del Dogger (5)
- Formación margosa del Malm inferior (6)
- Formación carbonatada del Malm superior (7)
- Formación Cretácico indiferenciado (8)
- Formación detrítico-arcillosa del Terciario (9)
- Formación detrítica del Cuaternario (10)

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

Formación Paleozoico indiferenciado (1).

Aunque dentro del ámbito de la MASCH no afloran materiales paleozoicos, si lo hacen a lo largo de los límites de la misma, fundamentalmente en Sierra Menara (NO), Sierra de Albarracín (S) y en el macizo del Nevero y la Sierra del Tremedal (SO), por lo que se han agrupado en una única formación.

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

Formación triásica. (2).

Está formada por los materiales triásicos, depositados sobre los relieves paleozoicos, que afloran ampliamente fuera de la MASCH, extendiéndose a lo largo de todo el perímetro exterior de la misma. Por el contrario, dentro de los límites de esta, sus afloramientos son escasos y de extensión limitada, normalmente asociados a fracturas o en el núcleo de anticlinales, también con fracturas asociadas, como el afloramiento de Traid, mencionado anteriormente al describir la estructura y límites de la masa.

Está formada, en su tramo inferior por niveles de conglomerados, areniscas y arcillas rojas del Bundsandstein, sobre las que se depositaron los niveles carbonatados marinos en facies Muschelkalk del tramo intermedio, formado por arcillas versicolores, areniscas, dolomías, margas y calizas dolomíticas, sobre los que se sitúan las arcillas, margas y yesos en facies Keuper del tramo superior, que constituye además el sustrato impermeable de la MASCH.

Dado que solo el nivel de arcillas y yesos es el único de interés hidrogeológico en lo que se refiere a esta MASCH y el que se encuentra en contacto directo con las formaciones que constituyen los acuíferos de la masa, tanto en la base como en los límites, se ha considerado una única formación para este conjunto de materiales triásicos, por lo que no se han diferenciado ni en el mapa ni en los cortes hidrogeológicos de las figuras Figura 3.5 y Figura 3.6.

La permeabilidad asignada a la formación es baja-muy baja, correspondiente a la de las arcillas y yesos del Keuper.

En la Figura 3.4 se muestra la serie sintética del Triásico, Jurásico y tránsito Jurásico-Cretácico representativa de la zona (Memoria MAGNA 1:50.000, hoja 541-Santa Eulalia, IGME 1983).

Formación calizo-dolomítica del Lías inferior (3).

Se incluyen en esta formación todos los niveles carbonatados situados a techo de los materiales de la facies Keuper, que abarcan todo el Lías inferior, desde los niveles del tránsito Triásico-Jurásico (Rethiense-Hettangiense) hasta el Pliensbachense.

Dispuestos sobre los materiales del Keuper se encuentra un tramo constituido, de muro a techo, por un nivel de dolomías tableadas bien estratificadas (Formación Imón), sobre el que se sitúa un nivel de carniolas, formado por dolomías vacuolares masivas de aspecto brechoide de más de 50 m de potencia, seguido, a veces también en cambio lateral, por un nivel de brechas calco-dolomíticas masivas (Formación Cortes de Tajuña).

Sobre este conjunto de materiales se deposita la serie calco-dolomítica del Lías inferior (Formación Cuevas Labradas), compuesta por un paquete de dolomíticas y dolomías brechoides grises con algunos niveles oolíticos, alternando con calizas y calizas dolomíticas grises bien estratificadas, sobre el que se dispone niveles de calizas, calizas arenosas oolíticas y calizas margosas de aspecto noduloso.

La potencia media del conjunto de la formación supera los 200 m, con espesores variables dentro de la masa de 150-250 m, aflorando ampliamente dentro de la MASCH, especialmente en los tercios N y S de la misma.

La permeabilidad de la formación se considera alta-muy alta, dadas las características litológicas de los materiales y el elevado grado de karstificación de los mismos.

Formación margosa del Lías superior (4).

Sobre la formación anteriormente descrita se sitúan un conjunto de materiales compuesto por un nivel de margas grises ocre, con intercalaciones de arcillosas bioclásticas (Formación Cerro del Pez), sobre las que se encuentra un paquete de calizas bioclásticas estratificadas, a veces nodulosas, de colores ocre, en ocasiones con juntas margosas (Formación calizas bioclásticas de Barahona), que se continúan con unos niveles alternantes de margas y arcillas grises y beige con niveles de calizas arcillosas, que hacia el techo aumentan de espesor hasta llegar a ser dominantes (Formación Turmiel).

Sus afloramientos se distribuyen por la totalidad de la MASCH como una estrecha franja entre las formaciones carbonatadas del Lías y Dogger.

El conjunto de la formación alcanza una potencia variable de 70-150 m, siendo su permeabilidad baja, que dificultan y limita el flujo de agua subterránea entre las dos formaciones permeables situadas a muro y techo de la misma.

Formación carbonatada del Dogger (5)

La serie jurásica continua con una potente formación carbonatada (Formación carbonatada de Chelva), integrada, de muro a techo, por un nivel inferior de calizas nodulosas de 10-15 m de espesor sobre las que dispone un potente paquete, de unos 100 m de espesor, de calizas y calcarenitas tableadas grises y beige bien estratificadas, a veces con juntas margosas en la base y frecuentes nódulos de sílex, seguido de un tramo de 35 m de calizas oolíticas grises, calcarenitas y calizas bioclásticas a veces dolomitizadas, finalizando con un tramo de 10 m de calizas grises oscuras.

En conjunto, la formación alcanza una potencia variable de 110-160 m, abarcando desde el Toarciense superior hasta el Oxfordiense inferior.

Sus afloramientos, probablemente los más extensos del conjunto de las formaciones aflorantes en la masa, se extienden por toda su superficie, ocupando fundamentalmente la banda central de la misma.

La intensa karstificación del conjunto de los materiales carbonatados le confieren una permeabilidad alta-muy alta, constituyendo, junto a la Formación calco-dolomítica del Lías inferior (3), los principales acuíferos de la MASCH.

Formación margosa del Malm inferior (6)

Formada por un paquete de 65 m de margas gris azuladas de aspecto hojoso, con intercalaciones de calizas margosas, que se incrementan progresivamente a techo, y areniscas micáceas, de edad Oxfordiense superior (Formación margas de Sot de Chera).

Aflora fundamentalmente en una estrecha franja en los flancos de la cubeta de Piqueras, en torno a las formaciones cretácicas y terciarias, apareciendo únicamente en el resto de la masa en algunos pequeños afloramientos al S de esta.

La permeabilidad del conjunto de la formación, de naturaleza margosa, es baja.

Formación carbonatada del Malm superior (7)

Sobre la formación anterior y en cambio lateral con ella, se encuentra un conjunto calcáreo de edad Kinmeridgiense, integrado en la base por un paquete de 70-90 m de espesor de calizas y calizas margosas en capas delgadas, con intercalaciones esporádicas de niveles oolíticos, dentro de la que aparece, cerca de la base, un nivel de calcarenitas oolíticas y oncolíticas de 22 m de espesor con escasa continuidad lateral (Formación ritmita de Loriguilla). Sobre este conjunto de materiales se encuentra un nivel de 15-35 m de calizas micríticas grises estratificadas con abundantes oolitos y pisolitos, con pequeñas intercalaciones margosas y arenosas (Formación de Higuieruelas).

Aflora, al igual que la formación anterior, en los flancos del sinclinal de la cubeta de Piqueras, en la base de los niveles de materiales cretácicos. En conjunto, la formación alcanza una potencia superior a los 100m.

La permeabilidad estimada para esta formación, considerada globalmente, es media-alta, por la naturaleza algo más margosa de los materiales que la forman.

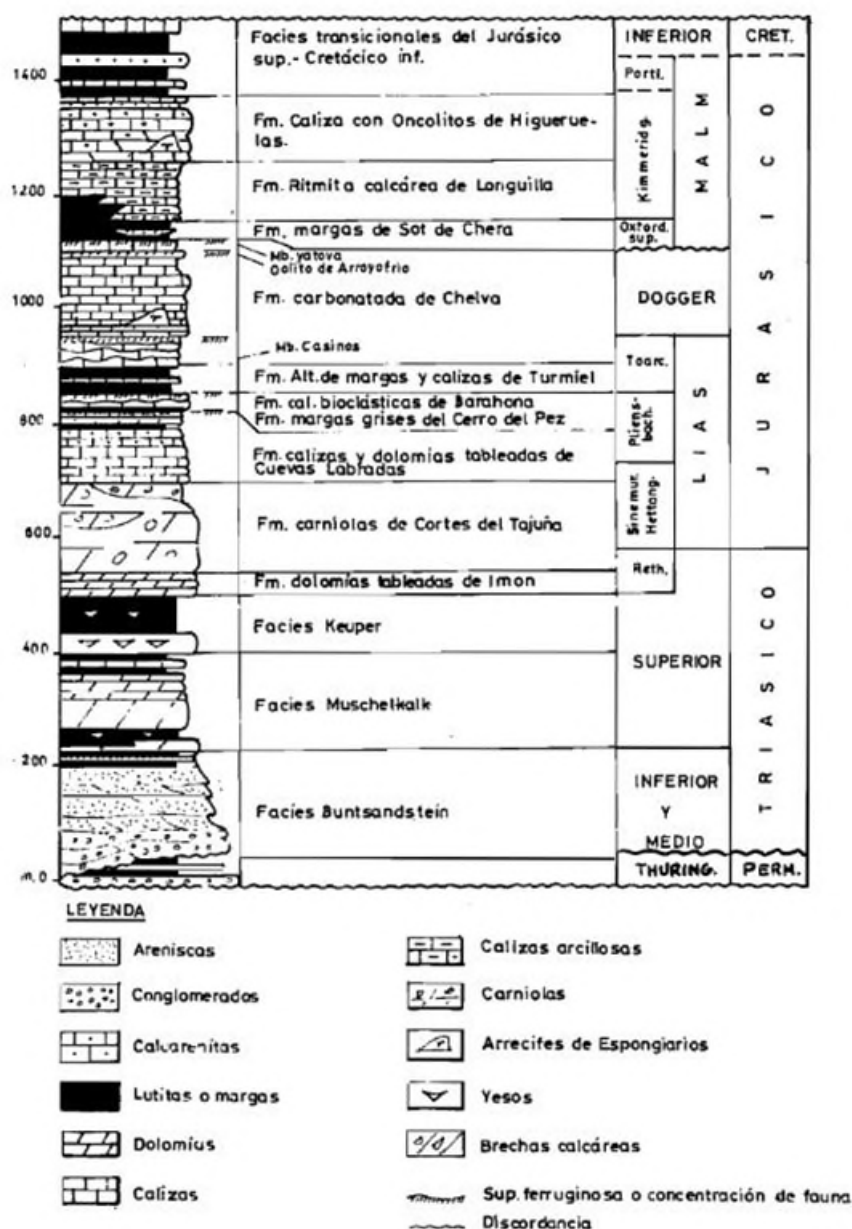


Figura 3.4. Columna estratigráfica sintética del Triásico, Jurásico y tránsito Jurásico-Cretácico de la Sierra de Albarracín (Memoria MAGNA 1:50.000, hoja 541-Sata Eulalia, IGME 1983)

Formación Cretácico indiferenciado (8)

En esta formación se han englobado todos los materiales cretácicos de la MASCH, que afloran casi exclusivamente en el entorno de la cubeta de Piqueras, dispuestos en discordancia erosiva sobre la formación anterior que culmina la serie jurásica.

El Cretácico inferior lo integran materiales de facies continentales, arcillas y conglomerados de facies tipo Weald, de 40 m de espesor, y un paquete de arenas y areniscas silíceas de grano fino y medio lentejones con intercalados de grano más grueso, asimilables a la Facies Utrillas, de 20-50 m de potencia.

El Cretácico superior está compuesto por un tramo inferior de margas y calizas, sobre el que se deposita un nivel de dolomías, calizas y calizas margosas tableadas, al que sigue un tramo de calizas nodulosas con un nivel de margas a techo, culminando la serie cretácica con un tramo de dolomías y calizas dolomíticas, estimándose la potencia total de este conjunto de materiales en 110-130 m.

La permeabilidad estimada para el conjunto de los materiales cretácicos que integran esta formación, es media-baja

Formación detrítico-arcillosa del Terciario (9)

Los afloramientos de depósitos terciarios en la MASCH ocupan una cierta extensión, especialmente en la mitad septentrional de la misma, siendo el mayor de ellos el que ocupa, y oculta en parte, la cubeta del sinclinal de Piqueras, y que se extiende, de manera más o menos continua, con otros afloramientos, hasta Molina de Aragón, en el extremo N de la masa. También se encuentran varios afloramientos importantes entre Pozondón y Setiles, al pie de Sierra Menera, entre Alustante y Alcoroches, entre Bronchales y Orihuela del Tremedal y en el extremo S de la masa, al SO de Gea de Albarracín.

Todo el conjunto terciario está constituido por depósitos litológicamente similares, integrados principalmente por conglomerados, arcillas, arenas y areniscas, que en el sinclinal de la cubeta de Piqueras llegan a superar los 200 de espesor.

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

Formación detrítica del Cuaternario (10)

Dentro de la MASCH, los depósitos cuaternarios están escasamente representados, limitándose casi exclusivamente a los depósitos aluviales de los principales ríos, el Gallo entre Chera y Molina de Aragón y el Turia en Gea de Albarracín, en su salida de la masa y a los rellenos de fondos de valle, constituidos por conglomerados, gravas, arenas y arcillas, excepto al S de Gea de Albarracín donde se encuentran unos niveles de glaciares de cierta extensión, integrados por conglomerados, arenas y limos.

Dada la escasa extensión y desarrollo de estos depósitos y su similitud litológica, se han agrupado todos ellos en una única formación cuaternaria indiferenciada, a la que se le estima una permeabilidad media.

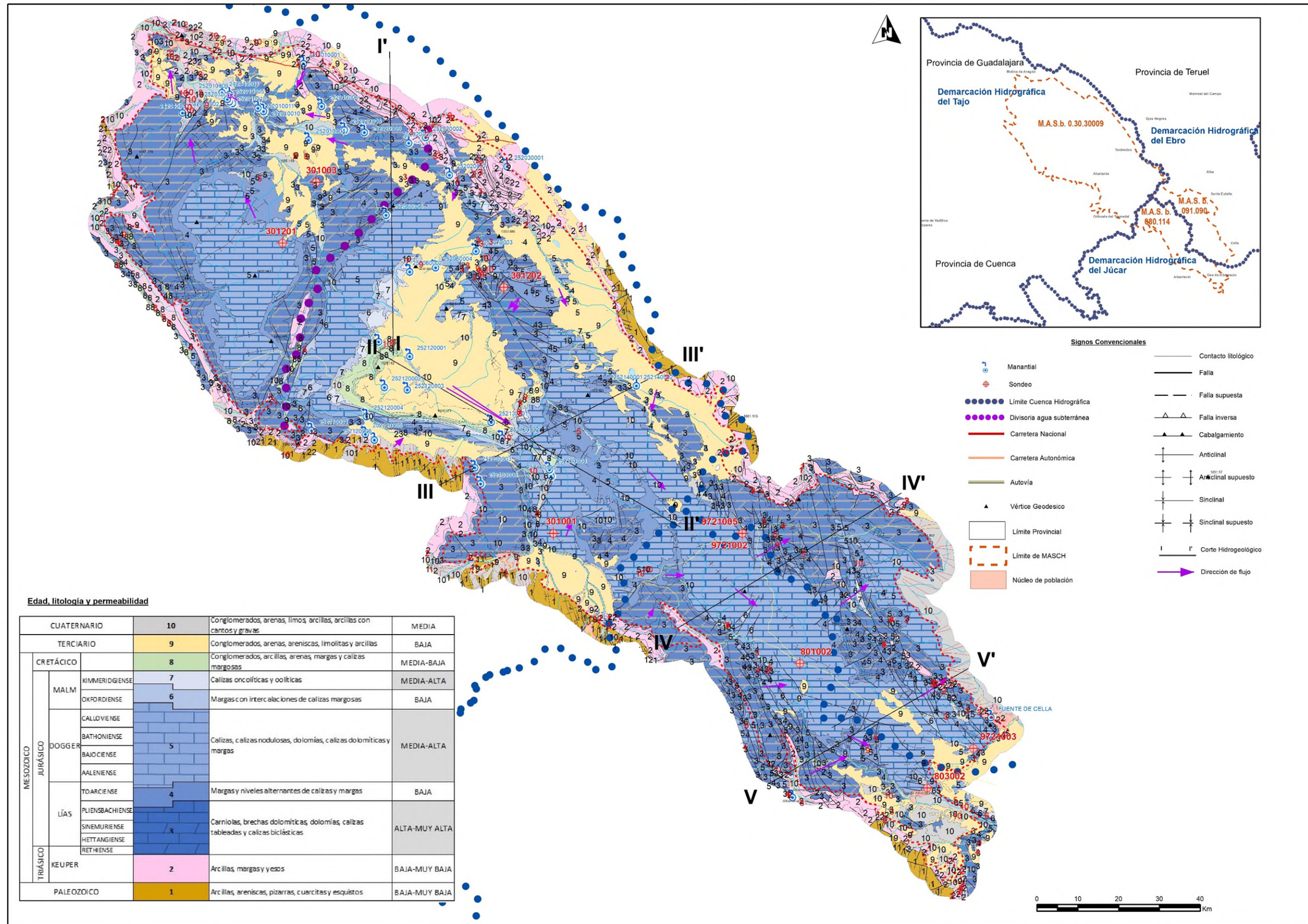


Figura 3.5. Mapa Hidrogeológico de la MASCH Molina-Pozondón-Cella

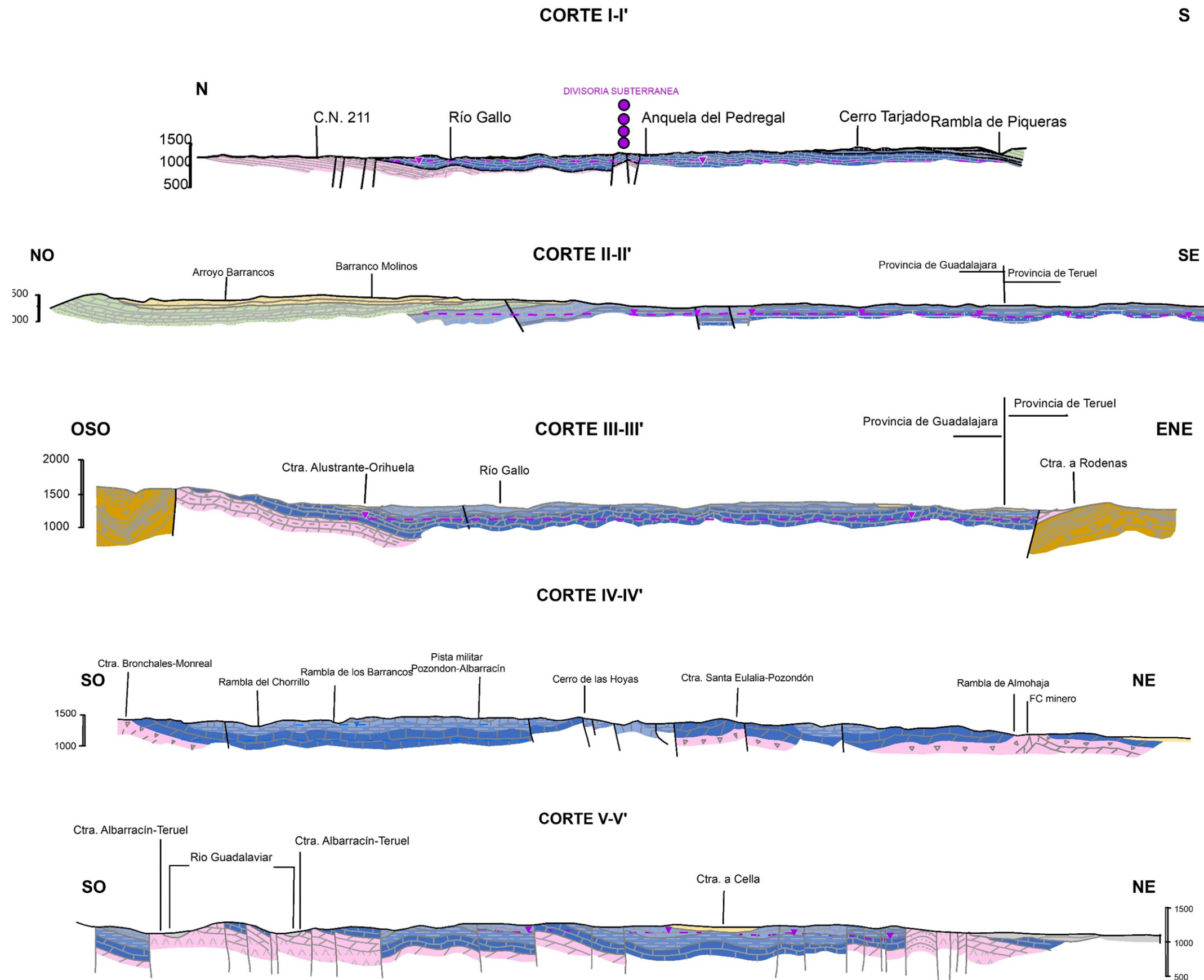


Figura 3.6. Cortes hidrogeológicos de la MASCH Molina-Pozondón-Cella (Modificados del MAGNA 1:50.000, hojas: 515, 540, 541 y 566).

3.4. Funcionamiento hidrogeológico y piezometría.

Como se ha indicado anteriormente, los acuíferos principales están constituidos por las formaciones; calizo-dolomítica del Lías inferior (3) y carbonatada del Dogger (5), cuyos afloramientos se extienden a lo largo de toda la MASCH, ocupando la mayor parte de su superficie.

En conjunto y a escala regional pueden considerarse como un único acuífero de carácter libre, permeable por Karstificación, aunque los materiales de baja permeabilidad de la Formación margosa del Lías superior (4), situados entre las dos formaciones carbonatadas, pueden impedir o, al menos restringir, la conexión hidráulica, confinando en algunos sectores el acuífero formado por los materiales calco-dolomíticos del Lías inferior.

La potencia media de la Formación calizo-dolomítica del Lías inferior (3) varía entre 150-250 m y la de la Formación carbonatada del Dogger (5) entre 110-160 m, mientras que la Formación margosa del Lías superior (4), situada entre las anteriores, alcanza espesores variables entre 70-150 m.

Las calizas y dolomías del Lías inferior presentan una permeabilidad alta-muy alta, aunque solo se dispone de datos directos de parámetros hidráulicos de esta formación en un punto, el correspondiente al ensayo de bombeo realizado en el piezómetro 09.721.03 al finalizar su construcción, en el que se determinó una transmisividad de 775 m²/d. En las calizas del Dogger, aunque no se dispone de datos de parámetros hidráulicos, ya que el ensayo de bombeo realizado en el piezómetro 09.721.02 resultó nulo, la permeabilidad estimada es media-alta.

El sustrato impermeable lo forman los niveles de arcillas, margas y yesos en facies Keuper del tramo superior del Trías, que aflora ampliamente fuera de la MASCH, a lo largo de todo su perímetro, aunque también se encuentran algunos afloramientos en el interior de la misma, especialmente a lo largo del núcleo de la alineación Megina-Traíd-Anquela de Pedregal-El Pobo de Dueñas, coincidente con un anticlinal de dirección NE-SO y una serie de fracturas verticales o subverticales paralelas, que elevan los materiales triásicos.

La MASCH está limitada, en su mayor parte, por los afloramientos de los materiales impermeables paleozoicos y triásicos que cierran la masa, excepto en la mitad meridional del límite E, entre las localidades de Cella y Santa Elulalia, donde las formaciones carbonatadas jurásicas están en contacto con los depósitos terciarios y cuaternarios que rellenan la fosa del Jiloca, bajo los que se prolongan, abriendo el límite de la masa en este tramo.

La estructura general de la MASCH se ha descrito habitualmente como un suave sinclinal de dirección NO-SE, aunque como se ha expuesto en apartados anteriores, la estructura anticlinal de Megina-Traíd-Anquela de Pedregal-El Pobo de Dueñas, separa dos sectores con características estructurales algo diferentes: el S, que sí se corresponde con esta descripción general, formando un suave sinclinal que se extiende hasta las localidades de Cella y Gea de Albarracín, en el extremo S de la masa y el N, caracterizado por una sucesión de suaves pliegues de direcciones NE-SO que se extienden hasta la localidad de Molina de Aragón, en el extremo N de la MASCH.

La estructura anticlinal Megina-Traíd-Anquela de Pedregal-El Pobo de Dueñas juega un importante papel, tanto en la geometría de la MASCH como en su funcionamiento hidrogeológico, al formar los materiales de la facies Keuper una barrera al flujo de agua subterránea entre ambos sectores de la masa compartida. Aunque las arcillas, margas y yesos del Keuper solo afloran de forma más o menos continua en el núcleo de la mitad sur del anticlinal, es muy probable que se encuentren subaflorantes a lo largo del resto de la estructura.

Los dos sectores delimitados por esta barrera constituirían dos acuíferos con distinto funcionamiento y con escasa o nula conexión hidráulica entre ellos, drenando: el sector N al río Gallo, entre Chera

y Molina de Aragón, aunque la mayor parte de la descarga se produce en el tramo de Castilnuevo, y el sector S, con flujo general hacia el SE que descarga subterráneamente a la MASb Cella-Ojos de Monreal a través del tramo abierto del límite suroriental de la MASCH, entre las localidades de Cella y Santa Eulalia y a través de la Fuente de Cella.

La simulación con el código RENATA se realizó inicialmente de acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento establecido cuando se definió la MASCH, considerado un único acuífero con continuidad hidráulica en toda la masa.

Aunque se consiguió un ajuste aceptable de la mayor parte de los piezómetros, los resultados obtenidos no resultaban coherentes con los escasos datos disponibles, especialmente de las aportaciones subterráneas al río Gallo, estimadas en poco más de 7 hm³/a por RENATA (suma de las salidas de manantiales y descargas al río), frente a los 23,80 hm³/a estimados por EPTISA en el *Estudio hidrogeológico de la zona de Alcoroches-Guadalajara (1989)* a partir análisis del hidrograma del río Gallo en Ventosa y los 27,71 hm³/a calculados en la *Asistencia técnica de colaboración para la realización y seguimiento del Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo (2000)*. En otros estudios la escorrentía subterránea estimada para la MASb Molina de Aragón, drenada en su totalidad por el río Gallo, bien a través de manantiales de su cuenca dentro de la MASb o por descargas directas al río y sus afluentes, fueron más elevadas, entre los 38 hm³/a estimados en el Plan Hidrológico del Tajo (CHT 1998) y los 45 hm³/a del PIAS (IGME 1971-1975).

El flujo subterráneo en esta primera simulación, representado gráficamente por el mapa piezométrico obtenido de RENATA, se dirigía en su mayor parte hacia el sur (81,38 hm³/a), para descargar subterráneamente a la MASb Cella-Ojos de Monreal, a través del mencionado tramo abierto del límite suroriental y por la Fuente de Cella, marcándose una divisoria subterránea en el extremo norte de la MASCH cerca de Molina de Aragón, que delimitaba un pequeño sector en el que el flujo se dirigía hacia el N, descargando al río Gallo, aunque en cuantía muy inferior a la estimada en otros estudios, como se ha indicado anteriormente (7 hm³/a).

Además, la piezometría obtenida indicaba claramente la existencia de una barrera hidrogeológica, en la mitad sur de la estructura anticlinal Megina-Traíd-Anquela de Pedregal-El Pobo de Dueñas, debido al afloramiento de los materiales arcillosos del sustrato impermeable (Keuper), que distorsionaba y forzaba la piezometría obtenida, por lo que se hicieron sucesivas simulaciones con una barrera hidrogeológica que se fue ampliando progresivamente hasta cerrar completamente la conexión entre los dos sectores de la MASCH, obteniéndose valores de aportaciones del acuífero al río Gallo de 23,26 hm³/a, suma de las salidas de manantiales y descargas directas al río y sus afluentes.

Los resultados obtenidos con RENATA a partir de este nuevo modelo conceptual se ajustan mejor, resultando más coherentes, tanto en lo que respecta a las descargas subterráneas al río Gallo como en la piezometría. En la Figura 3.7 se muestran los mapas piezométricos obtenidos con las simulaciones realizadas.

Por tanto, con el modelo de funcionamiento propuesto, sustentado por una parte en la cartografía geológica y en la simulación realizada con el código RENATA y, por otra, en los escasos y variables datos disponibles de descargas al río Gallo, se considera que la MASb Molina de Aragón, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Tajo e integrada en la MASCH, se encuentra dividida en dos sectores por la barrera hidrogeológica descrita, drenando el sector N al río Gallo, dentro de la propia Demarcación del Tajo, y descargando subterráneamente el sector S a las MASb Gea de Albarracín y Pozondón pertenecientes a las demarcaciones del Júcar y Ebro

respectivamente, aunque finalmente toda la descarga se realizaría por transferencia subterránea a la MASb Cella-Ojos de Monreal y por el manantial de Cella.

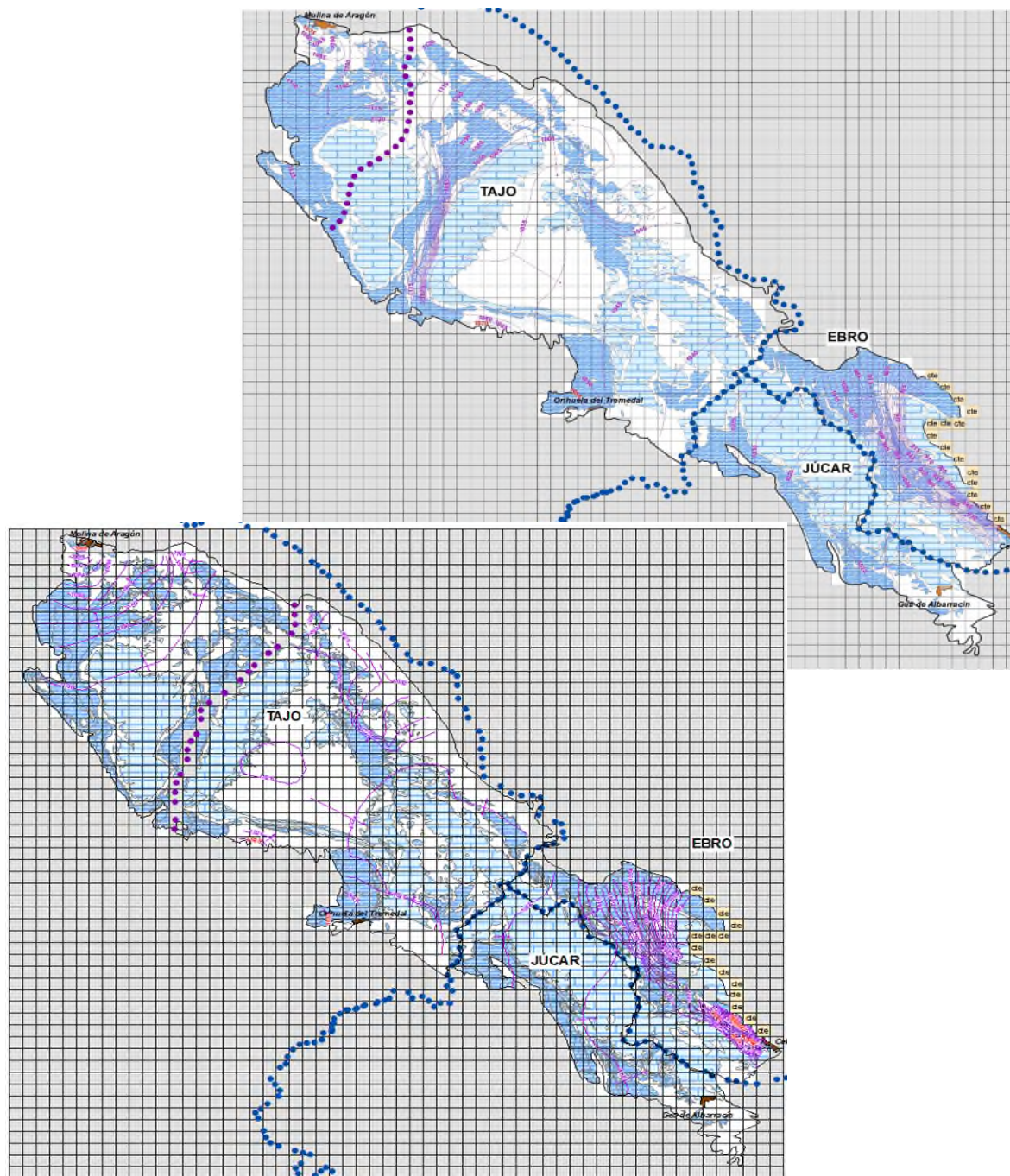


Figura 3.7. Mapas piezométrico obtenidos por RENATA a partir de los dos modelos conceptuales simulados.

El funcionamiento hidrogeológico descrito y el balance en régimen transitorio obtenido de la simulación con RENATA se sintetiza gráficamente en la Figura 3.8 que se muestra a continuación. La recarga total de la MASCH asciende a 88,36 hm³/a, procedente prácticamente en su totalidad de la infiltración directa del agua de lluvia, mientras que la descarga se produce principalmente por transferencia subterránea a la MASb Cella-Ojos de Monreal y por la Fuente de Cella, en la Demarcación hidrográfica del Ebro (66,06 hm³/a) y a la cuenca del río Gallo (23,26 hm³/a), entre Chera y Castilnuevo, en la Demarcación Hidrográfica del Tajo.

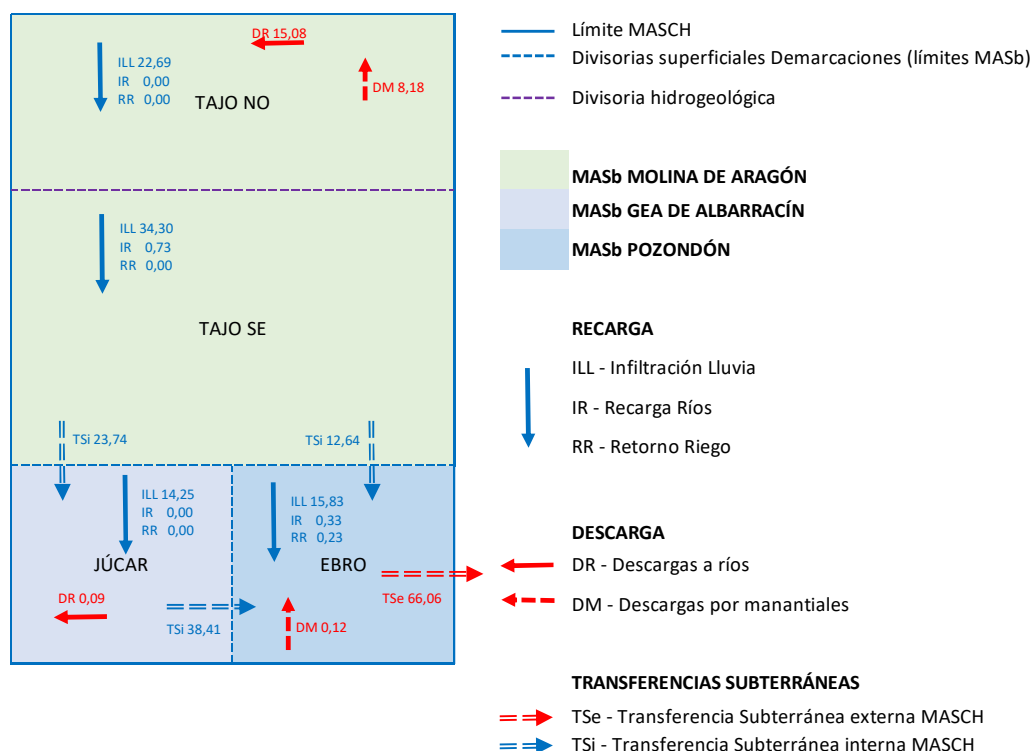


Figura 3.8. Esquema sintético del funcionamiento hidrogeológico y balance de la MASCH (valores en hm³/a).

De acuerdo con la piezometría resultante de la simulación realizada con RENATA, los gradientes hidráulicos son, en general, suaves en los dos sectores definidos por la barrera hidráulica, consecuencia de la elevada permeabilidad del acuífero calco-dolomítico del Lías Inferior, el principal de la MASCH. Las formaciones carbonatadas del Dogger, de menor extensión, se encuentran en posiciones más superficiales.

En el sector situado al N de la barrera hidráulica, la superficie piezométrica se sitúa entre los más de 1110 m s.n.m, en las zonas más próximas a esta (1112 m s.n.m es el nivel medio en el piezómetro 03.01.201) y los 1080 m s.n.m en la zona de descarga, cota del tramo del río Gallo en Castillnuevo, que constituye el principal punto de drenaje de este sector, en el contacto con los afloramientos del sustrato, que desde esta zona se extienden hasta Molina de Aragón, en el extremo N de la MASCH.

En el sector S, la superficie piezométrica se sitúa entre los 1030 m s.n.m a la altura de la localidad de Piqueras, en las proximidades del límite marcado por la barrera hidrogeológica, que el río Gallo cruza a cota 1190 m s.n.m, a la altura de la alineación Anquela del Pedregal-El Pobo de Dueñas, y los 990 m s.n.m del río Jiloca, en la zona de descarga que forma la Laguna del Cañizar en Villarquemado (la Fuente de Cella se sitúa en torno a los 1000 m s.n.m). Casi todo este sector muestra igualmente un gradiente hidráulico suave, excepto en la franja próxima al tramo del límite SE, entre Santa Eulalia y Cella, abierto y en conexión hidráulica con la MASb Cella-Ojos de Monreal, en el que es más elevado, debido probablemente a la complejidad estructural de esta franja de la masa, con abundantes fracturas de dirección NNO-SSE que hacen aflorar incluso las arcillas y margas del Keuper en algunos puntos.

En la Figura 3.9 se muestra el mapa piezométrico de la MASCH en régimen natural, representado sobre la cartografía hidrogeológica simplificada.

En general, todos los piezómetros muestran una ligera tendencia descendente, aunque en algunos es bastante más acusada (03.01.202 y 08.01.002). Solo el piezómetro 09.721.005 mantiene una tendencia estable. El punto 03.01.001 muestra una evolución extraña, con una tendencia ascendente hasta febrero de 2013, produciéndose posteriormente un desplome brusco de los niveles de unos 15m, manteniendo desde entonces una ligera tendencia descendente, similar a la de la mayoría del resto de piezómetros.

En la Figura 3.10 se muestran los gráficos de la evolución de los niveles de agua subterránea en los dos piezómetros de la red de control situados en el sector N de la MASH.

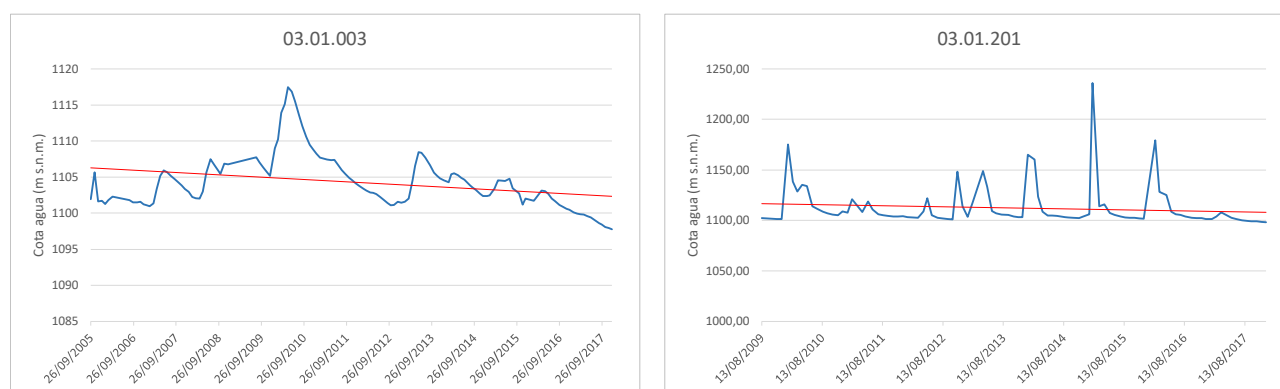


Figura 3.10. Evolución de los niveles de agua en los piezómetros del sector N de la MASH.

En el sector S los piezómetros 03.01.202 y 03.01.001, pertenecientes a la demarcación del Tajo, registran niveles de agua muy por encima de los reflejados en el mapa piezométrico de la Figura 3.9, aunque el ajuste obtenido en RENATA en el primero de ellos es bueno, no como en el segundo caso, en el que los niveles simulados se encuentran muy por debajo de los registrados en el piezómetro.

Aunque no se ha podido analizar la información de la construcción y características de estos piezómetros, podría ocurrir algo similar a lo que sucede en los piezómetros 09.721.002 y 09.721.005, ubicados a escasos metros uno del otro, en las proximidades de Pozondón, en el que el primero (09.721.002) registra los niveles del acuífero del Lías inferior, con valores comprendidos entre 1000-1020 m s.n.m. y el segundo (09.721.005) los del acuífero del Dogger, mucho más altos, entre 1070-1100 m s.n.m., con picos que llegan a alcanzar los 1120 m s.n.m.

En la Figura 3.11 se muestran los gráficos de evolución de los niveles en los siete piezómetros del sector S, entre los que se encuentran los mencionados anteriormente.

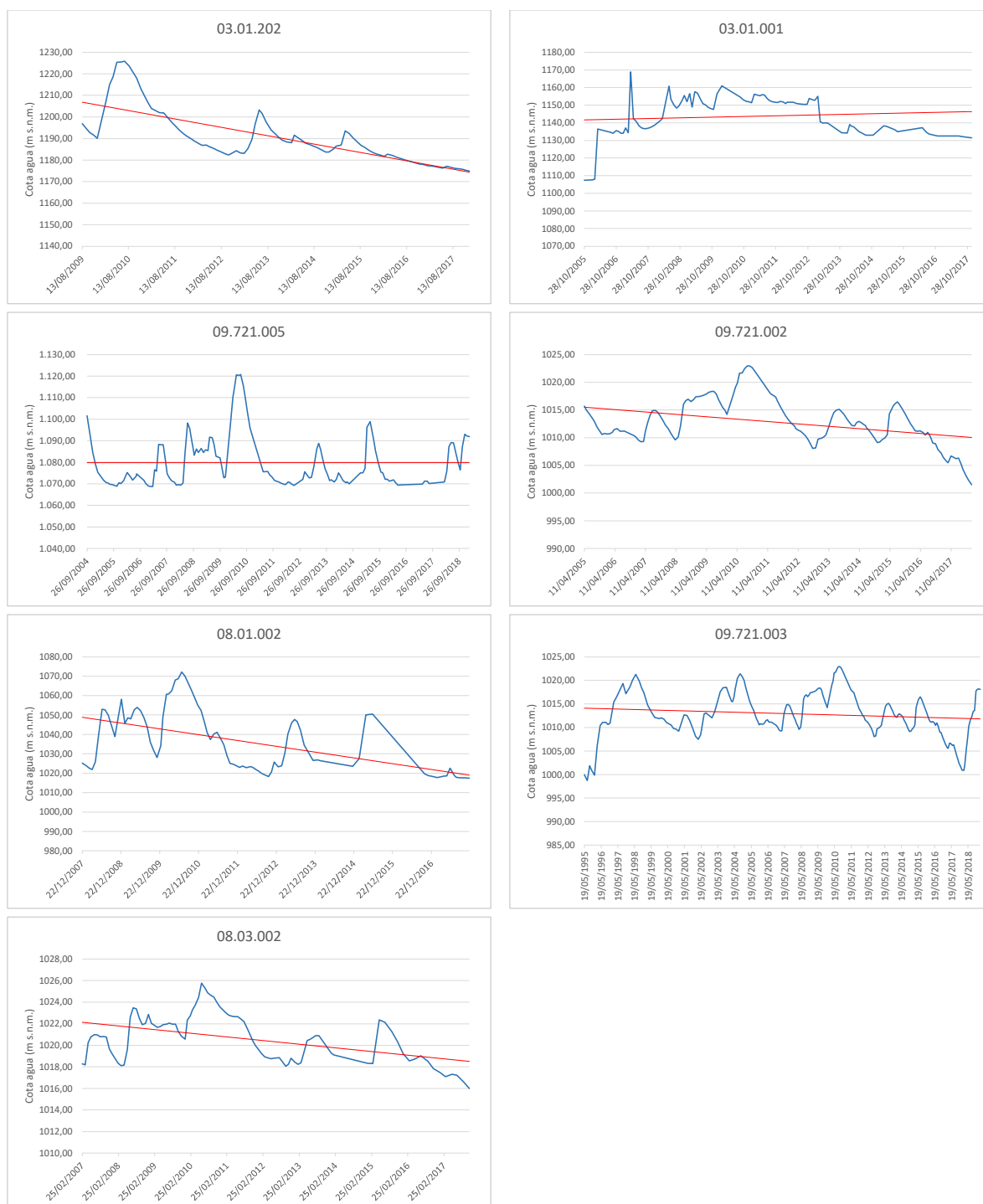


Figura 3.11. Evolución de los niveles de agua en los piezómetros del sector S de la MASCH.

Como se ha avanzado a lo largo de esta memoria, la descarga principal de la MASCH, correspondiente al drenaje del sector S, se produce principalmente por transferencia subterránea a la MASb Cella-Ojos de Monreal y, en menor proporción, por la Fuente de Cella.

Parte de estos recursos subterráneos surgen finalmente formando la Laguna del Cañizar, considerada por algunos como el verdadero nacimiento del Jiloca, donde se recogen también los aportes de la Fuente de Cella que no son derivados para regadío y otros usos.

Laguna del Cañizar.

La Laguna del Cañizar situada en las inmediaciones de Villarquemada, al N de Cella, se encuentra actualmente en proceso de recuperación con la puesta en marcha, a principios del siglo XXI, del proyecto de recuperación del humedal, desaparecido al ser desecado por las obras de drenaje realizadas entre 1729 y 1732, con el fin de aprovechar los terrenos para uso agrícola y ganadero, y como medida de salubridad, al ser considerados los humedales en esa época como el foco principal de algunas enfermedades como el paludismo, muy presente en la zona.

La antigua laguna formaba un extenso humedal de agua dulce que cubría 1130 ha, con una profundidad máxima de 2,8 m, que se extendía sobre parte de los términos municipales de Cella, Santa Eulalia del Campo y Villarquemado, almacenando un volumen de agua de 18,7hm³.

Con las obras de drenaje llevadas a cabo por el ingeniero militar Domingo Ferrari a principios del siglo XVIII, que supuso la desaparición casi total del humedal, acabó perdiéndose la memoria de su existencia, a pesar de que en numerosas ocasiones, coincidiendo con periodos húmedos o de lluvias intensas y épocas en las que el deterioro de las infraestructuras de drenaje por su escaso mantenimiento dificultaban o impedían su normal funcionamiento, se volvía a inundar, recuperando parte de su antigua superficie.

Con el inicio de este siglo y como consecuencia del creciente interés por conocer la historia de la laguna y la posibilidad de su futura recuperación, se redactó en el año 2004 el primer proyecto de recuperación del humedal, iniciándose los trabajos a mediados de 2006, comenzando a llenarse de nuevo la laguna a finales de 2008, recuperando en pocas semanas 380 ha inundadas y 115 ha de prados húmedos, convirtiéndose así en el segundo humedal de agua dulce más extenso del interior de España, después del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. En 2010 se censaron más de 200 especies de aves acuáticas, algunas de ellas en serio peligro de extinción como el avetoro (*botaurus stellaris*) o la garcilla cangrejera (*ardeola ralloides*).



Figura 3.12. Vista aérea de la Laguna del Cañizar en 2010 (https://es.wikipedia.org/wiki/Laguna_del_Cañizar).

Fuente de Cella.

Ubicada en el extremo NO de la localidad de Cella, aunque es conocida como Fuente de Cella, en realidad se trata de un pozo artesiano excavado en la antigüedad, probablemente sobre algún manantial o zona húmeda preexistente, que alcanza el acuífero calizo-dolomítico del Lías inferior, en el contacto con las arcillas y margas del Keuper, que en este punto se encuentra confinado.

Por las referencias recogidas en diferentes documentos históricos se cree que el alumbramiento de la Fuente de Cella debió realizarse en el siglo XII, relacionándose directamente con la construcción de la Acequia Madre, primer drenaje de la Laguna del Cañizar del que se tiene constancia, debido probablemente al aumento de la superficie encharcada de la laguna como consecuencia de los caudales aportados por la apertura del pozo artesiano. Esta tesis parece estar respaldada por el contenido de una sentencia de la Real Audiencia de Aragón fechada el 24 de mayo de 1544, en la que se afirma que la construcción de la Acequia Madre se realizó para dar salida a las aguas aportadas por la fuente y evitar daños y perjuicios a personas y haciendas.

El aspecto actual de la fuente data del año 1730, siendo su diseño obra del ingeniero militar italiano Domingo Ferrari, responsable también de la reforma de las 3 acequias que parten de la misma para el riego en siete municipios de la zona, además del proyecto y ejecución de las obras de drenaje de la Laguna del Cañizar. El conjunto fue declarado en 1983 Monumento Histórico Artístico y Bien de Interés Cultural.

La fuente tiene forma elíptica con un diámetro mayor de 34,83 m, un diámetro menor de 24,84 m, y un perímetro de 130 m, y está bordeada por un pretil de piedra de sillería que da salida al agua en un extremo, a través de un paso cubierto por una ermita dedicada a san Clemente. La profundidad en la orilla es de 9 m y en el centro de 11,5 m.



Figura 3.13. Fuente de Cella (Gobierno de Aragón. <https://patrimonioculturaldearagon.es/patrimonio/fuente-de-cella/>).

Desde el año 1971 se dispone de registro de medidas periódicas del abundante caudal de la fuente, que ha alcanzado caudales máximos de 2000 l/s, aunque alternando con periodos de fuerte estiaje, durante los cuales incluso ha llegado a secarse.

En la Figura 3.14 se muestran fotos del canal de salida de la fuente de Cella con un abundante caudal y de la propia fuente seca en 2017, como consecuencia de la importante sequía que afectó a la zona, que ilustran la magnitud y variabilidad de las descargas de agua subterránea del acuífero kárstico en este punto.



Figura 3.14. Canal de salida de la Fuente de Cella y fuente seca en 2017 (tomadas de: <http://info.igme.es/ielig/LIGInfo.aspx?codigo=ARP145#situaciongeologica> y <https://www.turismodeobservacion.com/>)

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 Molina de Aragón, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Tajo, se han definido 2 tramos con conexión del cauce del río Gallo con el acuífero.

Un primer tramo, en la parte alta del río Gallo, en el que, aunque no existen aforos históricos que confirmen la relación río-acuífero, se le considera perdedor, basándose en informes como las “Normas para el otorgamiento de autorizaciones de investigación o concesiones de agua subterránea para cada Unidad Hidrogeológica de la cuenca del Tajo” (CHT, 2002) en las que se consideró, partiendo de los datos piezométricos para los años 1990 y 1991, que el río Gallo es influente desde la cota 1.400 a la cota 1.100 m s.n.m. y que la red superficial asociada al río Gallo, situada por encima de esta cota, se comportaría de la misma manera, ya que recogería la escorrentía superficial y la perdería por infiltración antes de tributar al cauce principal, y también en el estudio de la DGOH-CHE (1991), que dice que desde Orihuela del Tremedal (a cota 1.400 m), nacimiento del río Gallo, éste va perdiendo paulatinamente caudal, para quedarse prácticamente seco (salvo avenidas extraordinarias) a la altura de la localidad de Tordellego a la cota de 1.220 m s.n.m. volviendo a surgir el río de manera apreciable aguas arriba de Prados Redondos, en la localidad de Chera (cota 1.150 m s.n.m.), siendo ésta, por lo tanto, zona de descarga de acuíferos.

Este “resurgimiento” del río, marcaría el segundo tramo del río Gallo, en el que la relación río-acuífero se ha definido como efluente o ganador.

En la parte de la MASCH que corresponde a la Demarcación Hidrográfica del Júcar, también se han definido 2 tramos con relación río-acuífero en el río Turia o Guadalaviar, basándose en bibliografía (CHJ, 2005). En ambos casos el río funcionaría como ganador o efluente, aunque el primer tramo, hasta Gea de Albarracín sería por conexión difusa directa y el segundo tramo, desde Gea de Albarracín hasta la salida del río Turia de la MASb, por conexión difusa indirecta por flujo profundo.

Por último, en la MASb Pozondon, en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, únicamente se ha definido un pequeño tramo con conexión, en la propia Fuente de Cella (2622-3-0001), como drenaje puntual por manantial.

3.6. Usos del agua subterránea.

Apenas existe explotación de los recursos de agua subterránea dentro de la MASCH Molina-Pozondón-Gea, 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: Molina de Aragón, situada en el extremo noroeste de la MASCH, Pozondón, situado entre las Demarcaciones de Ebro y Júcar, la población de Cella en el extremo este de MASCH, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y la población de Albarracín, que se encuentra en el límite sureste de la MASCH, aunque fuera de ésta.

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 empleados ha sido la de tres estaciones termopluviométricas, dos de las cuales se encuentran dentro del área de la MASb Molina de Aragón-Pozondón-Gea y la tercera al SE de la misma, a unos 16 km del borde (Figura 4.1).

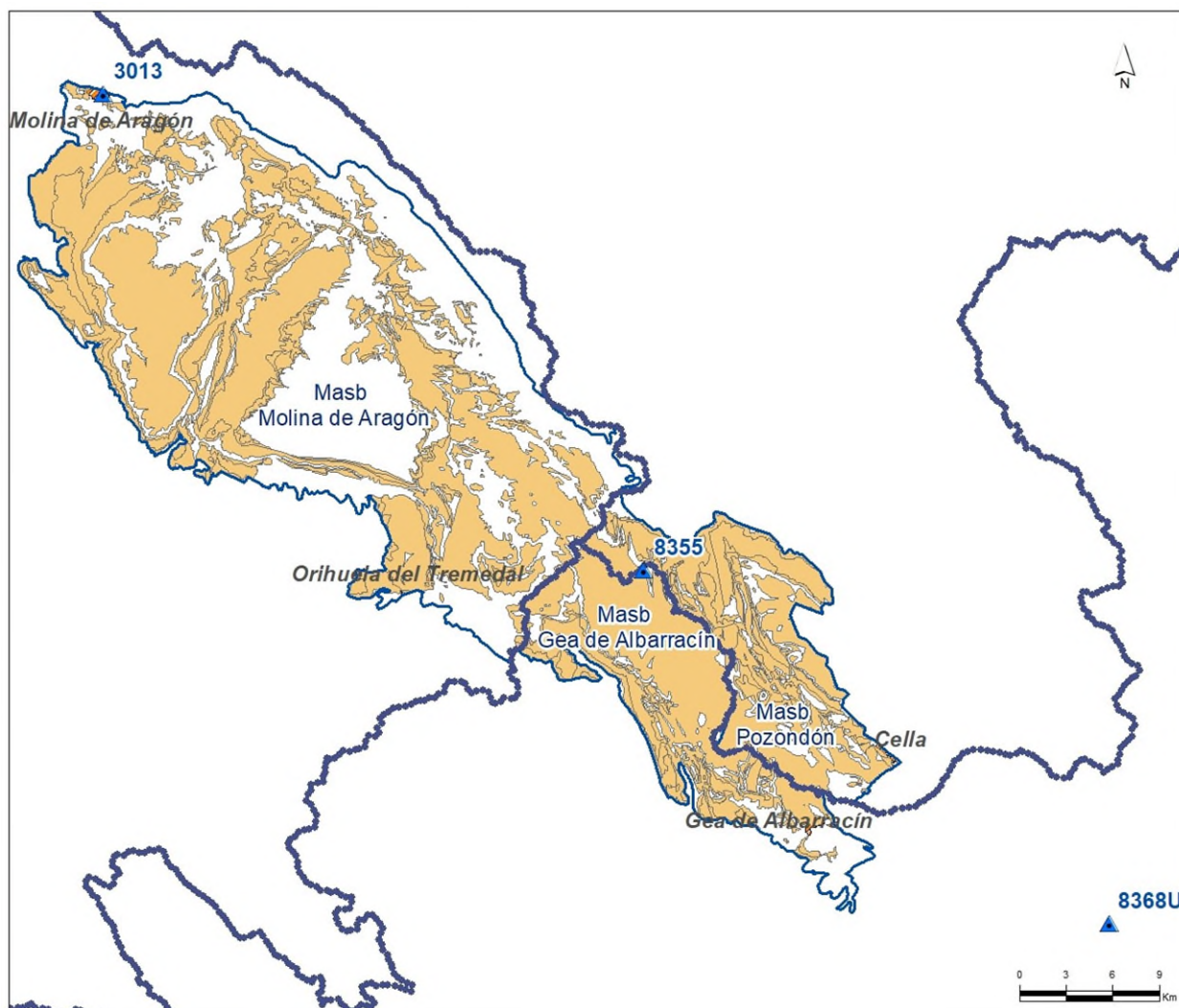


Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas utilizadas.

Los datos diarios 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
3013	MOLINA DE ARAGÓN Completa	1062	P	01-01-1955	31-12-2015
			T	01-01-1961	31-12-2015
8355	POZONDON D.G.A. Pluviométrica y Termométrica	1410	P	01-01-1991	31-12-2015
			T	01-01-1990	31-12-2015
8368U	TERUEL Completa	900	P	01-04-1986	31-12-2015
			T	01-04-1986	31-12-2015

Los años con datos se muestran en las siguientes gráficas.

Precipitación

Precipit..	85	86	87	88	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
3013*																															
8355																															
8368U																															

(*) Desde 01/01/1955

Temperatura

Temperat.	85	86	87	88	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
3013*																															
8355																															
8368U																															

(*) Desde 01/01/1961

El estudio climático y el cálculo de las aportaciones por la infiltración directa de la precipitación se ha realizado con los datos diarios de las tres estaciones meteorológicas del período comprendido entre octubre de 1986 y septiembre de 2015.

Originalmente estas estaciones presentaban lagunas en valores de precipitación y temperatura por lo que se ha procedido a su completado. El completado de los datos de una estación se ha realizado mediante regresión simple con los que presentan mejor coeficiente de correlación de las otras dos estaciones, normalmente la más cercana.

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**
3013 Molina de Aragón	X: 594513 Y: 4521786 Z: 1062	Completa Caracteriza el sector NO Superficie de influencia: 421.04 km ²	P media: 452,8 mm/a P max: 611,7 mm P min: 281,6 mm T media: 10,7 °C
8355 Pozondón D.G.A.	X: 629305 Y: 4491122 Z: 1410	Termopluviométrica Caracteriza el sector centro Superficie de influencia: 590.77 km ²	P media: 452,7 mm/a P max: 615,8 mm P min: 279,3 mm T media: 9,6 °C
8368U Teruel	X: 659303 Y: 4468356 Z: 900	Completa Caracteriza el sector SE Superficie de influencia: 20.59 km ²	P media: 372,1 mm/a P max: 555,9 mm P min: 203,1 mm T media: 12,3 °C

(*) Proyección ETRS89

(**) Período 1986/87-2014/15 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 estaciones se han elaborado los planos de isoyetas para la precipitación media de las series (1986/87-2014/15), 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	3013	8355	8368U
Precipitación media (1986/87-2014/15)	452.8 mm	452.7 mm	372.1
Nº años secos	6	6	7
Nº años medios	14	14	15
Nº años húmedos	9	9	7
Año tipo seco	2014/15 (344 mm)	2013/14 (348 mm)	1991/92 (252 mm)
Año tipo medio	1998/99 (447 mm)	1994/95 (446 mm)	2005/06 (372 mm)
Año tipo húmedo	1990/91 (562 mm)	2003/04 (566 mm)	1996/97 (475 mm)
Media de los años secos (mm)	326.1 mm	303.1 mm	238.6 mm
Media de los años húmedos (mm)	565.3 mm	567.3 mm	506.6 mm

Tabla 4.3. Valores característicos de las series anuales de precipitación para el período 1986/87-2014/15

4.2.2. Análisis temporal

La precipitación global en la MASb se ha obtenido ponderando la de las tres 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 451.1 mm/a) es *1994/95 con 452.7 mm*, el año Tipo Seco el 1999/00 con 340 mm (el que más se acerca a la precipitación con el 12,5% de probabilidad de ser menor) y el Tipo Húmedo el 1995/96 con 554 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 MASb. 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 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 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”.

Se aprecia, en general, una alternancia de años tipo seco, medio y húmedo sin un orden preferente, que no superan dos años consecutivos de una misma tipología climática, salvo el periodo 2006/07 a 2010/11 (5 años) de tipología climática media.

Tabla 4.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos acontecidos entre octubre de 1986 y septiembre de 2015.

Periodo	Tipología climática	Duración (años)	Diferencia respecto a la media (mm)*	Porcentaje de precipitación con respecto a la media
1986/87	Media			
1987/88	Muy Húmeda		160.2	36% superior
1988/89	Húmeda		81.9	18% superior
1989/90	Media			
1990/91	Húmeda		96.3	21% superior
1991/92	Seca		-65.7	15% inferior
1992/93 a 1993/94	Muy Seca	2	-149.5	33% inferior
1994/95	Media			
1995/96	Húmeda		102.8	23% superior
1996/97	Muy Húmeda		154.8	34% superior
1997/98 a 1998/99	Media	2		
1999/00	Seca		-111.3	25% inferior
2000/01 a 2001/02	Media	2		
2002/03 a 2003/04	Muy Húmeda	2	120.1	27% superior
2004/05	Muy Seca		-140.2	31% inferior
2005/06	Húmeda		100.2	22% superior
2006/07 a 2010/11	Media	5		
2011/12	Muy Seca		-158.8	35% inferior
2012/13	Media			
2013/14	Seca		-77.5	17% inferior
2014/15	Media			

(*) La precipitación media de la serie ponderada para el período 1986/87 a 2014/15 es de 451.1 mm

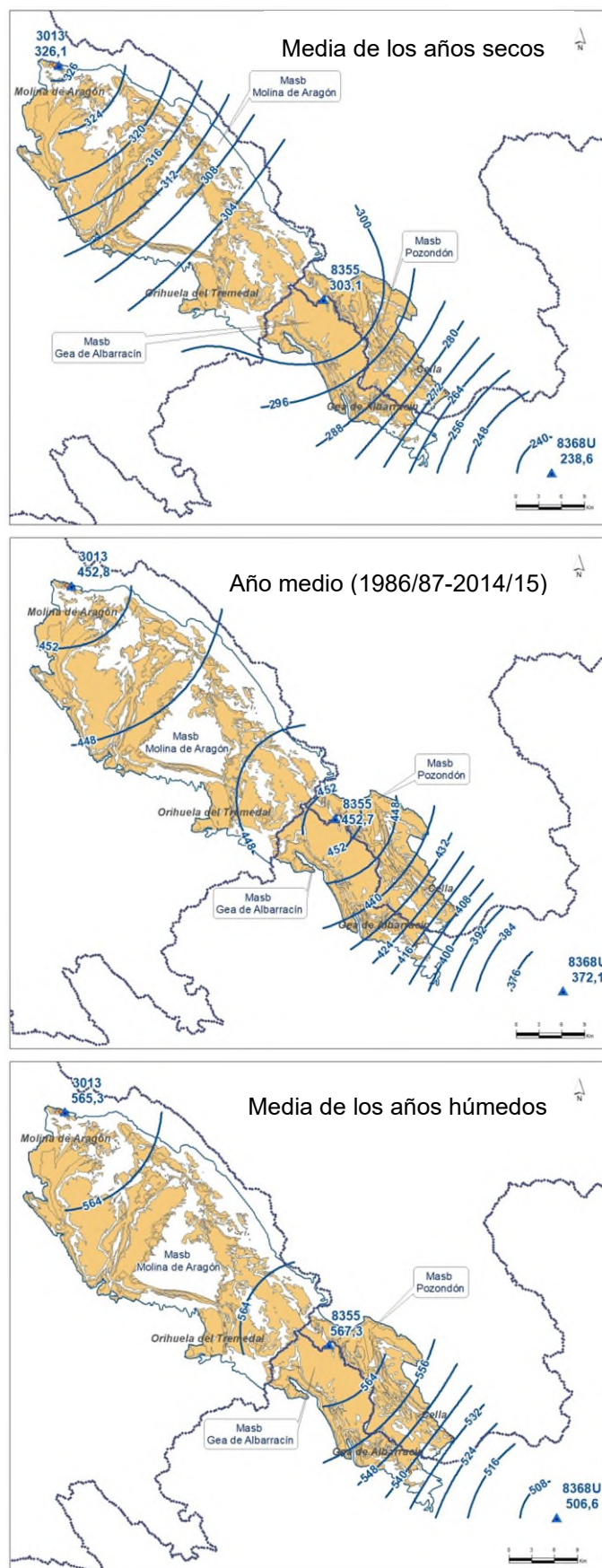


Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos

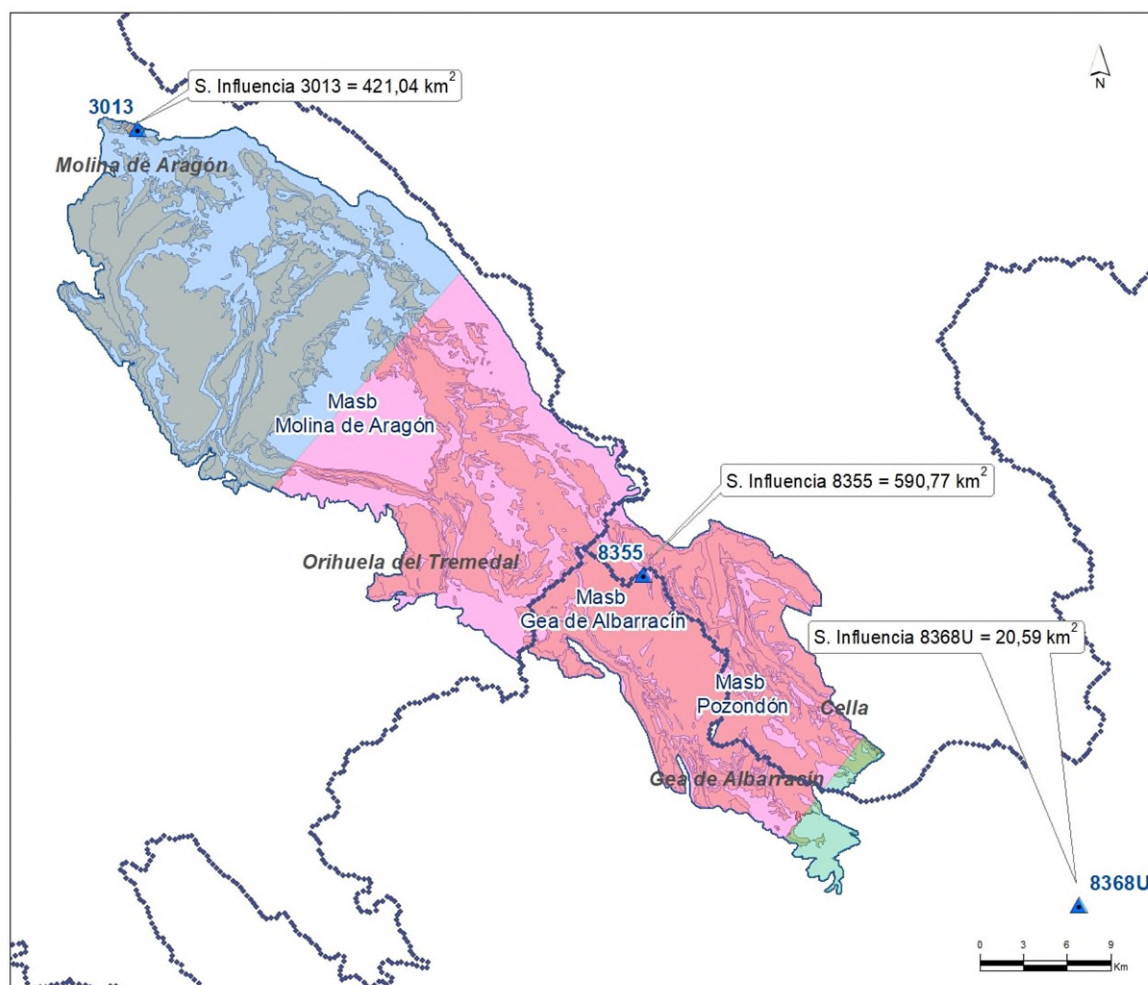


Figura 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen

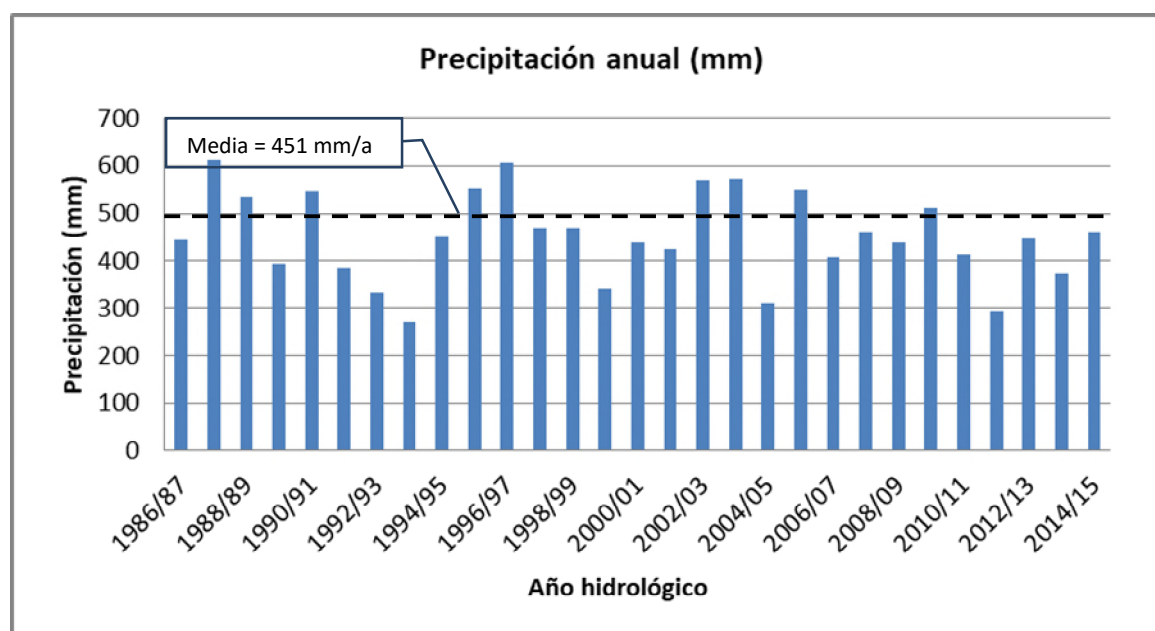


Figura 4.4. Hietograma anual de la precipitación media caída en la MASb

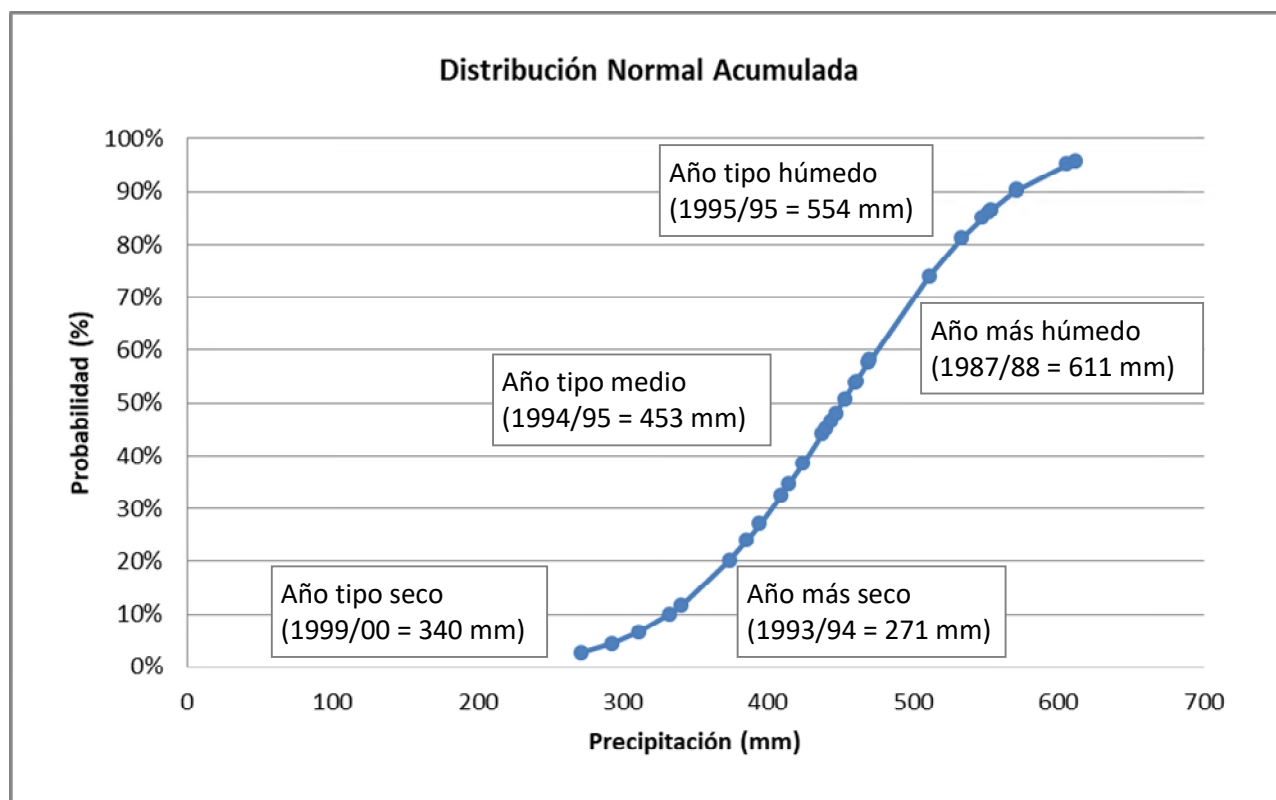


Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos

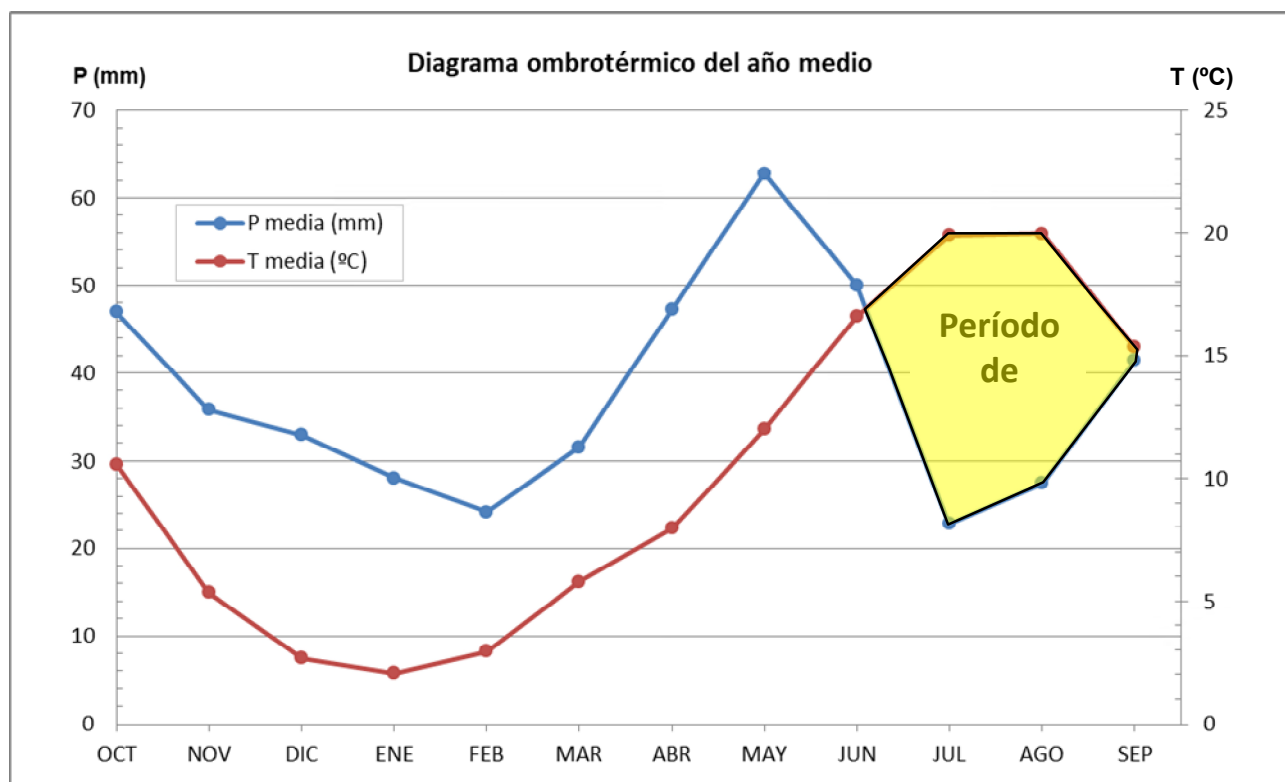


Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio

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 otras 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 “Molina-Pozondon-Gea” 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 detríticos 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:

$$R = [(A + P + 3 L + 2 I + S) / 0.9] \cdot Fh$$

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 parámetro 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
A Altitud	≤ 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
P Pendiente	≤ 3	10
	(3-8)	9
	(8-16)	8
	(16-21)	7
	(21-31)	5
	(31-46)	4
	(46-76)	3
	(76-100)	2
	> 100	1
Parámetro	Litología	Puntuación
L Litología	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 cálcicos	9
	Regosoles calcáreos y Fluvisoles	8
	Regosoles eútricos, dístricos y Solonchaks	7
	Cambisoles cálcicos	6
	Cambisoles eútricos	5
	Histosoles eútricos, Luvisoles órticos y cálcicos	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 puntúa 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 1.000 y 1.821 m.s.n.m. con rangos de pendientes suaves. La zona de cotas más altas se encuentra en las proximidades de la Sierra de Albarracín.

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, pizarras y lutitas se les ha asignado un valor de 1 punto, las margas y margocalizas tienen un valor de 2 puntos, el valor de 3 puntos se ha reservado para las areniscas y conglomerados, mientras que a gravas se les ha asignado un valor de 4 puntos. Para las dolomías y las calizas tableadas de la Fm. Yátora y El Predregal se les ha dado un valor de 5 puntos, un valor de 6 puntos para las calizas bioclásticas de las Fms Barahona y Cerro del Pez, el valor de 7 puntos se ha reservado para las Carniolas de la Fm. Cortes de Tajuña e Imón y por último el valor más alto se ha reservado para los travertinos y tobas. Su distribución espacial se recoge en la Figura 5.1.

Parámetro Estructuras de Infiltración preferencial (I)

En la zona sureste de la MASb un campo de dolinas al que se le ha asignado un valor de 10 puntos ya que corresponde a una zona endorreica que concentra la escorrentía superficial y favorece la infiltración preferencial. Al resto de la zona se le ha asignado la 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 cambisoles calcáricos (con un valor de 6 puntos) y eútricos (con un valor de 5 puntos), seguidos de Fluvisoles eútricos con un valor de 8 puntos y algún planosol con un valor de 2 puntos. Su distribución se recoge en la Figura 5.1.

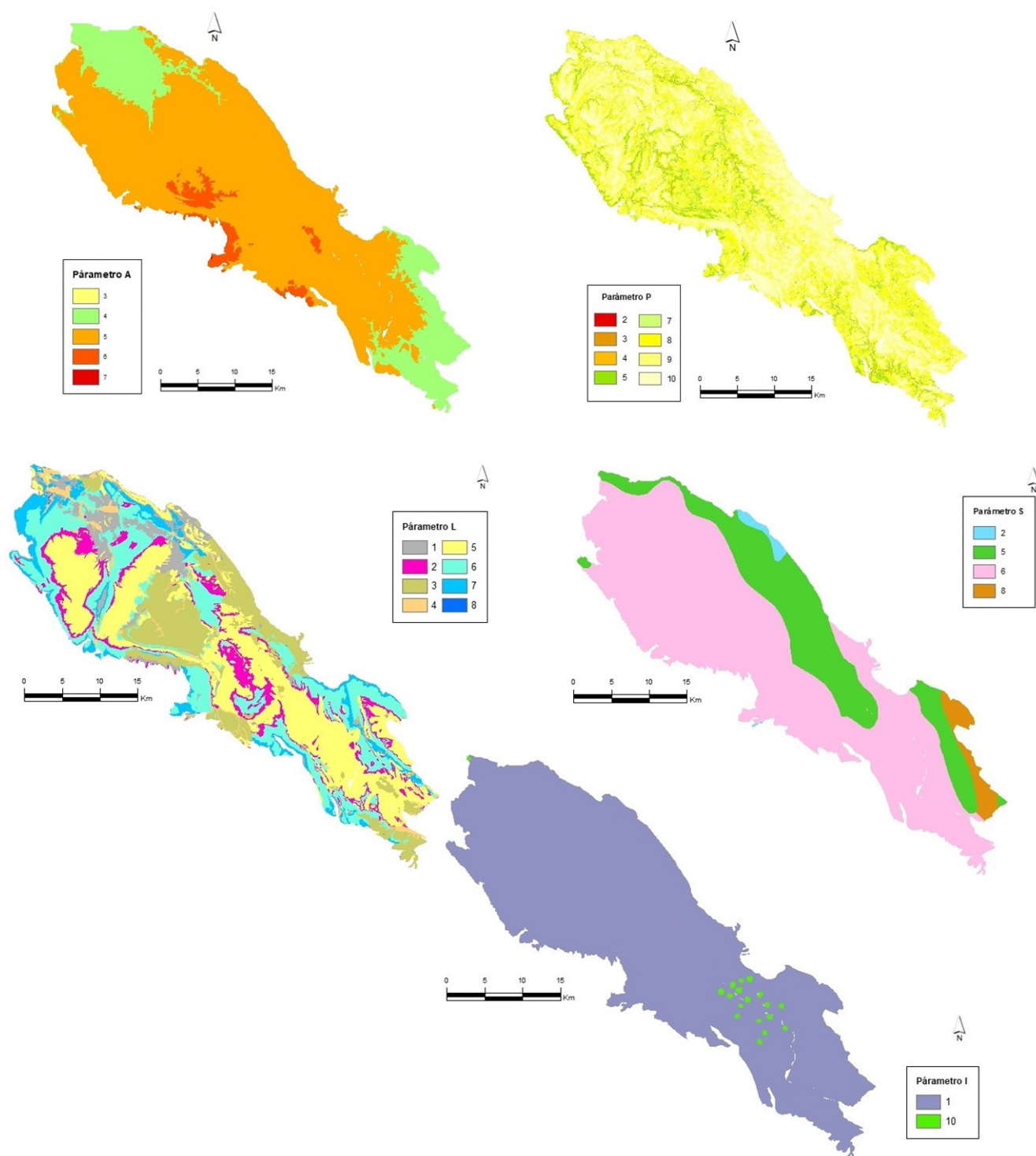


Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) y Suelo (S) para el método APLIS.

Factor de corrección (Fh): El método APLIS es representativo de la recarga de acuíferos en macizos carbonatados karstificados. Para la MASb Molina de Aragón – Pozondón - Gea de Albarracín, ya que sus características geológicas e hidrogeológicas, corresponden a afloramientos

de naturaleza carbonatada, no se considera necesario aplicar un factor de corrección el factor de corrección (Fh) de para la recarga calculada por APLIS.

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
Intervalos de recarga (% precipitación)	≤ 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 MASb Molina de Aragón - Pozondón - Gea de Albarracín, 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 MASb Molina de Aragón - Pozondón - Gea de Albarracín obtenida por el método APLIS es de **38,47 %** para toda su superficie (37,66% en la cuenca del Tajo, 40,1 % en la cuenca del Júcar y 40,69 % en la del Ebro), incluyendo los materiales poco permeables. Esta recarga va desde un 18,88 a un 66,66%, comprobándose que, las zonas de mayor recarga corresponden a los afloramientos permeables de calizas jurásico tal y como puede observarse en la Figura 5.2. Así mismo se puede observar que los campos de dolinas presentan la tasa de recarga más alta de toda la zona de estudio. Aplicando la distribución obtenida en la totalidad de la MASb, con una superficie de 1.032,42 km² a la precipitación media obtenida por polígonos de Thiessen, la recarga media anual del acuífero debida a la infiltración de la lluvia sería de **179.16 hm³/año**, valor acorde con los estudios de recarga previos. Por cuencas se distribuye en **27.09 hm³/año** en el **Ebro**, **28.57 hm³/año** en el **Júcar** y **123.48 hm³/año** en la Cuenca del **Tajo**.

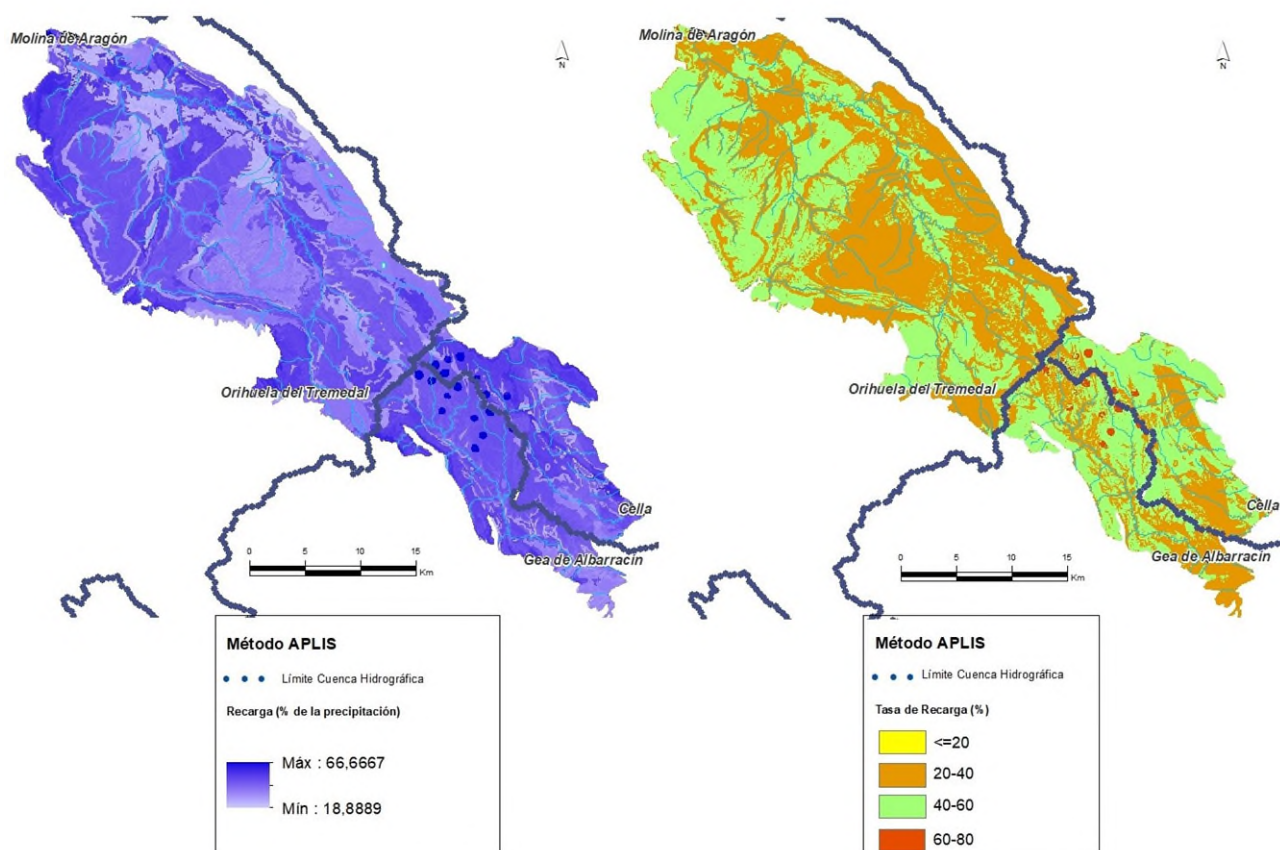


Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS)

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 interceptación, 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 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 obtenidos 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 el 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
EL SUELO EDÁFICO	
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
DATOS GEOGRÁFICOS	
Latitud	40° 38' 30"
(1) Área (km ²)	546.27
INTERCEPCIÓN	Sin intercepción
RECARGA EN TRÁNSITO (O LLUVIA EFICAZ) DIFERIDA	Método convencional
FLUJO PREFERENTE	Sin flujo preferente
Evapotranspiración potencial (ETP)	Método de Thornthwaite
Evapotranspiración real (ETR)	Penman-Grindley modificado
CRPG (mm)	0
CEPG (adimensional)	1
ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	Número de curva
Lluvia mínima del aguacero (en mm)	0
Número de curva	50
LA ZONA NO SATURADA	Método implícito
Coefficiente de agotamiento del flujo hipodérmico (días ⁻¹)	0,0077
Permeabilidad vertical (mm/día)	1000
Coefficiente de agotamiento de la recarga al acuífero (días ⁻¹)	0.6931 (1 día)
Humedad inicial (mm)	0
ZONA SATURADA: ACUÍFERO	Método de una celda.
Coefficiente de agotamiento del acuífero o descarga subterránea (días ⁻¹)	0.0039 (180 días)
Coefficiente de almacenamiento del acuífero (adimensional)	0.02
Nivel inicial en el acuífero (m)	1100
Nivel de descarga del acuífero ⁽²⁾ (m)	1020

(1) Superficie correspondiente a los afloramientos carbonatados permeables

(2) Cota del manantial 2622-3-0001 (Fuente de Cella)

Tabla 5.4. Recarga estimada por cuencas hidrográficas (1986/87-2014/15) en la MASb Molina de Aragón - Pozondón - Gea de Albarracín (acuífero jurásico) mediante VISUAL BALAN

Cuenca hidrográfica	Afloramientos (km ²) carbonáticos	Precipitación (mm)	Infiltración lluvia (mm)	Infiltración (hm ³ /a)
Tajo ⁽¹⁾	386.49	450.8	206.4	79.8
Ebro ⁽¹⁾	36.38	450.8	206.4	7.5
Júcar ⁽¹⁾	123.50	450.8	206.4	25.5
Total acuífero	546.37	450.8	206.4	112,8

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

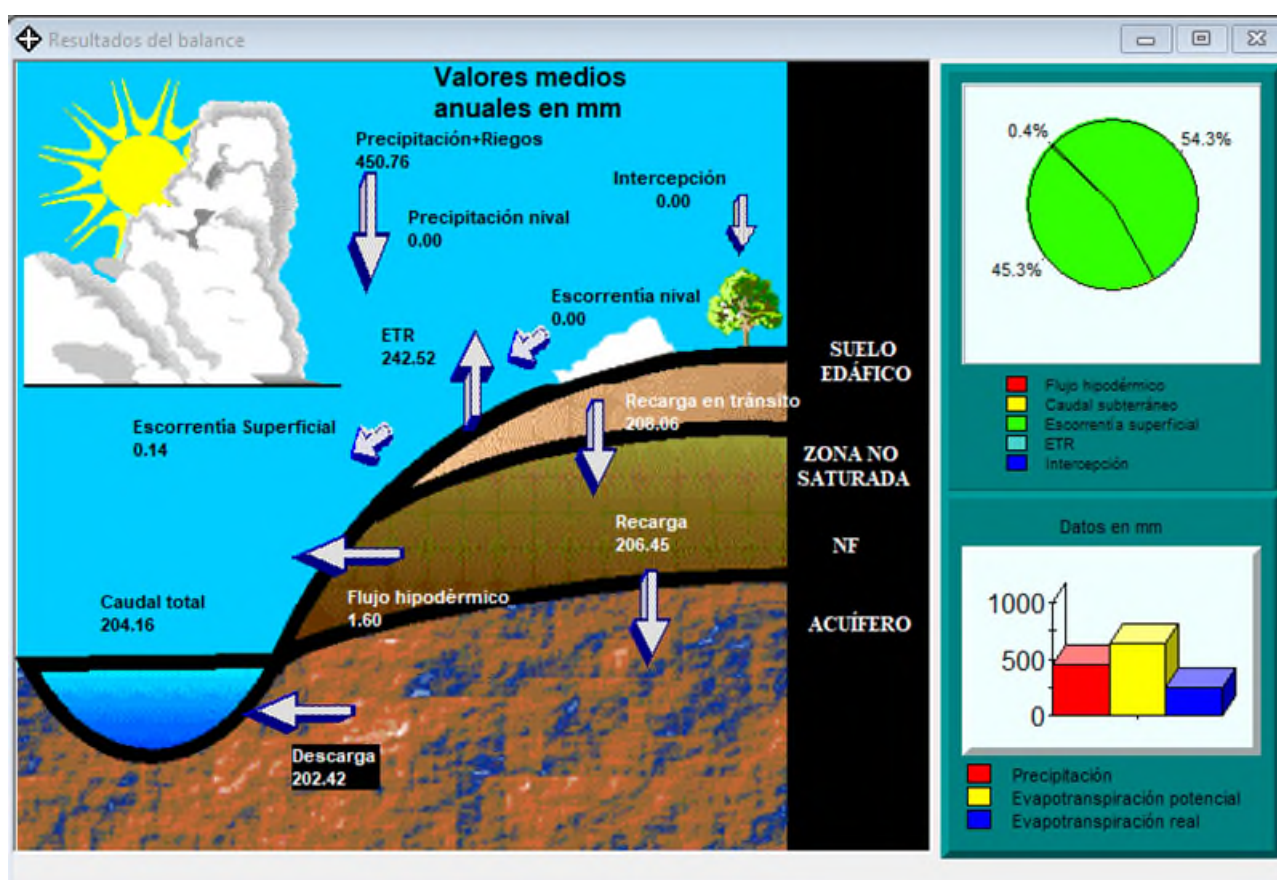


Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la MASb Molina de Aragón - Pozondón - Gea de Albarracín (acuífero jurásico) (1986/87-2014/15)

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.

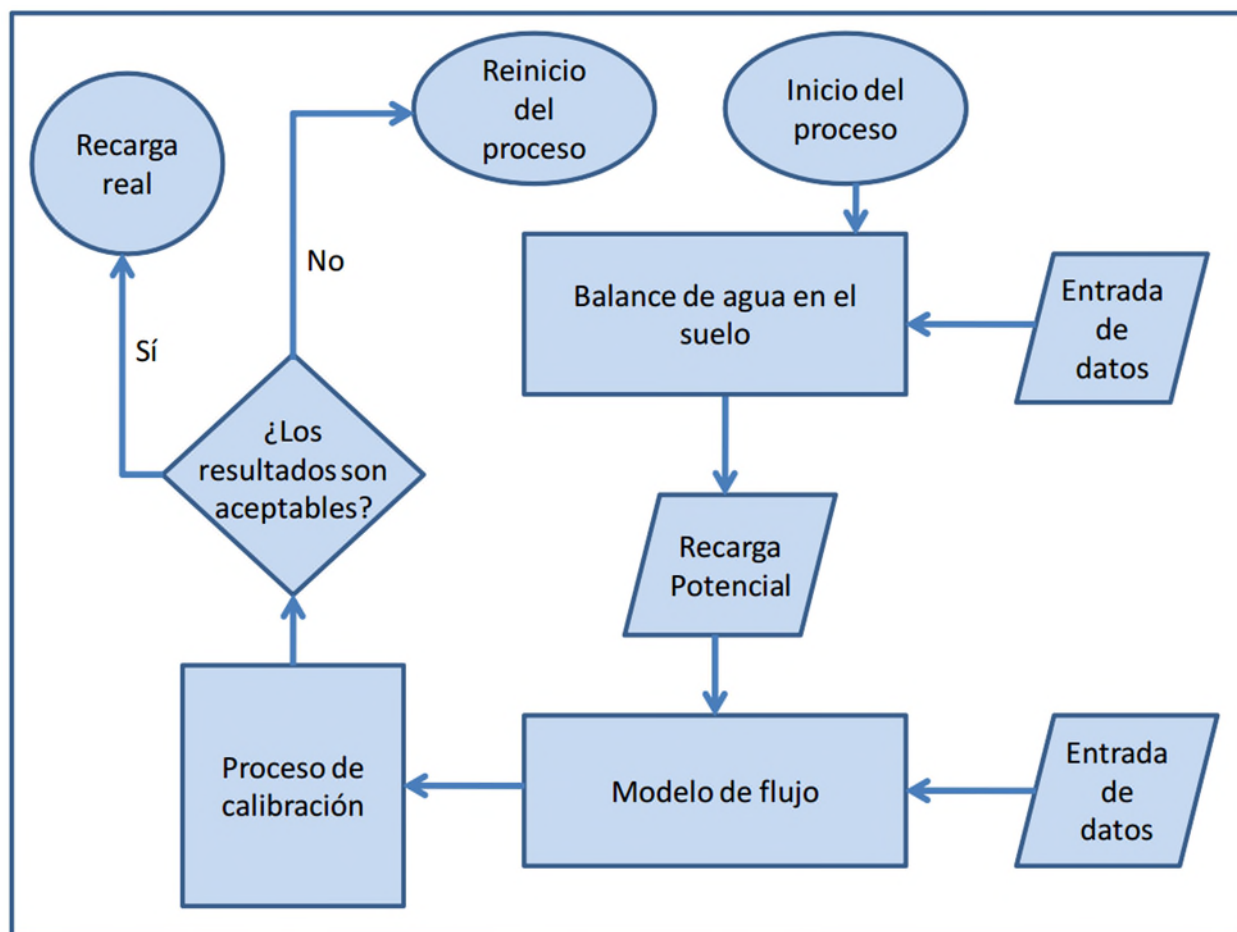


Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA

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.

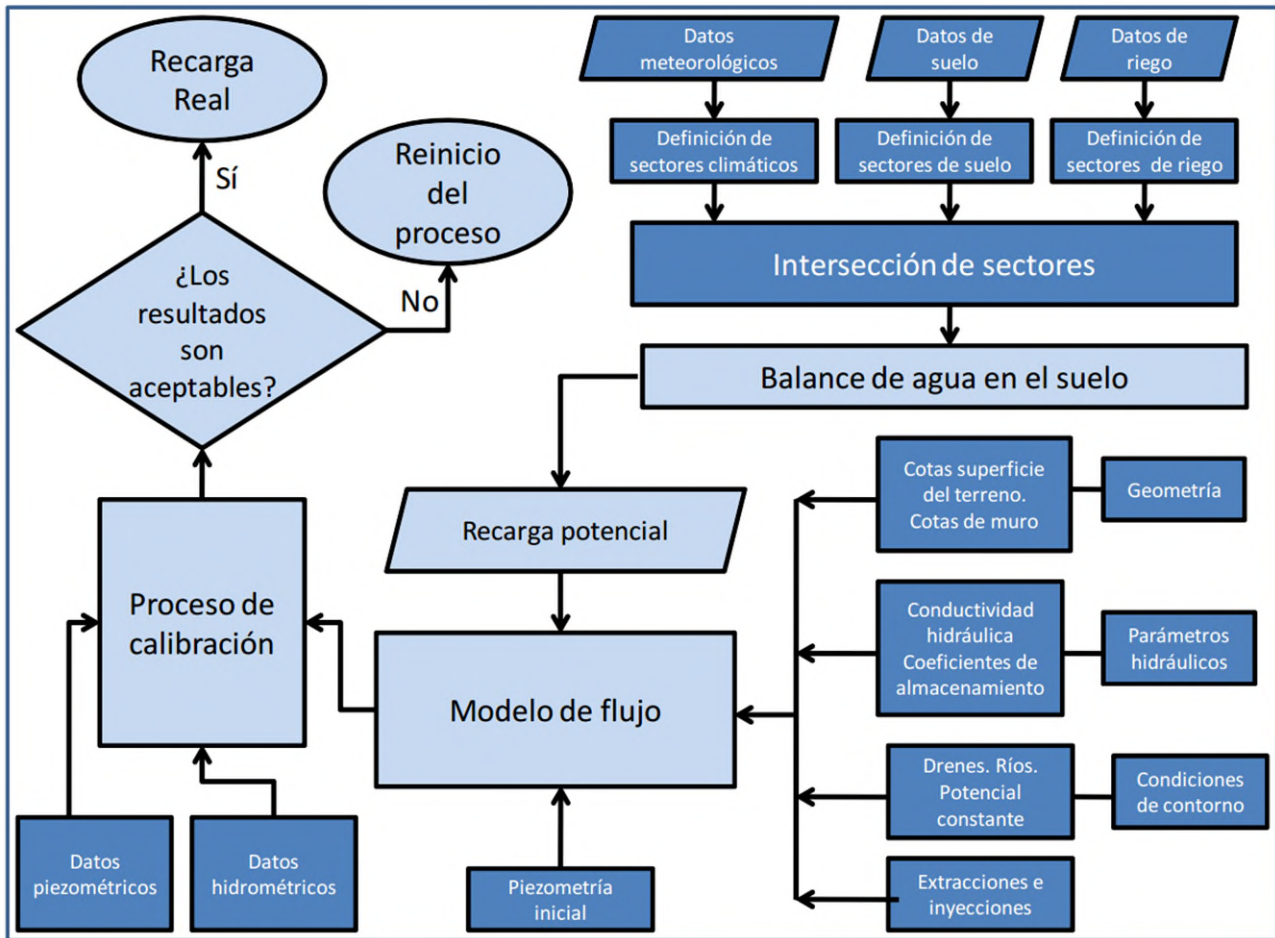


Figura 5.5. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.

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: 588000 - 646000 e Y: 4468000 - 4523000 en la que queda enmarcada la superficie sujeta al cálculo y estimación de la recarga.

La malla definida consta de 55 filas y 58 columnas con celdas de tamaño 1x1 km. Las de tipo activo (superficie permeable) ocupan una extensión de 1008 km².

El cálculo de la recarga se ha realizado a nivel diario en cada una de las celdas activas del mallado para un periodo de 30 años, comprendidos entre 1986 y 2015.

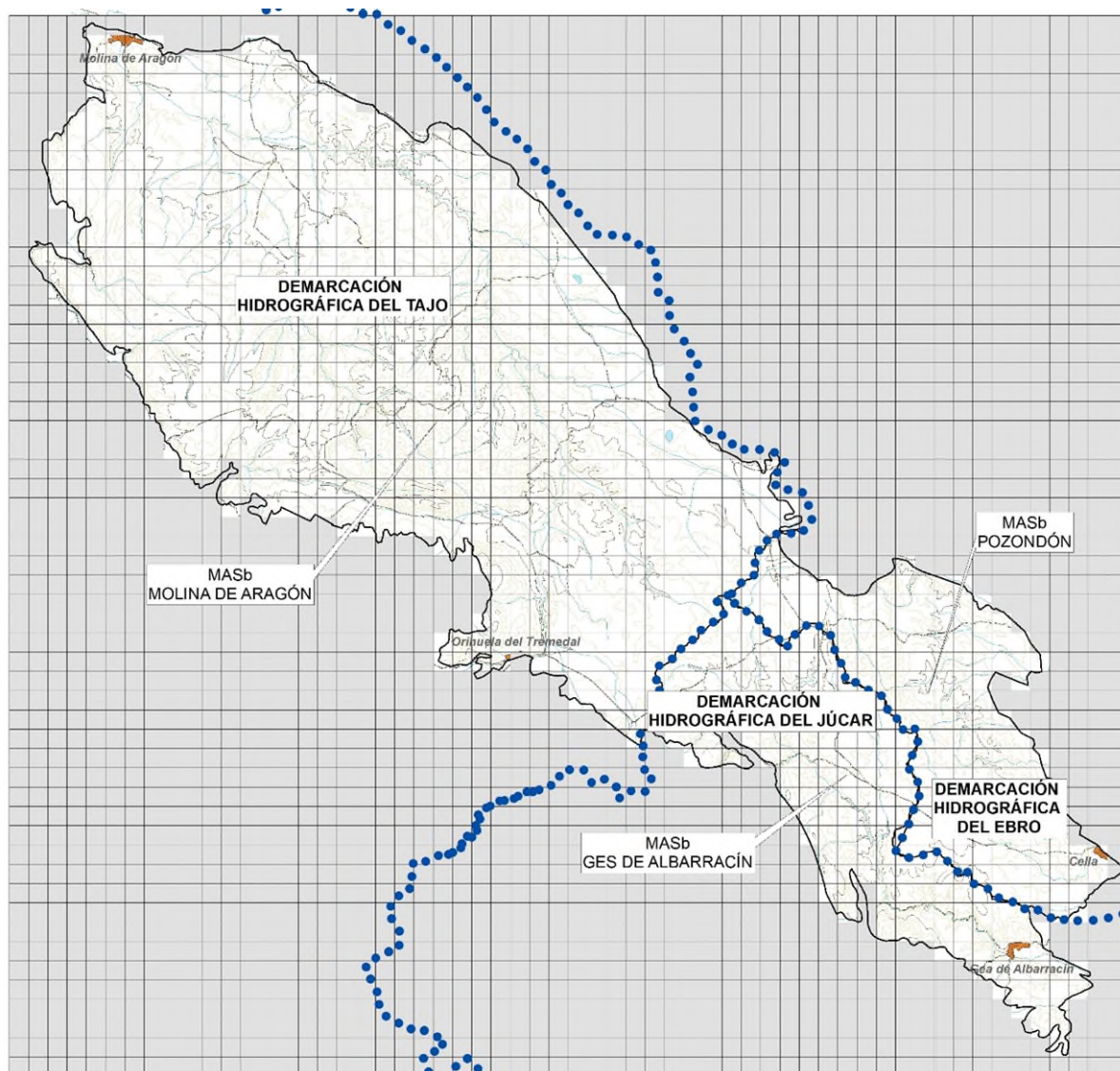


Figura 5.6. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA.

Sectores climáticos

Para la definición de los sectores climáticos se han utilizado tres estaciones pluviométricas (3013-MOLINA DE ARAGÓN, 8355-POZONDÓN D.G.A. y 8368U-TERUEL). A cada una de ellas se le han asignado sus series termométricas para determinar la ETP.

Tabla 5.5. Características de los sectores climáticos (1986-2015)

Sector climático	Estación pluviométrica	Superficie (km ²)	Precipitación media (mm/a)	ETP media (mm/a)
3013	3013-Molina de Aragón	406	452,8	660,4
8355	8355-Pozondón	578	452,7	627,3
8368U	8368U-Teruel	24	372,1	713,3

Los sectores climáticos que se han determinado por el método de los polígonos de Thiessen (ver capítulo de climatología, 4 CLIMATOLOGÍA) 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).

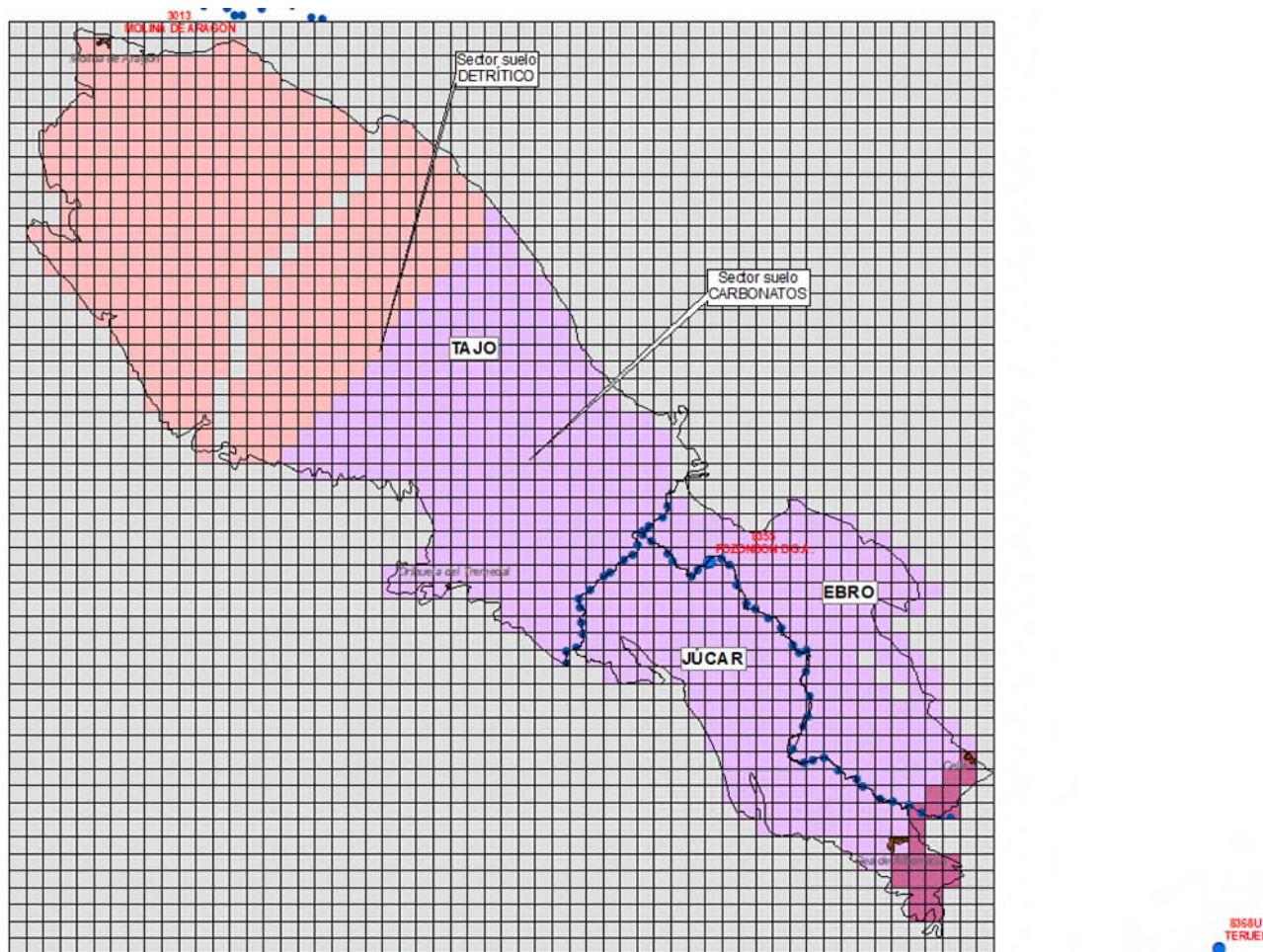


Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA

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 detríticos) (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.

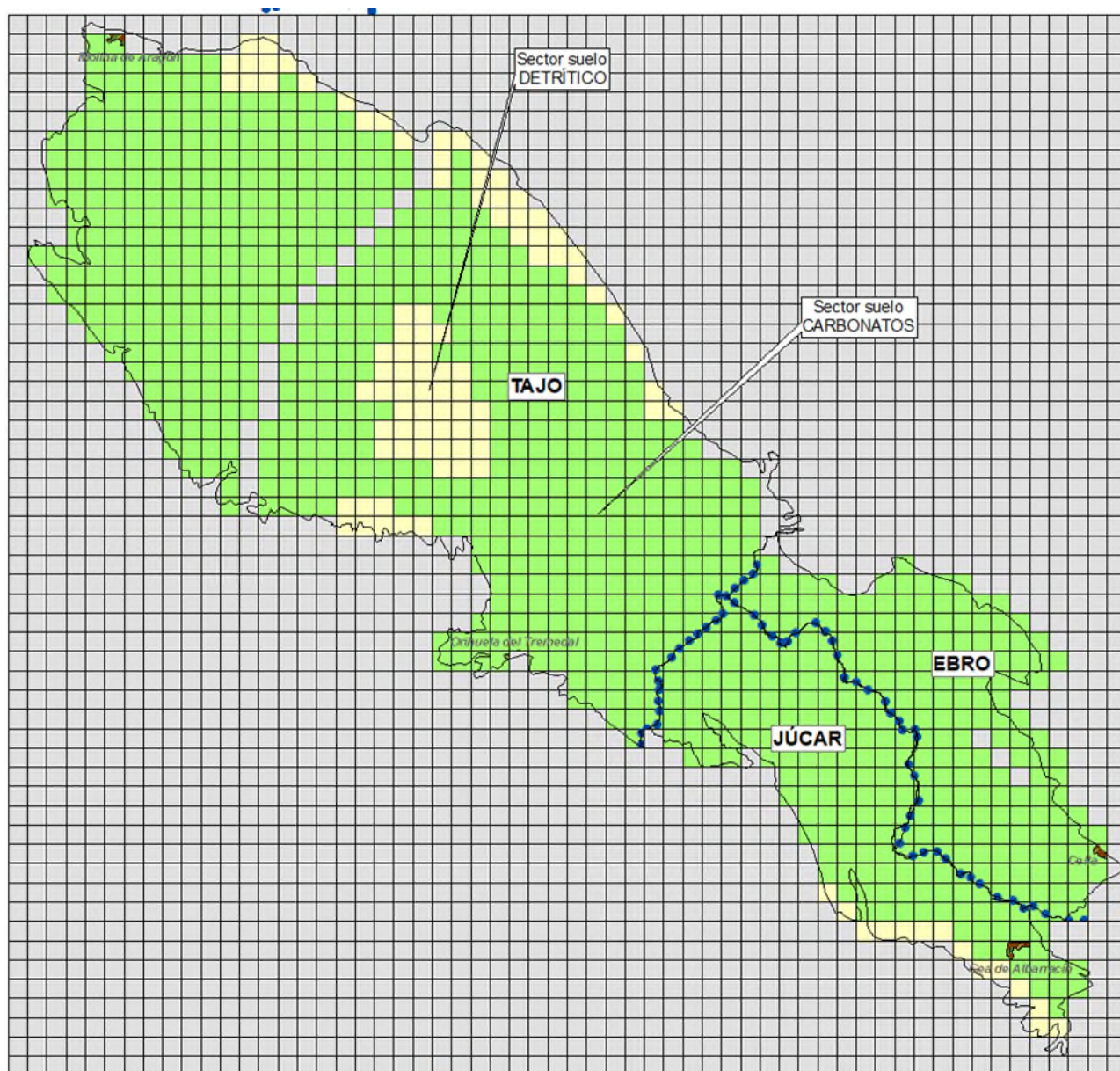


Figura 5.8. Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.

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 ²)	Parámetros
Carbonatos	908	$RU_{\min}=60$
		$RU_{\max}=80$
		$P_0=80$
		$NC=39$
Detrítico	100	$RU_{\min}=180$
		$RU_{\max}=200$
		$P_0=5$
		$NC=91$

Sectores de riego

Para el cálculo de la recarga en las masas que nos ocupan los sectores de riego se han asignado en función de las superficies agrícolas descritas en el mapa de usos del suelo del Corine Land Cover. La práctica totalidad de la superficie agrícola detectada, corresponde a cultivos de secano, primordialmente cereales, sólo una pequeña zona, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro se encuentra definida como Horticultura, la cual se ha designado como superficie de riego, pero con una dotación baja.

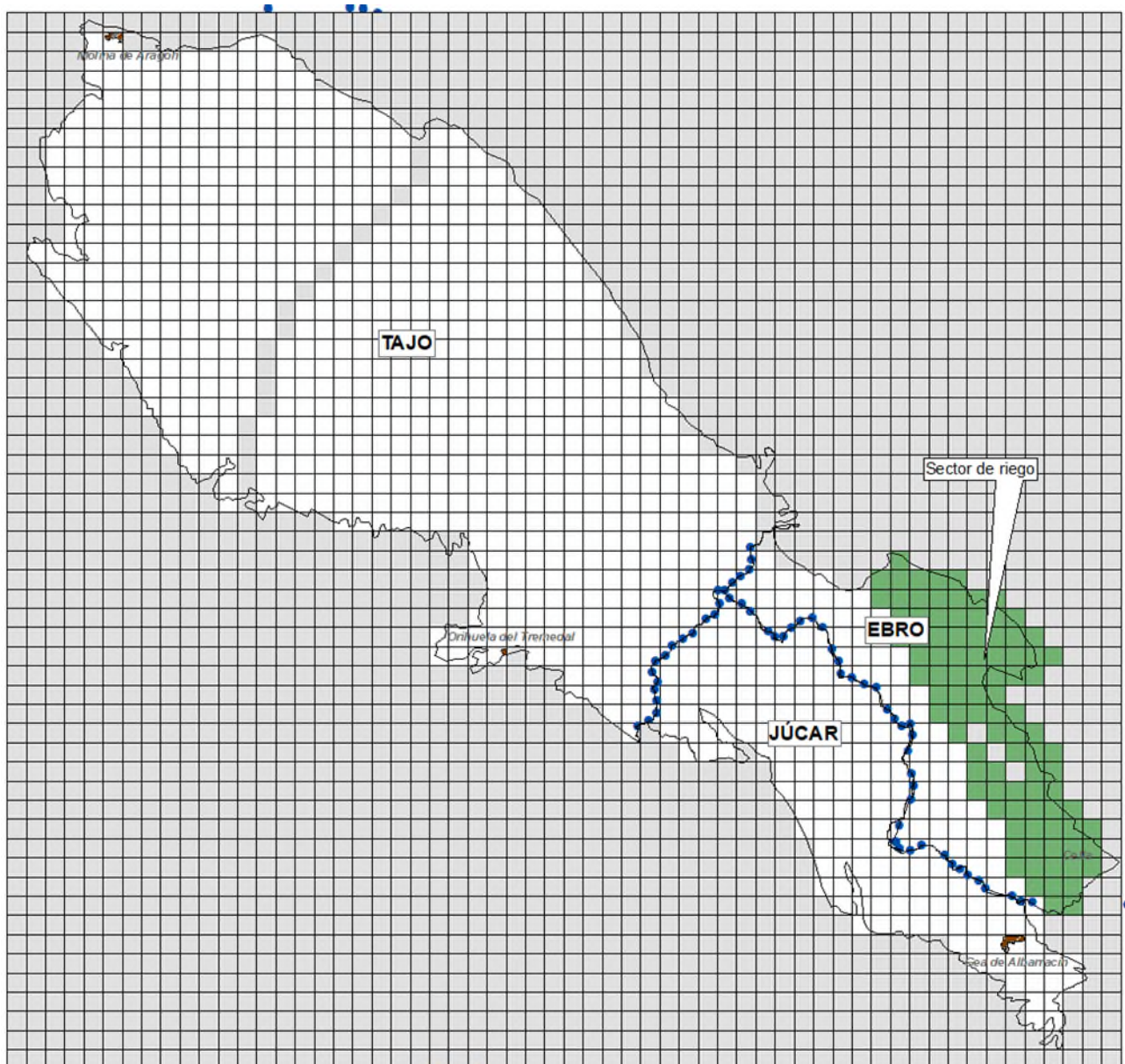


Figura 5.9. Sectores de riego asignados en el código RENATA.

Intersección de sectores y definición de áreas de recarga

En el proceso de estudio de la MASCH se han creado un total de 8 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, suelo y riego, asignados como se ha indicado anteriormente.

En la Figura 5.10 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 ²)	Sector climático	Sector de suelo	Sector de riego
1	359	3013-Molina de Aragón	Carbonatos	No
2	47	3013-Molina de Aragón	Detrítico	No
3	48	8355-Pozondon	Detrítico	No
4	443	8355-Pozondon	Carbonatos	No
5	87	8355-Pozondon	Carbonatos	Si
6	7	8368U-Teruel	Carbonatos	Si
7	12	8368U-Teruel	Carbonatos	No
8	5	8368U-Teruel	Detrítico	No

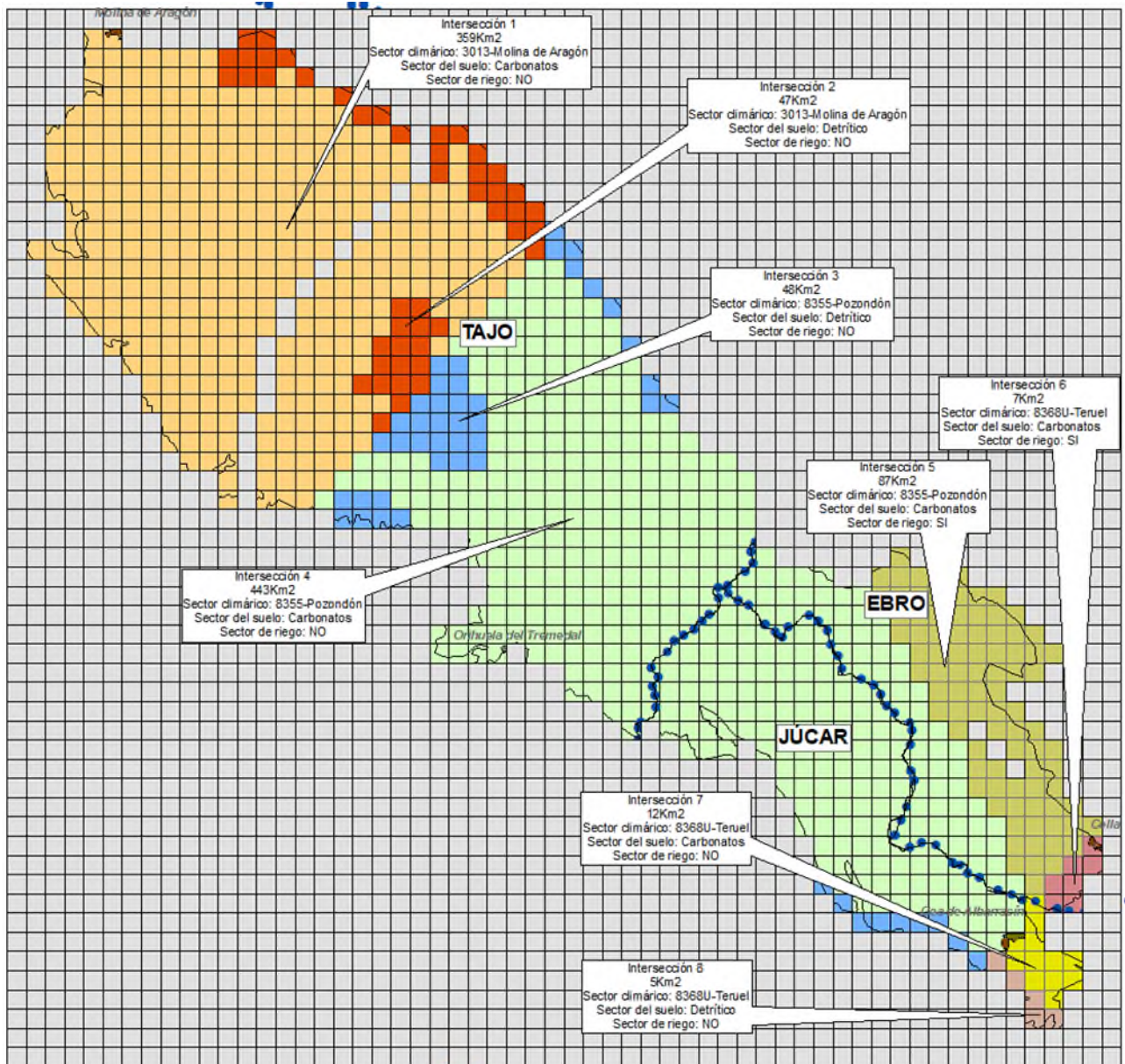


Figura 5.10. Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo

Condiciones de contorno

Todas las celdas exteriores a los límites de la MASCH Molina-Pozondon-Gea 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 la Fuente de Cella (2622-3-0001), en la propia población de Cella y en el otro extremo, al noroeste, en la Demarcación Hidrográfica del Tajo, los manantiales que vierten al río Gallo, 2520-2-0009, en Chera, 2520-6-0006 en Anquela del Pedegal, 2520-1-0012 y 2420-4-0003 en Castilnuevo, 2520-1-0006 y 2520-1-0004, manantiales de Abastecimiento urbano en Prados Redondos.

Dentro de la condición de río se han representado los principales de la zona como son, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Tajo, el río Gallo y sus tributarios Rambla de Hornachones y Rambla de Piqueras, de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, la Rambla del Coscojar y, en la

Demarcación Hidrográfica del Júcar, el río Túrria o Guadalaviar y su tributario la Rambla de Monterde.

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 del Lias inferior por los que se produce el drenaje hacia la MASb adyacente, Cella-Ojos de Monreal, de la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

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

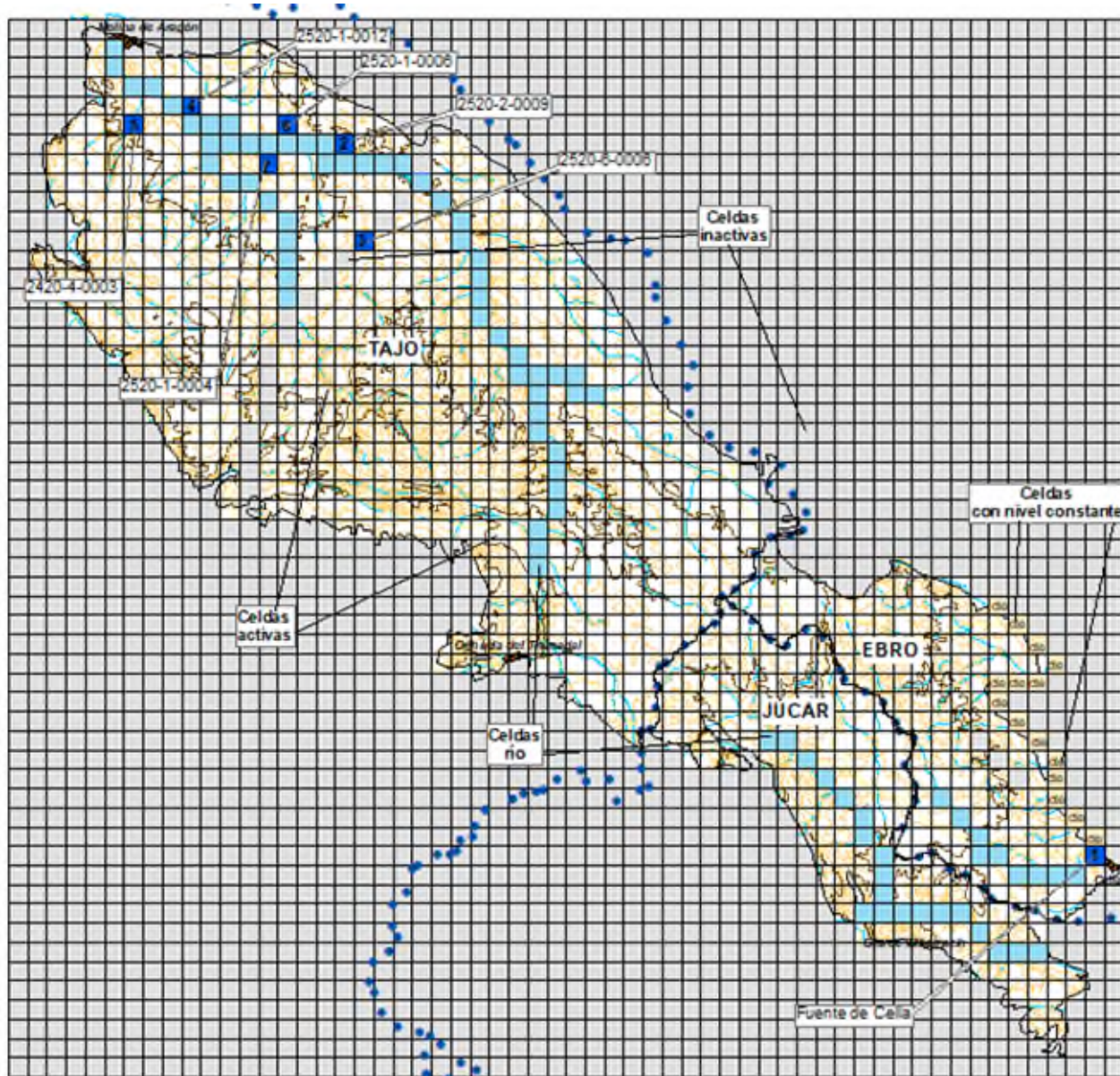


Figura 5.11. Condiciones en los límites del modelo de flujo

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 700 m s.n.m.

Parámetros hidráulicos

Dado que no existen datos de parámetros hidráulicos obtenidos de ensayos específicos, salvo el del ensayo de bombeo realizado en el piezómetro 09.721.03 mencionado en el capítulo 3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA, 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 agua subterránea 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 Molina-Pozondon-Gea se encuentra prácticamente 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 9 piezómetros existentes en la zona, cuatro de ellos en la cuenca del Tajo (PZ03.01.003-Prados Redondos, PZ03.01.201-Torre Cuadrada de Molina, PZ03.01.202-Tordellego y PZ03.01.001-Orihuela del Tremedal), tres en la del Ebro (09.721.02 o 2621-5-0008- Pozondón Dogger MMA. Eras Altas, 09.721.03 o 2622-3-0055-cella MMA. Hoya El Moro y 09.721.05 o 2621-5-0006-Pozondo Lías MMA. Eras Altas) y 2 piezómetros más en la Cuenca del Júcar (08.01.002-Monterde de Albarracín y 08.03.002-Gea de Albarracín).

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 escurrimiento 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 piezómetros de los que se tiene datos de nivel en la MASCH compartida, 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 5.12 se muestra la evolución de los niveles de los 9 piezómetros y el ajuste obtenido con la piezometría calculada en la simulación. En general, en la mayoría de los piezómetros se ha conseguido una calibración bastante buena con RENATA.

En el piezómetro 0301001, situado en la cuenca del Tajo, junto a la localidad de Orihuela del Tremedal, no se consigue una calibración adecuada. Esto puede ser debido a la proximidad al límite de la MASCH o a la complicada estructura geológica existente en ese borde. 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 otros dos piezómetros (09.721.002 y 09.721.005), pertenecientes a la Demarcación del Ebro tampoco se ha conseguido la calibración óptima, pero en este caso, al encontrarse en la misma ubicación, pero cortar distintas formaciones (calizo-dolomítica del Lías inferior y carbonatada del Dogger respectivamente), la falta de calibración se deba a la simplificación de la simulación.

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.

Tabla 5.8. Recarga en cada una de las áreas (1986-2015)

Área	Superficie (km ²)	Sector climático	Sector del Suelo	Recarga por precipitación (hm ³ /a)	Retorno de riego (hm ³ /a)	Recarga total (hm ³ /a)
1	359	3013-Molina de Aragón	Carbonatos	31,84	0,00	31,84
2	47	3013-Molina de Aragón	Detrítico	0,48	0,00	0,48
3	48	8355-Pozondon	Detrítico	0,82	0,00	0,82
4	443	8355-Pozondon	Carbonatos	44,59	0,00	44,59
5	87	8355-Pozondon	Carbonatos	8,76	0,21	8,97
6	7	8368U-Teruel	Carbonatos	0,19	0,02	0,21
7	12	8368U-Teruel	Carbonatos	0,32	0,00	0,32
8	5	8368U-Teruel	Detrítico	0,001	0,00	0,001

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 carbonatico y detrítico (1986-2015)

Área	Superficie (km ²)	Parámetros	Precipitación (P) media (hm ³ /a)	Recarga media (R) (hm ³ /a)	Tasa de recarga
Carbonatos	908	RU _{min} =60 RU _{max} =80 P ₀ =80 NC=39	410,86	85,75	18,81%
Detrítico	100	RU _{min} =180 RU _{max} =200 P ₀ =5 NC=91	45,01	1,30	0,29%

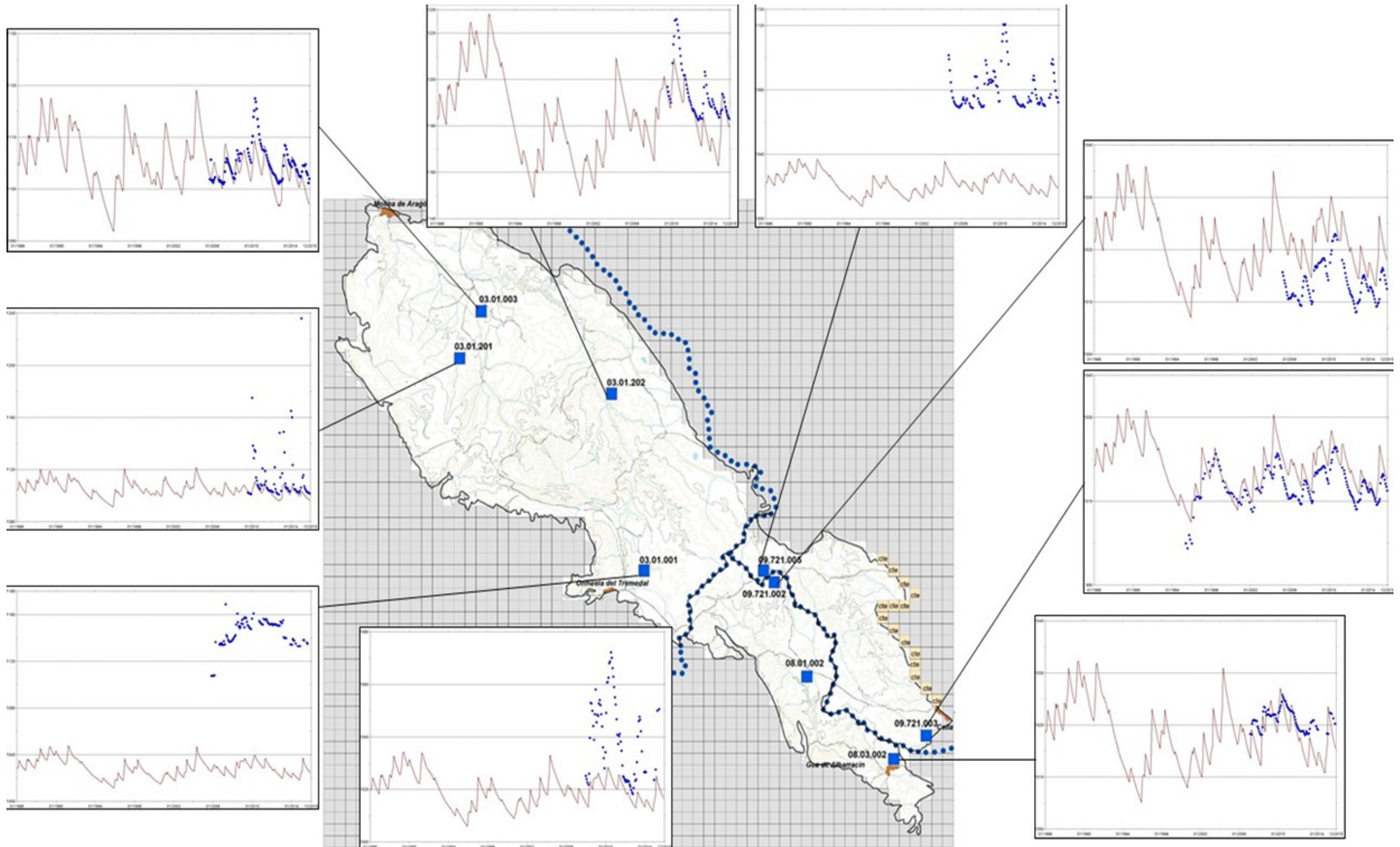


Figura 5.12. Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros

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 (1986-2015)

Demarcación Hidrográfica	Superficie (km ²)	Precipitación (hm ³ /a)	Infiltración (hm ³ /a)	Recarga total (hm ³ /a)
Tajo	683	318,30	58,27	58,27
Ebro	163	71,47	15,23	15,46
Júcar	162	66,09	13,56	13,56
Total MASCH	1008	455,87	87,06	87,29

En la Figura 5.13 se refleja la piezometría que aporta la simulación realizada con el código RENATA en la MASCH Molina-Pozondon-Gea.

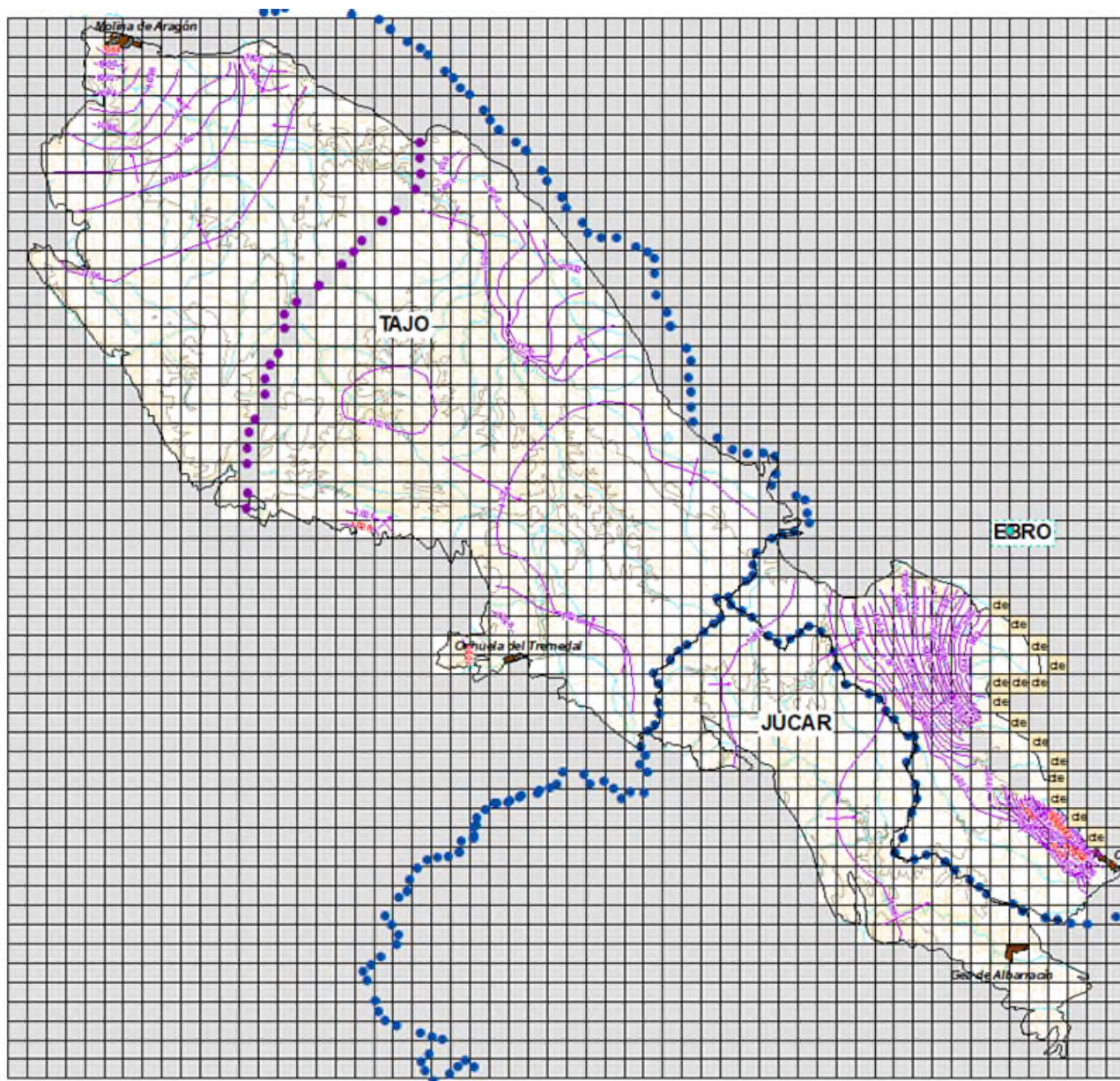


Figura 5.13. Piezometría representada en Renata para el régimen permanente

En la Figura 5.14 se muestra una captura de la pantalla de calibración del modelo con los resultados expuestos en las tablas anteriores.

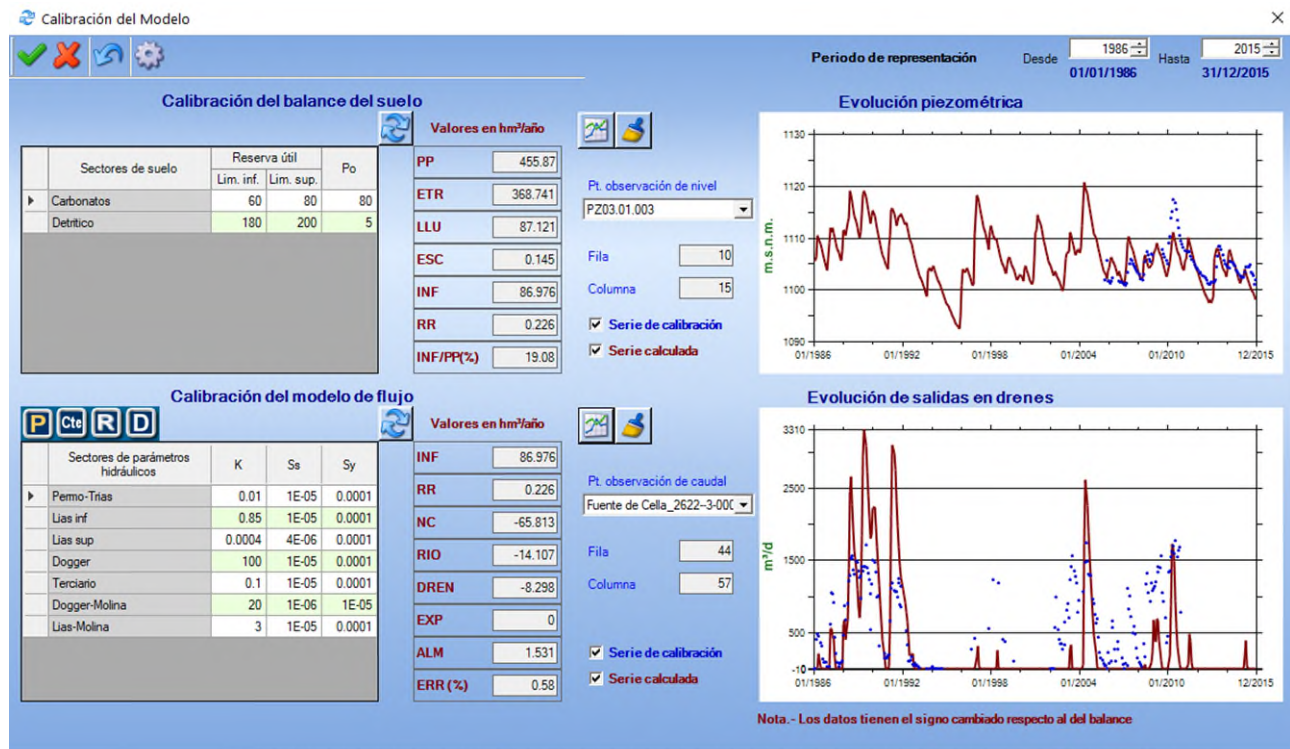


Figura 5.14. Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo

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 Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) mediante la utilización de los métodos APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1986-2015)

Método	Recarga (hm ³ /a)				Tasa de recarga por precipitación
	Tajo	Ebro	Júcar	TOTAL	
APLIS	123,48	27,09	28,57	179,16	38,47%
VISUAL BALAN	79,80	7,50	25,50	112,80	24,74%
RENATA	58,27	15,46	13,56	87,29	19,14%

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

La diferencia que presentan los tres métodos puede ser debida a que el acuífero presenta una gran superficie aflorante de materiales carbonatados, en algunas partes karstificados y con una distribución muy heterogénea en toda su extensión, lo que hace difícil aplicar unas características comunes a todo el acuífero.

Los valores obtenidos con el código RENATA son menores con respecto a los otros métodos, ya que, en RENATA, al disponer de las medidas de los piezómetros en la fase de calibración del modelo, se ha ajustado mucho el umbral de escurrimiento hasta valores que a priori pueden parecer poco reales, pero que demuestran el funcionamiento real del acuífero.

7. BALANCE HÍDRICO EN 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 Molina-Pozondón-Gea, durante el periodo 1986-2015, son de 87,18 hm³/a. De este volumen, como se muestra en la Tabla 7.1, en la Demarcación Hidrográfica del Tajo se generan 57,10 hm³/a, lo que supone un 65,50% del total de los recursos generados en la MASCH, mientras que 15,83 hm³/a se generarían en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, que suponen un 18,20% y 14,25 hm³/año en la del Júcar, que supone un 16,30%.

Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen natural estacionario de la MASCH de Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) por Demarcaciones Hidrográficas

Demarcación Hidrográfica	Entradas		Salidas		
	Recarga (hm ³ /a)	Infiltración ríos (hm ³ /a)	Descarga a ríos (hm ³ /a)	Descarga por manantiales (hm ³ /a)	Salidas laterales fuera de la MASCH (hm ³ /a)
Tajo	57,10 (65,5%)	0,73	14,91	7,84	0,00
Ebro	15,83 (18,2%)	0,33	0,00	0,00	67,49
Júcar	14,25 (16,3%)	0,00	0,00	0,00	0,00
Total MASCH	87,18	1,06	14,91	7,84	67,49

Los recursos del acuífero drenados por manantiales en régimen natural, se distribuyen de la siguiente manera: por las surgencias de los manantiales de la Demarcación Hidrográfica del Tajo (2520-2-0009, 2520-6-0006, 2520-1-0012, 2520-1-0004 y 2420-4-0003), se descargan un total de 7,84 hm³/a, mientras que por la Fuente de Cella (2622-3-0001), de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, en la simulación realizada no se produce descarga, quedando englobada en la salida total (67,49 hm³/a) por el límite constante, como descarga subterránea lateral de la MASCH hacia la MASb Cella-Ojos de Monreal, también en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

En cuanto a los recursos que se drenan directamente a cauces, en la Demarcación Hidrográfica del Tajo la descarga neta es de 14,18 hm³/a, a través de los cauces del río Gallo, rambla de Hornachuelos y Rambla Piqueras, por el río Turia no drenaría nada, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar y en cambio, en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, la rambla del Coscojar que finaliza en la Fuente de Cella, no drenaría nada, sino que infiltraría al acuífero 0,33 hm³/año.

8. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN INFLUENCIADO

Dada la escasa explotación de la MASCH, apenas hay variación entre el régimen permanente y el influenciado, ya que solo se han considerado unos retornos de riego de 0,33 hm³/a.

Los recursos renovables en régimen influenciado que proporciona el código RENATA para el acuífero del Jurásico (Lías inferior y Dogger) de la MASCH Molina-Pozondón-Gea, durante el periodo 1986-2015, son de 87,07 hm³/a. De este volumen, como se muestra en la Tabla 7.1, en la Demarcación Hidrográfica del Tajo se generan 56,99 hm³/a, lo que supone un 65,45% del total de los recursos generados en la MASCH, mientras que 15,83 hm³/a se generarían en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, que suponen un 18,18% y 14,25 hm³/año en la del Júcar, que supone un 16,37%.

Tabla 8.1. Balance hídrico en régimen influenciado de la MASCH de Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) por Demarcaciones Hidrográficas

Demarcación Hidrográfica	Recarga (hm ³ /a)	%	Descarga por manantiales (hm ³ /a)	%	Salidas laterales fuera de la MASCH (hm ³ /a)	%
Tajo	56,99	65,45%	8,18	98,55%	0,00	0%
Ebro	15,83	18,18%	0,12	1,45%	66,06	100%
Júcar	14,25	16,37%	0,00	0%	0,00	0
Total MASCH	87,07	100,00%	8,30	100%	66,06	100%

Los recursos del acuífero drenados por manantiales en régimen natural, se distribuyen de la siguiente manera: por las surgencias de los manantiales de la Demarcación Hidrográfica del Tajo (2520-2-0009, 2520-6-0006, 2520-1-0012, 2520-1-0004 y 2420-4-0003), se descargan un total de 8,18 hm³/a, mientras que por la Fuente de Cella (2622-3-0001), de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, en la simulación realizada solo descargan 0,12 hm³/a, quedando englobada el resto en la salida total (66,06 hm³/a) por el límite constante, como descarga subterránea lateral de la MASCH hacia la MASb Cella-Ojos de Monreal, también en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

En cuanto a los recursos que se drenan directamente a cauces, del total de 15,17 hm³/a, a la Demarcación Hidrográfica del Tajo descargan 14,08 hm³/a, a través de los cauces del río Gallo, rambla de Hornachuelos y Rambla Piqueras, 0,09 hm³/año lo harían por el río Turia en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, a diferencia de lo que ocurre en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, en donde la rambla del Coscojar, que finaliza en la Fuente de Cella, recargaría 0,33 hm³/año al acuífero.

En la Figura 8.1 se representa el mapa piezométrico obtenido con la simulación realizada con RENATA, que como se puede apreciar es muy similar al obtenido en régimen natural. Como se ha expuesto anteriormente para el régimen permanente, la cuenca subterránea vertiente a las Demarcaciones del SE tiene mayor superficie que su cuenca superficial, captando parte de la cuenca que superficialmente pertenece a la Demarcación Hidrográfica del Tajo. A su vez, dentro de las Demarcaciones del SE, la Demarcación Hidrográfica del Ebro recibe casi en su totalidad las aguas subterráneas provenientes de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

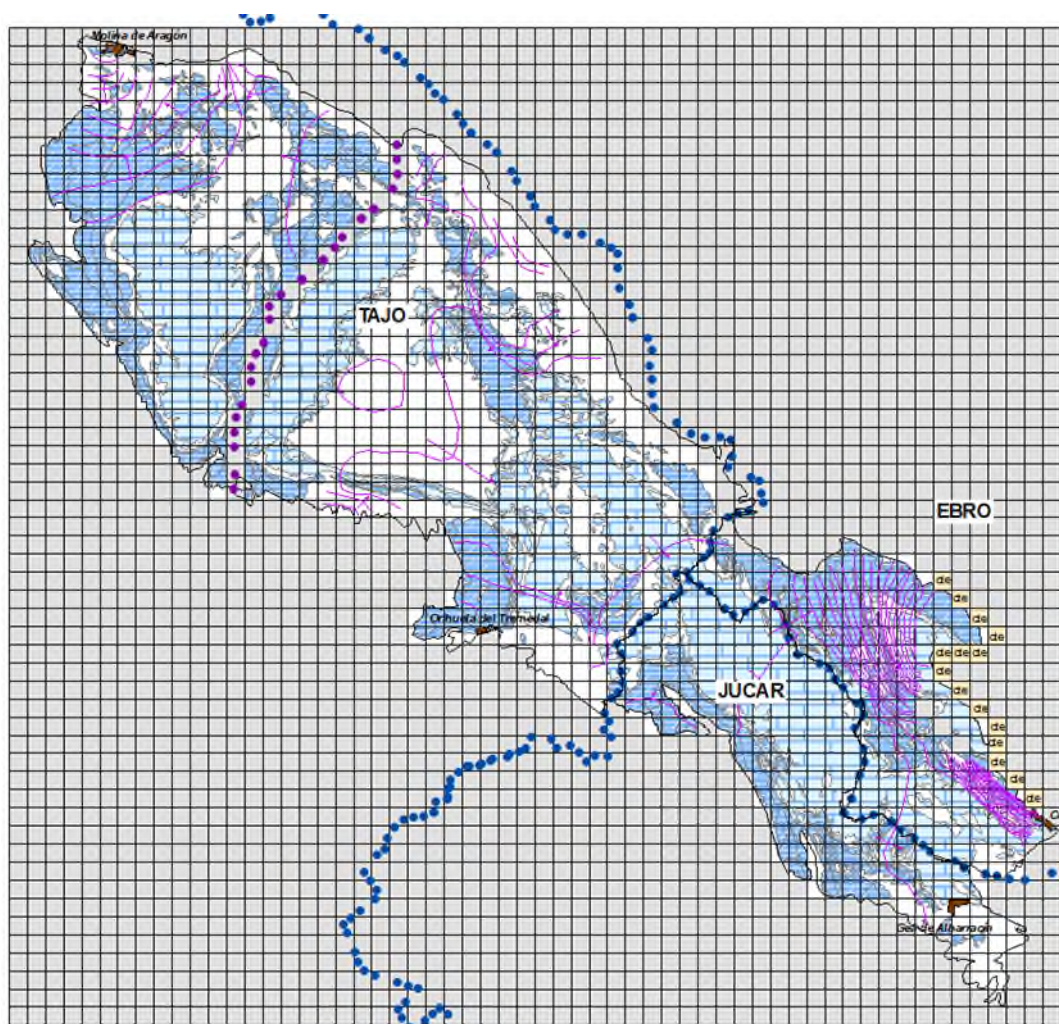


Figura 8.1. Superficie piezométrica flujo subterráneo y manantiales de la MASCH Molina-Pozondón-Gea (acuífero jurásico) en régimen transitorio

En función de la superficie subterránea de cada Demarcación Hidrográfica la generación de los recursos y su disponibilidad se distribuiría según se muestra en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2. Balance por cuencas en régimen influenciado

Demarcación Hidrográfica	Área superficial	%	Área subterránea	%	Recarga (hm ³ /año)	Transferencia entre MASb (hm ³ /año)	Salidas laterales (hm ³ /año)
Tajo	726,87	70,40%	126,51	12,25%	57,72	-36,38	0,00
Ebro	147,59	15,30%	905,91	87,75%	16,39	51,05	66,18
Júcar	157,96	14,30	0,00	0,00	14,25	-14,67	0,00
Total MASCH	1032,42	100%	1032,42	100%	88,24		66,18

(*) En las salidas laterales se incluyen las descargas del manantial de Cella.

En la Figura 8.2 se muestra resumido gráficamente el funcionamiento hidrogeológico y el balance hídrico de la MASCH y de cada una de las MASb que la forman para el régimen influenciado, obtenido de la simulación realizada con RENATA.

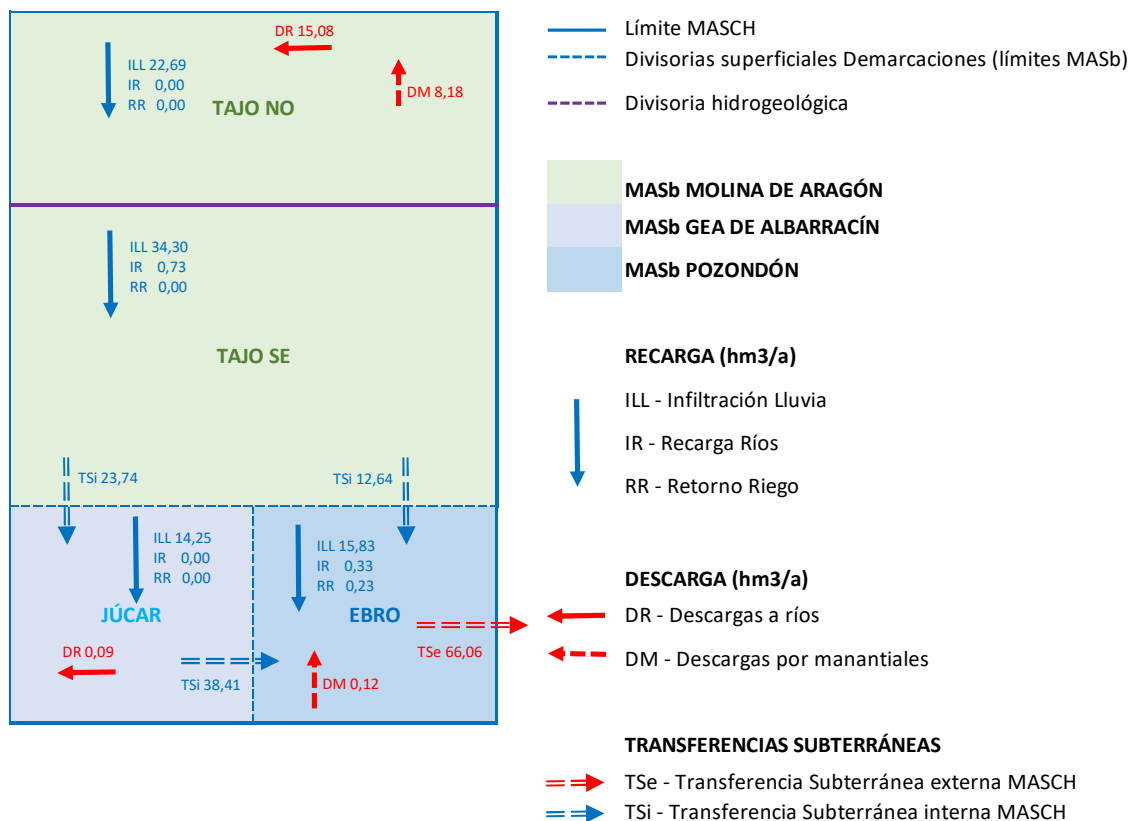


Figura 8.2. Esquema del funcionamiento hidrogeológico y balance de la MASCH en régimen influenciado (valores en hm^3/a).

En general los recursos de la MASCH se distribuyen de la siguiente forma, los generados en la Demarcación del Tajo, a excepción de su parte NO, que se drenan hacia el río Gallo, se transferirían subterráneamente hacia las Demarcaciones de Ebro y Júcar, los recursos generados en el Júcar, además de los recibidos desde el Tajo, a excepción de lo que drena el Turia, se drenarían hacia la Demarcación del Ebro y a su vez la MASb Pozondón del Ebro, receptora de los recursos, funciona como mera transmisora de éstos hacia la MASb Cella-Ojos de Monreal también en la Cuenca del Ebro.

En la Tabla 7.3 se muestra el balance hídrico completo de la MASCH obtenido por RENATA en régimen influenciado.

Tabla 8.3. Balance Hídrico en régimen influenciado de la MASCH Molina-Pozondón-Gea.

		MASb				MASCH
		Molina de Aragón		Cella de Albarracín	Pozondón	
		Tajo NO	Tajo SE	Júcar	Ebro	
ENTRADAS	Infiltración Lluvia	22,69	34,30	14,25	15,83	87,07
	Ríos	0,00	0,73	0,00	0,33	1,06
	Retorno riego	0,00	0,00	0,00	0,23	0,23
	Entradas subterráneas	0,00	0,00	23,74	51,05	0,00
	MASb Molina de Aragón (TAJO)			23,74	12,64	
SALIDAS	MASb Gea de Albarracín (JÚCAR)				38,41	
	TOTAL	22,69	35,03	37,99	67,44	88,36
SALIDAS	Ríos	15,08	0,00	0,09	0,00	15,17
	Manantiales	8,18	0,00	0,00	0,12	8,30
	Salidas subterráneas		36,38	38,41	66,06	66,06
	MASb Gea de Albarracín (JÚCAR)		23,74			
	MASb Pozondón (EBRO)		12,64	38,41		
SALIDAS	MASb Cella-Ojos de Monreal (EBRO)				66,06	66,06
	TOTAL	23,26	36,38	38,50	66,18	89,53

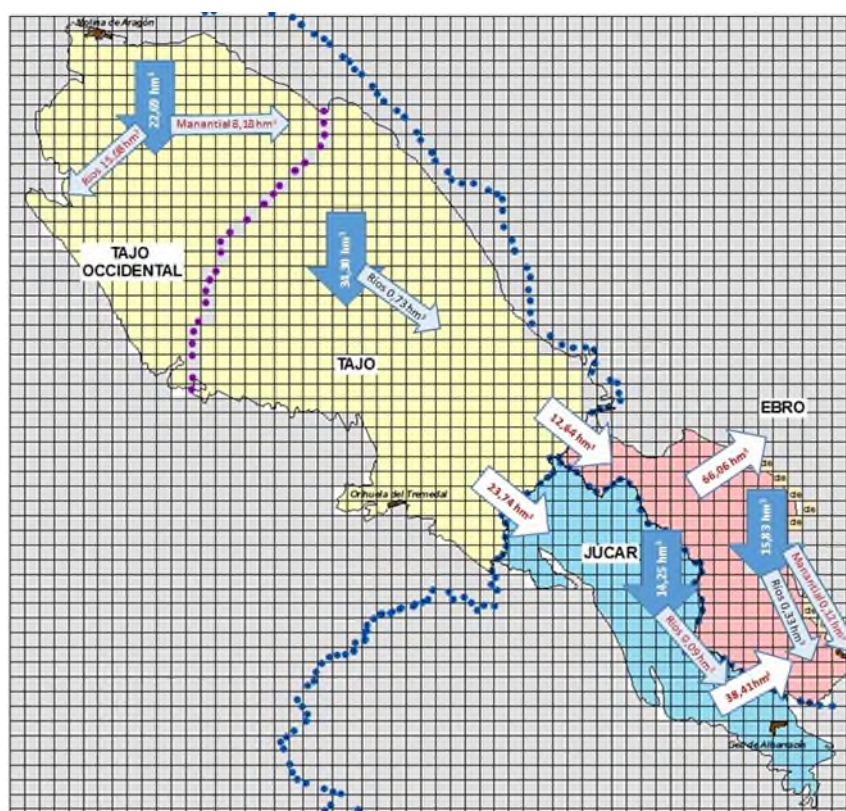


Figura 8.3. Representación por demarcaciones del balance en régimen influenciado y las transferencias entre masas de agua subterráneas y cuencashidrográficas.

9. RESUMEN Y CONCLUSIONES

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

- En este trabajo se ha redefinido la MASCH, excluyendo de la misma la MASb Cella-Ojos de Monreal, de la Demarcación del Ebro, al constatarse que no existe relación directa entre esta y la MASb Molina de Aragón, de la Demarcación del Tajo, al estar ambas separadas por los materiales impermeables triásicos y paleozoicos, por lo que solo existe relación directa de la MASCH con la MASb Cella-Ojos de Monreal a través de la MASb Pozondón, también de la Demarcación del Ebro, siendo por tanto esta la única MASb del Ebro compartida con las otras dos MASb de las cuencas del Tajo y Júcar
- La MASCH Molina-Pozondón-Gea está integrada por las formaciones: calizo-dolomítica del Lías inferior (3), que por su extensión y desarrollo constituye el principal acuífero de la masa, y la formación carbonatada del Dogger (5), considerándose en conjunto y a escala regional, como un único acuífero de carácter libre, permeable por Karstificación, aunque los materiales de baja permeabilidad de la Formación margosa del Lías superior (4), situados entre las dos formaciones carbonatadas, pueden impedir o, al menos restringir, la conexión hidráulica, confinando en algunos sectores el acuífero formado por los materiales calco-dolomíticos del Lías inferior.
- La MASCH está limitada, en su mayor parte, por los afloramientos de los materiales impermeables paleozoicos y triásicos que cierran la masa, excepto en la mitad meridional del límite E, entre las localidades de Cella y Santa Eulalia, donde las formaciones carbonatadas jurásicas están en contacto con los depósitos terciarios y cuaternarios que rellenan la fosa del Jiloca, bajo los que se prolongan, abriendo el límite de la masa en este tramo.
- El sustrato impermeable lo forman los niveles de arcillas, margas y yesos en facies Keuper del tramo superior del Triás, que aflora ampliamente fuera de la MASCH, a lo largo de todo su perímetro, aunque también se encuentran algunos afloramientos en el interior de la misma, especialmente a lo largo del núcleo de la alineación Megina-Traíd-Anquela de Pedregal-El Pobo de Dueñas, coincidente con un anticlinal de dirección NE-SO y una serie de fracturas verticales o subverticales paralelas, que elevan los materiales triásicos.
- La estructura anticlinal de Megina-Traíd-Anquela de Pedregal-El Pobo de Dueñas, separa dos sectores con características estructurales algo diferentes: el S, que forma un suave sinclinal que se extiende hasta las localidades de Cella y Gea de Albarracín, en el extremo S de la masa y el N, caracterizado por una sucesión de suaves pliegues de direcciones NE-SO que se extienden hasta la localidad de Molina de Aragón, en el extremo N de la MASCH, jugando finalmente un importante papel, tanto en la geometría de la MASCH como en su funcionamiento hidrogeológico, al constituir una barrera al flujo de agua subterránea entre ambos sectores de la masa compartida.
- Los dos sectores delimitados por esta barrera constituyen dos acuíferos con distinto funcionamiento y con escasa o nula conexión hidráulica entre ellos, drenando el sector N al río Gallo, entre Chera y Molina de Aragón, especialmente en el tramo de Castilnuevo, y el sector S, con flujo general hacia el SE, que descarga subterráneamente a la MASb Cella-Ojos de Monreal a través del tramo abierto del límite suroriental de la MASCH, entre las localidades de Cella y Santa Eulalia y a través de la Fuente de Cella.
- La MASb Molina de Aragón, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Tajo e integrada en la MASCH, se encuentra por tanto dividida en dos sectores por la barrera

hidrogeológica descrita, drenando el sector N al río Gallo, dentro de la propia Demarcación del Tajo, y descargando subterráneamente el sector S fuera de la Demarcación del Tajo, a las MASb Gea de Albarracín y Pozondón, pertenecientes a las demarcaciones del Júcar y Ebro respectivamente, igualmente integradas en la MASCH, realizándose finalmente la descarga por transferencia subterránea a la MASb Cella-Ojos de Monreal y por el manantial de Cella, en la Demarcación del Ebro.

- Apenas existe explotación de los recursos de agua subterránea dentro de la MASCH, dado que la casi totalidad de la superficie cultivada es de secano y la población asentada en su interior no es muy numerosa. Por tanto, se puede considerar que la MASCH se encuentra prácticamente en régimen natural, sin alteraciones ni afecciones a sus recursos ni a su funcionamiento.
- La precipitación media sobre la superficie permeable de la MASCH es de 451,1 mm/a, mientras que la precipitación media para años secos se sitúa en los 340 mm/a y en años húmedos en 554 mm/a.
- La recarga del acuífero en régimen natural para el periodo 1986-2015 se ha estimado por tres métodos: APLIS, VISUAL BALAN y RENATA, con resultados diferentes, desde los 179,16 hm³/a estimados por el método APLIS, a los 87,29 hm³/a estimados por el código RENATA, pasando por los 112,80 hm³/a obtenidos con VISUAL BALAN.
- Se considera el valor de 87,29 hm³/a, obtenido con RENATA, como el más ajustado a la realidad de la MASCH y más acorde, tanto con los resultados recogidos en la bibliografía consultada como con las descargas estimadas del sistema y las transferencias con otras masas adyacentes, además de que es el único método que permite una cierta calibración con los piezómetros de la red de control. No obstante, la escasez e incertidumbre de los datos, especialmente de las descargas de la MASCH, aportes a ríos y manantiales, obliga a tomar estos resultados con la reserva y cautela debida.
- Los recursos totales generados por la infiltración de lluvia en la MASCH son de 87,07 hm³/a, de los que 56,99 hm³/a (65,45%) se generan en la superficie perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Tajo, 15,83 hm³/a en la del Ebro (18,18%) y 14,25 hm³/a en la del Júcar (16,37%).
- De los 88,36 hm³/a que suponen los recursos totales que se generan en la MASCH Molina-Pozondón-Gea, 23,26 hm³/a drenan en la Demarcación Hidrográfica del Tajo (25,98%), 0,09 hm³/a son drenados en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (0,10%) y 66,18 hm³/a en la Demarcación Hidrográfica del Ebro (73,92%).
- El sector correspondiente a la MASb Molina de Aragón, de la Demarcación Hidrográfica del Tajo, cede 36,38 hm³/a, el 63,03% de sus recursos, a los sectores de las demarcaciones del Ebro (MASb Pozondón) y del Júcar (MASb Gea de Albarracín), 12,64 hm³/a y 23,74 hm³/a respectivamente. A su vez, la MASb Gea de Albarracín, de la Demarcación del Júcar, transfiere subterráneamente 38,41 hm³/a, a la MASb Pozondón, de la Demarcación del Ebro.

La principal conclusión que se obtiene de este trabajo es que la Demarcación del Ebro es la receptora de la mayor parte de los recursos que se generan en la MASCH, recibiendo la Demarcación del Tajo únicamente los recursos generados en el sector NO de la MASb Molina de Aragón. Por otra parte, la Demarcación del Júcar aporta casi la totalidad de los recursos generados en su cuenca a la del Ebro, además de transmitir los recursos recibidos de la del Tajo.

Teniendo en cuenta el modelo de funcionamiento resultante y una vez confirmados los principales elementos que lo definen: la existencia de la barrera hidrogeológica, la confirmación del flujo SE en el sector S y la descarga a la MASb Cella-Ojos de Monreal en el tramo del límite abierto Cella-Santa

Eulalia, se podría considerar la modificación de la MASb Molina de Aragón y la propia MASCH Molina-Pozondón-Gea, para lo que se plantean las siguientes propuestas:

- División de la MASb Molina de Aragón en dos masas constituidas por cada uno de los sectores definidos y limitados por la barrera hidrogeológica, el sector NO que podría mantener su actual denominación y el SE que podría denominarse MASb Piqueras.
- Modificación de la MASCH Molina-Pozondón-Gea, eliminando el sector NO que formaría una masa independiente, quedando constituida entonces la MASCH por el sector SE de la Demarcación del Tajo y las MASb Gea de Albarracín y Pozondón, pertenecientes a las demarcaciones del Júcar y Ebro respectivamente. La MASCH modificada podría pasar a denominarse MASCH Piqueras-Pozondón-Gea.

Con fin de mejorar el conocimiento y confirmar, en la medida de lo posible, los elementos mencionados anteriormente, se considera necesario la realización los siguientes trabajos:

- Mejora del conocimiento de la piezometría en el entorno de la barrera hidrogeológica, para lo que será necesario la realización de nuevos piezómetros a ambos lados de la misma, con el objetivo de comprobar la existencia de saltos o cambios significativos de los niveles que confirmen su existencia y permitan definir con más detalle el sentido y dirección de los flujos de agua subterránea.
- Mejora del control de las descargas de la Fuente de Cella, mediante la instalación de un sistema de control continuo de los caudales drenados y derivados por las distintas acequias. Dado el carácter kárstico del acuífero, se considera necesario el control, al menos diario, de los caudales que aporta, con importantes variaciones de caudal e incluso periodos en los que permanece seca.
- Control de las aportaciones subterráneas al río Gallo, mediante la construcción de estaciones de aforo o, en su defecto, campañas periódicas de aforos diferenciales, que deberían ubicarse especialmente a ambos lados del tramo en el que atraviesa la barrera, y al inicio y final del tramo en el que el río es ganador, entre chera y Castilnuevo, en el contacto con los afloramientos de las arcillas y margas del keuper.
- Control de las descargas a la Laguna del Cañizal, mediante el seguimiento de los caudales evacuados por el sistema de drenaje o de regulación de la laguna, control de los aportes superficiales, especialmente de las acequias provenientes de la fuente de Cella, sobrantes de esta y excedentes de riego.
- Mejora de la cartografía geológica e hidrogeológica y del conocimiento de la estructura que origina la barrera y de la posición de las arcillas y margas del keuper, especialmente en el tramo que es atravesada por el río Gallo. En este sentido, son importantes los datos que puedan aportar los registros de las columnas litológicas de los nuevos piezómetros que pudieran construirse.

Por último, como consideración general que debería extenderse a todas las redes oficiales de control piezométrico, especialmente en acuíferos kársticos y acuíferos sometidos a fuerte explotación, instalación de sistemas de registro de niveles, con gran capacidad de almacenamiento y programables con diferentes pasos de tiempo, que permitirían obtener una información más detallada de la evolución de los niveles de agua de los acuíferos y su respuesta a los diferentes escenarios de precipitaciones y explotación.

Estos sistemas, no necesariamente con conexión o envío de datos, si no de descarga manual, que no tienen un coste elevado, podrían abaratar el mantenimiento de las redes y simplificar su control, al poder limitar el número de campañas de campo, permitiendo a cambio disponer de un mayor número de medidas, sobre todo en eventos puntuales de precipitación (aguaceros, tormentas, etc) que normalmente no pueden ser registradas por las actuales redes de control.

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). Propuesta metodológica 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)
- CHE (2015). Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Ciclo de planificación hidrológica 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, nº4, 19-40.
- DPA- IGME (2012). RENATA (Recarga Natural de Acuíferos). Manual del Usuario. Convenio IGME-DPA.
- GOBIERNO DE ARAGÓN (2023), Dirección General de Medio Natural. Plan de Gestión del Humedal Singular de El Cañizar de Cella y de Villarquemado.
- IGME (1971-75). Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS).
- IGME (1978). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 489 Molina de Aragón
- IGME (1979). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 540 Checa.
- IGME (1979). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 514 Taravilla.
- IGME (1979). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 515 El Pobo de Dueñas
- IGME (1980). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 490 Odón.
- IGME (1981). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 541 Santa Eulalia.
- IGME (1981). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 566 Cella.
- IGME (1985). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 539 Peralejos de las Truchas.
- 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.
- Lerner, D., A. Issar, and I. Simmers (1990). Groundwater Recharge: A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge. Heise, Germany: International Contributions to Hydrogeology.
- 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 intercuenas.
- 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.
- Rubio Dobón, J. C.: *Contexto hidrogeológico e histórico de los humedales del Cañizar*. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza en Aragón. Serie investigación, 2004.
- 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
- Vera, J.A. (2004). Geología de España

ANEXOS

ANEXO I
DATOS MENSUALES CLIMÁTICOS UTILIZADOS

3013 Molina de Aragón

P (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1986/87	64.7	24.6	18.6	75.9	42.7	7.1	42.1	53.1	21.7	75.7	4.4	14.3	444.9
1987/88	92.9	41.3	46.2	63.7	12.7	6.3	93.0	68.5	164.5	4.7	2.0	15.9	611.7
1988/89	53.5	32.1	0.5	10.8	49.9	56.4	70.3	117.8	67.8	34.3	7.0	31.8	532.2
1989/90	11.8	45.8	88.7	31.5	0.0	19.3	19.7	17.4	22.9	3.6	38.4	95.6	394.7
1990/91	55.2	32.4	19.7	6.1	62.9	48.4	79.8	49.1	7.7	33.0	8.6	158.7	561.6
1991/92	52.4	33.4	26.6	4.6	10.1	32.5	22.7	67.5	49.7	10.5	35.5	7.2	352.7
1992/93	82.9	4.6	28.1	0.3	13.1	32.2	39.6	59.1	46.0	5.2	6.0	93.7	410.8
1993/94	106.4	19.2	6.6	31.6	21.3	2.2	33.1	24.3	0.9	1.2	0.6	33.0	280.4
1994/95	80.9	24.3	17.4	9.9	14.7	5.8	28.4	89.8	84.0	26.6	68.7	14.9	465.4
1995/96	17.0	52.9	83.0	72.9	40.2	11.4	26.9	82.5	47.2	59.5	42.1	44.6	580.2
1996/97	1.4	93.9	120.0	81.8	6.3	0.8	36.8	97.0	16.0	70.2	45.8	28.6	598.6
1997/98	15.7	74.8	74.6	28.2	6.3	14.1	45.6	93.6	12.3	8.8	65.4	32.9	472.3
1998/99	39.4	32.9	18.9	32.5	37.9	36.9	46.5	31.3	44.3	37.4	9.5	79.2	446.7
1999/00	62.0	53.7	24.3	9.4	2.2	23.5	73.0	69.1	46.9	1.2	5.0	14.5	384.8
2000/01	85.2	41.3	64.1	67.8	24.6	57.5	9.2	33.0	8.6	31.2	8.0	42.0	472.5
2001/02	32.8	6.9	14.5	22.8	8.6	38.9	60.8	60.1	87.1	3.5	61.6	37.9	435.5
2002/03	78.7	42.0	43.4	42.2	41.7	40.9	30.8	96.6	27.8	1.7	35.6	69.0	550.4
2003/04	77.9	51.0	14.2	13.2	37.4	71.9	79.0	94.9	57.9	37.9	28.2	26.1	589.6
2004/05	50.3	24.3	27.5	1.2	14.7	10.6	26.4	27.4	71.6	0.0	9.0	50.2	313.2
2005/06	48.6	57.4	44.5	15.0	29.4	26.6	30.7	15.5	94.4	53.4	13.4	118.6	547.5
2006/07	48.4	31.0	15.4	11.6	59.0	52.4	81.3	83.3	20.7	0.8	7.4	10.8	422.1
2007/08	29.6	7.4	5.6	14.6	26.2	23.6	100.4	115.3	59.8	3.6	2.6	34.2	422.9
2008/09	104.9	22.6	20.2	32.4	19.9	29.0	43.2	20.6	3.2	2.0	56.2	38.6	392.8
2009/10	13.2	8.6	60.1	39.5	40.1	43.2	57.2	68.7	76.5	10.1	9.7	88.8	515.7
2010/11	45.4	33.1	30.8	20.8	20.9	46.1	68.6	127.0	9.8	1.4	4.9	2.7	411.5
2011/12	12.2	54.0	7.0	12.2	6.0	14.4	67.0	21.8	33.4	5.2	3.0	45.4	281.6
2012/13	59.2	68.0	3.8	27.0	25.6	99.0	54.9	43.6	27.8	40.3	19.8	10.6	479.6
2013/14	19.4	47.4	28.2	40.6	47.0	29.8	29.8	20.2	52.0	27.5	27.0	47.8	416.7
2014/15	24.2	74.6	25.8	27.6	15.4	36.8	17.4	14.8	40.4	4.6	51.4	10.6	343.6
Media	50.6	39.2	33.7	29.2	25.4	31.6	48.8	60.8	44.9	20.5	23.3	44.8	452.8

T (°C)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1986/87	11.7	5.6	2.3	1.5	3.1	6.5	10.0	11.3	16.8	19.4	21.0	18.2	10.6
1987/88	10.7	5.5	5.1	4.9	3.2	5.9	8.8	11.9	14.2	19.3	20.1	15.6	10.4
1988/89	11.6	6.0	1.6	1.9	4.1	8.1	6.7	13.1	16.6	20.8	20.9	15.0	10.5
1989/90	12.0	8.6	6.8	3.3	7.3	6.5	7.2	13.5	18.5	21.1	20.8	17.6	11.9
1990/91	11.1	5.8	1.3	1.6	2.1	7.4	6.9	9.8	17.2	20.5	21.3	17.1	10.2
1991/92	8.7	5.0	3.5	-0.1	2.6	5.4	8.9	13.8	12.9	19.4	20.1	15.8	9.7
1992/93	9.1	7.7	3.9	2.7	1.8	5.8	7.6	12.1	16.4	19.1	20.1	13.9	10.0
1993/94	8.5	5.1	4.4	2.5	4.3	8.7	7.3	13.5	17.3	22.6	21.8	13.9	10.8
1994/95	11.4	8.2	4.1	3.3	6.0	5.9	8.6	13.4	16.5	20.4	18.8	12.9	10.8
1995/96	12.4	7.8	4.8	5.0	2.6	5.8	9.6	12.2	17.0	19.4	18.5	13.3	10.7
1996/97	10.2	6.0	4.2	2.9	7.0	8.7	11.0	12.8	15.4	18.2	20.1	17.4	11.2
1997/98	12.9	6.9	3.1	3.9	6.4	8.1	6.9	11.9	17.8	20.2	20.2	15.9	11.2

1998/99	9.6	5.0	2.0	1.9	2.5	6.1	8.4	14.3	17.3	20.6	20.7	15.9	10.4
1999/00	11.1	2.9	2.4	0.0	5.8	6.6	7.9	14.7	17.7	19.2	19.6	15.9	10.3
2000/01	10.0	4.8	4.6	4.7	4.0	10.0	8.9	12.5	18.2	19.4	20.6	15.0	11.1
2001/02	12.7	2.9	-1.7	3.5	5.3	7.4	8.8	11.5	18.5	19.3	18.5	15.0	10.1
2002/03	11.0	6.9	5.6	2.2	2.9	7.8	9.2	13.5	20.4	20.6	21.4	15.8	11.4
2003/04	10.1	6.6	3.3	3.9	4.0	5.4	7.8	11.3	18.7	19.6	19.3	17.0	10.6
2004/05	11.8	4.2	2.8	0.6	-0.5	6.0	9.5	14.4	19.8	20.8	20.0	15.1	10.4
2005/06	11.7	5.2	1.6	1.8	2.4	7.6	10.5	15.0	18.7	21.9	18.0	16.7	10.9
2006/07	13.1	8.7	2.1	2.9	6.2	5.7	9.4	12.9	16.7	19.7	19.1	15.6	11.0
2007/08	9.7	3.7	1.9	4.3	5.2	6.0	9.7	12.5	16.1	19.6	20.0	14.5	10.3
2008/09	9.9	3.3	2.1	1.2	3.3	6.8	7.5	14.7	18.9	21.2	22.1	16.9	10.7
2009/10	13.3	7.8	3.4	2.1	3.9	5.3	10.5	11.6	16.6	22.1	20.3	16.1	11.1
2010/11	10.0	4.3	3.2	2.7	4.5	6.2	12.5	14.8	17.7	19.2	20.8	17.4	11.1
2011/12	11.9	7.5	3.6	2.5	0.2	6.2	7.9	14.5	18.9	20.0	21.1	15.9	10.9
2012/13	11.6	6.4	3.5	3.2	2.6	6.3	8.0	9.8	15.5	20.8	20.2	16.8	10.4
2013/14	12.6	4.7	1.7	4.3	3.6	6.4	11.7	12.4	17.1	18.8	20.1	17.7	10.9
2014/15	13.6	7.7	3.4	2.3	2.2	6.8	10.3	14.7	18.3	23.8	20.7	15.2	11.6
Media	11.2	5.9	3.1	2.7	3.7	6.7	8.9	12.9	17.3	20.2	20.2	15.8	10.7

ETP Thornthwaite

ETP (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1986/87	53.6	19.7	7.6	6.4	11.5	24.0	44.6	58.3	97.0	120.1	126.6	93.8	663.4
1987/88	45.9	19.4	16.4	16.0	10.9	25.0	41.6	66.3	82.6	120.3	118.5	77.8	640.8
1988/89	50.6	23.1	5.4	5.2	12.2	32.2	27.8	71.0	96.1	129.0	121.3	70.8	644.5
1989/90	49.6	28.5	21.2	8.9	22.8	25.4	30.0	73.5	109.0	130.3	118.8	84.9	702.9
1990/91	44.4	17.8	4.9	6.6	7.4	29.3	29.3	51.3	100.8	130.2	130.6	90.7	643.4
1991/92	38.3	18.1	11.0	2.1	8.2	21.0	41.0	76.4	73.8	123.1	123.7	83.6	620.2
1992/93	41.3	29.2	13.2	10.0	7.6	25.3	35.3	67.7	98.2	120.8	122.3	71.7	642.5
1993/94	38.1	18.8	14.9	8.2	12.2	33.6	30.1	71.3	99.5	143.0	129.4	65.7	664.7
1994/95	47.2	26.9	12.7	10.4	19.3	23.4	39.6	74.7	96.9	127.0	107.6	60.5	646.1
1995/96	52.6	26.6	15.3	16.4	8.6	25.2	46.2	69.2	101.9	121.0	107.1	64.1	654.2
1996/97	43.5	21.1	14.1	10.8	22.3	34.4	50.1	69.2	87.3	109.4	115.5	84.4	662.0
1997/98	54.7	21.8	10.7	12.1	20.8	34.1	31.4	65.2	105.9	125.2	116.7	77.0	675.6
1998/99	38.7	16.6	6.1	8.2	9.4	23.1	36.6	78.0	101.1	129.8	124.5	80.8	652.9
1999/00	48.6	10.1	8.1	1.8	17.6	25.2	34.5	81.2	104.5	119.9	116.5	81.0	649.1
2000/01	42.7	15.9	14.3	14.2	12.4	42.5	40.0	69.2	108.1	118.4	118.8	70.7	667.2
2001/02	53.5	9.3	3.3	10.6	16.6	31.2	40.8	62.6	111.1	118.4	105.5	72.0	634.7
2002/03	45.7	23.0	17.6	7.5	8.8	29.3	39.4	71.7	121.7	127.5	126.7	76.1	695.2
2003/04	41.4	20.6	9.2	12.4	12.6	22.3	34.6	61.4	112.2	121.8	113.0	85.8	647.3
2004/05	52.0	13.4	9.2	4.3	2.3	23.9	39.2	74.1	114.1	131.0	122.6	79.2	665.6
2005/06	54.0	18.1	5.9	5.7	6.3	28.7	44.5	80.2	108.4	137.6	102.3	82.7	674.4
2006/07	55.6	29.0	6.4	11.8	20.4	23.0	44.5	72.6	99.3	122.8	111.6	77.4	674.2
2007/08	41.3	12.6	7.9	14.1	17.4	25.3	46.6	70.4	95.9	121.6	116.5	70.7	640.4
2008/09	42.0	11.9	7.1	6.2	8.2	23.6	28.6	76.8	109.3	131.6	131.9	83.9	661.1
2009/10	56.7	25.3	12.0	9.1	12.8	21.6	47.2	60.9	95.7	140.9	122.0	82.0	686.2
2010/11	43.0	15.7	12.6	9.8	12.3	22.4	56.3	79.1	102.3	116.0	121.4	85.1	675.9

2011/12	49.0	23.6	9.4	6.8	4.0	22.9	33.0	79.3	111.3	124.2	125.7	78.9	668.0
2012/13	50.3	21.3	10.5	10.1	8.5	25.7	36.8	52.2	90.6	131.2	119.5	84.4	641.0
2013/14	56.0	19.0	5.2	12.1	10.2	24.0	54.1	65.8	99.2	113.2	114.2	85.7	658.7
2014/15	56.9	24.4	9.2	5.8	7.4	24.2	43.3	77.9	105.7	152.3	120.3	71.6	698.8
Media	47.8	20.0	10.4	9.1	12.1	26.6	39.6	69.9	101.4	126.1	119.0	78.4	660.4

8355 Pozondón D.G.A.

P (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1986/87	64.8	24.7	18.6	76.1	42.8	7.1	42.2	53.2	21.7	75.9	4.4	14.3	445.9
1987/88	93.1	41.4	46.3	63.8	12.7	6.3	93.2	68.7	164.9	4.7	2.0	15.9	613.1
1988/89	53.6	32.2	0.5	10.8	50.0	56.5	70.5	118.1	68.0	34.4	7.0	31.9	533.4
1989/90	11.8	45.9	88.9	31.6	0.0	19.3	19.7	17.4	23.0	3.6	38.5	95.8	395.6
1990/91	55.3	32.5	19.7	8.4	39.8	65.2	105.6	60.2	37.6	23.8	21.1	72.0	541.2
1991/92	30.7	23.5	47.7	3.4	23.0	11.4	18.8	39.1	64.7	2.6	127.4	21.2	413.5
1992/93	58.7	2.6	45.7	0.9	21.4	27.6	19.9	48.0	25.1	2.0	1.0	26.4	279.3
1993/94	73.6	11.5	8.8	7.6	12.2	3.3	36.2	37.9	0.0	2.1	0.8	73.1	267.1
1994/95	75.5	28.8	16.0	8.9	4.8	4.0	12.4	66.1	73.0	87.7	53.4	15.7	446.3
1995/96	17.5	31.1	54.0	88.1	17.3	14.4	27.3	107.8	86.9	21.6	60.7	16.9	543.6
1996/97	2.4	59.4	89.7	111.2	2.0	0.0	39.2	95.4	59.7	46.5	80.7	29.6	615.8
1997/98	24.1	60.7	63.9	32.1	13.6	21.8	61.2	113.8	4.4	2.4	66.2	6.8	471.0
1998/99	33.3	14.4	11.0	14.6	25.1	54.2	32.0	27.8	125.3	22.6	58.2	69.9	488.4
1999/00	66.4	16.1	11.0	22.7	1.0	21.2	43.2	60.4	7.0	6.0	2.0	54.8	311.8
2000/01	93.2	22.2	42.9	31.4	24.8	30.0	20.6	60.0	2.0	35.0	16.0	37.0	415.1
2001/02	40.2	8.4	18.2	17.4	12.0	50.0	65.4	84.0	13.0	18.1	37.4	50.4	414.5
2002/03	78.7	34.7	38.9	16.8	44.6	37.9	29.0	142.7	42.2	23.0	36.0	61.8	586.3
2003/04	64.0	35.4	11.8	11.6	31.2	71.2	69.5	141.2	30.4	32.3	26.0	41.5	566.1
2004/05	13.8	20.5	35.1	2.2	17.6	13.0	13.9	35.0	87.2	4.0	2.2	67.0	311.5
2005/06	28.2	72.4	28.0	27.8	39.1	19.3	26.0	13.7	153.2	75.7	0.0	77.0	560.4
2006/07	28.1	44.9	6.4	15.3	26.4	48.8	107.5	43.9	42.6	0.0	23.3	11.2	398.4
2007/08	17.0	3.5	46.0	12.4	34.2	12.7	43.3	157.0	89.1	24.0	39.5	10.6	489.3
2008/09	154.0	28.4	17.4	23.1	10.0	44.9	39.7	32.5	30.6	3.2	43.4	49.2	476.4
2009/10	4.6	13.2	77.6	52.3	39.8	50.2	50.2	46.3	74.0	19.4	17.4	62.5	507.5
2010/11	43.7	19.3	28.6	11.6	19.2	39.5	68.8	132.6	24.5	11.6	15.4	2.2	417.0
2011/12	7.9	75.4	4.0	18.6	6.6	3.6	67.8	4.6	27.1	25.0	11.2	48.9	300.7
2012/13	38.7	60.6	2.4	9.7	27.4	58.6	73.7	25.8	41.1	54.4	25.6	7.6	425.6
2013/14	6.4	35.9	22.6	36.5	50.9	21.6	21.4	15.6	52.6	17.8	8.4	58.2	347.9
2014/15	12.4	80.2	51.4	32.7	35.3	109.4	27.5	23.1	86.6	25.0	51.6	10.5	545.7
Media	44.5	33.8	32.9	27.6	23.6	31.8	46.4	64.5	53.7	24.3	30.2	39.3	452.7

T (°C)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1986/87	10.6	4.3	1.0	0.1	1.8	5.3	8.8	10.2	15.8	18.5	20.1	17.3	9.5
1987/88	9.6	4.3	3.8	3.6	1.8	4.6	7.6	10.8	13.2	18.4	19.2	14.6	9.3
1988/89	10.5	4.7	0.2	0.5	2.8	6.8	5.4	12.0	15.6	19.9	20.0	13.9	9.4
1989/90	10.9	7.4	5.6	0.3	6.1	5.3	5.9	12.4	17.5	20.2	19.8	16.7	10.7
1990/91	10.0	4.5	0.0	0.3	1.3	4.7	5.5	8.1	16.0	19.6	20.7	15.7	8.9
1991/92	6.9	4.6	2.7	-0.6	1.8	4.2	6.8	12.4	11.1	19.1	20.0	15.8	8.7

1992/93	7.3	7.9	2.7	3.9	0.7	0.0	6.1	9.9	14.9	17.5	19.1	12.4	8.5
1993/94	3.5	3.4	3.3	0.6	2.3	7.5	5.1	12.1	16.2	22.0	21.3	11.8	9.1
1994/95	8.1	6.5	2.0	0.8	4.0	3.6	7.4	11.6	14.6	20.2	17.6	12.2	9.1
1995/96	12.3	7.0	3.4	3.1	0.4	4.5	7.9	10.8	15.7	18.7	17.1	12.2	9.4
1996/97	9.9	5.2	2.7	1.5	7.4	9.1	10.2	12.3	14.6	16.7	18.7	16.0	10.4
1997/98	11.9	5.2	2.4	2.5	5.5	7.6	5.3	9.5	16.5	19.7	19.1	14.6	10.0
1998/99	9.2	4.0	1.8	1.9	0.7	4.2	7.3	13.0	15.6	18.7	20.2	14.2	9.2
1999/00	9.5	1.9	1.7	-0.9	5.6	5.3	5.0	11.7	16.5	18.5	19.3	15.7	9.1
2000/01	8.4	2.0	1.9	0.9	0.4	6.2	5.3	9.3	17.2	18.1	19.7	12.9	8.5
2001/02	11.1	0.5	-2.5	0.4	1.5	2.8	4.2	6.9	15.2	18.3	17.5	13.9	7.5
2002/03	9.9	5.7	4.3	0.8	1.5	6.6	8.0	12.4	19.4	19.7	21.2	15.2	10.4
2003/04	8.3	4.8	1.9	3.5	3.3	3.9	6.1	8.9	17.6	18.6	19.8	16.6	9.4
2004/05	11.1	4.5	1.2	0.9	-1.9	4.6	8.3	14.3	18.9	20.7	19.2	14.8	9.7
2005/06	11.2	4.2	1.3	0.3	1.8	6.0	9.7	13.9	17.9	21.6	17.5	16.1	10.1
2006/07	13.1	8.2	2.4	3.4	4.8	3.7	7.3	11.1	15.1	19.7	19.5	16.9	10.4
2007/08	10.1	5.0	2.4	4.3	4.1	4.6	7.4	10.2	13.9	19.6	20.1	14.3	9.7
2008/09	8.6	2.0	1.3	-0.2	2.0	6.1	5.7	13.4	17.7	21.3	21.3	14.4	9.5
2009/10	11.9	7.0	1.7	-0.4	1.0	2.9	7.8	8.1	14.0	21.6	19.6	14.1	9.1
2010/11	9.4	3.1	2.5	1.8	3.6	4.3	11.2	12.6	16.3	18.2	20.7	18.0	10.1
2011/12	11.6	6.7	3.8	2.4	-1.6	5.7	6.0	14.1	19.2	20.5	22.1	15.1	10.5
2012/13	11.2	6.5	4.0	2.6	0.7	4.0	7.3	8.1	14.3	20.0	19.6	16.2	9.5
2013/14	12.6	3.7	3.4	3.6	3.1	6.0	10.8	11.9	16.7	18.2	20.3	16.9	10.6
2014/15	13.7	7.4	2.4	2.8	0.2	5.8	9.3	14.2	17.2	23.6	20.3	13.9	10.9
Media	10.1	4.9	2.3	1.5	2.3	5.0	7.2	11.3	16.0	19.6	19.7	14.9	9.6

ETP Thornthwaite

ETP (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1986/87	52.7	17.3	4.9	4.6	9.2	20.5	40.8	54.1	92.6	116.2	123.9	92.5	629.4
1987/88	44.2	17.6	14.4	13.1	8.3	21.8	37.9	62.6	79.1	116.9	116.0	76.0	608.0
1988/89	48.9	21.4	3.1	3.1	9.2	28.4	23.8	66.5	91.9	125.9	120.2	70.4	612.8
1989/90	49.0	27.1	19.1	4.8	19.5	21.1	25.3	67.5	103.6	127.9	119.8	86.7	671.3
1990/91	44.7	16.2	3.8	4.9	7.7	19.1	24.7	44.0	94.4	126.3	130.7	87.4	604.0
1991/92	33.6	20.4	9.6	2.7	6.7	19.3	32.2	69.9	64.7	122.9	124.5	86.6	593.0
1992/93	34.6	32.4	10.2	17.0	5.3	0.0	32.3	60.6	94.0	115.0	119.5	68.4	589.3
1993/94	18.1	15.1	13.9	5.3	8.7	30.9	23.6	65.1	94.9	141.9	132.1	60.7	610.3
1994/95	36.6	24.1	10.0	5.9	14.7	14.5	35.1	63.8	86.1	130.3	107.7	64.2	592.9
1995/96	59.4	28.2	12.7	11.1	5.5	21.1	39.8	63.4	96.4	119.9	103.2	62.9	623.6
1996/97	46.1	21.9	10.7	7.6	26.1	38.6	48.2	68.4	84.5	101.9	109.6	80.6	644.1
1997/98	53.4	17.7	8.4	9.5	19.0	34.0	25.3	52.9	99.6	124.9	114.1	74.6	633.5
1998/99	40.7	15.6	9.3	9.2	7.5	17.6	33.9	71.9	92.2	118.9	125.7	76.2	618.7
1999/00	45.4	11.1	9.6	2.8	18.9	22.3	22.7	65.8	99.0	118.5	119.0	84.7	619.7
2000/01	39.4	8.5	8.0	5.6	5.0	26.9	24.6	52.2	102.8	116.0	124.5	71.2	584.7
2001/02	56.5	6.3	5.6	4.8	8.4	14.5	21.0	38.3	89.6	118.3	113.2	81.8	558.3
2002/03	53.7	26.4	18.4	5.7	6.4	25.6	35.3	66.8	116.3	123.6	129.5	77.6	685.3
2003/04	36.5	16.6	6.7	12.9	12.2	18.2	27.9	48.0	105.0	117.1	120.2	87.3	608.6
2004/05	52.7	16.9	6.8	7.3	1.7	21.6	35.1	74.2	108.4	130.4	118.9	79.3	653.2

2005/06	52.9	16.6	5.8	3.2	6.6	24.1	40.0	72.4	102.3	136.8	102.7	84.1	647.7
2006/07	60.1	29.0	8.6	14.5	15.7	15.8	33.9	61.4	88.6	124.2	116.4	87.3	655.6
2007/08	45.0	18.4	9.4	15.8	15.0	22.4	36.8	57.8	83.6	124.7	120.8	73.3	623.0
2008/09	39.3	9.3	8.3	4.8	6.7	24.0	22.2	69.8	101.9	135.3	131.4	74.6	627.6
2009/10	54.7	25.5	9.5	4.9	7.5	16.5	35.4	43.0	80.1	139.6	124.5	79.4	620.7
2010/11	47.9	15.0	13.8	9.0	11.5	16.1	49.6	66.2	94.4	111.0	124.4	93.4	652.3
2011/12	51.7	22.6	11.8	7.4	4.3	21.1	22.8	73.6	111.2	128.4	138.2	77.3	670.5
2012/13	51.0	23.6	12.7	10.4	5.7	16.7	33.4	41.1	82.4	127.6	122.1	88.2	615.0
2013/14	62.4	18.6	12.3	11.9	9.0	22.6	49.0	62.9	96.6	111.0	118.7	84.7	659.7
2014/15	59.8	25.0	8.0	9.3	3.9	20.8	37.2	73.0	97.1	152.3	122.1	67.6	676.2
Media	47.3	19.5	9.8	7.9	9.9	21.2	32.8	61.3	94.2	124.3	120.5	78.6	627.2

8368U Teruel

P (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1986/87	80.7	24.4	1.8	45.3	39.8	6.5	13.8	26.2	6.2	48.4	3.7	26.1	322.9
1987/88	101.7	54.2	43.1	50.8	0.1	4.5	79.0	75.9	137.3	0.2	3.9	5.2	555.9
1988/89	68.0	36.0	0.2	3.3	18.2	60.1	49.5	99.7	22.1	42.4	71.8	69.4	540.7
1989/90	13.7	54.7	35.9	13.7	0.0	8.5	29.7	23.4	27.2	18.6	84.9	39.3	349.6
1990/91	76.5	15.2	7.6	4.5	20.7	24.0	61.6	44.6	22.4	107.7	11.8	40.5	437.1
1991/92	15.5	12.5	22.1	2.9	4.3	6.5	8.3	36.4	56.6	26.9	35.1	25.0	252.1
1992/93	37.8	1.6	18.8	0.3	18.6	23.7	31.6	34.9	14.0	15.2	17.6	23.8	237.9
1993/94	48.2	12.8	1.8	5.3	12.3	1.1	22.6	39.2	0.0	2.5	3.9	53.4	203.1
1994/95	90.4	33.6	6.6	6.1	3.8	5.6	23.2	31.9	81.3	31.9	59.5	2.1	376.0
1995/96	18.7	12.1	19.2	42.2	5.8	8.9	15.7	43.2	17.4	26.5	79.3	25.3	314.3
1996/97	0.8	53.1	41.3	78.4	3.3	0.2	37.4	88.9	62.1	28.6	53.1	27.5	474.7
1997/98	16.2	24.3	47.1	19.5	12.0	27.0	31.9	103.1	41.7	5.1	29.4	35.7	393.0
1998/99	18.1	9.3	10.0	8.9	4.4	36.3	22.4	30.8	53.4	50.5	39.5	75.2	358.8
1999/00	24.4	13.0	11.7	10.4	0.0	30.4	56.0	56.7	8.3	8.6	2.4	1.9	223.8
2000/01	135.4	8.3	19.9	15.2	8.2	14.7	17.2	50.8	6.4	5.9	50.8	35.7	368.5
2001/02	35.9	9.5	11.9	6.8	2.1	39.4	70.3	75.4	64.0	25.1	97.9	26.5	464.8
2002/03	59.9	15.9	32.9	10.8	46.2	32.2	31.8	125.6	82.9	26.7	44.7	39.6	549.2
2003/04	75.6	16.7	3.8	6.7	26.5	56.6	33.2	57.5	51.9	12.8	6.4	13.4	361.1
2004/05	36.7	8.4	15.3	0.0	20.3	9.9	5.8	9.7	62.9	21.7	5.8	51.7	248.2
2005/06	32.8	52.1	9.4	19.2	21.9	9.6	42.3	28.5	59.5	42.8	0.0	54.4	372.5
2006/07	26.9	28.4	8.1	5.4	34.5	33.1	140.9	39.5	37.0	9.9	70.6	18.6	452.9
2007/08	19.7	0.7	13.5	8.8	28.6	13.5	25.1	125.9	91.8	6.5	11.6	32.7	378.4
2008/09	65.2	31.4	12.6	49.5	7.2	29.5	21.0	5.9	35.8	25.7	21.5	45.0	350.3
2009/10	10.9	8.4	62.1	36.0	22.0	26.2	70.5	85.0	92.1	15.8	44.7	34.0	507.7
2010/11	58.2	12.8	22.8	6.3	14.4	14.4	48.8	106.6	30.6	28.8	28.8	20.3	392.8
2011/12	10.3	68.0	0.8	18.8	2.8	13.6	43.6	8.4	63.4	10.8	0.6	33.4	274.5
2012/13	67.0	51.2	2.6	9.8	9.6	24.6	65.8	16.2	47.1	37.2	28.4	19.6	379.1
2013/14	2.2	22.4	7.0	25.2	27.6	15.2	13.4	14.3	14.3	29.6	4.4	55.0	230.6
2014/15	5.0	72.2	13.8	16.0	14.8	70.2	20.8	29.6	93.4	39.6	28.6	17.6	421.6
Media	43.2	26.3	17.4	18.1	14.8	22.3	39.1	52.2	47.7	25.9	32.4	32.7	372.1

T (°C)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1986/87	13.0	6.8	3.8	2.8	4.5	8.3	11.7	13.2	18.5	21.1	22.5	20.0	12.2
1987/88	12.3	6.7	5.8	6.3	4.6	7.6	9.9	13.3	15.5	21.2	21.6	17.6	11.9
1988/89	13.3	7.7	2.7	3.3	5.7	9.0	8.0	14.0	17.8	22.0	22.0	16.2	11.8
1989/90	13.2	9.3	7.8	3.9	8.7	7.6	7.8	13.8	19.2	22.0	21.5	18.7	12.8
1990/91	12.1	6.6	2.0	2.5	3.1	8.2	8.1	10.7	18.3	21.2	22.7	18.3	11.1
1991/92	9.9	6.0	4.3	0.9	4.4	7.2	10.6	15.3	14.2	21.1	22.1	18.3	11.2
1992/93	10.8	8.6	4.5	3.4	3.2	7.3	9.0	13.2	18.0	21.2	21.6	15.8	11.4
1993/94	9.9	6.4	4.6	3.3	5.4	10.3	8.5	15.4	19.3	24.9	24.0	15.8	12.3
1994/95	13.0	9.1	5.2	4.4	7.1	7.6	10.3	15.4	18.3	22.7	21.1	15.3	12.5
1995/96	14.3	9.2	6.1	5.8	3.9	7.4	10.6	13.7	18.6	21.7	21.0	15.4	12.3
1996/97	12.0	7.9	5.5	4.8	8.3	10.1	12.1	15.0	17.8	19.9	21.6	19.3	12.9
1997/98	14.6	8.3	4.4	4.7	7.5	9.5	8.7	13.1	19.4	22.6	21.5	17.8	12.7
1998/99	11.3	6.5	3.4	3.5	4.1	7.6	10.2	16.4	19.1	22.4	22.8	17.3	12.0
1999/00	12.6	4.7	3.7	0.7	7.3	8.4	9.4	15.8	19.5	21.4	21.8	18.2	12.0
2000/01	11.7	6.4	5.7	5.7	5.2	11.1	10.4	13.8	20.4	21.7	22.9	17.5	12.7
2001/02	14.8	4.9	-0.6	4.9	6.5	8.7	10.4	12.8	19.7	21.2	19.9	17.0	11.7
2002/03	12.6	7.8	6.7	3.0	3.9	9.0	10.7	14.7	21.3	23.2	22.9	17.7	12.8
2003/04	11.9	8.1	4.5	5.3	5.0	6.8	9.0	12.4	20.1	21.4	22.2	19.1	12.2
2004/05	13.7	6.3	4.3	2.2	1.2	7.8	11.2	16.7	21.4	23.2	22.1	16.8	12.3
2005/06	13.6	6.5	2.5	2.6	3.6	8.9	11.8	16.6	19.6	23.7	20.4	18.5	12.4
2006/07	15.2	9.7	3.3	4.3	7.0	7.1	10.4	14.2	18.8	22.1	20.9	17.7	12.6
2007/08	12.0	5.8	3.6	5.2	6.6	7.6	11.2	13.6	17.4	22.4	22.6	17.3	12.1
2008/09	12.1	4.7	3.3	2.3	4.8	8.0	9.2	16.4	20.7	23.7	23.4	17.7	12.2
2009/10	14.5	9.1	4.5	2.8	4.5	6.5	11.2	12.6	17.4	23.6	21.9	17.9	12.2
2010/11	11.8	5.9	4.2	4.1	5.7	7.8	13.9	16.3	19.7	22.0	23.5	19.7	12.9
2011/12	13.8	9.3	4.9	4.3	1.6	8.0	9.9	16.9	21.7	22.9	24.2	17.5	12.9
2012/13	13.4	8.2	5.0	4.5	4.4	8.0	9.8	11.7	17.6	23.0	22.2	18.8	12.2
2013/14	15.2	6.6	3.7	5.8	5.2	8.6	14.0	15.2	20.1	21.7	23.7	20.4	13.3
2014/15	16.1	9.6	4.9	4.0	4.0	8.6	12.3	16.7	19.9	25.8	22.7	17.5	13.5
Media	12.9	7.3	4.3	3.8	5.1	8.2	10.4	14.4	18.9	22.3	22.2	17.8	12.3

ETP Thornthwaite

ETP (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1986/87	53.7	20.3	9.3	7.4	12.8	28.2	49.1	64.8	104.4	128.2	133.4	100.3	712.0
1987/88	49.2	20.2	15.7	18.2	12.7	29.5	43.4	69.4	85.4	129.4	124.0	84.2	681.3
1988/89	54.1	25.9	6.4	7.7	16.0	33.8	31.0	72.7	100.8	134.7	125.9	74.0	683.1
1989/90	51.8	28.6	22.3	9.9	26.4	28.1	30.8	72.6	111.4	134.8	122.2	89.0	727.9
1990/91	46.8	19.3	5.1	7.2	9.7	31.1	33.1	54.3	106.6	132.3	135.6	92.7	673.9
1991/92	40.0	19.5	12.1	3.1	11.5	25.9	46.5	82.3	76.8	130.7	130.6	91.1	670.0
1992/93	43.7	27.9	13.0	9.9	9.4	28.8	38.8	70.0	104.4	131.8	128.6	77.3	683.4
1993/94	40.2	20.8	12.8	7.7	12.9	37.0	32.1	79.2	109.2	158.2	142.0	70.9	723.1
1994/95	49.2	26.0	13.2	10.8	19.5	26.5	42.9	81.0	103.1	139.9	118.7	68.4	699.3
1995/96	56.8	28.2	16.6	16.0	10.2	27.9	46.3	73.1	108.0	133.4	119.6	69.8	705.8
1996/97	46.5	24.5	15.4	13.0	23.7	36.1	50.8	76.7	98.1	116.9	122.3	91.8	716.0
1997/98	59.0	23.5	11.4	12.2	21.7	36.3	35.6	67.2	113.2	139.3	121.8	83.5	724.7

1998/99	42.0	19.0	8.1	9.2	12.0	26.0	41.3	87.3	108.9	139.0	134.9	82.9	710.7
1999/00	50.2	13.1	10.2	2.7	19.6	28.9	36.6	83.0	112.5	131.6	127.8	89.6	705.8
2000/01	45.7	18.0	15.0	14.6	13.5	43.2	42.0	71.6	119.0	130.6	131.1	80.0	724.2
2001/02	58.4	12.2	4.5	12.7	18.1	33.4	45.3	65.9	115.6	128.5	110.5	78.6	683.7
2002/03	49.2	23.3	18.2	8.3	9.1	31.0	42.9	74.1	124.9	144.4	134.3	83.0	742.7
2003/04	45.7	22.9	10.6	14.2	12.9	24.8	36.3	62.4	117.4	130.7	127.7	92.7	698.3
2004/05	56.2	17.5	10.8	6.3	4.3	27.6	45.1	86.1	124.0	146.3	131.5	81.1	736.9
2005/06	55.9	18.6	6.3	6.2	7.8	31.6	47.9	87.1	111.3	148.0	113.2	87.7	721.5
2006/07	60.5	28.6	7.4	12.3	19.7	24.9	44.4	74.6	108.1	136.6	120.2	84.9	722.4
2007/08	47.4	16.7	9.5	13.9	18.9	28.4	49.3	70.6	98.6	137.3	130.2	80.3	701.1
2008/09	46.9	13.0	8.0	6.5	10.6	26.0	33.5	84.8	119.6	148.5	136.7	82.8	717.0
2009/10	57.2	26.0	13.1	9.5	12.7	24.0	47.6	63.3	96.9	150.0	129.7	88.6	718.8
2010/11	48.1	18.5	13.0	10.4	12.9	24.9	58.4	83.7	111.8	132.4	136.2	93.3	743.5
2011/12	52.6	25.6	10.3	8.9	5.3	25.5	37.7	88.8	127.4	140.9	144.6	81.0	748.5
2012/13	52.6	23.0	11.9	11.0	11.6	29.4	41.7	57.1	98.8	142.0	127.7	88.9	695.6
2013/14	62.6	20.6	8.4	12.6	11.4	27.2	58.9	75.3	113.1	128.4	135.8	95.9	750.4
2014/15	62.2	25.9	9.8	8.5	9.1	27.4	48.2	85.4	111.7	167.0	131.2	78.9	765.4
Media	51.2	21.6	11.3	10.0	13.7	29.4	42.7	74.6	108.3	137.7	128.5	84.3	713.3