

**ALEGACIONES DE FECHA 22-12-2021 AL BORRADOR DEL PLAN HIDROLÓGICO DEL
DUERO 2022-2027**

"EXPLOTACIÓN DE GANADO VACUNO DE LECHE Y PLANTA DE BIODIGESTIÓN DE
PURINES EN LA LOCALIDAD DE NOVIERCAS (SORIA)"

**(ESCRITO A LA
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO)**

Alberto Guerendiáin Azpiroz, con D.N.I.: en calidad de Gerente de la
empresa VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA., con C.I.F.: y con domicilio fiscal y
a efectos de notificaciones en Navarra), y con
teléfonos de contacto dentro del proceso de consulta pública
del BORRADOR DEL PLAN HIDROLOGICO DEL DUERO 2022-2027, ante la
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO (CHDUERO en adelante),

COMPARECE Y EXPONE QUE:

**A) DE ACUERDO CON LO RECOGIDO EN LA PÁG. 165 DE LA MEMORIA DEL
BORRADOR DEL PLAN HIDROLÓGICO DEL DUERO 2022-2027, LA EMPRESA
PROMOTORA VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA. HA SOLICITADO EL ESTUDIO DEL
IGME (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA) RELATIVO A LA "DEFINICIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA CON CONTINUIDAD
HIDROGEOLÓGICA ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS. DUERO-EBRO.
ARAVIANA-BOROBIA (Mayo de 2021)" EN VARIAS OCASIONES A LA CHDUERO, A LA
CHEBRO, A LA DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA Y AL IGME**

En concreto, en a través de los escritos de fechas 10-11-2021 y 07-12-2021.

**B) LA EMPRESA PROMOTORA VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA. NO HA
OBTENIDO RESPUESTA DE PARTE DE LA CHDUERO NI DE LA CHEBRO NI DE LA
DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA NI DEL IGME**

C) RECIENTEMENTE LA EMPRESA PROMOTORA VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA. HA TENIDO ACCESO A UNA COPIA DEL ESTUDIO DEL IGME, CUYOS DATOS Y CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES SON LOS SIGUIENTES:

IGME

Encomienda de gestión para desarrollar diversos trabajos relacionados con el inventario de recursos hídricos subterráneos y con la caracterización de acuíferos con continuidad hidrogeológica entre demarcaciones hidrográficas.

Definición y caracterización de masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica entre demarcaciones hidrográficas.

***Duero-Ebro
Araviana-Borobia***

Mayo de 2021

| | Área Superficial (Km ²) | % | Área Subterránea (Km ²) | % | Recarga (hm ³ /año) | Transferencia (hm ³ /año) | Aportación subterránea (hm ³ /año) |
|-------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------------|---|
| Duero | 434,37 | 72,04 | 306,20 | 50,75 | 39,79 | -8,47 | 31,32 |
| Ebro | 168,72 | 27,96 | 297,19 | 49,25 | 14,25 | 8,47 | 22,72 |
| TOTAL | 603,09 | 100 | 603,39 | 100 | 54,04 | 0 | 54,04 |

Responsable técnico por parte del IGME:

José Manuel Murillo Díaz

Subdirector General Adjunto de Investigación

POR TODO LO EXPUESTO ANTERIORMENTE, LA EMPRESA PROMOTORA DEL PROYECTO DE LA VAQUERÍA DE NOVIERCAS (VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA.) PRESENTA LAS SIGUIENTES ALEGACIONES AL BORRADOR DEL PLAN HIDROLÓGICO DEL DUERO 2022-2027:

ALEGACIÓN 1: SEAN CONSIDERADAS Y RESPETADAS POR PARTE DE LA CHDUERO LAS FUNCIONES DE LA OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

Ya que, según reza en la página web chduero.es, una de las funciones de la OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA DEL DUERO es *“La recopilación y, en su caso, la realización de los trabajos y estudios necesarios para la elaboración, seguimiento y revisión del Plan Hidrológico de la cuenca, de acuerdo con el art. 39.2 de la Ley de Aguas”*

1º) CONSIDERANDO que el comisario Adjunto de Aguas de la CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO, en reunión celebrada en Zaragoza, con fecha 04-10-2021, comentó a la empresa promotora VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA. que existía un estudio realizado por el IGME (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA) en relación con las masas de aguas subterráneas compartidas de la zona de la VAQUERÍA DE NOVIERCAS (SORIA).

2º) CONSIDERANDO que el mismo comisario Adjunto de Aguas de la CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO, durante la misma reunión, sugirió a la empresa promotora VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA. que solicitase dicho estudio a la CHDUERO, CHEBRO, a la DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA y al propio IGME, para poder tener una copia y, así, poder completar el estudio hidrogeológico que estaba llevando a cabo la propia empresa promotora sobre la zona de Noviercas.

3º) CONSIDERANDO que recientemente la empresa promotora ha tenido acceso a una copia del estudio del IGME.

4º) Y CONSIDERANDO que:

Este estudio del IGME señala claramente la existencia de recurso suficiente para satisfacer la demanda de aguas subterráneas para usos ganaderos del proyecto de la VAQUERÍA DE NOVIERCAS (0,78 hm³/año)

Y, además, el estudio **“Estudio hidrogeológico del sistema acuífero asociado a la masa de agua subterránea Araviana, Soria”**, llevado a cabo por el Catedrático Emérito D. Emilio Custodio, durante 2021 (el

cual se aporta), coincide con el estudio del IGME, en este aspecto; al señalar en sus conclusiones sumarias también que:

** Como conclusión final, mediante la realización de este estudio se han analizado los recursos de agua subterránea de la zona donde se plantea el establecimiento de una nueva explotación ganadera. Se concluye que la MASb Araviana 400034 tiene recursos suficientes para atender la demanda solicitada por la explotación ganadera, de manera sostenible a lo largo del tiempo, a tenor de los valores de recarga estudiados. Adicionalmente se indica que la depuración de aguas en el interior de la granja y su posterior almacenamiento temporal en balsas excavadas en terrenos limo arcillosos, con el cuenco sellado con una capa de arcilla, es una correcta medida para preservar los acuíferos respecto de la contaminación por sustancias nitrogenadas que ya no estarán en las aguas.*

APORTO a la CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO una copia del informe del IGME relativo a la "Definición y caracterización de masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica entre demarcaciones hidrográficas. Duero-Ebro. Araviana-Borobia (Mayo de 2021)"

Para que pueda ser llevada a cabo la función de la OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA DEL DUERO que se refiere a "La recopilación y, en su caso, la realización de los trabajos y estudios necesarios para la elaboración, seguimiento y revisión del Plan Hidrológico de la cuenca, de acuerdo con el art. 39.2 de la Ley de Aguas"

Y, en virtud del referido estudio del IGME, SOLICITO que sea contemplada (dentro de la planificación hidrológica en tramitación para el periodo 2022-2027) la reserva de aguas subterráneas (0,78 hm³/año) necesaria para satisfacer los usos ganaderos del proyecto propuesto por la empresa promotora VALLE DE ODIETA, S.C.L. para la VAQUERÍA DE NOVIERCAS, dada la existencia de agua en cantidad suficiente.

ALEGACIÓN 2: EXISTENCIA DE AGUA EN CANTIDAD SUFICIENTE

El proyecto de la VAQUERÍA DE NOVIERCAS requiere una cantidad de agua de 0,78 hm³/año (exclusivamente para usos ganaderos y no de regadíos).

Cifra que resulta muy pequeña en comparación con el recurso disponible que indica el IGME (el cual está muy por encima de los 9,40 hm³/año, que la CHDUERO reconoce en BORRADOR 2022-2027 para la masa de agua subterránea 400034 ARAVIANA)

El art. 40 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, dispone que uno de los objetivos generales de la planificación hidrológica es *"la satisfacción de las demandas de agua"*.

Y, en virtud del referido art. 40 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, SOLICITO A LA CHDUERO QUE TRATE A NUESTRO PROYECTO CON CRITERIOS TÉCNICOS Y RAZONABLES para la satisfacción de nuestra demanda de agua de 0,78 hm³/año, necesaria para satisfacer los usos ganaderos del proyecto propuesto por la empresa promotora VALLE DE ODIETA, S.C.L. para la VAQUERÍA DE NOVIERCAS, mediante la contemplación de reserva dentro de la planificación hidrológica en tramitación para el periodo 2022-2027, dada la existencia de agua en cantidad suficiente.

- Solicitamos a la CHDUERO que satisfaga nuestra demanda y considere todos los datos y características relacionados con nuestro proyecto **con criterios técnicos solventes y razonables y con arreglo a la normativa existente.**

Ya que volvemos a reiterar ante esta CONFEDERACIÓN, y, por extensión, ante el MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, que no solicitamos la concesión de agua de manera caprichosa, sino con la intención de desarrollar un proyecto de gran trascendencia socio-económica.

- Mientras que hasta la fecha nos ENCONTRAMOS EN UNA CLARA SITUACIÓN DE INDEFENSIÓN, ya que, como administrados, entendemos que hemos hecho todo lo que en nuestra mano estaba:

* En marzo de 2016, realizó una consulta oficiosa a la CHDUERO a través del Servicio Provincial de Agricultura y Ganadería de Soria de la Junta de Castilla y León sobre la existencia de aguas subterráneas.

* En septiembre de 2017, mantuvo una reunión con el entonces Comisario de Aguas (Sr. Ángel J. González Santos, actualmente Jefe de la Oficina de Planificación Hidrológica), para presentarle de forma general el proyecto y para el inicio de los trámites necesarios de solicitud de una concesión de aguas subterráneas para usos ganaderos y los trámites de solicitud del permiso de ejecución de un sondeo de investigación. En aquel momento, el Sr. Ángel J. González Santos indicó que para el abastecimiento de la granja el acuífero contaba con agua en cantidad y calidad suficientes. Sin indicar problemas. E indicó a la empresa VALLE DE ODIETA, S.COOP. LTDA. que podía iniciar los trámites para la solicitud de concesión de aguas subterráneas para usos ganaderos e incluso para la ejecución de un sondeo de investigación (que también se le presentó).

* Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2017, la empresa promotora VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA. mantuvo conversaciones con los técnicos de la CHDUERO para preparar las solicitudes de concesión de aguas subterráneas para usos ganaderos e incluso para la ejecución de un sondeo de investigación, según había indicado el Sr. Ángel J. González Santos.

* En enero de 2018, presentó la solicitud de una concesión de aguas subterráneas y los trámites de solicitud del permiso de ejecución de un sondeo de investigación.

* En octubre de 2020, SOLICITAR PERMISO DE COMPETENCIA DE PROYECTOS PARA LA EJECUCIÓN DE UN SONDEO DE INVESTIGACIÓN.

* Durante la segunda mitad de 2021, elaborar un ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SISTEMA ACUÍFERO ASOCIADO A LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA ARAVIANA, SORIA.

* Durante la segunda mitad de 2021, revisar y estudiar toda la documentación técnico-científica disponible (de la propia CHDUERO, de la JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, del IGME, etc.) que describe la existencia de agua (en cantidad y calidad suficientes), para obtener mayor conocimiento de las cuestiones geológicas e hidrogeológicas del lugar.

* Durante la segunda mitad de 2021, plantear la instalación de una depuradora en el interior de la granja (con un coste suplementario sobre el proyecto inicial de 6.500.000 € aprox.), en aras a la NO AFECCIÓN CUALITATIVA A LAS MASAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, y considerar al proyecto global como "PROYECTO DE VERTIDOS CERO A EFECTOS DE AGUAS RESIDUALES".

* Recientemente, con fecha 14-12-2021, en reunión celebrada en Valladolid, entre la empresa promotora con la Sra. Presidenta y la Sra. Comisaria de CHDUERO, el Sr. Ángel J. González Santos confirmó lo que él mismo había manifestado en la reunión de septiembre de 2017.

- Y manifestamos INDEFENSIÓN, ya que, como administrados, la administración competente en materia de aguas (CHDUERO) nos está denegando repetidamente la concesión de aguas y la ejecución de un sondeo de investigación. Pero, en opinión de la empresa promotora:

* La expresión "*No hay reservas contempladas en el Plan Hidrológico vigente (2015-2021)*" no se entiende como causa suficientemente razonada que impida el informe de compatibilidad, que impida la concesión de aguas subterráneas para usos ganaderos e incluso que impida el permiso para la ejecución de un sondeo de reconocimiento. Todo ello en contraste con el RECURSO DISPONIBLE de 27,80 hm³ / año que la propia CHDUERO indica en su página web para la masa de agua subterránea ARAVIANA 400034. Y, además, nos gustaría recibir aclaración sobre el artículo (o artículos) del texto legal en el que se indica la vinculación entre reserva contemplada y compatibilidad para una concesión y compatibilidad para la ejecución de un sondeo de reconocimiento o investigación.

* La Sra. Presidenta de la CHDUERO está realizando sistemáticamente negaciones (o no contestaciones) a nuestras peticiones, pero no aporta los informes que las soportan.

* La Sra. Presidenta de la CHDUERO y sus técnicos están realizando sistemáticamente alusiones a proyectos encargados (al IGME) por la DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA, hasta el punto de incurrir en contradicciones del tipo que, por una parte nos dice que "se está finalizando un estudio" y, por otra, nos dice que "una de las posibles conclusiones"... , pero no lo aportan.

* Con lo que el administrado, la empresa promotora VALLE DE ODIETA, S. COOP. LTDA., no tiene capacidad de reaccionar ni de contrastar.

- Añadida a esta situación de indefensión del administrado, cabe destacar que se puede percibir determinada ARBITRARIEDAD en todo el proceso de planificación hidrológica del BORRADOR DEL PLAN HIDROLÓGICO DEL DUERO 2022-20227, en tanto en cuanto, a la propia CHDUERO ya se le informó del proyecto de la VAQUERÍA DE NOVIERCAS en septiembre de 2017, con la CHDUERO ya se comenzaron las primeras tramitaciones oficiales en enero de 2018, el proyecto ya fue registrado en la Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León con fecha 27 de julio de 2018, la propia Consejería ya se ha dirigido en repetidas ocasiones a la CHDUERO y el IGME ya ha elaborado un informe fechado en mayo de 2021. Pues, bien, llegado el 22 de junio de 2021, la CHDUERO publica su BORRADOR 2022-2027 y no tiene en cuenta para nada a este proyecto. Es decir, se puede percibir que la CHDUERO por la vía de los hechos está desconsiderando arbitrariamente a este proyecto y a este administrado.

* Resulta increíble que la propia CHDUERO no tenga en cuenta de manera ecuánime y mesurada el art. 40 Objetivos y criterios de la planificación hidrológica del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, el cual indica que *la planificación hidrológica tendrá por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas objeto de esta ley, la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales*. Ya que ni se ha autorizado concesión ni permiso para la ejecución de un sondeo de investigación durante el segundo ciclo 2015-2021, ni la planificación hidrológica propuesta para el ciclo 2022-2027, cumple con el RDL 1/2001 Ley de Aguas en el sentido de observar lo indicado por el citado artículo 40 en lo referente a *satisfacción de las demandas de agua*.

* En general, se puede entender que las diferentes administraciones en aplicación de las normas tengan un determinado margen de discrecionalidad. Pero, dentro de la discrecionalidad, cuando la CHDUERO sobrepasa el margen de lo razonable, da la impresión de que se coloca dentro del lado de la arbitrariedad. Arbitrariedad que a este administrado le causa gran indefensión jurídica, además de serio perjuicio económico

SOLICITO DE LA CONFEDERACION HIDROGRÁFICA DEL DUERO que tenga por presentado este escrito, en tiempo y forma, lo admita y, de conformidad con lo manifestado en las alegaciones anteriores; QUE PROCEDA, estimando las mismas, A RESERVAR DENTRO DE LA NUEVA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA 2022-2027 UN RECURSO DE AGUA DE LA MASA SUBTERRÁNEA 400034 ARAVIANA DE 0,78 hm³/AÑO QUE POSIBILITE LA INSTALACIÓN DE LA VAQUERÍA DE NOVIERCAS QUE TIENE PROYECTADA LA EMPRESA VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA.

Puesto que todos los estudios técnicos (tanto los procedentes de organismos públicos oficiales, como los aportados por esta empresa y realizados por profesionales de reconocido prestigio en la especialidad de la Hidrogeología, corroboran la existencia del recurso en cantidad, calidad y recarga para satisfacer la concesión de aguas subterráneas para usos ganaderos.

Por lo que entendemos que debe darse respuesta satisfactoria a la petición de la empresa VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA. para poder desarrollar su proyecto, y todo ello por ser conforme a la Ley

En Ciáurriz (Navarra), a 22 de diciembre de 2021

La empresa:
VALLE DE ODIETA, S.C.L.

Fdo.: Alberto Guerendiáin Azpiroz
Gerente de VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA.

Pd.- Se envía copia de este escrito (8 páginas + 2 anexos) a:

ANEXO 1: ESTUDIO DEL IGME RELATIVO A LA "DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA CON CONTINUIDAD HIDROGEOLÓGICA ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS. DUERO-EBRO. ARAVIANA-BOROBIA"

ANEXO 2: Estudio hidrogeológico del sistema acuífero asociado a la masa de agua subterránea Araviana, Soria", llevado a cabo por el Catedrático Emérito D. Emilio Custodio, durante 2021.

Copia a Sra. PRESIDENTA DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Copia a Sr. DIRECTOR GENERAL DEL AGUA DE ESPAÑA

A LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO.
C/ Muro, 5. --- 47004 Valladolid (VALLADOLID)

ANEXO 1:

ESTUDIO DEL IGME RELATIVO A LA “DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA CON CONTINUIDAD HIDROGEOLÓGICA ENTRE DEMARCAACIONES HIDROGRÁFICAS. DUERO-EBRO. ARAVIANA-BOROBIA”

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



**DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA CON
CONTINUIDAD HIDROGEOLÓGICA ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS**

Duero-Ebro

ARAVIANA-BOROBIA

MAYO 2021



**Instituto Geológico
y Minero de España**

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. | 7 |
| 3.3. FORMACIONES HIDROGEOLÓGICAS | 12 |
| 3.4. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y PIEZOMETRÍA..... | 19 |
| 3.5. RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO | 25 |
| 3.6. USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA | 28 |
| 4. CLIMATOLOGÍA | 29 |
| 4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA..... | 29 |
| 4.2. ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL | 31 |
| 4.2.1. <i>Análisis espacial</i> | 31 |
| 4.2.2. <i>Análisis temporal</i> | 32 |
| 5. RECARGA A LOS ACUÍFEROS | 38 |
| 5.1. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL MÉTODO APLIS..... | 38 |
| 5.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE VISUAL BALAN | 44 |
| 5.3. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA..... | 47 |
| 5.3.1. <i>Metodología de cálculo y entrada de datos</i> | 48 |
| 5.3.2. <i>Calibración</i> | 55 |
| 6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS | 60 |
| 7. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL | 61 |
| 8. RESUMEN Y CONCLUSIONES | 63 |

Anexo I. Datos climáticos mensuales utilizados



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Esquema general de situación de las MASCH Araviana-Borobia y adyacentes | 1 |
| Figura 3.1. Esquema de la Cordillera Ibérica. Geología de España. Vera, JA (2004)..... | 5 |
| Figura 3.2. Sistema de poljes de Noviercas sobre modelo digital del terreno y corte transversal (E. Sancho Ruiz, 2019) | 9 |
| Figura 3.3. Karst aluvial de Borobia sobre modelo digital del terreno y corte transversal (E. Sancho Ruiz, 2019) | 10 |
| Figura 3.4. Mapa Hidrogeológico de la MASCH Araviana-Borobia..... | 16 |
| Figura 3.5. Cortes hidrogeológicos de la MASCH Araviana-Borobia (modificados de MAGNA) ... | 17 |
| Figura 3.6. Cortes esquemáticos hidrogeológicos de la MASCH Araviana-Borobia (modificado Hydrogeo, CHE) | 18 |
| Figura 3.7. Evolución de los niveles de agua subterránea en los piezómetros de Noviercas (PZ023401-SO) y de Ciria (2415-4-0005) | 20 |
| Figura 3.8. Vista del manantial de Lagón o El Estanque. Aranda de Moncayo. (Tomada de la Web https://www.verpueblos.com/) | 21 |
| Figura 3.9. Evolución de caudales en la Estación de aforo A236 SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Ebro | 22 |
| Figura 3.10. Evolución de los niveles de agua subterránea en el piezómetro PZ0234002-SO..... | 23 |
| Figura 3.11. Corte E-F (modificado de MAGNA, Hoja 350-SORIA)..... | 24 |
| Figura 3.12. Manantial de los Ojos o los Manaderos en Renieblas (Tomada de la Web http://www.renieblas.es/galeria-el-medio/) | 25 |
| Figura 3.13. Esquema explicativo de la génesis del manantial de Almenar (Modificado de IGME 2009) | 27 |
| Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas | 29 |
| Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos | 34 |
| Figura 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen | 35 |
| Figura 4.4. Hietograma anual de la precipitación media caída en la MASb | 35 |
| Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos..... | 38 |
| Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio..... | 38 |
| Figura 4.7. Desviaciones de la precipitación anual respecto a la media acumuladas..... | 37 |
| Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) Suelo (S) e Infiltración (I) para el método APLIS. | 42 |
| Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS) | 44 |



| | |
|--|----|
| Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la MASb Araviana - Borobia (acuífero Jurásico) (1990/91-2014/15)..... | 46 |
| Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA..... | 48 |
| Figura 5.5. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa. | 49 |
| Figura 5.6. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA. | 50 |
| Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA..... | 51 |
| Figura 5.8. Sectores de suelo aplicados en el código RENATA. | 52 |
| Figura 5.9. Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo | 53 |
| Figura 5.10. Condiciones en los límites del modelo de flujo | 54 |
| Figura 5.11. Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros..... | 57 |
| Figura 5.12. Piezometría representada en Renata para el régimen permanente | 58 |
| Figura 5.13. Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo | 59 |
| Figura 7.1. Superficie piezométrica flujo subterráneo y manantiales de la MASCH Araviana-Borobia (acuífero jurásico) en régimen natural permanente. | 62 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 3.1. Caudales en estaciones de medida y control hidrométrico en MASCH Araviana-Borobia (modificado de IGME 2009) | 28 |
| Tabla 4.1. Relación de estaciones climáticas utilizadas para realizar el estudio climático..... | 30 |
| Tabla 4.2. Valores característicos de las estaciones meteorológicas..... | 31 |
| Tabla 4.3. Valores característicos de las series anuales de precipitación para el periodo 1990/91-2014/15..... | 32 |
| Tabla 4.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos acontecidos de octubre de 1990 a septiembre de 2015 | 32 |
| Tabla 5.1. Puntuaciones a asignar para cada parámetro de la metodología APLIS, Parámetro Altitud (m) Puntuación | 39 |
| Tabla 5.2. Porcentaje y clases de recarga metodología APLIS..... | 43 |
| Tabla 5.3. Parámetros aplicados para evaluar la recarga mediante el método VISUAL BALAN ... | 45 |
| Tabla 5.4. Recarga estimada por cuencas hidrográficas (1990/91-2014/15) en la MASCH Araviana - Borobia (acuífero jurásico) mediante VISUAL BALAN | 45 |
| Tabla 5.5. Características de los sectores climáticos (1992-2015)..... | 50 |
| Tabla 5.6. Sectores de suelo: parámetros utilizados..... | 52 |
| Tabla 5.7. Áreas establecidas con diferente recarga..... | 53 |
| Tabla 5.8. Recarga en cada una de las áreas (1992-2015)..... | 56 |
| Tabla 5.9. Precipitación media, recarga media por precipitación y tasa de recarga en los sectores de suelo que se han denominado carbonático y detrítico (1990-2015)..... | 57 |
| Tabla 5.10. Recarga del acuífero jurásico por Demarcaciones Hidrográficas (1992-2015) | 58 |
| Tabla 6.1. Valor de la recarga de la MASCH denominada Araviana-Borobia (acuífero jurásico) mediante la utilización de los métodos APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1990/91-2014/15).... | 60 |
| Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen natural estacionario de la MASCH de Araviana-Borobia (acuífero jurásico) por Demarcaciones Hidrográficas..... | 61 |
| Tabla 7.2. Distribución de recursos subterráneos por cuencas | 62 |



Glosario de Acrónimos

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



El presente documento se integra dentro de los estudios que la Dirección General del Agua ha encargado al 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 con Continuidad Hidrogeológica entre Demarcaciones Hidrográficas. La Dirección Administrativa de los trabajos contemplados en dicha Encomienda ha corrido a cargo de:

Dirección General del Agua (DGA)
LUIS MARTÍNEZ CORTINA

Instituto Geológico y Minero de España (IGME)
JOSÉ MANUEL MURILLO DÍAZ
JOSÉ MARÍA RUIZ HERNÁNDEZ

El presente informe contempla trabajos correspondientes a la **Actividad 2 “Definición y caracterización de masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica entre demarcaciones hidrográficas”** y ha sido elaborado por el **INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME)** con la colaboración de la empresa **EPTISA, SERVICIOS DE INGENIERIA, S.L.** a través del trabajo titulado **“EVALUACIÓN DE LA RECARGA Y LA DESCARGA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS QUE SE GENERAN EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA INTERCUENCAS QUE FUNCIONAN EN RÉGIMEN HÍDRICO NATURAL O PSEUDONATURAL”**

La presente **MEMORIA**, que corresponde a la masa de agua subterránea con continuidad hidrogeológica (**MASCH**) que se ha denominado **“ARAVIANA-BOROBIA”**, ha sido elaborada por el siguiente equipo técnico:

Silverio Casas Ruiz. EPTISA, Servicios de Ingeniería, S.L.
Mónica López Martín. EPTISA, Servicios de Ingeniería, S.L.
Beatriz Delgado Gordillo. EPTISA, Servicios de Ingeniería, S.L.
Miguel Boned Niell. EPTISA, Servicios de Ingeniería, S.L.
José Manuel Murillo Díaz. IGME
José María Ruiz Hernández. IGME
Eduardo A. Garrido Schneider. IGME



PRESENTACIÓN

Los Planes Hidrológicos del segundo ciclo de planificación, actualmente vigentes, definen las masas de agua subterráneas (MASb) dentro de los límites de su propia demarcación, por lo que formal y administrativamente no existen masas de agua subterráneas 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 diferentes, tienen acuíferos conectados hidráulicamente entre sí. En consecuencia, una de las medidas necesarias de coordinación de los Planes Hidrológicos de Cuenca es la determinación de los límites de las masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica entre ámbitos territoriales de dos o más planes, así como la distribución de sus recursos hídricos en cada una de las demarcaciones afectadas.

En cumplimiento del Artículo 9.2 del Reglamento de la Planificación Hidrológica, los planes hidrológicos realizaron 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 tomó como referencia lo previsto en la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional (PHN), que establecía en su Anexo 1 un listado de unidades hidrogeológicas compartidas y su correspondiente asignación de recursos a los distintos ámbitos de planificación. Adicionalmente, algunos planes de cuenca identificaron y propusieron la consideración y evaluación de otras masas de agua subterránea compartidas.

La caracterización y definición de masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica entre diferentes ámbitos de planificación, posterior a la aprobación del mencionado listado, obligan a una revisión de sus límites y recursos, tanto de las incluidas en dicho documento, como de las identificadas adicionalmente en algunos planes de cuenca.

A juicio de la Dirección General del Agua (DGA) se presenta un panorama global de identificación y caracterización de masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica bastante heterogéneo, lo que requiere de una coordinación y caracterización que trasciende el ámbito de cada demarcación hidrográfica, y que tiene que ajustarse a los criterios y conocimientos actuales en cuanto a la definición de masas de agua subterránea, planificación y distribución de recursos hídricos. Esta es la razón por la que la DGA, a través de una Encomienda de Gestión, ha encargado al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) la revisión y actualización de las masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica, así como la distribución de sus recursos en los diferentes ámbitos de planificación.

Para dicho cometido, la DGA indica que los trabajos a realizar deben de partir 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. Esta metodología se ha justificado técnicamente, al igual que el empleo de otras sistemáticas necesarias para analizar situaciones o escenarios que precisen de un tratamiento excepcional o diferenciado.

Dentro de las recomendaciones que realiza la DGA, está la de prestar especial atención a los casos en los que existan discrepancias con los planteamientos establecidos en los planes hidrológicos de cuenca. También propone que se estudie y se valore la posibilidad de incluir otras masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica que no se encontraron entre las que se propusieron.

En concordancia con los objetivos perseguidos, esta memoria contempla la definición, caracterización y distribución de los recursos hídricos de la masa de agua subterránea con



continuidad hidrogeológica de Araviana-Borobia (integrada por la MASb 091.073 Borobia-Aranda de Moncayo de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y parte de las MASb 020.400003 Araviana de la Demarcación Hidrográfica del Duero) de manera que los resultados obtenidos puedan ser incluidos de forma coherente y justificada en los planes hidrológicos afectados



1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO

La Masa de Agua Subterránea con Continuidad Hidrogeológica (MASCH) en estudio incluía inicialmente las MASb de la Demarcación Hidrográfica del Duero, Araviana y Cuenca de Almazán y la MASb de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, Borobia-Aranda de Moncayo, ocupando una extensión total de 2991,69 km².

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



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

La MASCH Araviana-Borobia está definida sobre una superficie total de 603,39 km², de los que 434,67 km² corresponden a la Demarcación del Duero y 168,72 km² a la del Ebro.

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

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

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



2. ANTECEDENTES

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

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

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

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

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

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

En el año 1989 el IGME elaboró una síntesis de la Hidrogeología de la provincia de Soria en la que se resumen las características, funcionamiento y balance hídrico de los principales acuíferos definidos en la provincia, entre los que se incluyen: el acuífero del manantial de Aranda de Moncayo, el acuífero de la cuenca del río Rituerto y el acuífero calcáreo de Soria, que se corresponden, a grandes rasgos, con la actual MASCH Araviana-Borobia. En esta síntesis ya se indica que el área de alimentación del manantial de Aranda de Moncayo se extiende más allá de la divisoria Duero-Ebro, alcanzando la cuenca del río Araviana, produciéndose por tanto una transferencia subterránea desde la cuenca del Duero a la del Ebro. Los recursos medios conjuntos de los tres acuíferos, procedentes de la infiltración del agua de lluvia y de los ríos, se estimaron en unos 33 hm³/a, de los que 22 hm³/a serían drenados por el manantial de Aranda de Moncayo y 8 hm³/a por el río Duero y manantiales en el extremo occidental.



En 1999, la CHE llevó a cabo la delimitación de las Unidades Hidrogeológicas de la cuenca para el Plan Hidrológico, definiendo la UH nº 622 Borovia-Aranda de Moncayo, con los mismos límites de la masa compartida actual, excepto en el este, que en la UH se establecía en el cauce del río Rituerto, desde la divisoria Duero-Ebro hasta su confluencia con el río Araviana. Se consideraba que todos los recursos subterráneos generados en esta unidad, estimados en 13-15 hm³/a, descargaban por el manantial de Aranda de Moncayo, en el extremo oriental.

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



3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

3.1. Contexto geológico

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

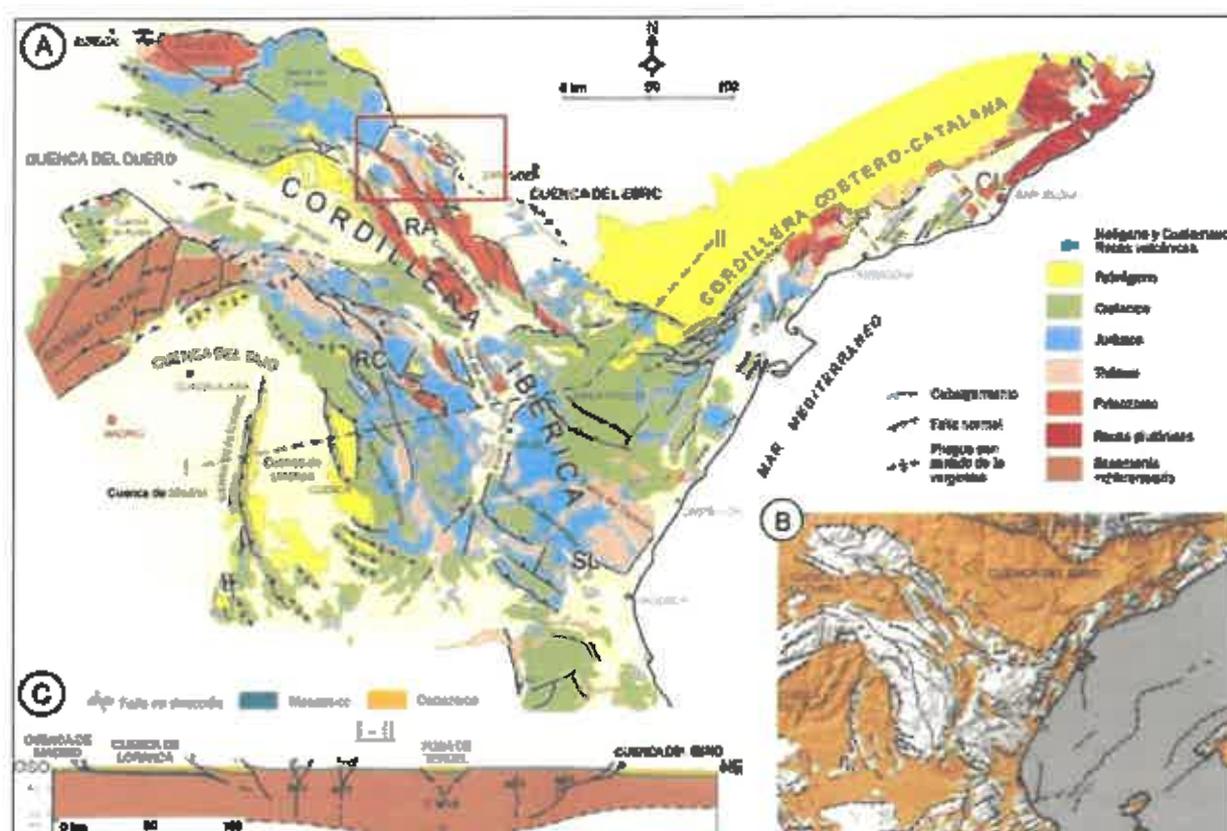


Figura 3.1. Esquema de la Cordillera Ibérica. Geología de España. Vera, J.A (2004)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

3.2. Geometría, estructuras y límites.

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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



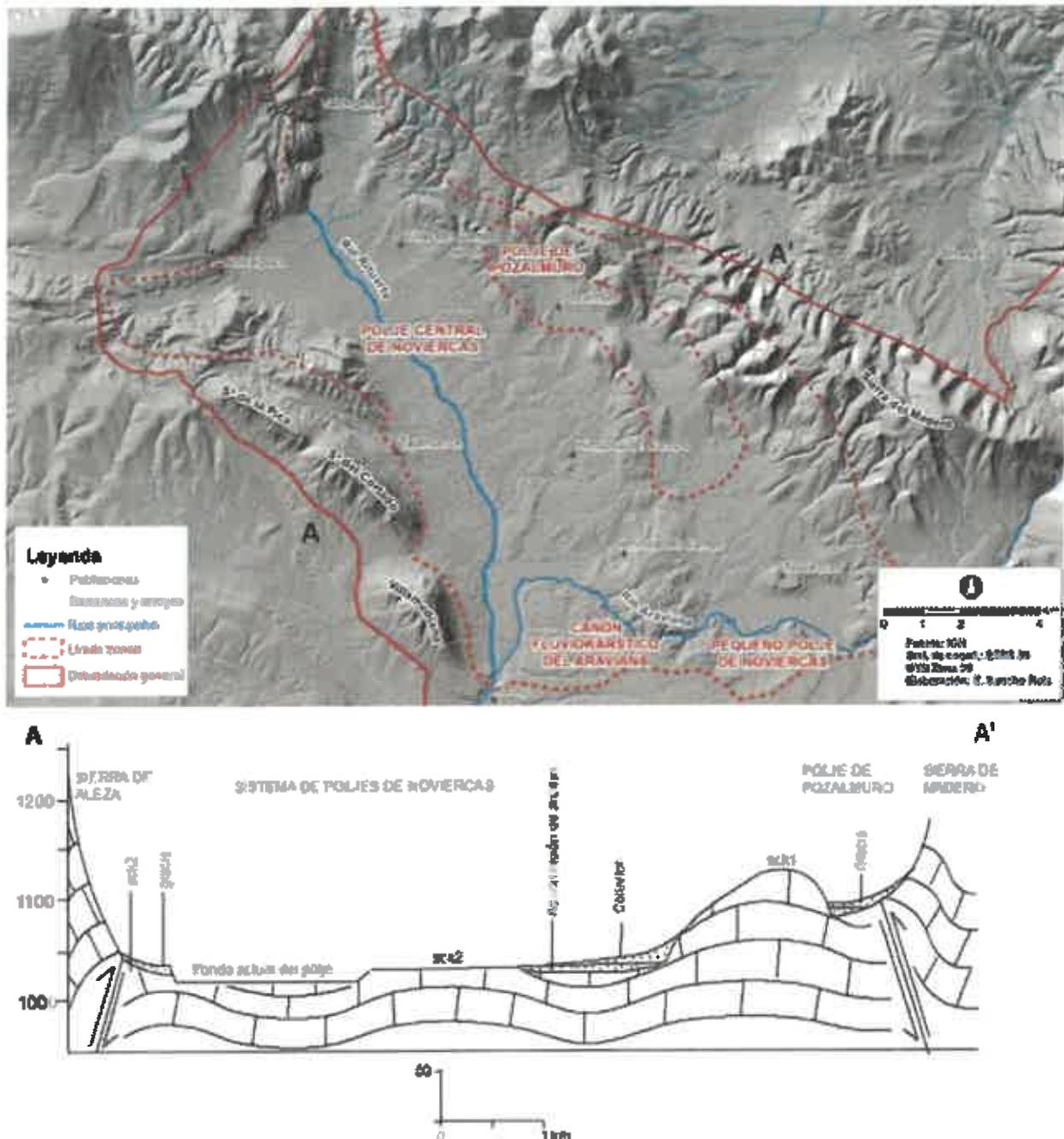


Figura 3.2. Sistema de pozos de Noviercas sobre modelo digital del terreno y corte transversal (E. Sancho Ruiz, 2019)

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



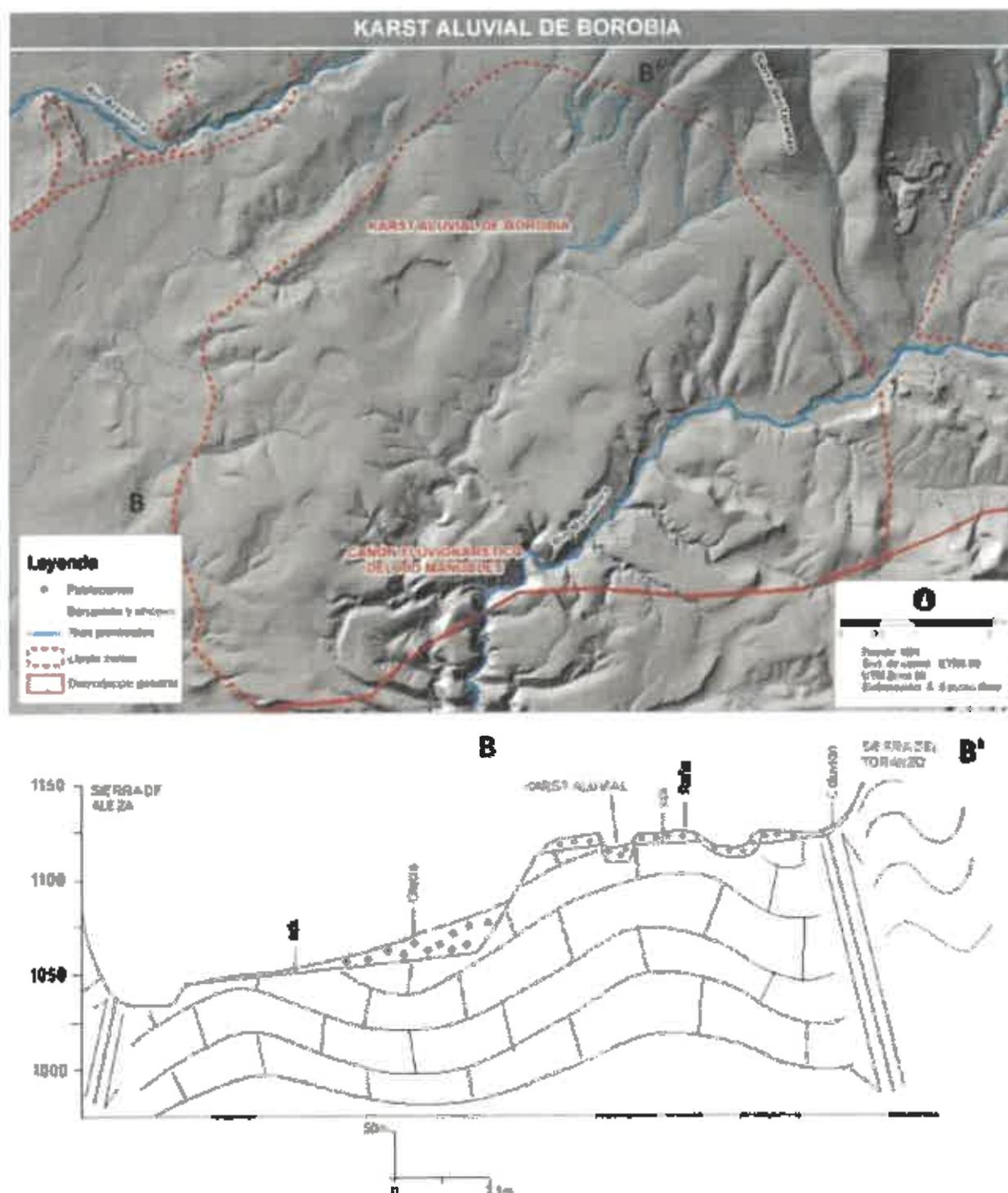


Figura 3.3. Karst aluvial de Borobla sobre modelo digital del terreno y corte transverso (E. Sancho Ruiz, 2019)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

3.3. Formaciones hidrogeológicas

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

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



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

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

Formación detrítico-carbonatada del Cámbrico-Ordovícico (1)

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

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

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

Formación triásica (2)

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

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

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

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

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

Formación calizo-dolomítica del Lias inferior (3)

Agrupar los niveles de carnolitas, calizas, calizas dolomíticas y calizas brechoides masivas del supra-keuper -Lias inferior (Retiense-Hettanglense) que a techo pasan progresivamente a calizas, calizas margosas y margas del Lias medio (Sinemurlense-Pliensbachlense). La potencia del conjunto puede variar entre 200 y 450 metros.

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



Entre Tajahuerca, al SE de la Sierra de la Pica y Jaray, la formación se pone en contacto directo con la Formación Carbonatada del Cretácico superior (8), que probablemente continúa bajo los depósitos terciarios que rellenan la depresión de Almazán, descargando a través de éstos al río Duero.

Aunque no se dispone apenas de datos de parámetros hidráulicos de esta formación y el único dato directo de Transmisividad, obtenido del ensayo de bombeo realizado en el piezómetro 2415-4-0005, se estableció entre 25-120 m²/día, por sus características litológicas e hidrogeológicas, se estima que su permeabilidad será alta-muy alta, especialmente en el tramo de materiales del Lías inferior en los que el grado de karstificación es elevado, Coloma (1999) estima unos valores de Transmisividad para formaciones equivalentes a esta de 100 a 3000 m²/día.

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

Formación margosa del Lías superior-Dogger Inferior (4)

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

Formación carbonatada del Dogger-Malm Inferior (5)

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

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

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

Formación continental del Cretácico Inferior (Facies Weald) (8)

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

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



Formación arenosa (Facies Utrillas) (7)

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

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

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

Formación carbonatada del Cretácico superior (8)

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

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

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

Formación detrítico-arcillosa del Terciario (9)

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

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

Formación detrítica del Cuaternario (10)

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

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



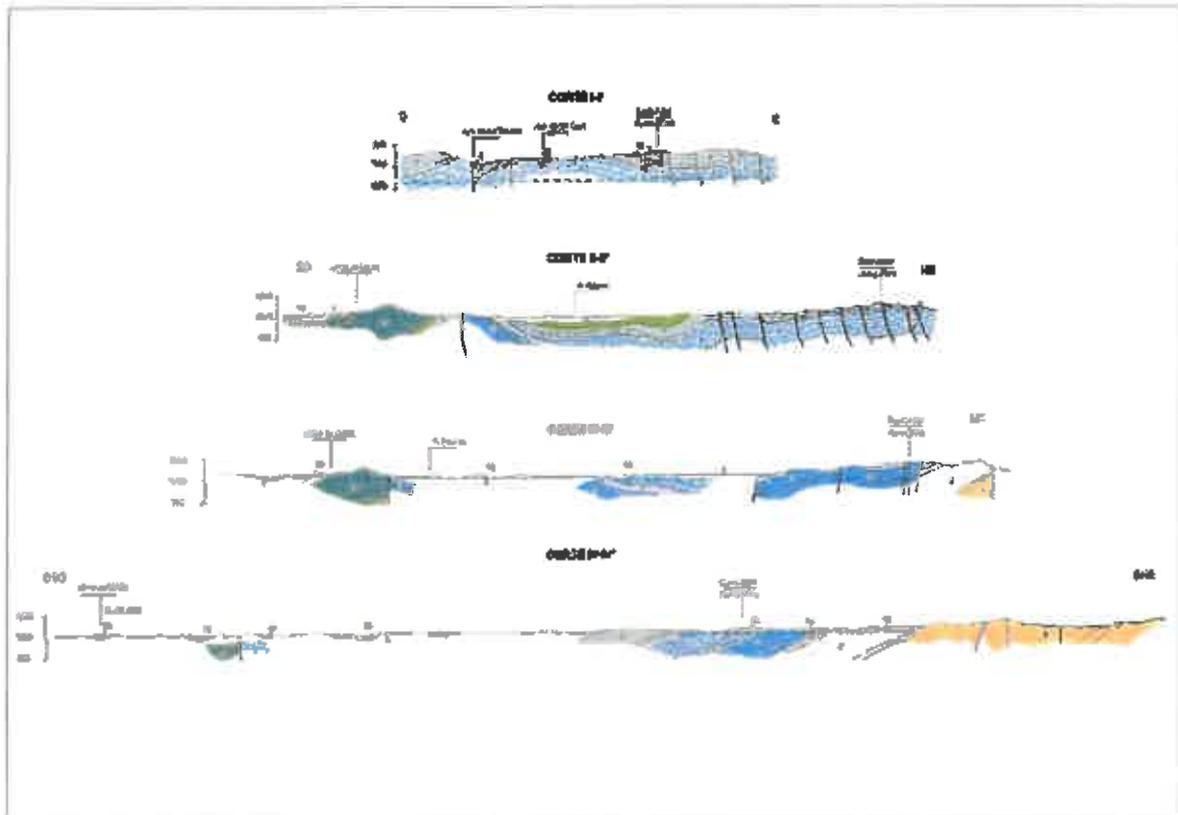


Figura 2.3. Cortas hidrográficas de la SERRA Arcoles-Barroto (continuada de 2.1.1.1)

ANEXO 2

ANEXO DE MAPAS DE LOCALIZACIÓN Y APLICACIÓN DE LAS OBLIGACIONES DE INFORMACIÓN AMBIENTAL



3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA 18

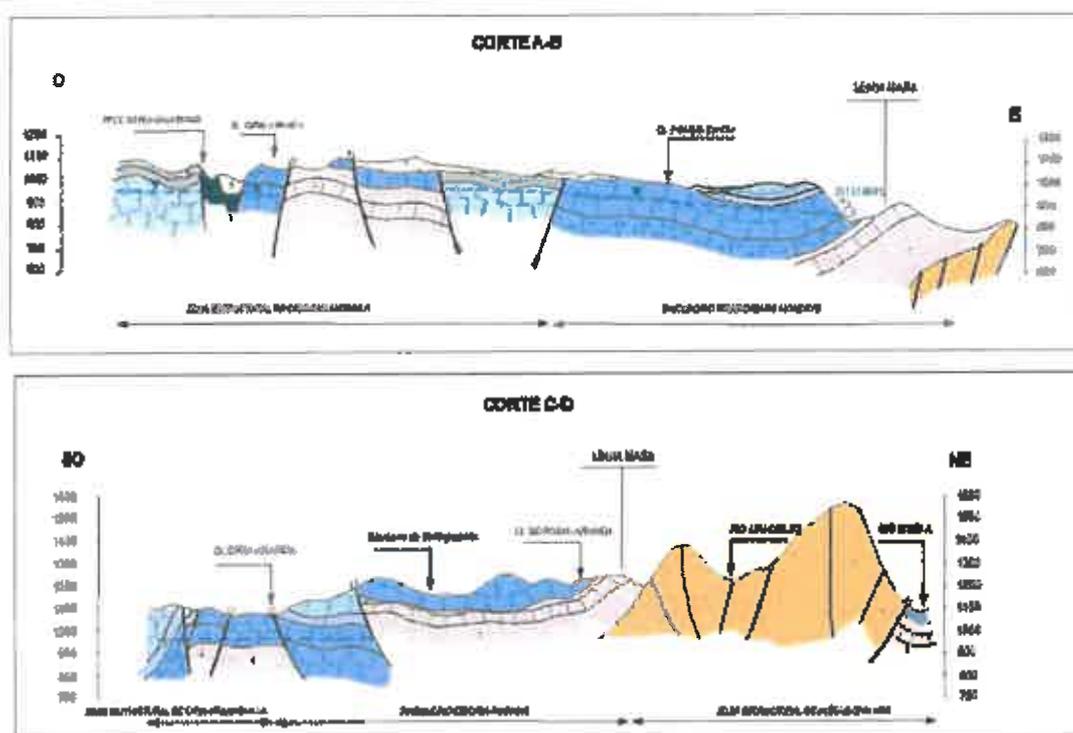


Figura 3.4. Cortes esquemáticos hidrogeológicos de la MASCH Arvizco-Barobla producido Hydrogen, CH2

AYAVANA-BORDEA

ESTUDIO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS Y SU RELACIONACIÓN DE ACÍDUOS CON YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS

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

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

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

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

3.4. Funcionamiento hidrogeológico y piezometría.

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

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

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

Sector Oriental

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



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

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

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

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

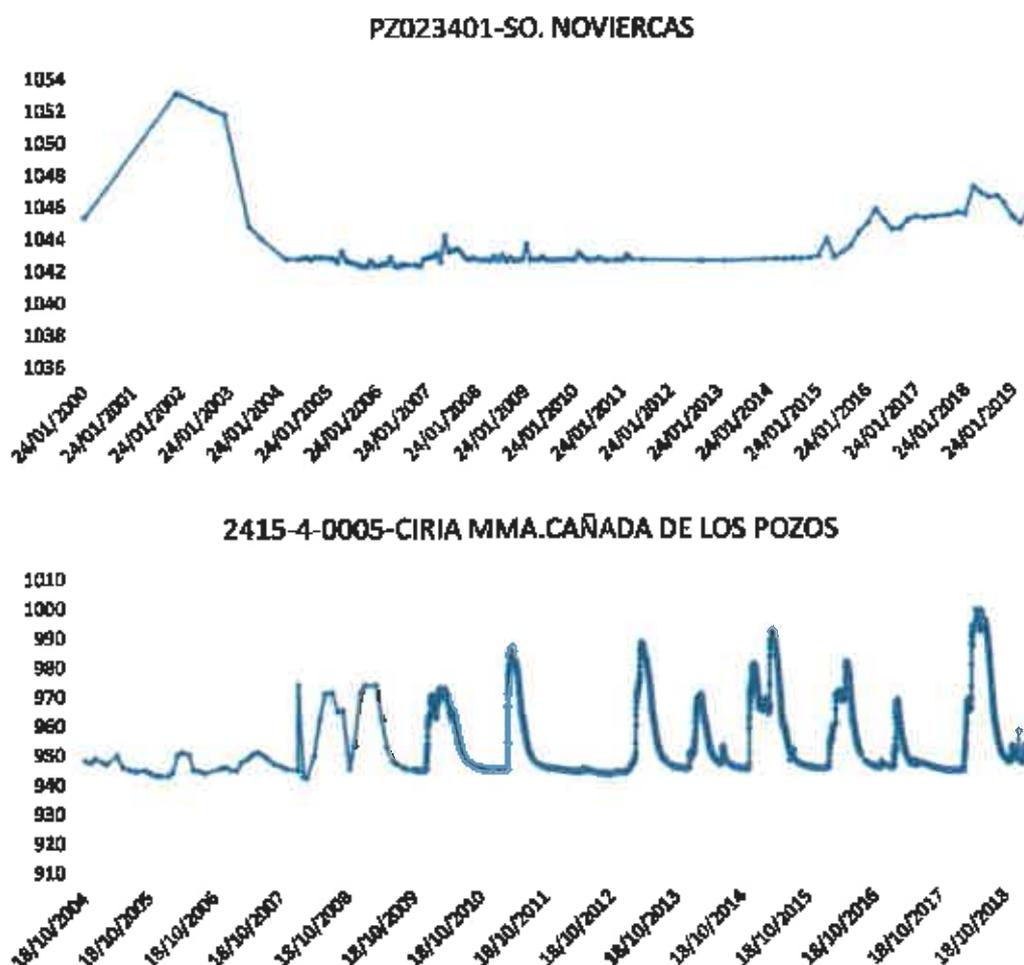


Figura 3.7. Evolución de los niveles de agua subterránea en los piezómetros de Noviercas (PZ023401-SO) y de Ciria (2415-4-0005)

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



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

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

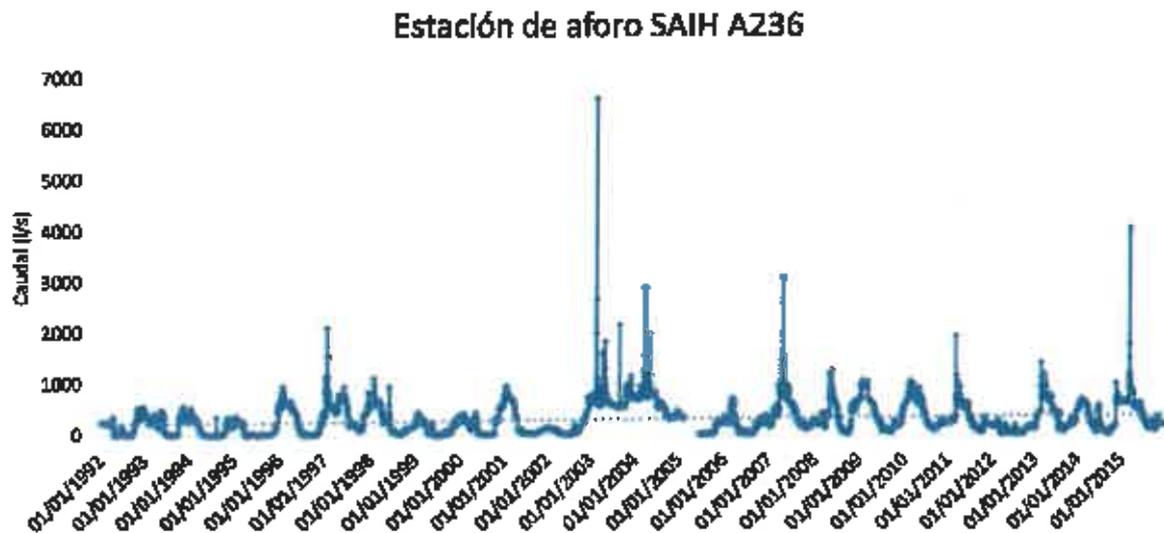


Figura 3.9. Evolución de caudales en la Estación de aforo A236 SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Ebro

La evolución de caudales refleja, como corresponde a la descarga de un acuífero kárstico, importantes variaciones de caudal que responden rápidamente, con picos muy marcados, a los episodios y épocas de lluvia, en los que el incremento y reducción de los caudales se producen rápidamente. El caudal medio del periodo 1992-2015 ronda los 300 l/s (9,48 hm³/a), siendo los caudales máximo y mínimo registrados de 6620 l/s y 10 l/s respectivamente.

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

Sector Central

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

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



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

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

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

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



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



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

Sector Occidental

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

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

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

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

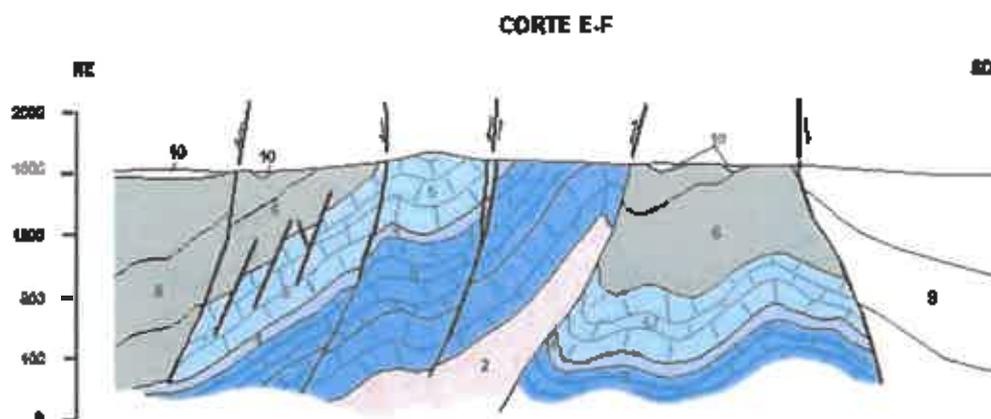


Figure 3.11. Corte E-F (modificado de MAGNA, Hoja 350-SORIA)

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

No se dispone de datos de caudales de este manantial, salvo algunas estimaciones puntuales, ya que no se realiza ningún control periódico ni seguimiento del mismo y, mucho menos aún de las descargas difusas a cauces y zonas de encharcamiento. En algunos estudios se ha llegado a estimar el caudal medio en 300 l/s (9,48 hm³/a). En la Figura 3.12 se muestra una imagen del Manantial de los Ojos o los Manaderos en Renieblas

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



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

3.5. Relación río-acuífero

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

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

Río Araviana y Rituerto.

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



31% de pérdida, pero éste dato incluía el cauce del Rituerto también, ya que ambos discurren sobre dicho poje.

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

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

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



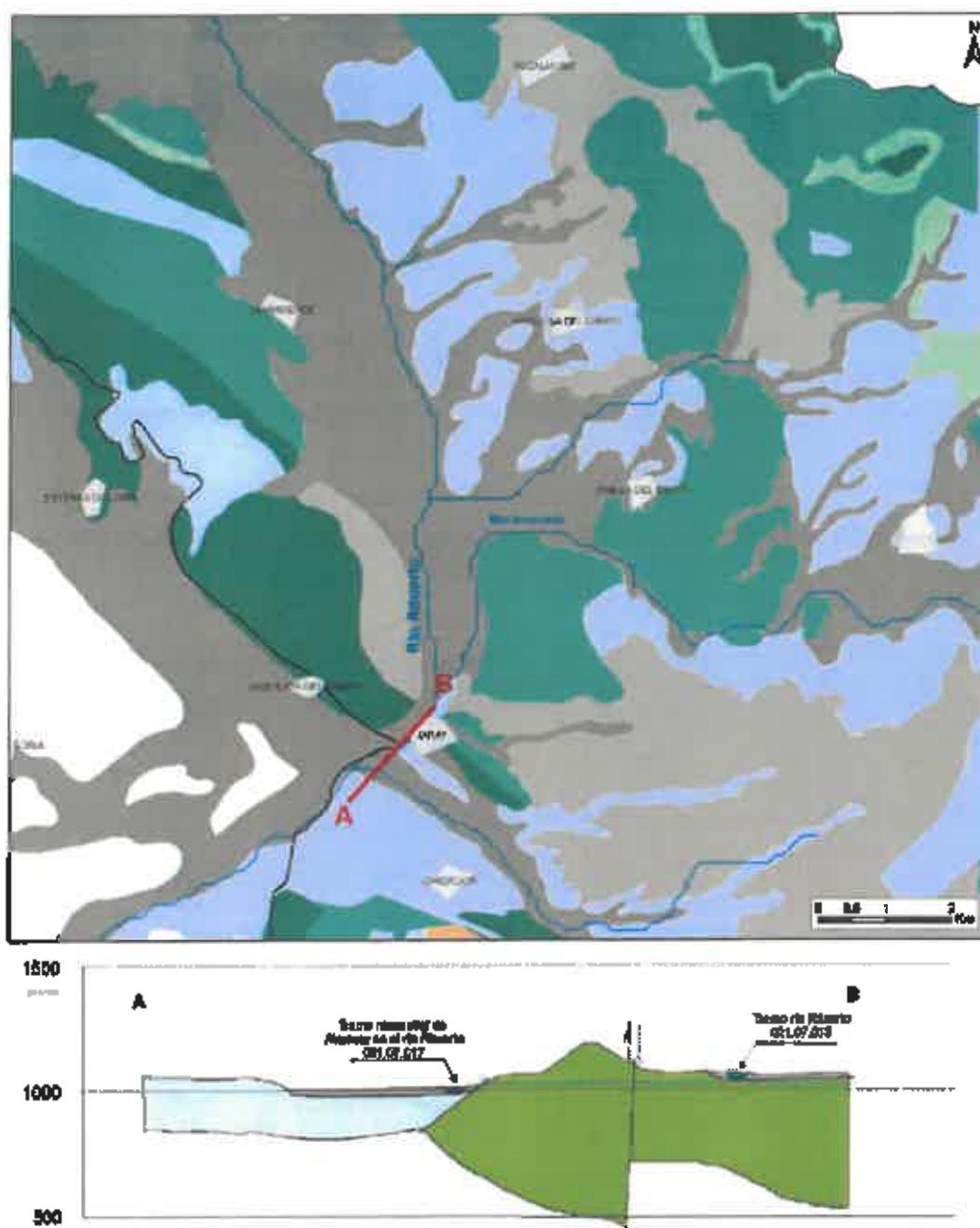


Figura 3.13. Esquema explicativo de la génesis del manantial de Almenar (Modificado de IGME 2009)

Río Merdancho y afluentes.

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

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

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

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

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

| Código Estación | Cauce (sección) | Caudales (l/s) | | |
|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------|
| | | IGME 1986 | | SGOP 1991 |
| | | Agosto 1986 | Septiembre 1986 | Febrero 1989 |
| EA021.0182 | Araviana | 3.3 | 2.2 | |
| EA021.0180 | Rituerto | 0.0 | 0.0 | |
| EA021.0181 | Rituerto | 0.0 | 0.0 | |
| EA021.0177 | Merdancho | 10.5 | 7.3 | |
| EA021.0178 | Merdancho | 2.0 | 1.0 | |
| EA021.0179 | Mofigón | 1.0 | 0.0 | |
| EA021.0151 | Merdancho | | | 10 |
| EA021.0152 | Merdancho | | | 60 |
| EA021.0153 | Merdancho | | | 90 |
| EA021.0154 | Merdancho | | | 100 |
| EA021.0147 | Araviana | | | 0 |
| EA021.0148 | Rituerto | | | 34-45 |
| EA021.0150 | Rituerto | | | 4 |

3.6. Usos del agua subterránea.

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

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



4. CLIMATOLOGÍA

4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

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

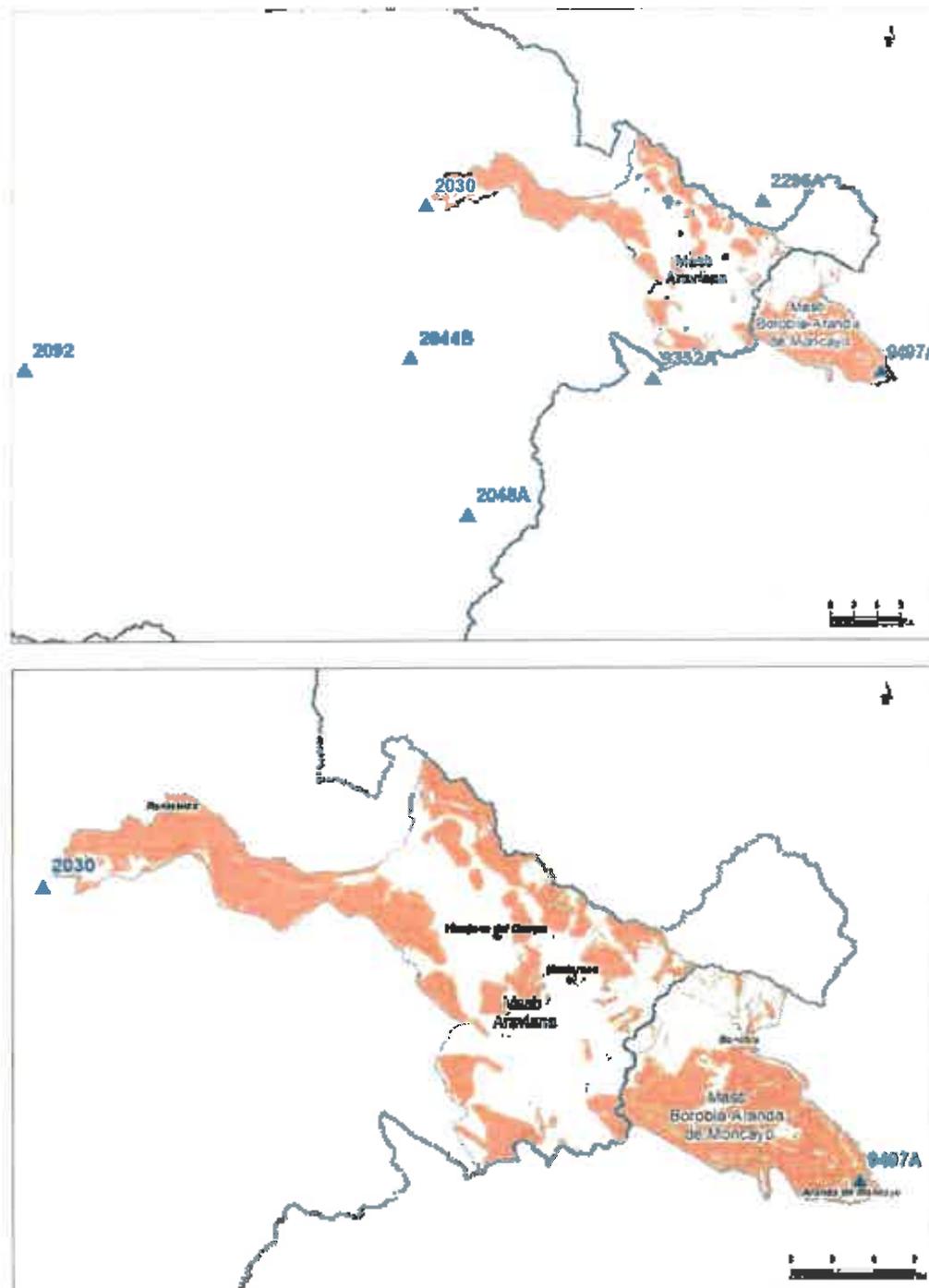


Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas

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

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

| Código | Nombre | Cota | Tipo | Desde | Hasta |
|--------|--|------|------|------------|------------|
| 2030 | SORIA Completa | 1082 | P | 01-01-1955 | 31-12-2015 |
| | | | T | 01-01-1955 | 31-12-2015 |
| 2044B | LUBIA-CEDER Automática | 1100 | P | 22-07-2009 | 31-12-2015 |
| | | | T | 22-07-2009 | 31-12-2015 |
| 2048A | MORÓN DE ALMAZÁN Automática | 978 | P | 01-09-2003 | 31-12-2015 |
| | | | T | 02-11-2003 | 31-12-2016 |
| 2082 | BURGO DE OSMA-POZUELOS Automática | 932 | P | 21-07-2009 | 31-12-2015 |
| | | | T | 21-07-2009 | 31-12-2015 |
| 2296A | ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA Automática | 1039 | P | 23-07-2009 | 31-12-2015 |
| | | | T | 23-07-2009 | 31-12-2015 |
| 9352A | ALMAZUL Automática | 1000 | P | 29-11-2009 | 31-12-2015 |
| | | | T | 30-11-2009 | 31-12-2015 |
| 9407A | ARANDA DE MONCAYO (D.G.A) Pluviométrica | 860 | P | 01-01-1990 | 31-12-2015 |
| | | | T | 20-05-1990 | 31-12-2015 |

Los años con datos se muestran en las siguientes gráficas.

Precipitación

| Precipita. | 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 |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2030* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2044B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2048A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2082 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2296A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9352A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9407A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(*) Desde 01/01/1955

Temperatura

| Temperat. | 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 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2030* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2044B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2048A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2082 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2296A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9352A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9407A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(*) Desde 01/01/1955



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

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

Los valores característicos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.2. Valores característicos de las estaciones meteorológicas

| Estación | Coordenadas UTM* y m.s.n.m. | Observaciones | Valores** |
|---|-------------------------------------|---|---|
| 2030 SORIA | X: 542963 Y: 4624924 Z: 1062 | Completa Caracteriza el sector Este Superficie de influencia: 197.45 km ² | P media: 530,5 mm/a P max: 789,6 mm P mín: 257,8 mm T media: 11,2 °C |
| 9407A ARANDA DE MONCAYO (D.G.A.) (Zacajosa) | X: 600462,6 Y: 4603659 Z: 660 | Termopluviométrica Caracteriza el sector Oeste Superficie de influencia: 405.90 km ² | P media: 470,0 mm/a P max: 691,9 mm P mín: 294,3 mm T media: 12,7 °C |

(*) Proyección ETRS89

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

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

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

4.2. ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL

4.2.1. Análisis espacial

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

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

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



| Estación | 2030 | 9407A |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| Año tipo seco | 2008/09 (410 mm) | 2004/05 (318 mm) |
| Año tipo medio | 1990/91 (527 mm) | 2001/02 (457 mm) |
| Año tipo húmedo | 2000/01 (681 mm) | 2012/13 (578 mm) |
| Media de los años secos (mm) | 361.2 mm | 352.7 mm |
| Media de los años húmedos (mm) | 678.7 mm | 597.1 mm |

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

4.2.2. Análisis temporal

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

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

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

Existe un período inicial 1991/92 a 1993/94 que corresponde a años secos y muy seco (precipitación media de 373 mm). A este período le siguen dos años medios (1994/95 a 1995/96) cuya precipitación media es de 482 mm y un año muy húmedo (1996/97, con 686 mm). A continuación un período de seis años medios (1997/98 a 2001/02) con una precipitación media de 470 mm. El período 2002/03 a 2003/04 corresponde a años muy húmedo y húmedo (precipitación media de 640 mm), y le sigue un año muy seco (2004/05, con 297 mm). El siguiente período 2005/06 a 2007/08 es de tres años medios, cuya precipitación media es de 534 mm. Del 2008/09 al 2012/13 se alternan año seco, muy húmedo, medio, muy seco y húmedo, para finalizar con el período de años medios 2013/14 a 2014/15 (2 años) cuya precipitación media es de 540 mm.

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

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



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



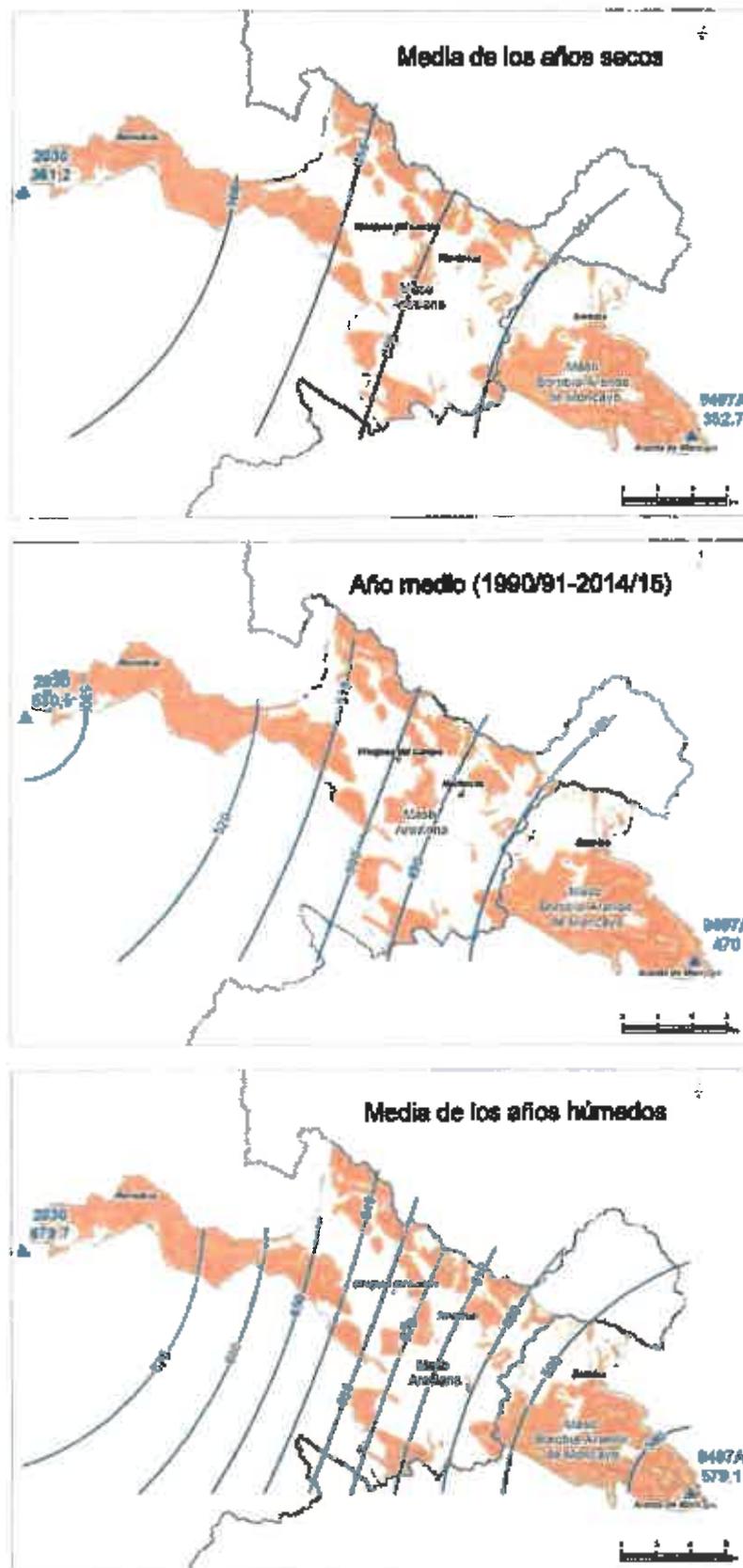


Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos



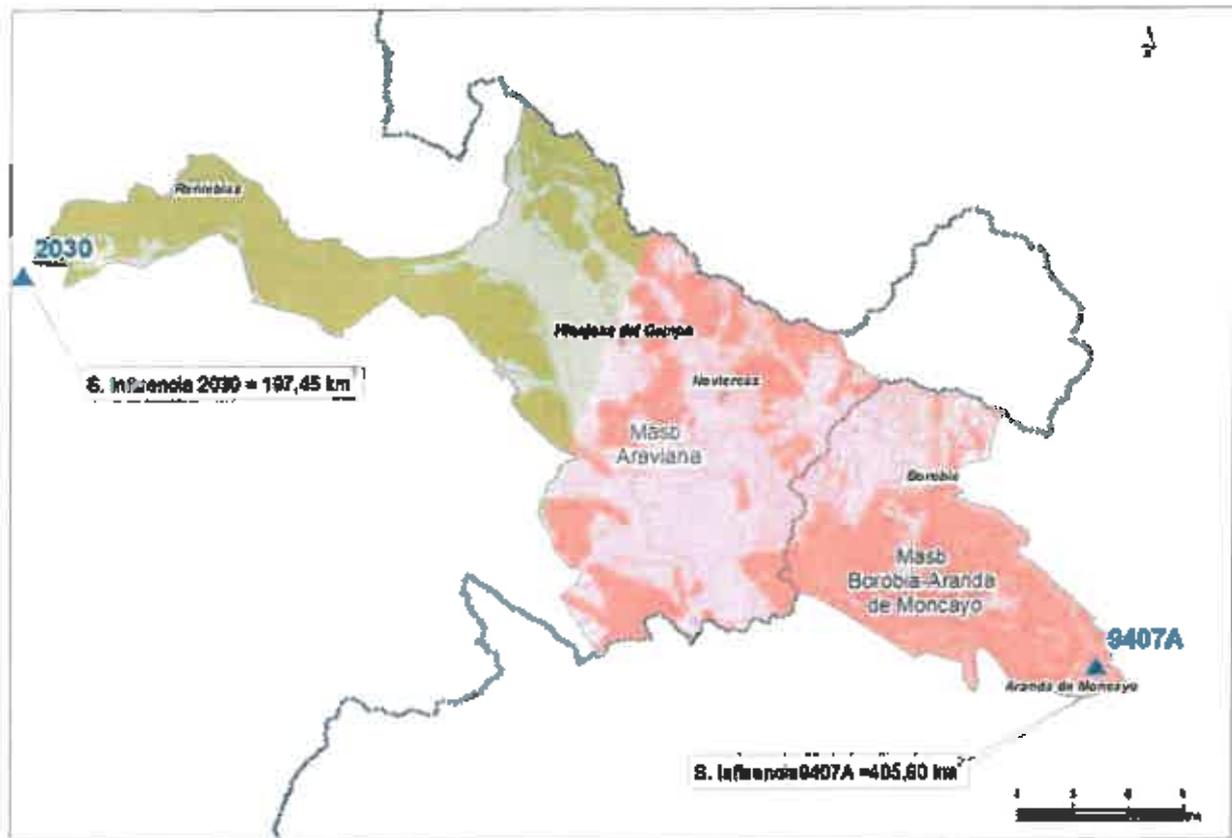


Figure 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen

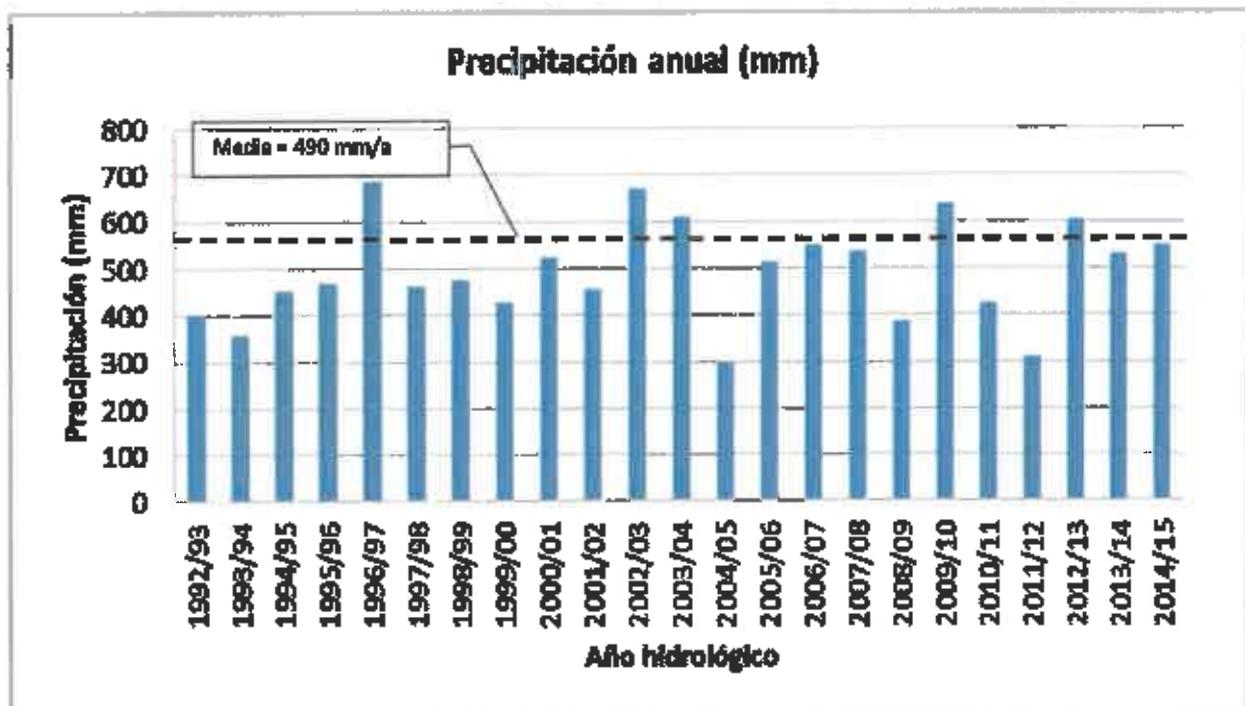


Figure 4.4. Histograma anual de la precipitación media caída en la MASb



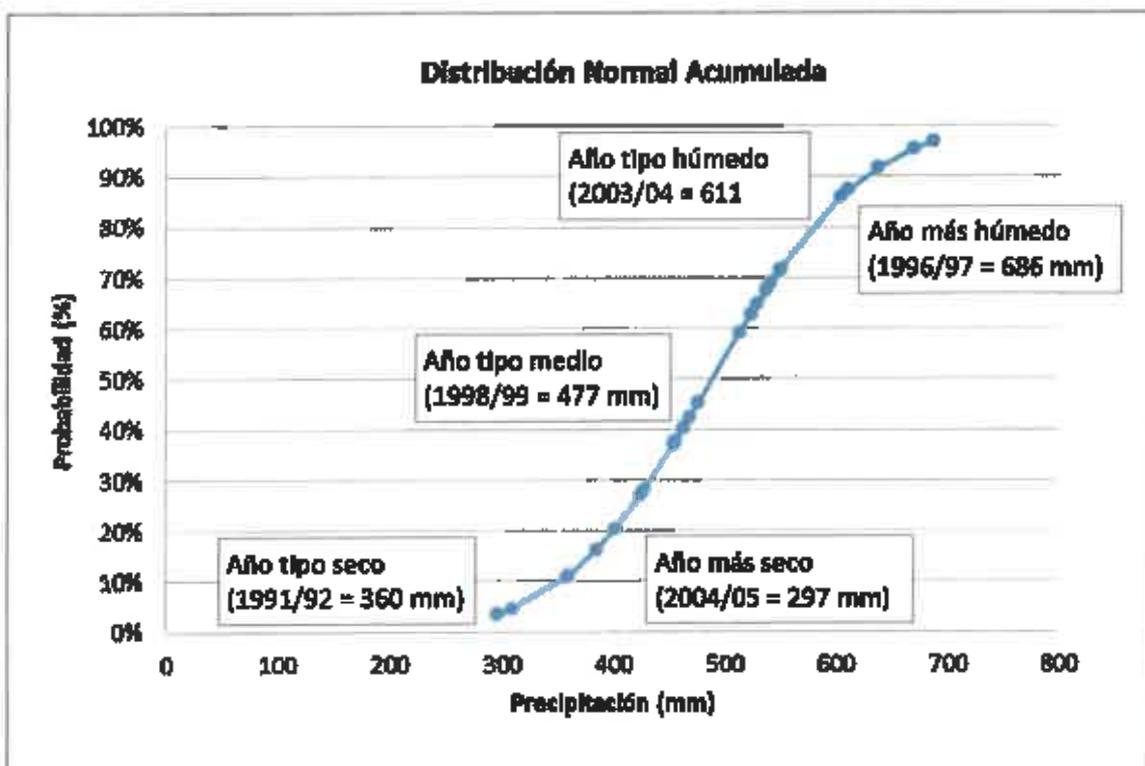


Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos

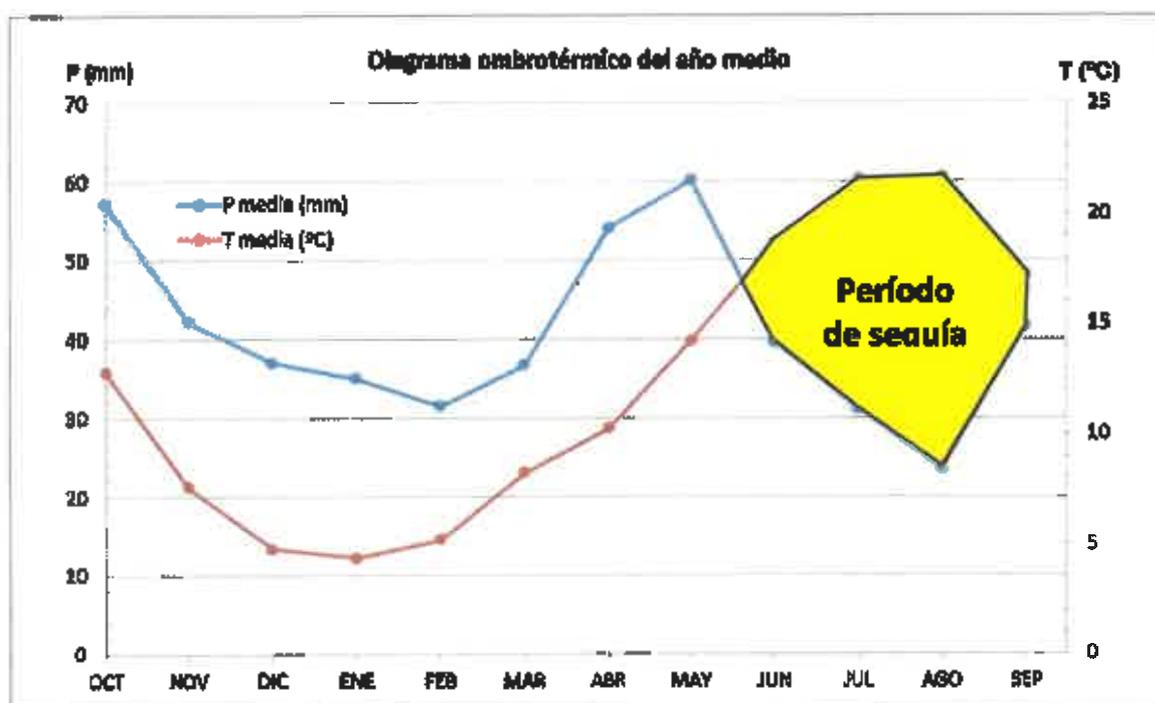


Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio.



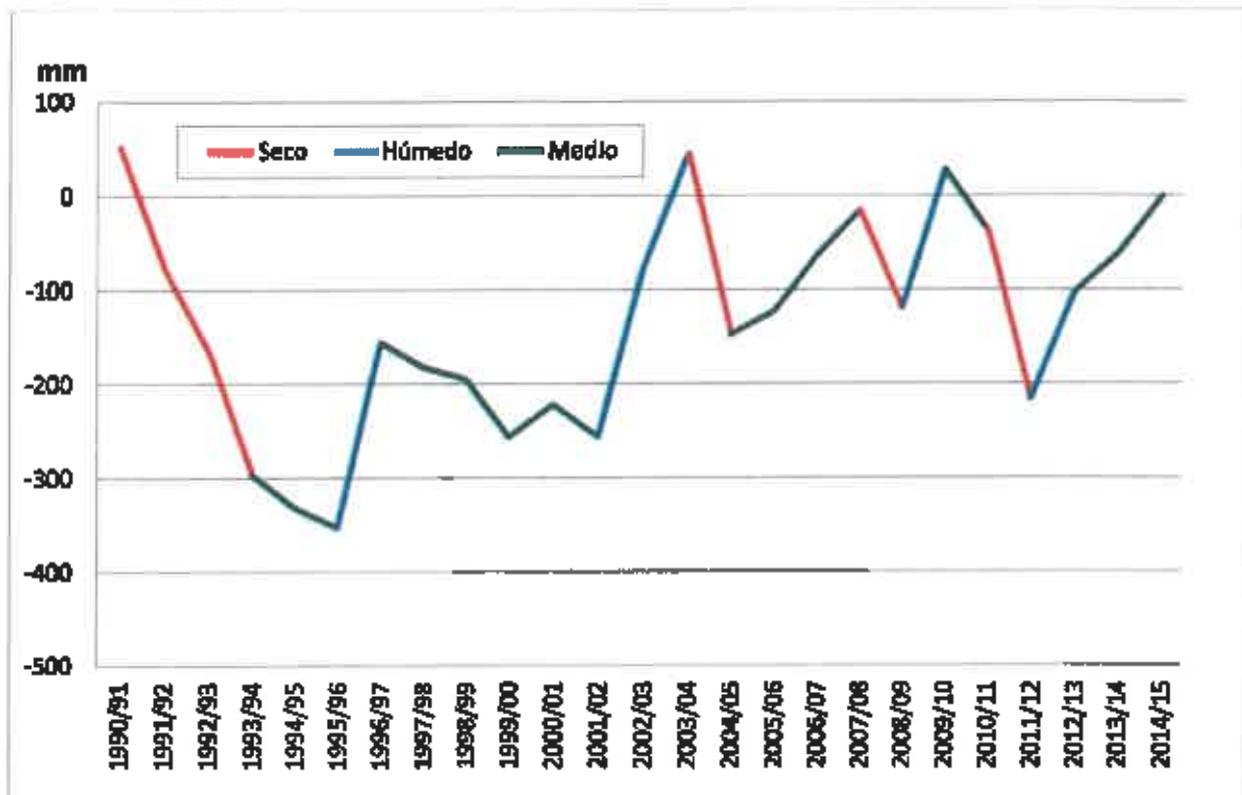


Figura 4.7. Desviaciones de la precipitación anual respecto a la media acumulada



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 (Lemer et al., 1980; 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 "Araviana - Borobia de Moncayo" está constituida por varios acuíferos carbonáticos de edad Jurásica (Lías inferior y Dogger), separados por un acuitardo (Lías superior). Todas las formaciones son aflorantes en mayor o menor medida por lo que todas ellas se tendrán en cuenta en la recarga, así como los materiales 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 aplica a las capas de cada variable para obtener el porcentaje de la precipitación infiltrada es la siguiente:

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

Donde:

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



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

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

Tabla 8.1. 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 | Pendientes (%) | Puntuación |
| P Pendientes | ≤ 3 | 10 |
| | (3-6) | 9 |
| | (6-10) | 8 |
| | (10-15) | 7 |
| | (16-20) | 6 |
| | (20-30) | 5 |
| | (30-45) | 4 |
| | (45-65) | 3 |
| | (65-100) | 2 |
| | > 100 | 1 |
| Parámetro | Litología | Puntuación |
| L Litología | Calizas y dolomías karsificadas | 10,9 |
| | Calizas y dolomías fracturadas algo karsificadas | 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 Flúvicos | 8 |
| | Regosoles eútricos, dístricos y Solonchales | 7 |
| | Cambisoles cálcicos | 6 |
| | Cambisoles eútricos | 5 |
| | Histosoles eútricos, Luvisoles órticos y osélicos | 4 |
| | Luviosoles 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 815 y 1619 m.s.n.m. con rangos de pendientes suaves. Las zonas de orografía algo más abrupta corresponden a pequeños barrancos localizados al sureste de las MASb y las zonas de mayor elevación se localizan en las sierras de las estribaciones de la MASb.



Parámetro Litología (L)

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

Parámetro Estructuras de infiltración preferencial (I)

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

Parámetro Suelo (S)

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

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

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

Su distribución se recoge en la Figura 5.1.



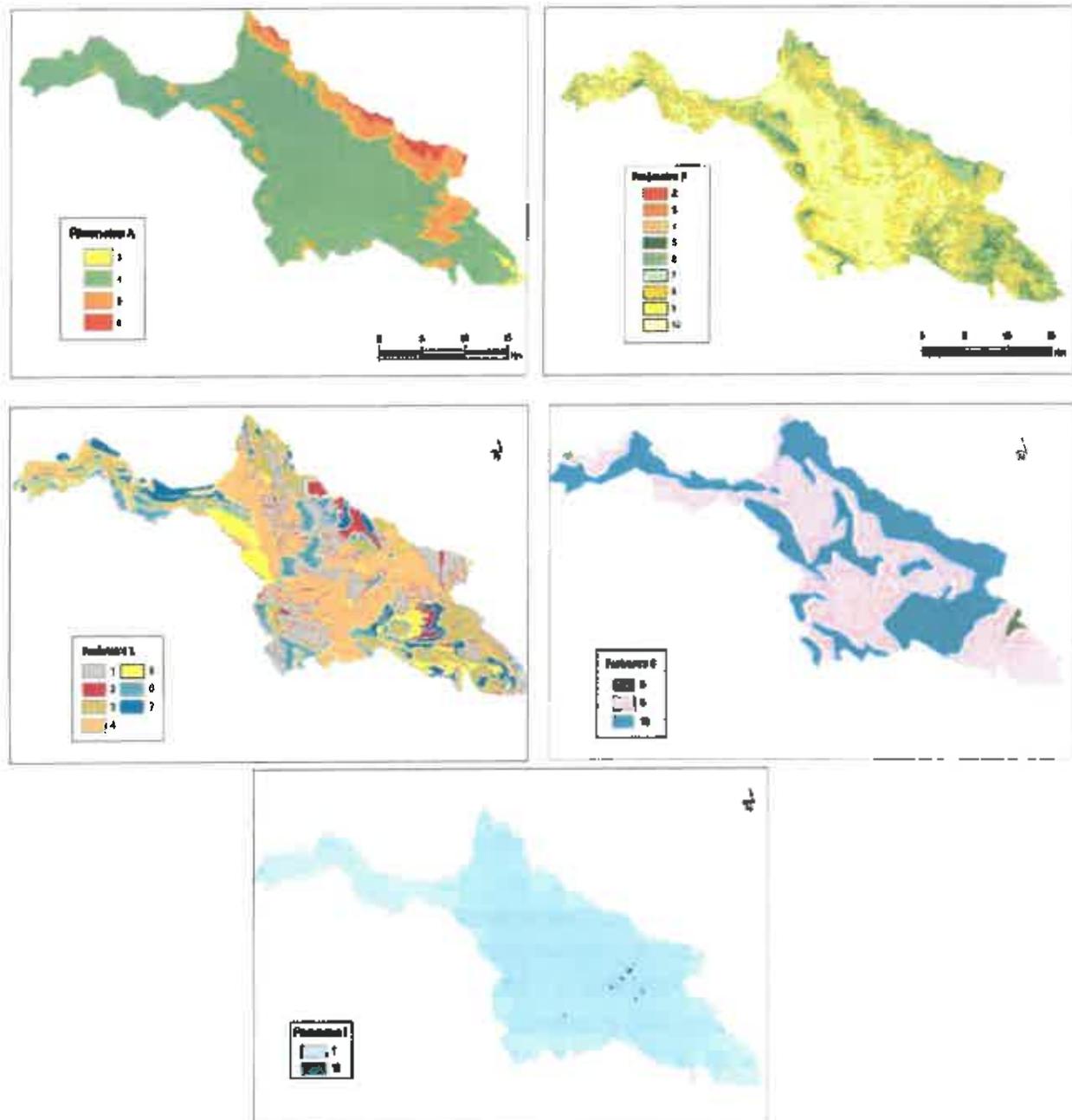


Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) Suelo (S) e Infiltración (I) para el método APLIS.

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



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

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

Tabla 5.2. Porcentaje y clases de recarga metodología APLIS

| Clase de recarga | Muy baja | Baja | Moderada | Alta | Muy Alta |
|---|-----------|---------|----------|---------|----------|
| 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 MASCH Araviana - Borobia, referida al porcentaje de la precipitación caída sobre la misma.

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

La tasa media de recarga estimada en la MASCH Araviana-Borobia obtenida por el método APLIS es de 18,24 % para toda su superficie (21,7% en la cuenca del Ebro y 16,9% en la del Duero), incluyendo los materiales poco permeables. Esta recarga va desde un 2 a un 62,22%, comprobándose que, las zonas de mayor recarga corresponden a los afloramientos permeables de las calizas del jurásico superior y del Perno-Trias. Tal y como puede observarse en la Figura 5.2. Aplicando la distribución obtenida en la totalidad de la MASCH compartida, con una superficie de 603 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 53,6 hm³/año, valor acorde con los estudios de recarga previos. Por cuencas se distribuye en 17,8 hm³/año en el Ebro y 36 hm³/año en el Duero.



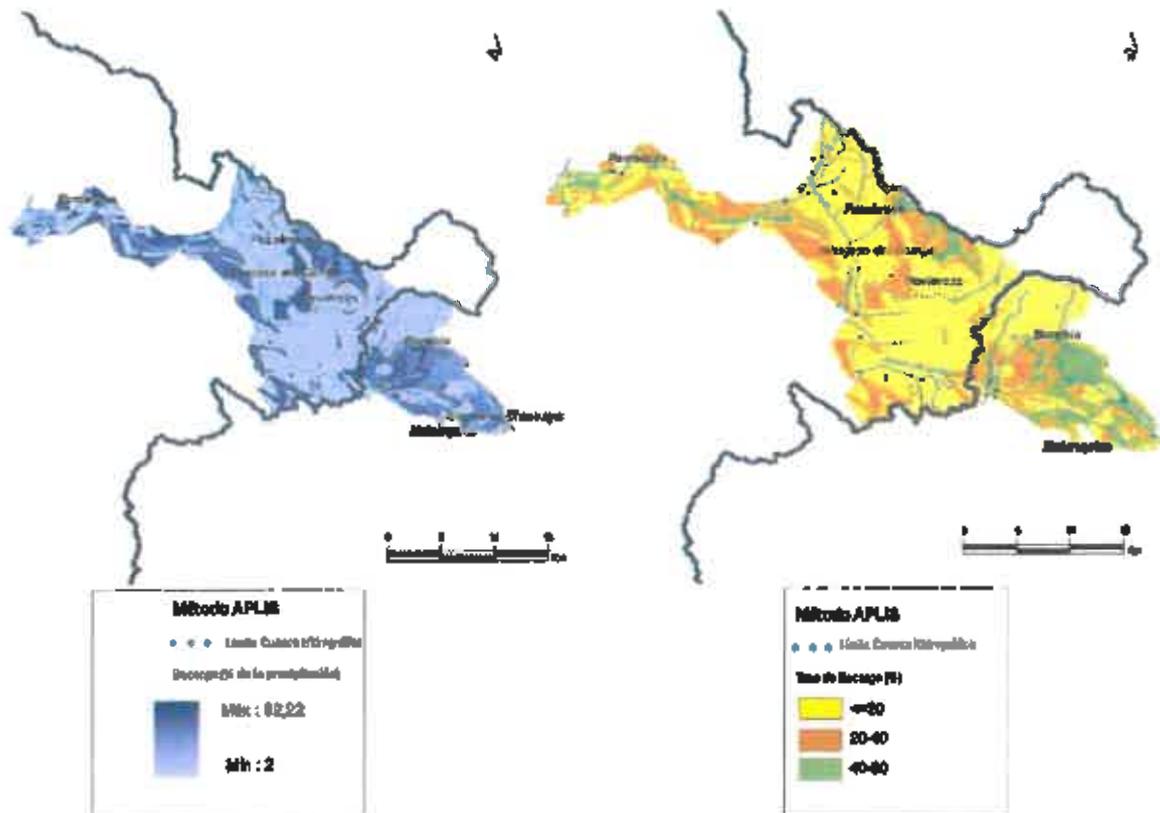


Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS)

5.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE VISUAL BALAN

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

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

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

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



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

Los resultados con los valores medios 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, 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 | 41° 41' 45" |
| (1) Área (km ²) | 311,4 |
| 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 | 60 |
| LA ZONA NO SATURADA | |
| | Método implícito |
| Coefficiente de agotamiento del flujo hipodérmico (días ⁻¹) | 0,007 |
| 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: ACUIFERO | |
| | 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) | 930 |
| Nivel de descarga del acuífero ⁽²⁾ (m) | 850 |

(1) Superficie correspondiente a los afloramientos carbonatados permeables

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

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



| Cuenca hidrográfica | Afloramientos (km ²) carbonáticos | Precipitación (mm) | Infiltración lluvia (mm) | Infiltración (hm ³ /a) |
|-----------------------|---|--------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Duero ⁽¹⁾ | 208,46 | 488,8 | 223,5 | 48,1 |
| Ebro ⁽¹⁾ | 104,93 | 488,8 | 223,5 | 23,5 |
| Total acuífero | 311,39 | 488,8 | 223,5 | 69,6 |

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

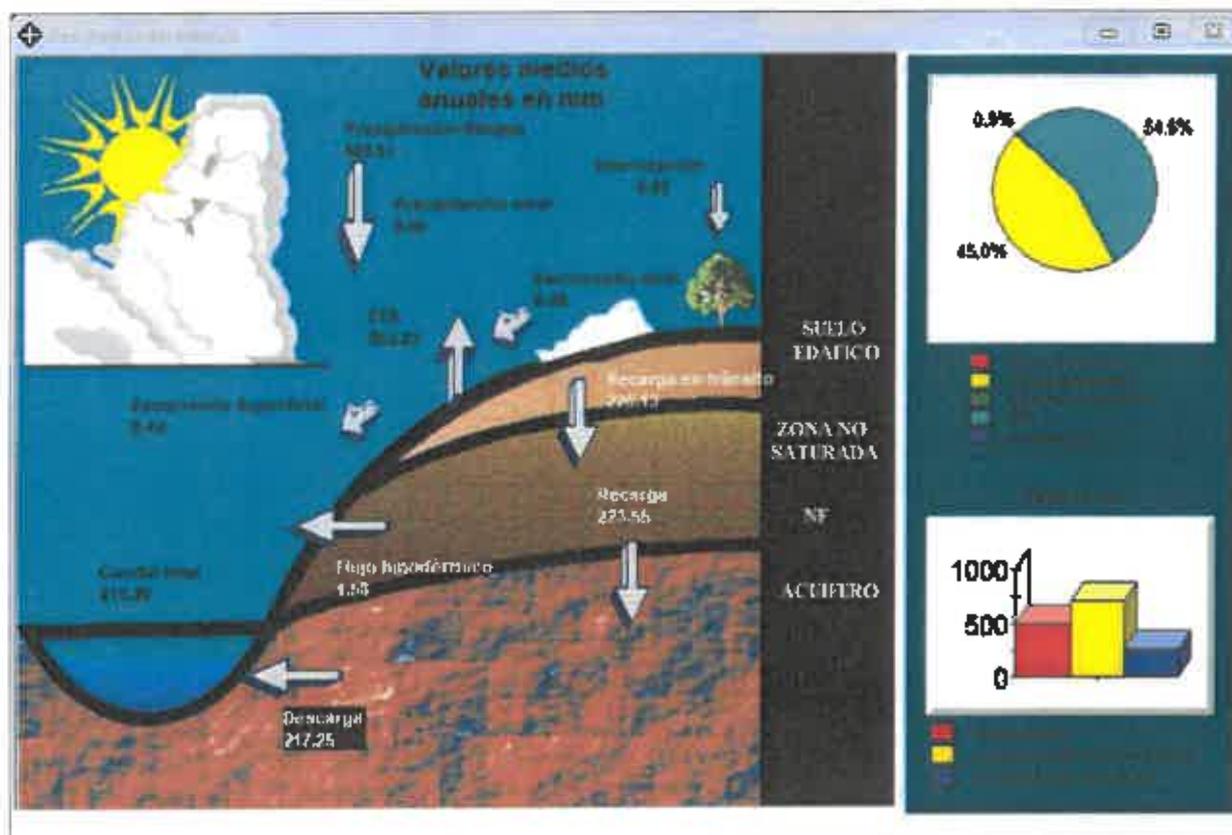


Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la MASb Araviana - Borobia (acuífero jurásico) (1990/91-2014/15)



5.3. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA

RENATA (REcarga NATural a los Acuíferos) es un código de evaluación de la recarga a los acuíferos que combina dos metodologías tradicionales de estimación de este parámetro a través de un único proceso de cálculo iterativo (Figura 5.4). Dichos métodos son: el balance de agua en el suelo y la estimación de la recarga a los acuíferos mediante un modelo numérico de flujo en diferencias finitas. El enfoque conjunto y coordinado del empleo de ambas metodologías al unísono pretende garantizar una mejor coherencia entre los resultados que ofrece el balance de agua en el suelo - que proporciona la magnitud de la recarga potencial- y las fluctuaciones del nivel freático - que refleja los efectos de la recarga real- en el acuífero.

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

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

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

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

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

La estimación de la recarga mediante la aplicación del código RENATA contempla los pasos que se sintetizan en la Figura 5.4.



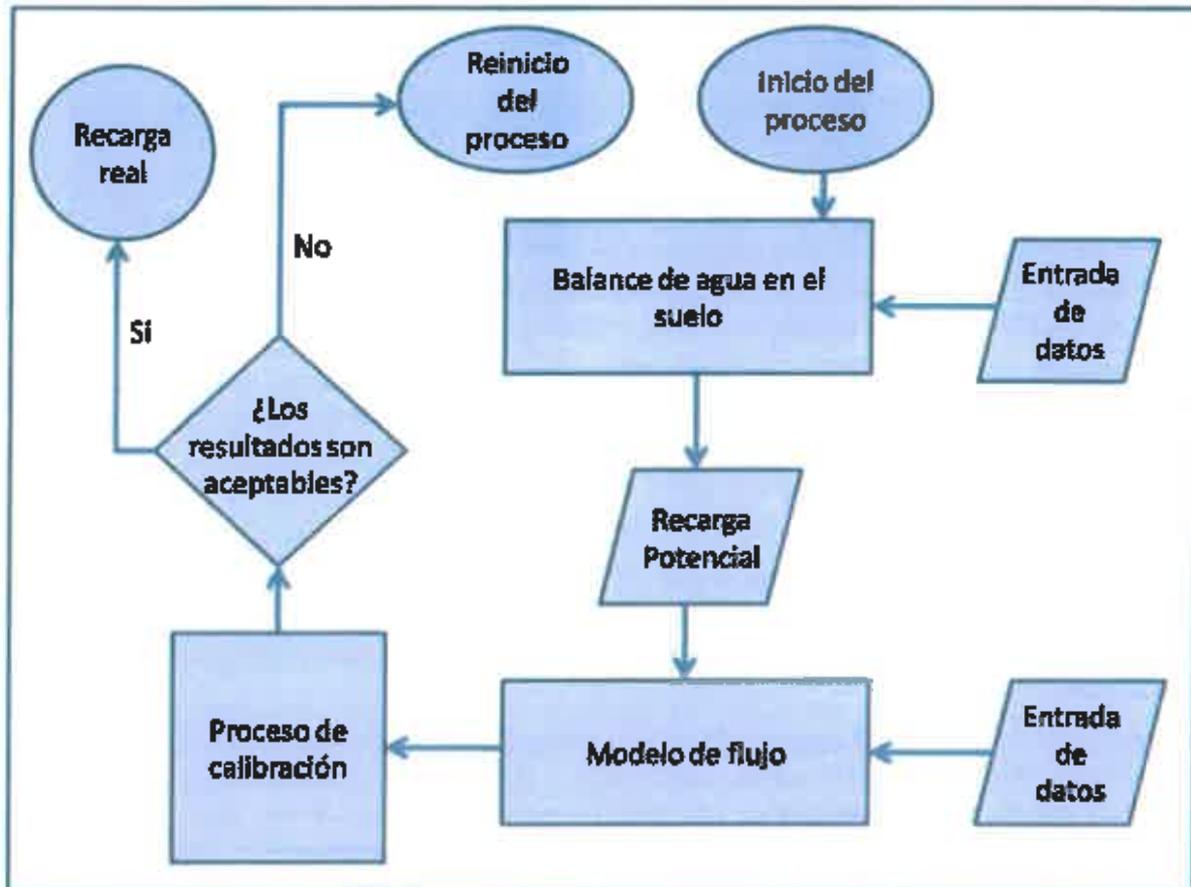


Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA

5.3.1. Metodología de cálculo y entrada de datos

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

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

- Cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETP) mediante el método de Thornthwaite (1948).
- Determinación de la lluvia útil (LLU) mediante el método del balance de agua en el suelo de Thornthwaite modificado por G. Girard (1981)
- Descomposición de la lluvia útil (LLU) en escorrentía (ESC) e infiltración (INF) mediante el método del Soil Conservation Service de los EEUU.



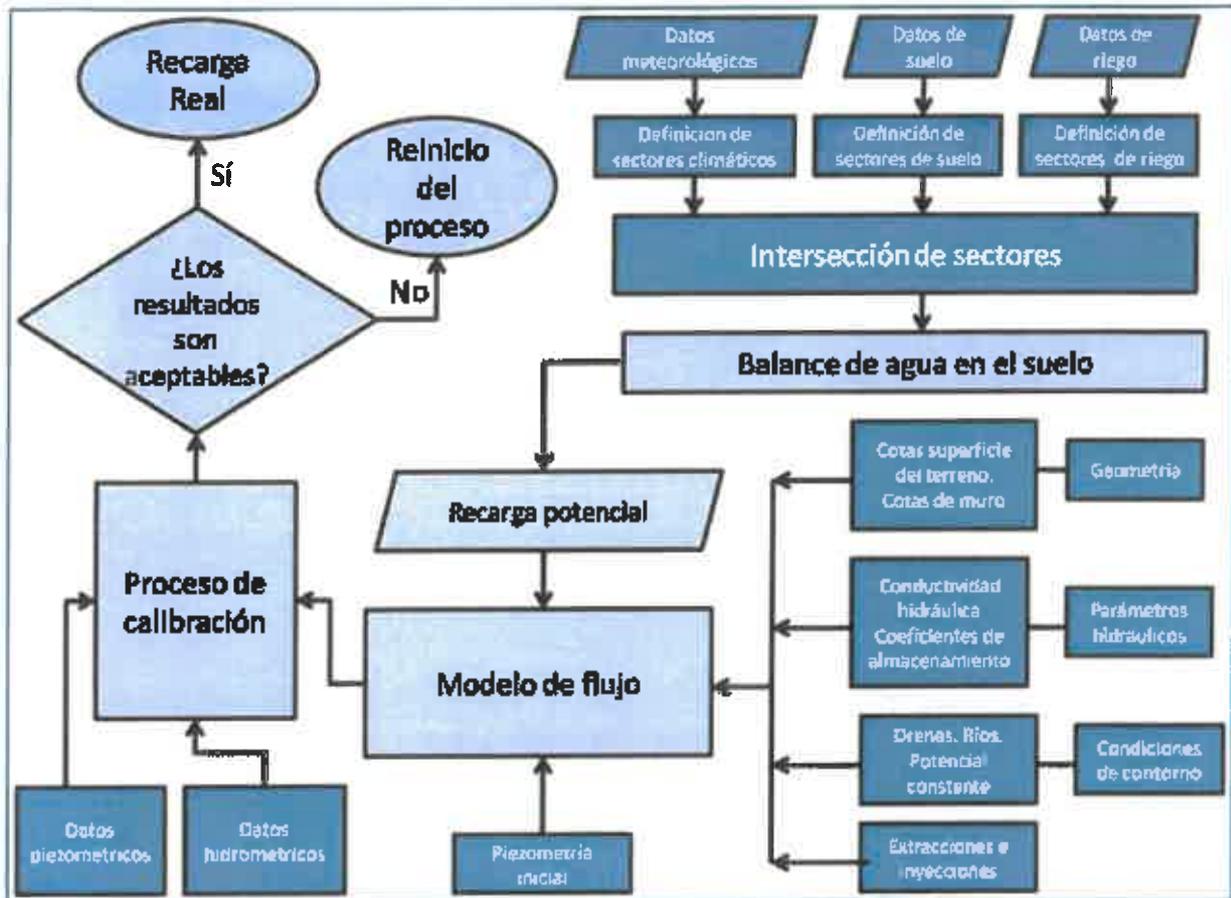


Figura 5.8. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.

Generación de la malla y establecimiento del periodo de cálculo

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

La malla definida consta de 34 filas y 60 columnas con celdas de tamaño 1x1 km. Las de tipo activo (superficie permeable) ocupan una extensión de 633 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 25 años, comprendidos entre 1990 y 2015.





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

Sectores climáticos

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

Tabla 5.5. Características de los sectores climáticos (1992-2016)

| Sector climático | Estación pluviométrica | Superficie (km ²) | Precipitación media (mm/a) | ETP media (mm/a) |
|------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------|
| 2030 | 2030-Soria | 212 | 530,5 | 58,0 |
| 9407A | 9407A-Aranda de Moncayo | 421 | 470,0 | 60,4 |

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



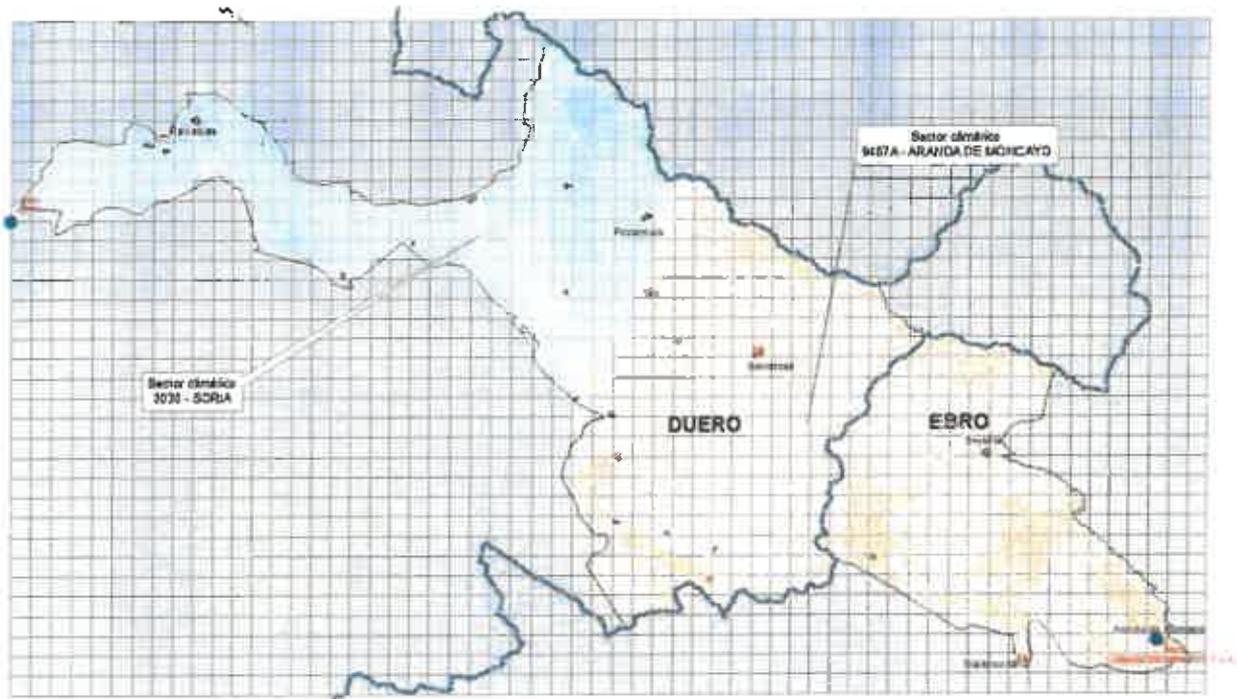


Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al malla aplicado en el código RENATA

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.



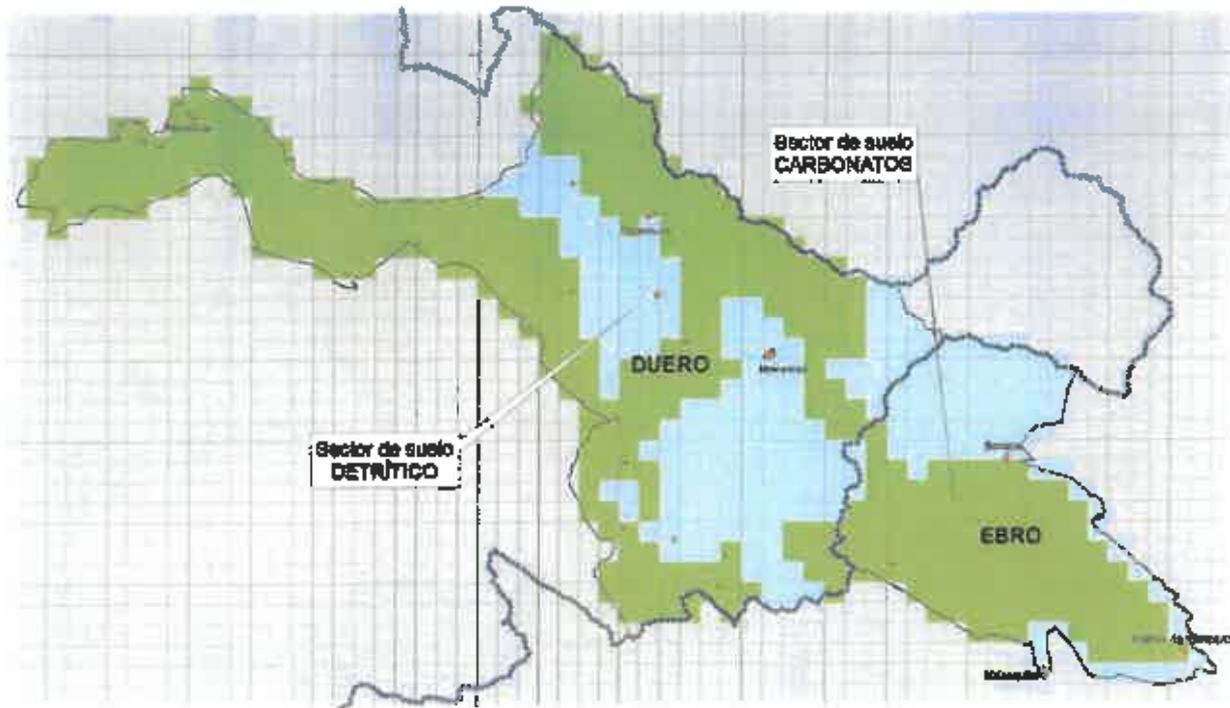


Figura 5.5. Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.

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

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

Tabla 5.6. Sectores de suelo: parámetros utilizados

| Sector de suelo | Superficie (km ²) | Parámetros |
|-----------------|-------------------------------|--|
| Carbonatos | 409 | RU _{min} =50 RU _{max} =60 P _c =50 NC=50 |
| Detrítico | 224 | RU _{min} =200 RU _{max} =240 P _c =2 NC=96 |

Sectores de riego

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

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

Intersección de sectores y definición de áreas de recarga

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

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

Tabla 5.7. Áreas establecidas con diferente recarga

| Área | Superficie (km ²) | Sector climático | Sector de suelo |
|------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|
| 1 | 175 | 2030-Soria | Carbonatos |
| 2 | 37 | 2030-Soria | Detrítico |
| 3 | 235 | 9407A-Aranda de Moncayo | Carbonatos |
| 4 | 188 | 9407A-Aranda de Moncayo | Detrítico |

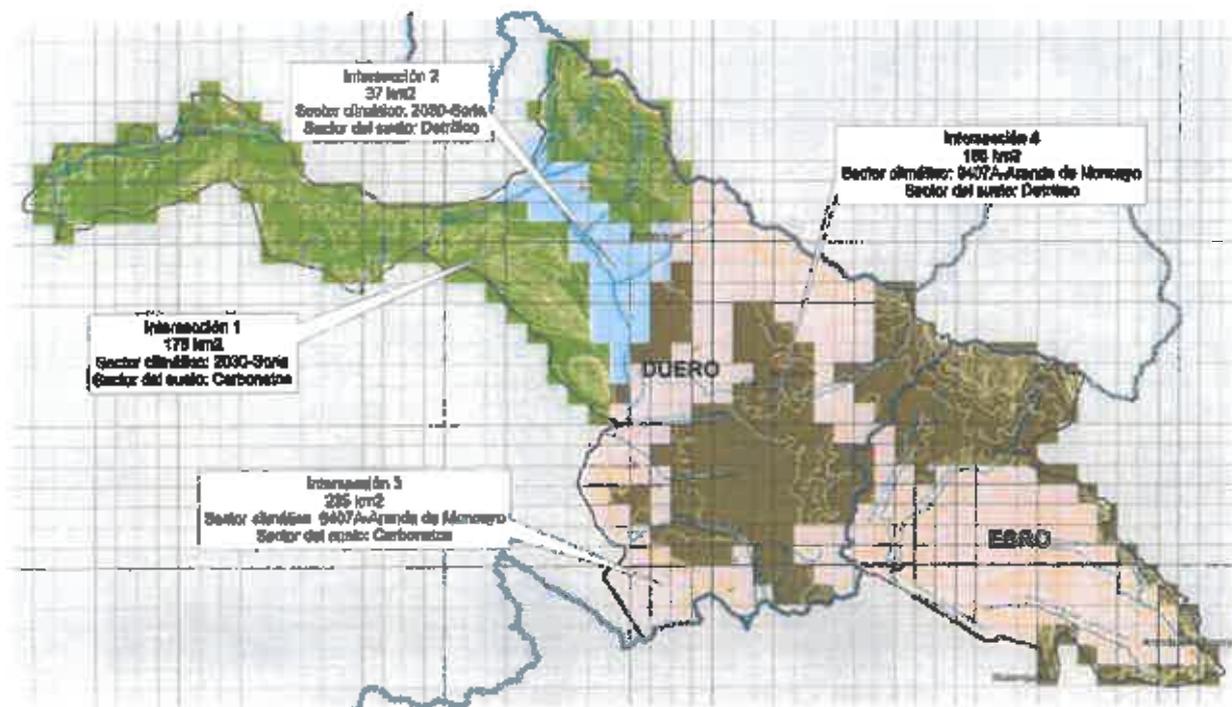


Figura 5.9. Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo

Condiciones de contorno

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

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

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

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

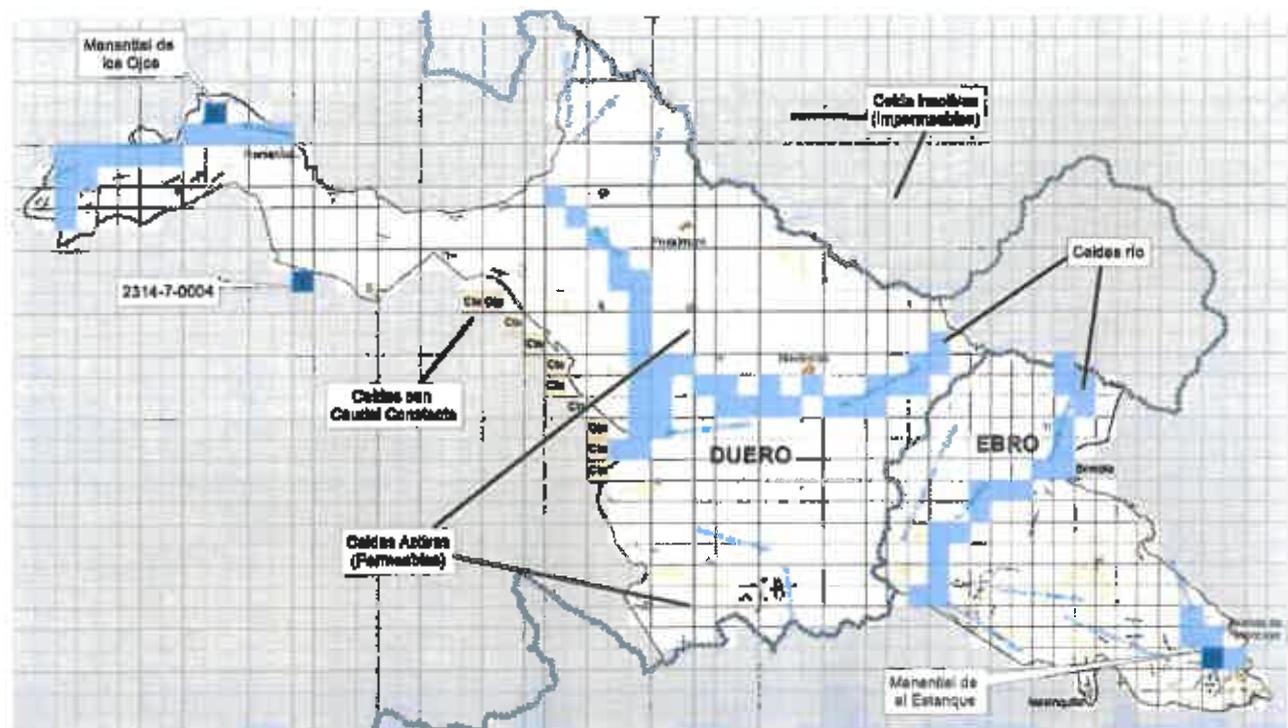


Figura 5.10. Condiciones en los límites del modelo de flujo

Geometría

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

Parámetros hidráulicos

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

Extracciones

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

Piezometría Inicial

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

5.3.2. Calibración

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

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

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



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

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

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

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

| Área | Superficie (km ²) | Sector climático | Sector del Suelo | Recarga por precipitación (mm/a) | Recarga total (mm/a) |
|------|-------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------|
| 1 | 175 | 2030-Soria | Carbonatos | 28,05 | 28,05 |
| 2 | 37 | 2030-Soria | Detrítico | 1,02 | 1,02 |
| 3 | 235 | 9407A-Aranda de Moncayo | Carbonatos | 23,81 | 23,81 |
| 4 | 186 | 9407A-Aranda de Moncayo | Detrítico | 1,36 | 1,36 |



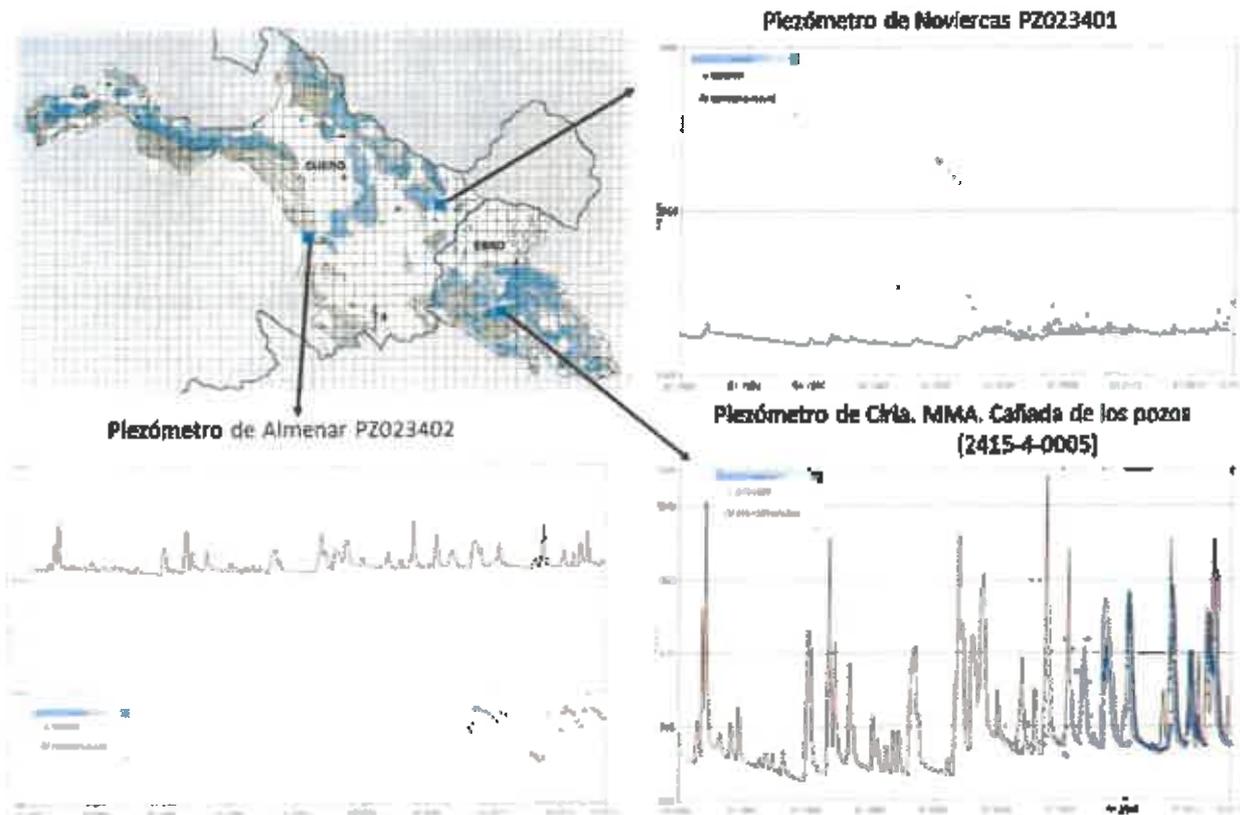


Figura 5.11. Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros

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

Tabla 5.9. Precipitación media, recarga media por precipitación y tasa de recarga en los sectores de suelo que se han denominado carbonático y detrítico (1890-2018)

| Área | Superficie (km ²) | Parámetros | Precipitación (P) media (mm ² /a) | Recarga media (R) (mm ² /a) | Tasa de recarga |
|-----------|-------------------------------|--|--|--|-----------------|
| Detrítico | 223 | RU _{min} = 200 RU _{max} = 240 P ₀ = 2 NC= 86 | 105,42 | 2,38 | 2,25 |
| Cretácico | 410 | RU _{min} = 40 RU _{max} = 60 P ₀ = 50 NC= 50 | 200,28 | 51,68 | 25,79 |

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



Tabla 5.10. Recarga del acuífero jurásico por Demarcaciones Hidrográficas (1982-2015)

| Demarcación Hidrográfica | Superficie (km ²) | Precipitación (hm ³ /a) | Infiltración (hm ³ /a) | Recarga total (hm ³ /a) |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Duero | 457 | 220,82 | 39,79 | 39,79 |
| Ebro | 178 | 84,86 | 14,25 | 14,25 |
| Total MASCH | 633 | 305,68 | 54,04 | 54,04 |

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

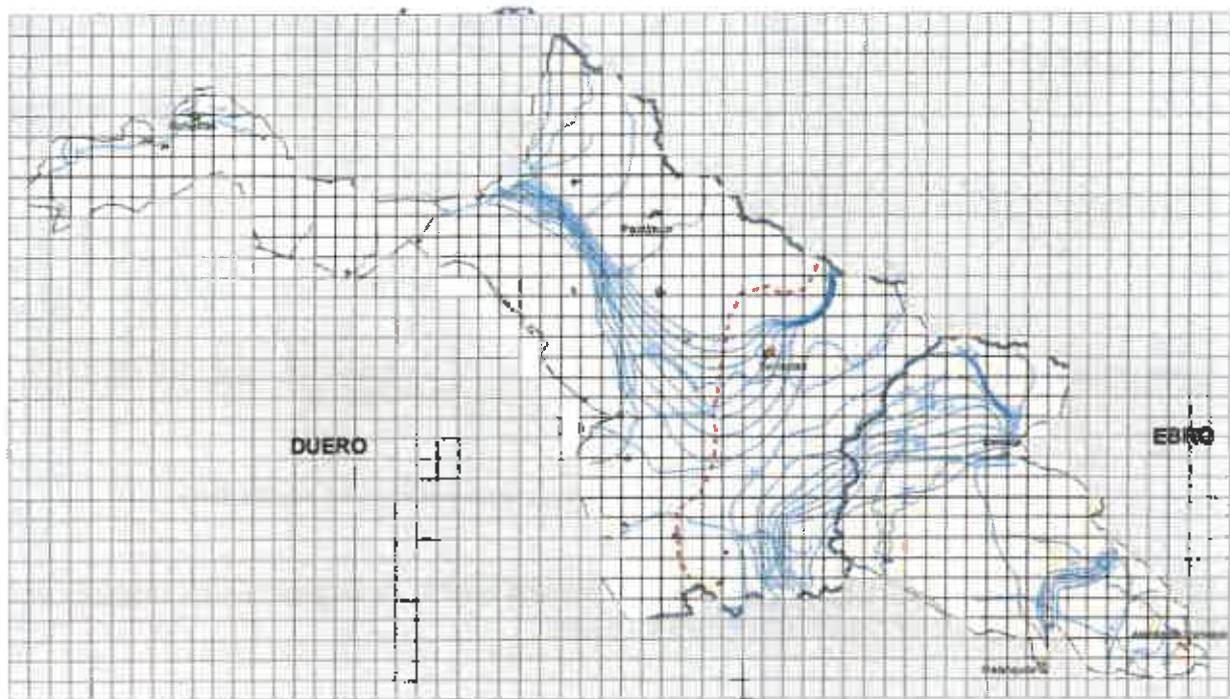


Figura 5.12. Piezometría representada en Renata para el régimen permanente

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

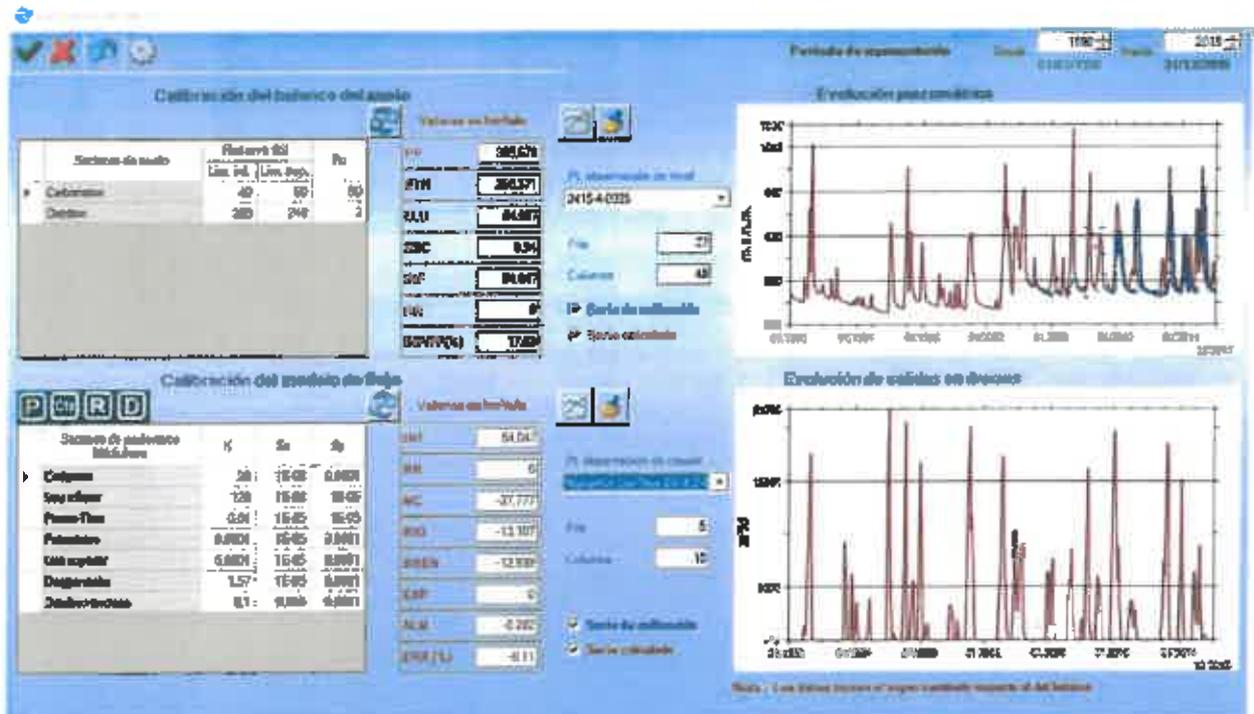


Figura 5.13. Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo



6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

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

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

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

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

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

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



7. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL

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

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

Los recursos renovables en régimen natural que proporciona el código RENATA para el acuífero del Jurásico (Lías inferior y Dogger) de la MASCH de Araviana-Borobia, durante el periodo 1990/1991-2014-2015, son de 54,04 hm³/a. De este volumen, como se muestra en la Tabla 7.1, en la Demarcación Hidrográfica del Duero se generan 39,79 hm³/a, lo que supone un 73,63% del total de los recursos generados en la MASCH, mientras que 14,25 hm³/a se generarían en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, que suponen un 26,37% de los recursos de la masa.

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

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

Los recursos del acuífero drenados por manantiales en régimen natural, que son todos los generados (54,04 hm³/a) ya que no existe almacenamiento, se distribuyen de la siguiente manera: por las surgencias del manantial de Lagúén o Los Estanques (2515-1-0001) y su entorno, en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, se descargan un total de 12,25 hm³/a, mientras que por el manantial de Los Ojos (2314-2-0002), en la Demarcación Hidrográfica del Duero, se drenan 0,17 hm³/a. En cuanto a los recursos que se drenan directamente a cauces, del total de 13,26 hm³/a, a la Demarcación Hidrográfica del Duero descargan 7,96 hm³/a, a través del cauce del propio río Duero, el Araviana, el Rituerto y el Merchando, y 5,30 hm³/a lo hacen a la Demarcación Hidrográfica del Ebro, principalmente al cauce del río Aranda o Valdepomer ya que el cauce del Manubles es fundamentalmente perdedor. El resto de las salidas, 23,54 hm³/a, se producen subterráneamente a través de los materiales cretácicos presentes en el suroeste de la MASCH hacia la MASb Cuenca de Almazán en la Demarcación Hidrográfica del Duero.



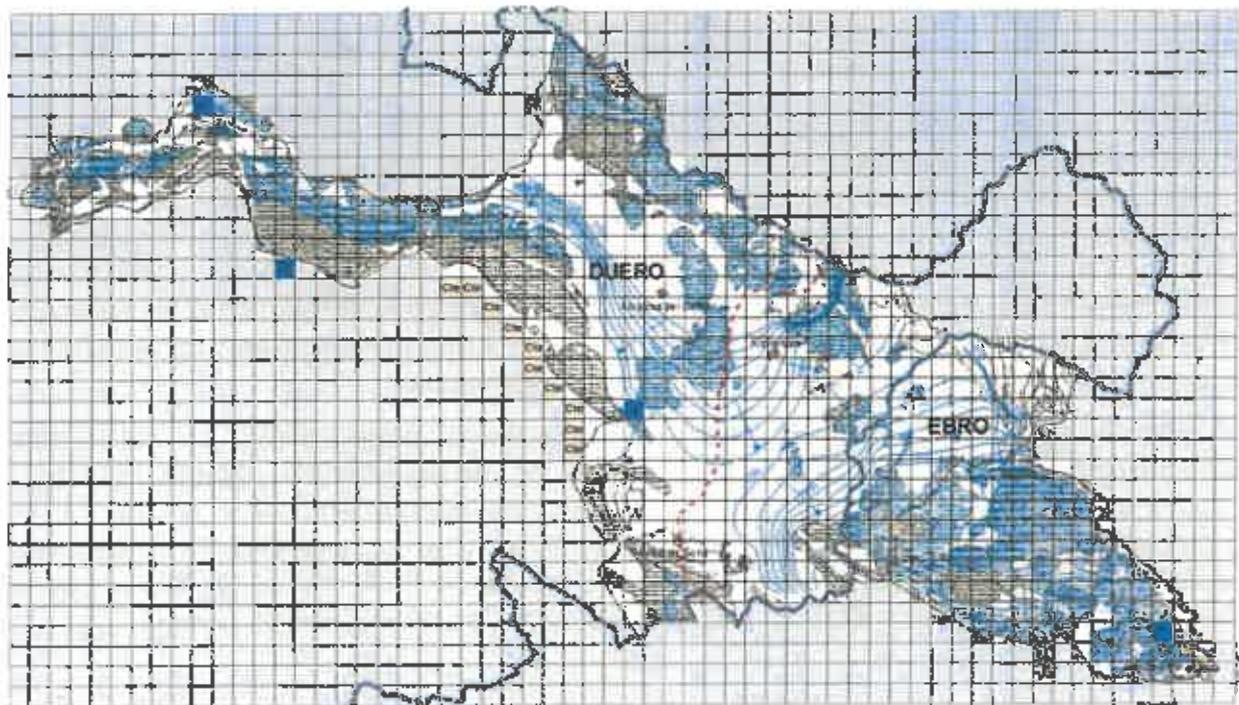


Figura 7.1. Superficie piezométrica flujo subterráneo y manantiales de la MASCH Araviana-Borobla (acuífero jurásico) en régimen natural permanente.

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

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

En función de la superficie subterránea de cada Demarcación Hidrográfica la generación de los recursos y su disponibilidad se distribuiría según se muestra en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Distribución de recursos subterráneos por cuencas

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

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

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

- Se han ajustado los límites de la MASCH Almazán-Aranda de Moncayo a los acuíferos de ambas cuencas que pueden tener conexión hidráulica entre sí, estableciéndose un nuevo límite para la MASCH, pasando a denominarse Araviana-Borobia, que abarca la actual MASB Borobia-Aranda de Moncayo de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y la MASB Araviana de la Demarcación Hidrográfica del Duero. (ver Figura 1.1).
- En la Masa de Agua Subterránea con Continuidad Hidrogeológica (MASCH) denominada Araviana-Borobia las formaciones que constituyen acuíferos de interés son la Formación calizodolomítica del Lías Inferior y la Formación carbonatada del Dogger-Malm inferior, que forman sendos acuíferos kársticos separados por la Unidad margosa del Lías superior que puede dificultar y limitar en algunas zonas el flujo de agua subterránea entre los dos acuíferos, situados a muro y techo de la misma, funcionando como acuitardo, aunque la tectónica y en particular la fracturación pueden permitir la comunicación entre ambas a nivel regional. Para la simulación del funcionamiento se han considerado como un único acuífero con diferentes permeabilidades, para reproducir el funcionamiento real del Lías superior.
- Todos los cálculos y estimaciones que se realizan en el presente informe se refieren principalmente al acuífero jurásico, compuesto por las formaciones del Lías inferior y Dogger, en conjunto.
- La precipitación media sobre la superficie permeable de la masa de agua subterránea es de 490 mm/a. siendo la precipitación media para años secos de 360 mm/a y en años húmedos de 611 mm/a.
- La recarga al acuífero en régimen natural para el período 1990/1991-2014/2015 se ha estimado por tres métodos: APLIS, VISUAL BALAN y RENATA, con resultados distintos pero dentro de un cierto rango. Se encuentran comprendidos entre los 53,60 hm³/a obtenidos con APLIS y los 69,60 hm³/a que se obtienen con VISUAL BALAN, quedándose el código RENATA con 54,04 hm³/a, muy cercano a los resultados aportados por APLIS.
- Se considera que los valores obtenidos con el código RENATA son los que mejor se ajustan a la realidad de la MASCH y más acordes, tanto con los resultados obtenidos en la bibliografía consultada como con las descargas estimadas del sistema, además de que es el único método que ha permitido una cierta calibración con los piezómetros existentes. No obstante, la escasez e incertidumbre de los datos, especialmente de las descargas de la MASCH (aportes a ríos o manantiales como Los Ojos (2314-2-0002)), obliga a tomar estos resultados con la reserva y cautela debida.
- Los recursos generados en la MASCH son de 54,04 hm³/a, de los que 39,79 hm³/a (73,63%) se generan en la superficie perteneciente administrativamente a la Demarcación Hidrográfica del Duero y 14,25 hm³/a en la del Ebro (26,37%).
- De los 54,04 hm³/a que suponen los recursos totales que se generan en la MASCH Araviana-Borobia, 22,72 hm³/a drenan a la Demarcación Hidrográfica del Ebro y 31,32 hm³/a son drenados a la Demarcación Hidrográfica del Duero, lo que supone el 42,04% y 57,95% respectivamente de los recursos totales.



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

- Control de los caudales de descarga de la MASCH Araviana-Borobía mediante el establecimiento de estaciones de aforo que registren de forma continua el caudal total que drena la salida de la MASCH por el manantial de Los Ojos (2314-2-0002) así como las salidas a los ríos con estaciones en las confluencias del Araviana y el Rituerto. Este control es especialmente necesario dado el carácter kárstico del acuífero.
- Aunque la descarga por el manantial de Lagún y las descargas difusas de su entorno en Aranda de Moncayo se controlan en la estación de aforo A236 de la Red SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, situada en cola del embalse de Maldevera, el registro de las salidas directas por el manantial podría aportar una valiosa información para el conocimiento del funcionamiento del acuífero en este sector.
- Construcción de nuevos piezómetros en la zona central con objeto de definir con mayor detalle la divisoria de aguas subterráneas y en la parte este de la MASb Araviana, de la que se tiene poco conocimiento de los niveles piezométricos y su evolución.



REFERENCIAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente. Corina Land Cover. (2018). Programa de Coordinación de información de Medioambiente.
- Andreo, B., Vias, J., López- Geta, J.A., Carrasco, F., Durán, J.J., Jiménez. P. (2004). Propuestas 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)
- CHD (1998). Plan Hidrológico de la cuenca del Duero.
- CHE (2015). Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.
- CHD (2015). Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Duero 2015-2021.
- Custodio, E. (1996). 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.
- IGME (1971-75). Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS).
- IGME (1972). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 351 Óvega
- IGME (1974). Reconocimiento hidrogeológico de las comarcas de Almenar de Soria y Tierras altas de Soria.
- IGME (1975). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 381 Illueca.
- IGME (1977). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 319 Ágrada.
- IGME (1986). Proyecto de Investigación Hidrogeológica Básica del sistema nº 13 Jurásico Oriental de Soria
- IGME (1988). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 350 Soria.
- IGME (1988). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 380 Borobia.
- IGME (2009). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 4: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico, Demarcación Hidrográfica del Duero. Sistema de explotación Alto Duero.
- ITGE (1989). Hidrogeología de la provincia de Soria. III Congreso Nacional de Geoquímica.
- Lerner, D., A. Isser, and I. Simmers (1990). *Groundwater Recharge: A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge*. Heise, Germany: International Contributions to Hydrogeology.
- MAPA (1991). Caracterización agroclimática de la provincia de Soria
- MMA (2000). Plan Hidrológico Nacional. Delimitación y asignación de recursos en acuíferos compartidos.



- MOPT (1993). Delimitación y síntesis de las características de las unidades hidrogeológicas 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.
- Samper, J., García Vera, M. A. (1992). Manual de usuario del programa BALAN_8. Dpto. Ingeniería del terreno. E. T. S. de Ingenieros de Caminos. UPC. Barcelona. España
- Sancho Ruiz, E. (2019). Sistema de Poljea de Noviercas, Borobia y Cuevas de Ágreda-Beratón (Cordillera Ibérica, Soria): Cartografía geomorfológica y materiales para la divulgación. TFG. Universidad de Zaragoza
- SGOP (1991). Estudio hidrogeológico de Soria
- Vera, J.A. (2004). Geología de España



ANEXOS



ANEXO I
DATOS MENSUALES CLIMÁTICOS UTILIZADOS



2030 Sorla

| P (mm) | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | Año |
|---------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 1990/91 | 44.9 | 80.2 | 29.1 | 14.2 | 60.8 | 53.4 | 125.5 | 27.5 | 31.3 | 14.3 | 3.0 | 62.4 | 526.6 |
| 1991/92 | 69.2 | 43.3 | 4.6 | 4.8 | 12.4 | 19.0 | 32.7 | 42.2 | 51.5 | 32.3 | 10.9 | 24.5 | 347.2 |
| 1992/93 | 79.3 | 2.5 | 58.6 | 0.0 | 12.2 | 25.2 | 46.4 | 143.5 | 16.6 | 0.7 | 11.6 | 53.6 | 450.1 |
| 1993/94 | 122.4 | 17.8 | 6.6 | 51.1 | 35.6 | 14.5 | 15.8 | 52.9 | 62.5 | 26.3 | 24.6 | 26.9 | 459.8 |
| 1994/95 | 109.9 | 42.4 | 35.3 | 17.7 | 27.5 | 14.3 | 10.7 | 59.1 | 20.3 | 10.8 | 98.5 | 30.0 | 476.5 |
| 1995/96 | 11.6 | 53.1 | 154.2 | 86.5 | 29.8 | 26.7 | 42.3 | 64.1 | 9.9 | 27.6 | 23.0 | 16.7 | 545.5 |
| 1996/97 | 20.6 | 54.2 | 100.6 | 108.5 | 4.9 | 0.0 | 75.2 | 97.8 | 55.2 | 136.9 | 101.1 | 36.4 | 789.6 |
| 1997/98 | 22.2 | 124.1 | 99.3 | 19.7 | 18.5 | 21.4 | 77.3 | 87.1 | 53.6 | 20.1 | 16.0 | 61.0 | 622.3 |
| 1998/99 | 13.1 | 23.6 | 10.4 | 40.9 | 17.4 | 27.7 | 41.2 | 52.7 | 90.3 | 55.4 | 13.4 | 61.3 | 447.4 |
| 1999/00 | 120.9 | 29.6 | 36.6 | 11.6 | 3.7 | 19.4 | 92.2 | 40.7 | 19.1 | 55.4 | 14.3 | 30.4 | 476.3 |
| 2000/01 | 42.5 | 114.6 | 79.2 | 104.9 | 38.1 | 105.5 | 8.4 | 40.4 | 17.9 | 53.8 | 43.5 | 12.2 | 651.0 |
| 2001/02 | 67.6 | 8.1 | 3.6 | 31.7 | 25.0 | 25.3 | 36.8 | 85.1 | 31.7 | 24.4 | 82.4 | 31.5 | 453.2 |
| 2002/03 | 74.6 | 79.0 | 51.6 | 64.7 | 64.4 | 41.8 | 63.8 | 28.6 | 7.9 | 2.3 | 58.7 | 79.4 | 644.8 |
| 2003/02 | 127.7 | 68.5 | 23.4 | 35.3 | 50.6 | 61.4 | 74.1 | 74.6 | 33.2 | 31.6 | 35.4 | 32.6 | 646.3 |
| 2004/05 | 78.7 | 12.1 | 21.0 | 7.0 | 27.6 | 15.4 | 31.0 | 34.3 | 17.5 | 0.0 | 3.6 | 9.4 | 257.6 |
| 2005/06 | 98.5 | 66.2 | 34.1 | 12.2 | 60.6 | 51.6 | 20.5 | 52.6 | 76.9 | 26.2 | 5.6 | 67.4 | 672.6 |
| 2006/07 | 71.8 | 64.4 | 18.5 | 14.3 | 65.5 | 43.7 | 79.6 | 110.2 | 29.1 | 20.6 | 10.5 | 22.1 | 550.3 |
| 2007/08 | 26.3 | 36.9 | 18.6 | 51.8 | 23.0 | 15.9 | 103.7 | 164.5 | 74.7 | 24.6 | 13.7 | 39.4 | 595.1 |
| 2008/09 | 56.6 | 28.2 | 55.9 | 42.0 | 38.5 | 26.5 | 46.4 | 27.0 | 22.6 | 2.3 | 40.3 | 23.7 | 410.0 |
| 2009/10 | 53.0 | 30.1 | 141.2 | 76.7 | 65.3 | 57.6 | 45.0 | 116.6 | 66.9 | 21.3 | 3.0 | 37.6 | 734.6 |
| 2010/11 | 46.7 | 43.9 | 48.7 | 36.8 | 24.0 | 52.2 | 56.1 | 109.2 | 26.8 | 6.0 | 15.2 | 10.7 | 480.3 |
| 2011/12 | 30.2 | 29.7 | 7.2 | 11.6 | 6.2 | 7.2 | 83.4 | 51.2 | 33.6 | 33.0 | 12.6 | 37.4 | 343.5 |
| 2012/13 | 66.6 | 29.2 | 41.0 | 61.1 | 30.6 | 135.6 | 84.4 | 40.6 | 49.4 | 61.2 | 5.0 | 12.6 | 667.5 |
| 2013/14 | 56.6 | 15.4 | 63.6 | 66.6 | 79.4 | 22.2 | 60.2 | 24.4 | 50.7 | 53.4 | 23.2 | 32.4 | 638.6 |
| 2014/15 | 37.0 | 138.0 | 22.6 | 27.6 | 22.0 | 61.4 | 37.2 | 12.0 | 96.0 | 41.2 | 32.6 | 28.0 | 574.6 |
| Media | 62.9 | 48.6 | 46.7 | 41.1 | 34.6 | 36.6 | 55.2 | 65.6 | 41.8 | 32.2 | 26.1 | 35.2 | 530.5 |

| T (°C) | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | Año |
|---------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1990/91 | 11.4 | 6.0 | 2.3 | 2.2 | 2.4 | 6.9 | 6.9 | 10.3 | 16.6 | 20.6 | 22.5 | 17.9 | 10.5 |
| 1991/92 | 8.8 | 5.6 | 4.4 | 0.8 | 3.9 | 6.4 | 9.3 | 14.3 | 12.8 | 20.6 | 21.1 | 16.5 | 10.4 |
| 1992/93 | 9.2 | 8.8 | 4.4 | 3.8 | 3.0 | 6.5 | 7.6 | 11.4 | 16.7 | 19.0 | 20.5 | 14.0 | 10.4 |
| 1993/94 | 7.6 | 5.4 | 4.7 | 3.0 | 4.3 | 9.5 | 7.3 | 12.8 | 17.2 | 23.0 | 21.7 | 14.2 | 10.9 |
| 1994/95 | 11.3 | 9.1 | 4.8 | 4.1 | 5.9 | 7.0 | 9.9 | 13.8 | 17.1 | 21.6 | 19.8 | 13.6 | 11.5 |
| 1995/96 | 13.6 | 8.3 | 4.7 | 4.8 | 2.9 | 6.4 | 9.9 | 12.1 | 17.7 | 20.0 | 18.6 | 14.7 | 11.2 |
| 1996/97 | 11.6 | 6.6 | 4.3 | 3.1 | 7.1 | 10.4 | 11.3 | 13.0 | 15.2 | 18.1 | 20.4 | 17.9 | 11.6 |
| 1997/98 | 14.1 | 7.0 | 4.6 | 4.6 | 7.0 | 9.2 | 7.1 | 12.3 | 17.7 | 20.4 | 21.2 | 16.5 | 11.8 |
| 1998/99 | 10.8 | 6.5 | 3.5 | 3.2 | 4.2 | 6.8 | 9.1 | 14.7 | 17.0 | 21.1 | 20.7 | 16.6 | 11.2 |
| 1999/00 | 11.4 | 4.7 | 4.0 | 2.0 | 7.4 | 8.0 | 7.3 | 14.3 | 18.3 | 19.6 | 20.3 | 17.2 | 11.2 |
| 2000/01 | 11.3 | 5.5 | 4.9 | 4.2 | 4.9 | 9.2 | 9.2 | 13.4 | 19.0 | 19.6 | 21.0 | 16.4 | 11.5 |
| 2001/02 | 13.1 | 4.8 | 1.6 | 4.2 | 5.5 | 7.6 | 9.7 | 11.7 | 18.3 | 19.5 | 18.7 | 15.5 | 10.9 |
| 2002/03 | 11.9 | 7.5 | 5.3 | 2.8 | 2.9 | 8.8 | 9.5 | 13.5 | 21.2 | 21.6 | 22.9 | 16.5 | 12.0 |
| 2003/02 | 10.2 | 7.7 | 3.9 | 4.7 | 4.3 | 5.6 | 7.6 | 11.3 | 19.1 | 20.0 | 19.8 | 17.8 | 11.0 |
| 2004/05 | 12.3 | 6.1 | 3.6 | 2.4 | 0.5 | 6.5 | 9.5 | 14.4 | 20.2 | 21.4 | 20.4 | 16.3 | 11.1 |
| 2005/06 | 12.4 | 5.5 | 3.0 | 2.6 | 3.1 | 7.6 | 10.6 | 14.6 | 18.8 | 22.4 | 18.5 | 17.8 | 11.4 |



| | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 2006/07 | 13.6 | 9.3 | 3.5 | 4.1 | 5.8 | 5.8 | 9.8 | 13.0 | 16.2 | 19.6 | 18.8 | 16.1 | 11.3 |
| 2007/08 | 11.7 | 6.4 | 2.7 | 4.9 | 5.7 | 6.0 | 9.3 | 11.8 | 16.4 | 19.4 | 20.1 | 15.2 | 10.8 |
| 2008/09 | 10.6 | 4.6 | 3.6 | 1.6 | 4.4 | 7.6 | 8.0 | 14.6 | 19.0 | 21.5 | 21.9 | 16.4 | 11.1 |
| 2009/10 | 14.0 | 8.0 | 3.1 | 2.2 | 2.7 | 6.2 | 10.2 | 11.0 | 15.9 | 21.7 | 20.6 | 16.3 | 10.9 |
| 2010/11 | 10.4 | 4.6 | 3.8 | 3.3 | 5.5 | 6.4 | 12.6 | 14.9 | 17.4 | 18.9 | 20.8 | 17.9 | 11.4 |
| 2011/12 | 12.7 | 8.2 | 4.3 | 3.7 | 1.5 | 7.4 | 6.8 | 14.2 | 18.9 | 19.9 | 21.4 | 16.6 | 11.3 |
| 2012/13 | 11.5 | 6.1 | 4.2 | 4.0 | 2.8 | 6.6 | 7.8 | 9.3 | 15.0 | 20.9 | 20.0 | 17.0 | 10.4 |
| 2013/14 | 12.4 | 6.1 | 3.1 | 4.3 | 3.5 | 7.0 | 11.8 | 12.3 | 17.2 | 18.5 | 20.0 | 18.2 | 11.2 |
| 2014/15 | 14.7 | 7.9 | 4.2 | 3.6 | 2.2 | 7.7 | 10.4 | 14.4 | 18.6 | 23.2 | 20.0 | 14.8 | 11.8 |
| Media | 11.7 | 6.7 | 3.9 | 3.4 | 4.1 | 7.2 | 9.2 | 12.9 | 17.6 | 20.6 | 20.6 | 18.3 | 11.2 |

ETP por Thornthwaite

| ETP (mm) | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | Año |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| 1990/91 | 44.8 | 18.4 | 6.3 | 7.0 | 7.5 | 26.8 | 29.5 | 54.8 | 98.8 | 130.7 | 137.0 | 92.4 | 664.0 |
| 1991/92 | 36.5 | 16.8 | 13.2 | 3.2 | 11.5 | 24.6 | 42.5 | 78.8 | 71.5 | 130.1 | 127.1 | 83.8 | 642.6 |
| 1992/93 | 38.2 | 30.8 | 13.4 | 12.7 | 11.1 | 28.4 | 35.9 | 64.2 | 101.1 | 120.0 | 123.3 | 70.1 | 649.4 |
| 1993/94 | 33.4 | 19.3 | 15.3 | 8.7 | 11.6 | 37.4 | 30.5 | 67.7 | 99.4 | 146.2 | 127.1 | 69.0 | 662.6 |
| 1994/95 | 45.4 | 29.2 | 14.2 | 11.2 | 17.3 | 28.9 | 44.5 | 75.3 | 98.9 | 134.2 | 112.4 | 61.0 | 670.6 |
| 1995/96 | 55.8 | 26.7 | 13.4 | 14.4 | 9.2 | 26.3 | 46.2 | 67.5 | 106.0 | 124.5 | 108.6 | 69.9 | 668.4 |
| 1996/97 | 48.3 | 21.9 | 13.2 | 9.4 | 21.8 | 41.2 | 50.2 | 69.1 | 84.8 | 106.3 | 118.1 | 66.9 | 673.3 |
| 1997/98 | 60.2 | 21.2 | 12.0 | 13.8 | 21.8 | 37.4 | 30.4 | 66.1 | 104.4 | 125.3 | 122.4 | 79.1 | 693.9 |
| 1998/99 | 42.3 | 20.0 | 9.6 | 9.7 | 12.9 | 25.5 | 39.0 | 80.1 | 96.6 | 132.6 | 122.4 | 62.8 | 676.4 |
| 1999/00 | 47.5 | 15.0 | 11.2 | 5.5 | 22.5 | 31.1 | 30.6 | 78.8 | 108.6 | 120.2 | 116.7 | 83.6 | 671.8 |
| 2000/01 | 45.5 | 16.2 | 13.9 | 11.4 | 14.5 | 37.7 | 40.4 | 74.7 | 113.8 | 118.6 | 120.3 | 71.3 | 678.2 |
| 2001/02 | 63.5 | 14.2 | 6.4 | 12.2 | 16.7 | 32.3 | 45.4 | 63.4 | 110.2 | 119.6 | 105.8 | 73.0 | 662.6 |
| 2002/03 | 48.4 | 24.0 | 16.6 | 8.3 | 7.3 | 31.8 | 36.7 | 69.6 | 126.9 | 134.9 | 136.0 | 79.0 | 722.6 |
| 2003/02 | 39.8 | 23.4 | 9.6 | 13.6 | 13.4 | 21.7 | 33.0 | 60.1 | 114.5 | 123.9 | 114.6 | 68.2 | 666.9 |
| 2004/06 | 52.1 | 19.1 | 10.5 | 7.6 | 4.1 | 26.0 | 39.7 | 75.3 | 119.0 | 135.3 | 122.8 | 62.3 | 693.8 |
| 2005/08 | 63.6 | 17.7 | 8.0 | 6.7 | 8.1 | 26.4 | 44.5 | 76.6 | 109.2 | 140.6 | 103.6 | 67.3 | 686.6 |
| 2006/07 | 56.2 | 29.6 | 8.8 | 13.6 | 18.1 | 22.9 | 46.7 | 71.6 | 94.8 | 122.1 | 110.2 | 60.0 | 673.7 |
| 2007/08 | 50.4 | 21.7 | 7.9 | 15.5 | 18.6 | 24.6 | 44.5 | 65.6 | 97.5 | 120.2 | 116.4 | 73.0 | 666.7 |
| 2008/09 | 43.9 | 15.5 | 11.0 | 6.6 | 11.4 | 27.0 | 30.7 | 76.3 | 110.1 | 134.7 | 130.9 | 79.8 | 677.9 |
| 2009/10 | 59.7 | 25.2 | 10.7 | 8.2 | 9.6 | 20.8 | 46.6 | 66.4 | 92.1 | 139.5 | 123.6 | 63.7 | 678.0 |
| 2010/11 | 45.3 | 17.4 | 13.3 | 10.1 | 14.8 | 22.5 | 57.0 | 79.5 | 100.3 | 113.9 | 121.5 | 67.6 | 663.0 |
| 2011/12 | 53.2 | 25.6 | 10.6 | 9.9 | 7.8 | 28.2 | 27.1 | 77.7 | 111.9 | 123.1 | 127.6 | 61.9 | 684.4 |
| 2012/13 | 48.6 | 19.1 | 11.7 | 12.9 | 9.6 | 22.8 | 36.2 | 49.1 | 68.0 | 132.8 | 118.3 | 66.3 | 634.4 |
| 2013/14 | 54.9 | 21.8 | 9.4 | 11.7 | 9.3 | 26.6 | 54.6 | 64.3 | 99.4 | 111.0 | 113.4 | 68.5 | 664.8 |
| 2014/15 | 61.6 | 24.7 | 10.8 | 9.6 | 6.6 | 28.4 | 44.2 | 76.2 | 108.8 | 147.8 | 115.4 | 68.9 | 703.2 |
| Media | 48.8 | 21.6 | 11.2 | 10.2 | 12.7 | 28.3 | 40.3 | 69.6 | 102.7 | 127.6 | 119.9 | 79.4 | 672.3 |

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

| P (mm) | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | Año |
|---------|------|------|------|-----|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| 1990/91 | 64.3 | 50.0 | 20.5 | 0.0 | 82.6 | 30.0 | 139.0 | 36.0 | 13.0 | 59.0 | 0.0 | 56.0 | 550.3 |
| 1991/92 | 56.0 | 30.0 | 15.5 | 3.0 | 10.0 | 18.0 | 12.6 | 60.5 | 92.5 | 0.0 | 30.0 | 38.0 | 366.0 |

ARAVIANA-SOROBIA

INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS Y CARACTERIZACIÓN DE ACÚFEROS COMPARTIDOS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS



| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 1992/93 | 82.5 | 2.2 | 36.0 | 0.0 | 15.5 | 38.5 | 23.5 | 90.5 | 26.5 | 3.5 | 15.0 | 44.0 | 377.7 |
| 1993/94 | 69.5 | 6.0 | 5.8 | 39.0 | 19.0 | 12.8 | 7.5 | 83.5 | 12.0 | 9.6 | 12.0 | 34.0 | 310.7 |
| 1994/95 | 71.0 | 34.5 | 31.2 | 15.7 | 9.0 | 13.0 | 9.5 | 64.5 | 55.0 | 16.5 | 90.8 | 33.0 | 443.7 |
| 1995/96 | 16.0 | 38.0 | 80.0 | 69.5 | 40.3 | 25.5 | 31.1 | 42.9 | 18.8 | 24.7 | 20.4 | 24.8 | 432.0 |
| 1996/97 | 16.2 | 48.0 | 76.0 | 98.4 | 1.5 | 0.0 | 103.5 | 66.9 | 40.4 | 71.2 | 50.8 | 63.5 | 636.3 |
| 1997/98 | 15.5 | 74.1 | 59.3 | 17.4 | 16.4 | 8.0 | 30.0 | 43.5 | 48.0 | 17.8 | 15.9 | 40.0 | 365.9 |
| 1998/99 | 36.0 | 20.9 | 19.0 | 47.0 | 2.0 | 34.0 | 62.5 | 36.5 | 47.0 | 87.0 | 0.0 | 100.0 | 491.9 |
| 1999/00 | 54.0 | 26.4 | 0.0 | 59.0 | 0.0 | 25.5 | 74.5 | 58.1 | 51.5 | 14.6 | 7.7 | 39.5 | 404.7 |
| 2000/01 | 90.5 | 67.0 | 54.5 | 50.5 | 28.6 | 34.7 | 12.0 | 23.4 | 15.0 | 25.0 | 10.5 | 45.5 | 457.2 |
| 2001/02 | 37.0 | 6.6 | 1.3 | 30.7 | 16.8 | 33.9 | 44.2 | 68.0 | 30.7 | 66.7 | 89.7 | 31.7 | 457.3 |
| 2002/03 | 59.7 | 59.2 | 49.8 | 48.6 | 93.1 | 57.0 | 70.1 | 77.5 | 26.2 | 2.2 | 29.1 | 110.4 | 681.9 |
| 2003/02 | 120.5 | 43.9 | 28.1 | 22.7 | 44.0 | 73.0 | 65.4 | 56.2 | 16.0 | 34.0 | 6.0 | 63.2 | 593.0 |
| 2004/05 | 62.7 | 9.7 | 42.0 | 0.0 | 14.5 | 8.7 | 36.2 | 52.1 | 28.6 | 0.0 | 1.9 | 59.5 | 315.9 |
| 2005/06 | 43.4 | 54.6 | 18.9 | 21.3 | 43.6 | 24.8 | 37.6 | 16.4 | 50.0 | 65.1 | 5.1 | 106.0 | 485.7 |
| 2006/07 | 39.4 | 62.3 | 8.6 | 17.0 | 53.7 | 43.2 | 169.6 | 85.2 | 40.3 | 3.2 | 25.9 | 11.6 | 560.0 |
| 2007/08 | 36.6 | 3.8 | 43.2 | 18.3 | 32.9 | 21.4 | 86.2 | 171.4 | 30.7 | 18.4 | 7.8 | 37.2 | 610.0 |
| 2008/09 | 75.7 | 25.9 | 38.4 | 46.9 | 33.1 | 9.6 | 34.9 | 50.0 | 16.2 | 0.0 | 22.0 | 20.1 | 372.8 |
| 2009/10 | 55.5 | 17.5 | 77.0 | 59.9 | 55.5 | 60.4 | 56.4 | 61.6 | 48.5 | 24.9 | 6.8 | 45.0 | 590.2 |
| 2010/11 | 42.1 | 43.2 | 36.3 | 25.2 | 16.3 | 78.4 | 35.4 | 64.7 | 35.4 | 7.1 | 1.7 | 13.6 | 389.4 |
| 2011/12 | 15.2 | 63.4 | 9.8 | 13.8 | 2.9 | 4.8 | 66.1 | 20.8 | 32.3 | 29.2 | 11.0 | 25.0 | 294.3 |
| 2012/13 | 99.9 | 41.3 | 3.2 | 39.7 | 43.2 | 110.6 | 54.5 | 41.4 | 27.9 | 63.1 | 33.1 | 19.8 | 677.7 |
| 2013/14 | 62.7 | 27.5 | 26.7 | 48.7 | 49.8 | 22.0 | 34.5 | 29.2 | 89.4 | 80.5 | 18.1 | 37.3 | 525.4 |
| 2014/15 | 33.8 | 134.7 | 27.4 | 14.9 | 24.8 | 107.0 | 22.2 | 15.2 | 73.3 | 41.5 | 22.6 | 21.5 | 636.1 |
| Media | 54.3 | 39.2 | 32.3 | 32.0 | 30.0 | 35.8 | 53.6 | 67.4 | 38.6 | 30.6 | 21.4 | 44.8 | 470.0 |

| T (°C) | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | Año |
|---------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1990/91 | 12.9 | 8.1 | 3.6 | 2.9 | 3.7 | 8.5 | 6.6 | 9.7 | 18.2 | 19.5 | 21.9 | 15.6 | 10.9 |
| 1991/92 | 8.2 | 6.0 | 4.2 | 1.8 | 4.6 | 6.8 | 9.1 | 15.8 | 12.5 | 19.3 | 21.1 | 16.0 | 10.4 |
| 1992/93 | 9.9 | 10.4 | 5.3 | 5.6 | 4.6 | 7.5 | 9.2 | 13.1 | 17.9 | 20.1 | 20.8 | 15.7 | 11.7 |
| 1993/94 | 10.2 | 6.6 | 6.5 | 4.0 | 6.3 | 10.8 | 8.8 | 14.8 | 17.5 | 23.5 | 22.2 | 15.7 | 12.2 |
| 1994/95 | 13.1 | 10.9 | 6.3 | 5.8 | 7.5 | 7.3 | 10.0 | 15.3 | 17.1 | 21.5 | 20.6 | 14.4 | 12.5 |
| 1995/96 | 15.4 | 10.6 | 6.2 | 6.4 | 3.9 | 8.1 | 10.2 | 14.2 | 18.7 | 20.7 | 20.3 | 15.1 | 12.5 |
| 1996/97 | 13.2 | 8.3 | 5.2 | 3.5 | 9.1 | 11.8 | 12.2 | 14.2 | 16.5 | 18.7 | 22.1 | 19.0 | 12.6 |
| 1997/98 | 16.1 | 8.9 | 6.4 | 6.4 | 7.1 | 10.5 | 9.8 | 14.1 | 19.3 | 21.9 | 22.5 | 16.7 | 13.3 |
| 1998/99 | 11.3 | 6.2 | 4.2 | 4.1 | 5.9 | 7.2 | 10.7 | 16.3 | 18.4 | 24.2 | 22.1 | 16.6 | 12.4 |
| 1999/00 | 13.0 | 4.8 | 6.9 | 5.2 | 9.0 | 9.8 | 8.9 | 15.3 | 19.9 | 20.7 | 21.3 | 17.5 | 12.7 |
| 2000/01 | 12.6 | 7.2 | 6.4 | 5.5 | 6.6 | 11.1 | 11.3 | 15.9 | 21.7 | 21.6 | 23.6 | 17.3 | 13.4 |
| 2001/02 | 14.9 | 5.6 | 2.4 | 5.1 | 7.2 | 9.4 | 11.6 | 13.7 | 20.2 | 20.8 | 20.5 | 17.3 | 12.4 |
| 2002/03 | 13.6 | 8.6 | 8.2 | 4.0 | 4.0 | 10.3 | 11.6 | 15.6 | 22.8 | 23.4 | 24.6 | 17.7 | 13.5 |
| 2003/02 | 11.7 | 8.0 | 4.7 | 5.4 | 5.1 | 6.6 | 9.0 | 13.3 | 20.7 | 22.2 | 22.1 | 18.4 | 12.3 |
| 2004/05 | 13.7 | 6.8 | 4.2 | 3.4 | 2.2 | 7.4 | 11.2 | 16.2 | 22.5 | 24.2 | 21.4 | 17.0 | 12.5 |
| 2005/06 | 13.0 | 6.8 | 3.8 | 3.8 | 4.7 | 9.3 | 12.7 | 17.1 | 20.8 | 24.6 | 20.7 | 19.8 | 13.1 |
| 2006/07 | 15.3 | 10.6 | 5.1 | 5.6 | 7.4 | 7.7 | 12.2 | 14.9 | 18.7 | 22.0 | 21.5 | 18.3 | 13.3 |
| 2007/08 | 13.5 | 7.5 | 4.8 | 6.5 | 7.4 | 8.0 | 12.0 | 14.6 | 18.1 | 21.7 | 22.6 | 17.7 | 12.9 |
| 2008/09 | 12.5 | 5.9 | 5.4 | 4.2 | 5.7 | 9.4 | 10.0 | 17.8 | 22.2 | 24.4 | 24.4 | 18.7 | 13.4 |
| 2009/10 | 15.2 | 10.7 | 5.3 | 4.0 | 4.7 | 7.4 | 12.1 | 13.1 | 18.0 | 23.9 | 22.9 | 18.4 | 13.0 |
| 2010/11 | 12.5 | 7.0 | 4.9 | 4.7 | 6.6 | 7.1 | 13.9 | 16.8 | 19.3 | 20.7 | 23.9 | 20.4 | 13.1 |

ARAVIANA-BOROMIA

INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS Y CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS COMPARTIDOS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS



| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2011/12 | 15.2 | 8.8 | 5.9 | 5.4 | 3.3 | 9.7 | 9.4 | 15.9 | 21.3 | 22.1 | 24.5 | 18.9 | 13.5 |
| 2012/13 | 14.4 | 8.7 | 6.7 | 6.1 | 5.1 | 7.8 | 10.9 | 11.4 | 17.5 | 23.3 | 22.6 | 18.9 | 12.8 |
| 2013/14 | 15.2 | 7.6 | 4.7 | 6.5 | 6.1 | 9.0 | 13.6 | 14.3 | 19.3 | 20.2 | 21.4 | 20.1 | 13.2 |
| 2014/15 | 16.5 | 9.6 | 5.7 | 5.2 | 4.0 | 9.2 | 12.2 | 16.8 | 20.7 | 25.6 | 22.4 | 17.3 | 13.8 |
| Media | 13.3 | 8.0 | 5.2 | 4.8 | 5.7 | 8.7 | 10.8 | 14.8 | 19.2 | 22.0 | 22.2 | 17.6 | 12.7 |

ETP por Thornthwaite

| ETP (mm) | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | Año |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| 1990/91 | 50.0 | 23.7 | 8.5 | 9.6 | 12.0 | 36.0 | 28.9 | 52.2 | 110.0 | 122.4 | 130.3 | 77.1 | 560.7 |
| 1991/92 | 33.2 | 20.0 | 12.8 | 5.2 | 13.4 | 26.8 | 41.6 | 90.7 | 68.8 | 118.9 | 123.6 | 77.3 | 632.4 |
| 1992/93 | 40.0 | 36.1 | 15.5 | 16.8 | 14.4 | 29.8 | 40.8 | 70.6 | 105.0 | 123.8 | 121.0 | 74.1 | 667.8 |
| 1993/94 | 39.7 | 20.4 | 19.1 | 10.4 | 16.6 | 39.8 | 33.7 | 75.7 | 97.2 | 149.1 | 129.6 | 71.4 | 702.6 |
| 1994/95 | 50.7 | 33.9 | 16.2 | 14.8 | 21.1 | 25.4 | 41.8 | 82.0 | 96.0 | 131.6 | 115.2 | 62.4 | 691.0 |
| 1995/96 | 62.4 | 33.3 | 16.5 | 17.9 | 10.7 | 31.3 | 44.1 | 77.0 | 109.3 | 126.7 | 115.3 | 66.8 | 713.3 |
| 1996/97 | 52.9 | 25.5 | 14.0 | 9.0 | 26.0 | 43.9 | 50.3 | 71.3 | 88.3 | 108.7 | 128.2 | 91.2 | 709.4 |
| 1997/98 | 87.4 | 25.5 | 16.5 | 17.1 | 19.7 | 41.0 | 41.0 | 73.6 | 112.3 | 134.5 | 129.9 | 76.3 | 753.6 |
| 1998/99 | 41.4 | 17.1 | 9.9 | 10.2 | 15.3 | 23.1 | 42.9 | 87.3 | 103.8 | 154.3 | 126.6 | 86.5 | 720.4 |
| 1999/00 | 49.1 | 13.1 | 17.5 | 13.0 | 26.0 | 35.7 | 35.2 | 81.4 | 117.1 | 123.8 | 119.3 | 80.0 | 711.1 |
| 2000/01 | 47.1 | 19.1 | 16.3 | 12.3 | 16.7 | 41.1 | 45.6 | 85.1 | 129.2 | 129.9 | 136.0 | 76.5 | 754.8 |
| 2001/02 | 58.9 | 13.0 | 6.5 | 12.4 | 19.2 | 35.3 | 60.8 | 71.2 | 119.7 | 125.1 | 113.7 | 79.0 | 702.9 |
| 2002/03 | 51.9 | 24.4 | 15.4 | 9.1 | 8.4 | 35.5 | 46.1 | 78.8 | 138.1 | 146.1 | 148.0 | 79.7 | 781.5 |
| 2003/02 | 42.0 | 20.6 | 9.7 | 13.9 | 13.6 | 22.9 | 36.0 | 66.6 | 123.6 | 137.6 | 127.2 | 86.9 | 702.6 |
| 2004/05 | 54.6 | 17.7 | 9.9 | 8.1 | 5.4 | 27.4 | 45.9 | 84.7 | 135.8 | 155.8 | 124.0 | 80.1 | 749.6 |
| 2005/06 | 50.5 | 18.4 | 8.3 | 7.4 | 9.3 | 31.7 | 51.4 | 90.0 | 119.4 | 154.2 | 112.8 | 93.4 | 746.7 |
| 2006/07 | 58.0 | 29.2 | 11.1 | 14.8 | 19.7 | 26.0 | 53.8 | 77.8 | 106.0 | 135.0 | 123.0 | 85.6 | 740.1 |
| 2007/08 | 52.1 | 20.5 | 11.1 | 17.1 | 20.3 | 29.0 | 52.6 | 74.8 | 103.1 | 132.3 | 129.8 | 81.2 | 723.9 |
| 2008/09 | 47.2 | 15.5 | 13.3 | 9.3 | 12.1 | 26.1 | 34.9 | 92.6 | 131.5 | 154.0 | 144.4 | 85.5 | 769.6 |
| 2009/10 | 57.1 | 29.3 | 11.9 | 10.2 | 12.4 | 26.0 | 51.8 | 66.1 | 101.0 | 152.3 | 135.5 | 88.7 | 742.6 |
| 2010/11 | 48.5 | 20.9 | 12.9 | 11.4 | 15.2 | 21.3 | 57.6 | 67.0 | 108.9 | 121.8 | 140.3 | 97.8 | 743.6 |
| 2011/12 | 59.1 | 27.2 | 12.4 | 11.7 | 8.5 | 32.9 | 33.5 | 81.3 | 125.1 | 134.4 | 147.0 | 86.8 | 761.7 |
| 2012/13 | 56.5 | 23.4 | 15.6 | 15.7 | 13.6 | 26.7 | 46.1 | 54.0 | 97.8 | 145.9 | 130.6 | 89.1 | 716.0 |
| 2013/14 | 61.5 | 23.2 | 10.9 | 15.5 | 14.4 | 30.6 | 58.6 | 70.6 | 109.5 | 118.2 | 118.7 | 85.9 | 727.7 |
| 2014/15 | 65.3 | 26.5 | 12.4 | 11.0 | 8.6 | 29.9 | 47.1 | 86.4 | 119.8 | 166.2 | 127.7 | 76.3 | 777.2 |
| Media | 51.8 | 23.1 | 12.9 | 12.2 | 14.9 | 31.1 | 44.5 | 77.2 | 111.0 | 136.1 | 127.9 | 82.1 | 724.9 |



ANEXO 2:

Estudio hidrogeológico del sistema acuífero asociado a la masa de agua subterránea Araviana, Soria”, llevado a cabo por el Catedrático Emérito D. Emilio Custodio, durante 2021.

**Estudio hidrogeológico del sistema acuífero asociado a la masa de agua
subterránea Araviana, Soria**

Realizado para Valle de Odieta S.C.L.

Autores: Emilio Custodio, Fermín Villarroya y Javier Custodio-Ayala

Barcelona/Madrid, octubre de 2021

Índice

1 Antecedentes y objetivos del informe

2 Contenido del informe y autores

3 Documentación de soporte

4 Área estudiada

4.1 Masa de agua subterránea Araviana

4.1.1 Características generales

4.1.2 Modelos de simulación de los recursos de agua subterránea de la cuenca del Duero

4.1.3 Balance de agua subterránea de una MASb

4.1.4 Recursos de agua en la MASb Araviana en la planificación hidrológica

4.1.5 Recursos totales y predicción del cambio climático

4.1.6 Terrenos de la propiedad y su entorno

4.2 Unidad hidrogeológica Alto Duero

5 Caracterización del área de estudio

5.1 Aspectos geográficos y climáticos y valores característicos

5.2 Caracterización geológica y materiales geológicos

5.3 Caracterización hidrogeológica

5.3.1 Consideraciones generales

5.3.2 Unidad hidrogeológica del Jurásico (MASb Araviana) en el entorno de la VN

5.3.3 Funcionamiento de la unidad hidrogeológica del Jurásico

5.4 Sondeos piezométricos en el entorno de la futura ubicación de las balsas

5.5 Inventario de captaciones, explotación y usos

5.6 Parámetros hidrogeológicos

5.7 Estudio hidrogeoquímico preliminar

5.7.1 Introducción

5.7.2 Sondeos del estudio de las futuras balsas de almacenamiento de agua

5.7.3 Pozos profundos

5.7.4 Valores isotópicos del agua

5.8 Estimación de la recarga media en el área de Noviercas por balance de la deposición atmosférica de cloruro

5.9 Estimación de la recarga de los tiempos renovación

5.9.1 Consideraciones sobre la recarga en la unidad hidrogeológica del Alto Duero

5.9.2 Tiempos de tránsito y renovación en los acuíferos del sistema del Alto Duero

5.9.3 Tiempo de respuesta hidráulica / retraso

5.9.4 Evolución de las concentraciones según tubos de flujo de agua

5.9.5 Consideraciones sobre la variación del aporte de solutos

6 Modelo hidrogeológico conceptual de funcionamiento del sistema

6.1 Planteamiento

6.2 Aspectos clave identificados

6.3 Incertidumbres remanentes y modo de reducirlas

7 Caracterización hidrogeológica del emplazamiento de la VN

7.1 Parámetros hidráulicos esperados y caudales de los pozos

7.2 Características físico-químicas y calidad del agua

7.3 Planteamiento de un sondeo profundo de reconocimiento y de las observaciones y ensayos a realizar

7.4 Abastecimiento a partir del acuífero jurásico subyacente

7.5 Caracterización hidrogeológica del emplazamiento de las balsas de aguas tratadas y de pluviales y su comportamiento

8 Programa de estudios adicionales necesarios

8.1 Determinaciones químicas e isotópicas ambientales

8.2 Medidas de niveles piezométricos y ensayos

8.3 Bases para una posible modelación matemática orientada a la obtención de respuestas a las cuestiones de sustentabilidad y compatibilidad con las diversas planificaciones territoriales y ambientales

Conclusiones sumarias del estudio

Referencias

Índice de Figuras

Figura 4.1.1 Masa de agua subterránea Araviana (400034), con indicación de los piezómetros de control cuantitativo. Visor Mírame Duero (CHDuero, 2021b).

Figura 4.1.2 Masas de agua subterránea de las cuencas del Duero y Ebro. Modificado a partir de CHDuero (2021b) y CHEbro (2021).

Figura 4.1.3 Divisoria del Ebro, con la cuenca del Duero (línea rosa) y trazado de los cauces afluentes del Jalón. La cuadrícula en color marrón indica la división de los mapas topográficos a escala 1/50.000 (CH Ebro, 2021).

Figura 4.1.4 Comparación entre los caudales medios del río Duero aforados (en azul) y los simulados en la estación de Garra (en rojo).

Figura 4.1.5 Comparación entre los caudales medios del río Duero aforados (en azul) y los simulados en la estación de Aranda de Duero (en rojo).

Figura 5.1 Diagrama ombrotérmico de Hinojosa del Campo

Figura 5.2.1 Columna estratigráfica según la memoria del mapa geológico del ITGE (1991a, pág. 13). Muestra la sucesión estratigráfica de los materiales del Triásico superior y Jurásico de la Hoja de Soria.

Figura 5.3.1 Modelo conceptual geológico e hidrogeológico del emplazamiento de la granja

Figura 5.3.2 Mapa de isopiezas del Mesozoico en la zona de Noviercas (Soria). El mapa contiene datos de varias fechas distintas. Las líneas rojas indican límites de la MASb Araviana.

Figura 5.3.3 Posible origen del manantial de Almenar, aprovechando la cizalla Soria-Ciria y el rebosamiento del acuífero jurásico. Tomado del mapa geológico de Soria (IGME, 1991). En color verde se representa el Cretácico, en azul el Jurásico, en amarillo el Terciario y en gris el Cuaternario.

Figura 5.3.4 Mapa geológico continuo Geode del IGME. La flecha grande indica la posible dirección de flujo de aguas subterráneas de la MASb Araviana (Duero) a la MASb Borobia-Moncayo (Ebro). Los colores del mapa se corresponden con la presencia de materiales del Triásico (magenta), Jurásico (azul), Cretácico (verde), Terciario (naranja), Pliocuatnario (trama de puntos rojos) y Cuaternario (gris).

Figura 5.3.5 Cierre periclinal (línea roja) del gran sinclinal del Jurásico, alrededor de la vaquería

Figura 5.4.1 Perfil hidrogeológico de detalle en la zona de la vaquería

Figura 5.5.1. Mapa de inventario de puntos de agua de la zona próxima a Noviercas

Figura 5.5.2. Distribución espacial de la demanda ganadera por UDG subterránea (CHDuero, 2021a)

Figura 5.7.1 Comparación de la suma de aniones A y cationes C (en meq/L) con la conductividad eléctrica de laboratorio. La línea diagonal representa aproximadamente los valores esperables en aguas de composición química común a 20 °C. Los cationes están en general subvalorados

Figura 5.7.2 Diagrama de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Barkaloff) de las muestras de agua de la limpieza de los piezómetros de la ubicación de las balsas de la futura Vaquería de Noviercas.

Figura 5.7.3 Diagrama de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Barkaloff) de las muestras de agua adicionales y del río Manubles (Borobia).

Figura 5.7.4 Diagrama de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Barkaloff) de las muestras de agua de los pozos profundos del entorno de la ubicación de la futura Vaquería de Noviercas.

Figura 5.7.5 Relación entre la relación iónica rNa/rCl para los pozos con análisis químico y la conductividad eléctrica (CE). El valor esperable en condiciones naturales con precipitación de humedad atmosférica de origen marino (en este caso principalmente Cantábrica y Atlántica) es de 0,82. Los valores notablemente menores de la relación encontrados en diversas muestras señalan que el Cl procede mayormente de fertilizantes

Figura 5.7.6 Relación entre la relación iónica rNa/rCl para los pozos con análisis químico y la conductividad eléctrica CE. El valor esperable en condiciones medias de meteorización a baja temperatura varía entre 10 y 20 para agua de precipitación y muy poco mineralizadas y vale en el entorno de 50 para las aguas de salinidad media. Los valores muy pequeños de la relación encontrados señalan que el K procede mayoritariamente de fertilizantes.

Figura 5.7.7 Representación de los análisis iónicos mayoritarios del pozo de Noviercas a partir de los datos de la red de calidad del agua de la CHD.

Figura 5.7.8 Representación de los análisis iónicos mayoritarios del pozo de Pozalmuro a partir de los datos de la red de calidad del agua de la CHD.

Figura 6.2.1. Corte geofísico de los terrenos donde se ubicará la granja. La posible columna estratigráfica del subsuelo sería: de 0 a 50 m, Pliocuaternario y Terciario, de 50 a 250 m, Cretácico y de 250 a 450 m (límite que alcanzaron los sondeos geofísicos), Jurásico (tomado de Geoterra, 2020 a).

Figura 6.2.2 Tomografía eléctrica de los 15 primeros metros en la zona de las balsas (Geoterra, 2020 b).

Figura 6.2.3 Interpretación de los perfiles SEV para el Ayuntamiento de Noviercas. Realizado por OCSA (en Sánchez-Navarro y Leiva, de,2008)

Índice de Tablas

Tabla 4.1.1 MASb compartidas entre las cuencas del Duero y del Ebro, según IGME (2021)

Tabla 4.1.2 Términos del balance de agua en una MASB monocapa, en régimen estacionario y sin evaporación freática ni recarga artificial

Tabla 4.1.3 Recursos renovables y disponibles en la MASbA en los planes hidrológicos de la cuenca Hidrográfica del Duero. Valores en hm^3/a .

Tabla 4.1.4 Balances de agua del PHD-2021, según el Anexo 2 de Inventario de Recursos Naturales. Valores en $hm^3/año$. La segunda cifra en los datos de la MASb Araviana son los del PHD-2015.

Tabla 4.1.5 Usos de agua subterránea en la MASb Araviana en 2020 según PHD-2021

Tabla 4.1.6 Demanda agrícola y urbana de agua subterránea en las MASB Araviana, Moncayo y Cuenca de Almazán en los horizontes de PHD-2015. La segunda cifra de la demanda asignada a la MASb Moncayo es de transferencia a la cuenca del Ebro (a Ólvega). No hay otras demandas

significativas. Todas las demandas se consideran con un 100% de garantía. No sucede lo mismo para las demandas de agua superficial, en parte en déficit.

Tabla 4.1.7 Recursos totales en la cuenca del Duero, en $\text{hm}^3/\text{año}$, en el segundo y tercer plan hidrológico.

Tabla 5.1 Balance hídrico de agua en el suelo en la estación de Soria (E2030) (JCCyL, 2010a). Valores en mm en el mes

Tabla 5.3.1 Valores de transmisividad hidráulica según Coloma (1999) para el Jurásico medio y superior.

Tabla 5.4.1 Localización, columna litológica y características de los piezómetros de la serie S (ENDUSA 2020b).

Tabla 5.4.3 Datos sobre la limpieza de los sondeos de la ubicación de las futuras balsas de agua, según ensayos el 15-06-2021 y medidas adicionales el 01-07-2021

Tabla 5.4.4 Red piezométrica y cota absoluta del agua (msnm)

Tabla 5.6.1 Características y parámetros hidráulicos de los pozos y sondeos con ensayos.

Tabla 5.7.1 Valores analíticos medianos y desviaciones estándar de las muestras de agua de la limpieza de los sondeos de la ubicación de las balsas, con los. CE es la conductividad eléctrica y BI es el balance iónico calculado como $(C-A)/(C+A)$, en que A suma de aniones y C suma de cationes, en meq/L. No hay resultados analíticos relativos al contenido en Fe disuelto, P_2O_5 y SiO_2

Tabla 5.7.2 Relaciones iónicas y contenido en nitratos de las aguas muestreadas en los sondeos del emplazamiento de las futuras balsas de almacenamiento de agua

Tabla 5.7.3 Valores medianos y desviación estándar de los datos analíticos de la CHD detallados semestrales (aunque con huecos) de muestras de los pozos de abastecimiento a Pozalmuro y a Noviercas, entre 2010 y la actualidad,

Tabla 5.7.4 Rango más frecuente de variación de las relaciones iónicas características de muestras de los pozos de abastecimiento a Pozalmuro y a Noviercas, entre 2010 y la actualidad.

Tabla 5.7.5 Resultados de las determinaciones isotópicas estables de muestras de agua subterránea, tomadas el 05-07-2021, y analizadas en la Universidad Autónoma de Madrid

Tabla 5.9.1 Estaciones meteorológicas próximas

Tabla 5.9.2 Estimaciones de D y A en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ para el valor de k indicado y el valor de C'_a resultante en mg/L, para $R = 100 \text{ mm/a}$. Con $b = 100 \text{ m}$ y $m = 0,1$ el valor inverso del coeficiente de tiempo es 100 a.

Tabla 5.9.3 Cambio f realizado según los valores estimados de la composición inicial (modificada de las determinaciones analíticas de Fuente de Horcajo y río Manubles), de la recarga actual supuesta similar a la de los datos analíticos de los sondeos realizados en lo que se prevé el futuro emplazamiento de las balsas) y la información de los pozos de Noviercas y Pozalmuro. Concentraciones en mg/L.

Tabla 7.1 Porcentajes sobre los recursos de agua subterránea de las distintas demandas en la MASb Araviana

Anexos

Anexo 1 Inventario de puntos de agua

Anexo 2 Plano de inventario de puntos de agua

Anexo 3 Datos de hidroquímica

Apéndices

Apéndice 1 Piezómetros de las balsas (serie A y B) de ENDUSA.

Apéndice 2 Estudio hidrogeológico de Geoterra.

Apéndice 3 Ensayos de bombeo de Hinojosa del Campo e interpretación de CRN.

Apéndice 4 Características técnicas del sondeo de reconocimiento.

Abreviaturas

A lo largo del informe se utilizarán las abreviaciones siguientes:

a año

CHD Confederación hidrográfica del Duero

IGME Instituto Geológico y Minero de España

INV-2021 Informe sobre la Vaquería de Noviercas

IPH Instrucción de Planificación Hidrológica

JCyL Junta de Casilla y León

MASb Masa de agua subterránea

PH Planificación hidrológica; Plan Hidrológico

PHD Plan hidrológico del Duero

PHD-2009 Plan hidrológico del Duero, primer ciclo 2009-2015

PHD-2015 Plan hidrológico del Duero, segundo ciclo 2016-2021, en vigor

PHD-2021 Plan hidrológico del Duero, borrador del tercer ciclo 2022-2027, en información pública

UHAD Unidad hidrogeológica del Alto Duero

VN Vaquería de Noviercas

Nota previa. Este documento está dirigido a personas que ya conocen la zona de estudio y las características del proyecto industrial agropecuario que se pretende llevar a cabo. Por lo tanto, las descripciones generales relativas a estos aspectos son sucintas, para centrar el contenido en los aspectos científico-técnicos relacionados con las aguas subterráneas.

1 Antecedentes y objetivos de este informe

La empresa Valle de Odieta S.C.L. es la promotora de un proyecto de construcción y puesta en marcha de una granja de ganado vacuno de leche, dotada de una planta de biodigestión de purines, un separador de sólidos-líquidos y una depuradora, en el término municipal de Noviercas (Soria). Para el abastecimiento en agua se pretende utilizar las aguas subterráneas del subsuelo. El proceso gestión de la granja incluye la construcción de tres grandes balsas de almacenamiento de agua, dos de ellas para aguas depuradas procedentes de los establos que tendrán calidad suficiente para su vertido a cauce, aun cuando no está prevista solicitar concesión de vertido, puesto que se va a reutilizar toda el agua. Ambos aspectos, el suministro de agua con calidad y cantidad suficiente para su uso ganadero y el almacenamiento de aguas depuradas, son objeto de interés. La promotora pretende llevar a cabo su granja con amplias garantías de sostenibilidad y no afección a la calidad del agua del subsuelo. Se han obtenido las autorizaciones correspondientes de las distintas autoridades involucradas, quedando pendiente la de la autoridad del agua. Tras diversas solicitudes presentadas ante la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD) por parte de Valle de Odieta S.C.L, tanto de concesión de aguas subterráneas como de solicitud de permiso para la ejecución de un sondeo de investigación de aguas subterráneas, y los correspondientes oficios de respuesta por parte de la CHD donde se denegaban ambas solicitudes, Valle de Odieta S.C.L (la promotora en adelante) encargó a un equipo de expertos dirigido por el Dr. Emilio Custodio, profesor emérito de la Universidad Politécnica de Catalunya, la redacción del presente informe de recopilación y síntesis de los conocimientos hidrogeológicos existentes y que se han podido localizar, basándose en:

- *datos disponibles en la propia CHD, sobre todo de y en relación con los Planes Hidrológicos, del segundo ciclo, actualmente vigente, y del documento borrador del tercer ciclo; plan publicado el 23 de junio de 2021 y en información pública hasta el 23 de diciembre de 2021,
- *información procedente de Universidades, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Consejería de Agricultura y Ganadería del Gobierno de Castilla y León
- *información contenida en trabajos universitarios y artículos científicos,
- *informes y estudios promovidos por la promotora para caracterizar los terrenos donde se ubicará la nueva granja.

Este informe hidrogeológico considera principalmente el estado de conocimiento de la masa de agua subterránea de Araviana (a la que pertenece Noviercas) y del propio emplazamiento donde se pretende construir la vaquería y su zona de influencia, sobre la calidad y cantidad de agua del subsuelo, pero enmarcado en la consideración general conceptual más amplia de la unidad hidrogeológica en que se encuentra.

El objetivo final es conocer la viabilidad del futuro abastecimiento con aguas subterráneas, tanto desde el punto de vista de explotación del acuífero como de la posible afección a la calidad de las aguas subterráneas por el funcionamiento y operación de las balsas que es necesario construir. Subsidiariamente el informe identifica aspectos que se desconocen y que convendría completar y puntualizar en futuras etapas, mediante los correspondientes estudios de campo y gabinete, fundamentalmente por parte de la administración hidráulica. Sin

embargo, con los datos existentes recopilados y los generados es posible llegar a conclusiones suficientemente soportadas.

Este estudio se ha realizado contando con la información existente y disponible hasta mediado el mes de julio de 2021.

En paralelo a este estudio se ha realizado un *“Informe relativo a la solicitud de recursos de agua de la masa de agua subterránea Araviana para el abastecimiento de la futura Vaquería de Noviercas, realizado para Valle de Odieta S.C.L.”*, abreviado como IVN-2021, en el que se desarrollan los aspectos administrativos y normativos, se da una exposición sintética del presente estudio y se aportan las consideraciones relevantes para soportar las solicitudes de permisos.

2 Contenido del informe y autores

Este estudio está integrado por los siguientes documentos:

- a.- Memoria (sin usar expresamente esa designación), donde además de recoger las características hidrogeológicas, se hace especial énfasis en el área del término de Noviercas donde se emplazaría la granja. El informe recoge también qué otros trabajos futuros serían convenientes para la mejora del conocimiento, aunque no imprescindibles.
- b.- Anexos, con las elaboraciones de acompañamiento efectuadas por los autores.
- c.- Apéndices, con la documentación relevante de apoyo.

El coordinador del equipo autor de este informe es el Dr. Emilio Custodio (catedrático emérito de la Universidad Politécnica de Cataluña). Los otros autores son el Dr. Fermín Villarroya Gil (hasta hace un año profesor Titular de Hidrogeología en la Universidad Complutense de Madrid) y Javier Custodio-Ayala (Ingeniero de Caminos CC y PP, consultor). Los autores han contado con la información y medios que ha aportado la promotora por medio del Ing. José Jiménez, director encargado del proyecto de la vaquería. Para realizar el estudio se ha visitado y trabajado en la zona y simultáneamente los profesionales de varias empresas consultoras han efectuado reconocimientos y toma de medidas hidrogeológicas en el terreno (Geoterra, ENDUSA y Tecnas).

3 Documentación de soporte

En el apartado de referencias consta la relación de documentos consultados.

Estos documentos pueden dividirse en:

- a.- Documentación oficial de las Confederaciones Hidrográficas del Duero y Ebro.

Se ha trabajado sobre el plan de cuenca vigente (2016-2021), designado PHD-2015, que finaliza en diciembre de 2021, y sobre el documento borrador del tercer plan (2022-2027), designado PHD-2021. Se trata de documentos muy extensos, con numerosos datos, anejos y apéndices. En el visor de Mírame Duero, de la CHD, están en red numerosos datos de interés para este estudio. Se ha dispuesto tardíamente de los datos sintéticos del estudio elaborado

por el IGME (2021) de la masa de agua subterránea compartida con la cuenca del Ebro en el entorno de la cabecera del río Araviana.

b.- Documentación de otros órganos de la administración

Fundamentalmente se trata de los fondos documentales del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el visor del IGME y las bases de datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y del SIGA (Sistema de Información Geográfica Agraria).

Por su importancia y la calidad de datos que aportan, hay que destacar los informes elaborados por la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León. Se trata de la documentación relativa a seis sondeos profundos realizados en los años 2001 y 2018 para la puesta en explotación de casi 500 ha de regadío en el término municipal de Hinojosa del Campo (Soria). Se dispone, entre otra información, de columnas litológicas, ensayos de bombeo, análisis químicos y sondeos eléctricos verticales.

c.- Documentación procedente de Universidades

Sobre la zona de interés no se han publicado tesis doctorales o de grado ni trabajos de fin de maestría, o al menos, no se han encontrado, aunque existen trabajos previos en áreas próximas. La referencia García Gil (2018) es un trabajo de fin de grado de la Universidad de Zaragoza sobre las aguas subterráneas de la zona de Ólvega-Vozmediano. En su tesis doctoral, Sanz Pérez (1984, 1986) estudió la descarga por el manantial de Vozmediano de las aguas procedentes de la cuenca alta del río Araviana en la MASb 400036 Moncayo.

d.- Otra documentación (artículos, informes)

Destacan los informes realizados por la promotora por medio de las empresas consultoras (Ambium, Geoterra, ENDUSA y Provodit), que aportan información de interés sobre los terrenos donde se ubicará la vaquería.

e.- Páginas web captadas por internet

Fundamentalmente la relativas a los órganos de la administración: SINAC (Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo), Visores de la cuenca hidrográfica del Ebro y del Duero, SIGA (Sistema de Información Agraria) y INE (Instituto Nacional de Estadística).

4.- Área estudiada

Los terrenos en los que está prevista la instalación de la Vaquería de Noviercas (en adelante VN), también designada la granja, se sitúan administrativamente sobre la masa de agua subterránea (MASb) Araviana, en la margen izquierda del río Araviana, afluente del río Rituerto, el que a su vez tributa al río Duero en el tramo entre Soria y Almazán.

4.1 Masa de agua subterránea Araviana

4.1.1 Características generales

La MASb Araviana 400034 se extiende sobre una superficie de 434,7 km². Tiene una longitud en el sentido este-oeste de unos 47 km. Se extiende desde el estrecho que la separa de la MASb 400036 Moncayo hasta la ciudad de Soria, atraviesa el cauce del río Duero y ocupa parte de su margen derecha. A la vista del mapa geológico de Soria (IGME,1991), parece que el criterio

seguido para su delimitación ha sido principalmente geológico, al menos en el sector oeste que ocupa la hoja topográfica 350 a escala 1/50.000, puesto que el perímetro de la masa se ciñe a los afloramientos mesozoicos. Se trata de una franja alineada en sentido E-W, que en las proximidades de Aldealpozo se estrecha notablemente dejando un espacio entre el límite N y S de 1,3 km. A partir de Aldealpozo, la MASb se abre ampliamente a la cuenca del río Rituerto, que nace en el municipio de Valdegeña.

La MASb Araviana tiene una forma irregular consiste en un conjunto oriental de forma regular que ocupa 357 km² de la superficie total, cruzado de E a W por el río Araviana y en el que está Noviercas y los terrenos de la futura VN, y una extensión alargada de E a W en el lado NW, de 80 km² de extensión. Los límites son:

- al N: cuenca del Ebro (divisoria) y MASb 400027 Sierra de Cameros en su extensión hacia el NW (divisoria)
- al S: cuenca del Ebro (divisoria) y MASb 400037 Cuenca de Almazán (tránsito abierto)
- al E: MASb 400036 Moncayo (en parte con formaciones de baja permeabilidad) y cuenca del Ebro (divisoria) y
- al W: MASb 400027 Sierra de Cameros y MASb 400035 Cabrejas-Soria (cauce y abierto).

Según el PHD-2015, el 80,47% del territorio (346,4 km²) de la MASb Araviana está formado por rocas permeables. Del conjunto de las formaciones acuíferas, el 54% están en la cuenca del río Araviana, el 38% en la del río Merdancho, afluente al río Rituerto, y el 8% están en relación con el río Duero (Anexo 6 del PHD-2015).

La Figura 4.1.1 muestra los sondeos piezométricos de control de la MASb y limítrofes y la Figura 4.1.2 la distribución de MASb del área a estudiar y su entorno.



Figura 4.1.1 MASb Araviana 400034, con indicación de los piezómetros de control cuantitativo. Visor Mírame Duero (CHDuero,2021b).



4000027 Sierra de Cameros
 400034 Araviana
 400035 Cabrejas-Soria
 400036 Moncayo
 400037 Cuenca de Almazán

ES091MSBT070 Añavieja-Valdegutur
 ES091MSBT071 Araviana-Vozmediano
 ES091MSBT072 Somontano del Moncayo
 ES091MSBT073 Borobia-Aranda de Moncayo
 ES091MSBT074 Sierras paleozoicas de la Virgen y Vicort
 ES091MSBT078 Manubles-Ribota

Figura 4.1.2MASb de las cuencas del Duero y Ebro. Modificado a partir de CHDuero (2021b) y CHEbro (2021).

La MASb Araviana comprende la totalidad o parte de los siguientes municipios: Aldealpozo, Aldehuela de Periañez, Cardejón, Castejón del Campo, Fuensaúco, Hinojosa del Campo, Jaray, Noviercas, Omeñaca, Pinilla del Campo, Portillo de Soria, Pozalmuro, Renieblas, Sauquillo de Alcázar, Soria, Tajahuerce, Tordesalas, Torretartajo, Torrubia de Soria, Tozalmoro, Valdegeña, Velilla de la Sierra, Ventosilla de San Juan y Villar del Campo. La población de derecho (2020) es de 644 habitantes (INE, 2021), con una densidad de 1,48 hab/km². Las personas de hecho (personas que permanecen y pernoctan durante el invierno) son 240 (densidad de 0,55 hab/km²). El PHD-2021 predice un paulatino descenso poblacional en los próximos años. La MASbAraviana alcanza las afueras de Soria capital (con un censo de 39.525 personas en 2020).

El área está muy despoblada. La única industria destacable es la relacionada con la ganadería estabulada, fundamentalmente porcina, con establecimientos dispersos por el territorio.

Los ríos Rituerto y Araviana que recorren el territorio pertenecen a la categoría de ríos de montaña mediterránea calcárea, según la tipología adoptada por la Directiva Marco del Agua.

El sector oriental de la MASb Araviana tiene conexión con los acuíferos situados en la MASb400037 Cuenca de Almazán y MASb 400036 Moncayo de la cuenca del Duero y las MASb ES091MSBT073 Borobia-Aranda de Moncayo y ES091MSBT078 Manubles-Ribota de la cuenca del Ebro.

El PHD-2021 indica que se han producido avances en el conocimiento de la MASb Araviana, pero no especifica concretamente en qué han consistido. El estado de conocimiento de la masa de Araviana puede verse en el Visor Mírame Duero (<http://www.mirame.chduero.es>).

La MASb Moncayo tiene una superficie de 97 km² y está aguas arriba de la MASb Araviana. En ella nace el río Araviana, con un tramo de agua permanente, que en parte se capta para el abastecimiento de Ólvega, en la cuenca del Ebro, y el resto se infiltra aguas abajo. En la tesis doctoral de Sanz (1986,1987), se muestra que la MASb 400036 Moncayo descarga preferentemente hacia el N, a la cuenca del Ebro (manantial de Vozmediano).

La MASb Cuenca de Almazán está aguas abajo y bajo las formaciones terciarias se encuentran las mesozoicas que continúan las de la MASb Araviana. Tiene 2600 km² y está cruzada por el tramo N-S del río Duero desde Soria a Almazán, desde donde se dirige al W por Gormaz. Del total de la superficie, aproximadamente 1/3 corresponden a la margen izquierda contigua a la MASb Araviana y por ella fluye el río Rituerto.

Los límites y superficie de las tres MASb se han mantenido iguales en los tres PHD.

Según la información a la que tuvo acceso el promotor relativa al estudio realizado por el IGME (2021) sobre la definición y caracterización de MASb con continuidad hidrogeológica Araviana-Borobia entre las demarcaciones hidrográficas Duero-Ebro, se llega a lo que indica la Tabla 4.1.1. Las áreas subterráneas se han estimado a partir de suposiciones razonables en cuanto a la piezometría, ya que no se dispone de una red de observación suficiente. La reducción de recursos de agua subterránea por esta causa en la parte que corresponde al Duero, que corresponde a la disminución territorial de 128 km², algo más que la extensión de la MASb Moncayo, se evalúa en 8,47 hm³/año en la Tabla 5 del IVN-2021.

Tabla 4.1.1 MASb compartida entre las cuencas del Duero y del Ebro, según información a la que tuvo acceso el promotor y referenciada como IGME (2021)

| | <i>Área superficial, km²</i> | <i>%</i> | <i>Área subterránea, km²</i> | <i>%</i> |
|------------------------|---|--------------|---|--------------|
| <i>Araviana, Duero</i> | <i>434,37</i> | <i>72,04</i> | <i>306,20</i> | <i>50,75</i> |
| <i>Borobia, Ebro</i> | <i>168,72</i> | <i>27,96</i> | <i>297,19</i> | <i>49,25</i> |
| <i>TOTAL</i> | <i>603,09</i> | <i>100</i> | <i>603,39</i> | <i>100</i> |

Varios afluentes del río Jalón por su margen izquierda (Manubles, Aranda, Henar ó Deza...) nacen próximos al límite de cuenca Duero-Ebro (Figura 4.1.3).

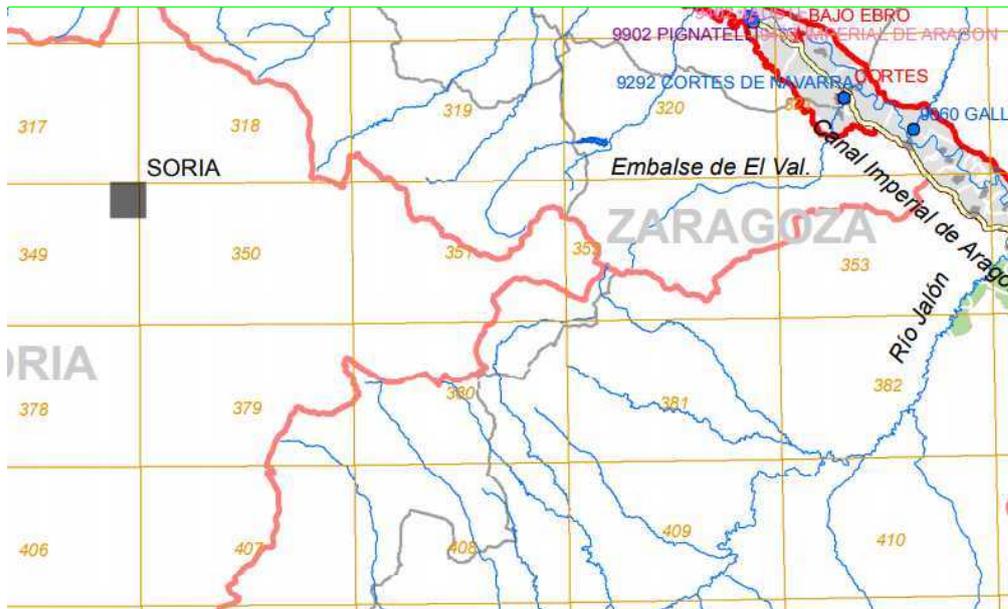


Figura 4.1.3 Divisoria del Ebro con la cuenca del Duero (línea rosa) y trazado de los cauces afluentes del Jalón. La cuadrícula en color marrón indica la división de los mapas topográficos a escala 1/50.000 (CHEbro, 2021).

El visor del IGME (2021) muestra una serie de manantiales en la cabecera de estos ríos que están en las MASb Borobia-Aranda y Manubles-Ribota en la cuenca del Ebro. Uno de ellos es el manantial de Lagüén, nacimiento del río Aranda. Este manantial se aforó *in situ* el 17 de noviembre de 2021 y tenía un caudal de 207 L/s y temperatura del agua de 14°C; según información de un vecino, el caudal del río había menguado mucho desde inicios de julio. Es el único manantial de este sector de la cuenca del Ebro que cuenta con aforos (CHE, 2021b).

Se cuenta con dos piezómetros de control cuantitativo de las aguas subterráneas, uno en Noviercas y otro en Castejón del Campo (término de Almenar) y con dos piezómetros de control cualitativo, uno en Pozalmuro y otro en Noviercas, que son sondeos utilizados para abastecimiento. La red de piezometría no ha variado y es escasa.

Se carece de red de aforos de aguas superficiales y manantiales con series históricas y sólo se cuenta con las del río Duero. De interés para este estudio son las estaciones automáticas del SAIH en (Puente de) Garray-Soria 2002, justo aguas arriba respecto a la MASb Araviana y con una cuenca de 1459 km² y una altitud de 1022 m, y Gormaz 2004, aguas abajo, alejada hacia el W, con una cuenca de 5073 km² y una altitud de 880 m. Más aguas abajo, en el límite del Alto Duero, está la estación de San Esteban de Gormaz 2007, con una cuenca de 6494 km² y 850 m de altitud. La serie de datos de Garray es desde 1913, la de Gormaz desde 1929 y la de San Esteban de Gormaz desde 1972.

4.1.2 Modelos de simulación de los recursos de agua subterránea de la cuenca del Duero

La asignación de recursos en la planificación hidrológica se apoya en la modelación numérica del conjunto de la cuenca, en lo posible considerando y aprovechando los resultados de otras modelaciones de los recursos de agua que puedan haberse realizado. Esto es lo que se especifica en la IPH para las cuencas intercomunitarias, entre las que está la del Duero.

Aunque la IPH no define el tipo de modelos de simulación numérica, se entiende que se hace referencia principal a los que determinan los caudales en los ríos y que son modelos de precipitación-escorrentía total, en los que además se intenta hacer la separación entre escorrentía superficial y escorrentía subterránea y que evalúan la recarga de los acuíferos por la precipitación. Estos modelos requieren parámetros que son conocidos sólo aproximadamente o son estimados y que por lo tanto han de ser afinados o determinados comparando los resultados de las simulaciones con observaciones reales, utilizando las series de datos confiables y suficientemente largas disponibles en varios lugares. Es el proceso de calibración, que en general se hace en grandes cuencas con las series de aforo de los ríos. Estas series están modificadas respecto a lo que sería una situación natural a causa de la utilización del agua que ya se realiza en la cuenca, que es algo que necesariamente se ha de tener en cuenta.

Estos modelos de precipitación-escorrentía discretizan el territorio en unidades en las que las características se suponen razonablemente homogéneas y es factible cuantificarlas con parámetros. Unos modelos discretizan el territorio en subcuencas, como lo hace el modelo HBV, o mediante una malla cuadrada o rectangular, como lo hacen los modelos SIMPA y PATRICAL, con malla cuadrada de 1 km de lado y más recientemente de 0,5 km de lado. Con ello las diferentes MASb están cubiertas por un elevado número de mallas.

Estos modelos y sus características pueden verse en las referencias que se dan en los PH y en el libro de acceso libre RAEMIA <http://hdl.handle.net/2117/182282>

Los modelos anteriores ponen énfasis en la simulación de la escorrentía superficial y en su caso incluyen la consideración de la dinámica del flujo del agua fluvial en su transporte a lo largo del río. Pero la transformación de la recarga a los acuíferos en escorrentía subterránea se hace de forma aproximada, suponiendo que cada acuífero es una celda que reúne las celdas del modelo que lo recubren y en la que la recarga se transforma en descarga mediante procesos simplificados. Esto hace que la separación entre escorrentía superficial y escorrentía subterránea no sea precisa y a veces tenga notables desviaciones.

La simulación del comportamiento del acuífero requiere de modelos numéricos de aguas subterráneas con discretización territorial. La recarga se calcula con modelos como el HBV, SIMPA o PATRICAL, con intervalos de tiempo mensual, o más detallados, como el VisualBALAN el EASYBAL o el RENATA con intervalos de tiempo diarios o empíricamente, como el APLIS para las áreas de carbonatos (aplicación al Moncayo). La calibración se hace con series de caudales en estaciones de aforo apropiadas, de aforos de manantiales y/o de niveles piezométricos, cuando están disponibles, son fiables y la serie es suficientemente larga. Las descargas calculadas pueden diferir de las calculadas con los modelos de precipitación-escorrentía y calibrados con los hidrogramas de las estaciones de aforo, con lo que se requiere un reajuste de las recargas y un nuevo calibrado, con repetición del proceso. Actualmente no se dispone de códigos de cálculo eficientes aplicables a grandes cuencas que automaticen el proceso. Esto hace que los resultados modelados en los PH puedan tener sesgos, quizás aceptables a nivel de toda una gran cuenca, pero a veces desviados en partes de la cuenca y en especial en las de cabecera. Los resultados de escorrentía total tienen una incertidumbre inevitable, aunque rara vez se explicita, y así esto puede dar origen a usos desviados de los resultados cuando se considera que se trata de valores exactos.

Todos estos modelos requieren datos climáticos, diarios o mensuales. En los PH se parte de la información de las estaciones de la AEMET. Se consideran dos series de datos:

Serie larga: 1940/41 o bien 1950/51- año previo al inicio de los trabajos para la PH

Serie corta: 1980/81-año previo al inicio de los trabajos para la PH

Los valores estadísticos de estas dos series no son los mismos ya que tienen distinta duración y menor que la de los ciclos naturales. La existencia de tendencias definidas al cambio, como en la temperatura, afecta a los cálculos de los recursos de agua medios.

Con las denominaciones: serie larga SL1 hasta 2005/06 y SL2 hasta 2014/15 y

serie corta SC1 hasta 2005/06 y SC2 hasta 2014/15,

para el Alto Duero, según los PHD-2015 y PHD-2021:

Precipitación media anual: SL1 591,3 mm/año (entre 331,5 y 819,2 mm)

SC1 569,0 mm/año (entre 331,5 y 750,2 mm) → Variación -3,2%

Temperatura media anual: SL2 10,3 °C; SC2 10,6 °C; variación + 0,3 °C

Evapotranspiración potencial media: SL2 837 mm/año; SC2 847 mm/año.

Evapotranspiración real media: SL2 468 mm/año; SC2 463 mm/año.

Aportaciones totales medias: SC1 817,9 hm³/año (modelo del PHD-2015)

SC1 761,6 hm³/año (modelo del PHD-2021)

SC2 790,3 hm³/año

Recursos naturales medios: SL2 919,0 hm³/año

SC2 720,5 hm³/año → Variación +10,5%

Para la cuenca de 823 km² del río Rituerto, sin contar con la cuenca del río Araviana, se calcula una aportación de 49,4 hm³/año, equivalentes a 60 mm/año. Este valor distribuido sería algo mayor para la cuenca del río Araviana.

En la planificación hidrológica se estudia lo sucedido con los datos meteorológicos y de usos del agua previos, pero para planificar hay que extender las series de datos al periodo de planificación y prever los usos del agua. La extensión de las series meteorológicas se hace según los trabajos realizados por el Centro de Estudios Hidrográficos y para la Oficina Española del Cambio Climático. Esto se admite tal cual y en la documentación de los PHD no se explicitan las características de la extensión. Para simular escenarios más allá del horizonte de planificación hidrológica se utilizan las series de esos organismos, que consideran determinados escenarios de cambio climático, según indica la IPH y se comenta en el IVN-2021.

En la cuenca del Duero se han aplicado distintos modelos, según el momento, como el HVB, y principalmente SIMPA y PATRICAL, este último en el PH-2021. En el PHD-2015, Anejo 2 de inventario de recursos hídricos naturales, Apéndice III de procedimiento para la estimación de balances de las masas de agua subterránea, se menciona la modelación del flujo del agua subterránea en el acuífero con el código AQUIVAL, de diferencias finitas y resolución por el método de los autovalores, que es parte del conjunto de programas AQUATOOL. Este modelo

fue integrado dentro del modelo de simulación general del funcionamiento de la cuenca con el cual se han calculado los balances en los diferentes escenarios de planificación. La recarga por la precipitación se obtiene mediante el modelo SIMPA, con datos mensuales y una malla cuadrada de 1 km de lado.

La estimación de recursos de las masas de agua subterránea en el PHD-2021 se ha realizado con el apoyo de un modelo de simulación general del funcionamiento de la cuenca PATRICAL (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua), con malla cuadrada de 0,5 km de lado, con paso de tiempo de simulación mensual. Determina el balance de las distintas masas de agua subterránea en régimen natural y alterado. La Recarga por lluvia procede del modelo SIMPA. Las transferencias laterales y la recarga desde ríos y las salidas a ríos resultan del propio modelo. Los retornos de regadío se calculan a través de las eficiencias de riego de cada unidad de demanda, que se superponen a la masa de agua subterránea. Los resultados del modelo se presentan en régimen natural y en régimen alterado, para considerar las transferencias forzadas de ríos y otras masas y retornos de regadío, propios de un uso ya histórico del suelo.

Para la simulación de los sistemas de explotación de la cuenca del Duero se ha utilizado el entorno de desarrollo AQUATOOL, que es un sistema de soporte de decisión que ofrece herramientas avanzadas de fácil utilización para abordar los problemas habituales encontrados en la planificación y gestión del uso del agua en una cuenca. Incluye el módulo SIMGES para la Simulación de la Gestión de Cuencas, con simulación a nivel mensual, y el programa EVALHID de Evaluación de Recursos Hídricos para el desarrollo de Modelos Precipitación-Escorrentía del tipo agregado, con aplicación semidistribuida en cuencas complejas, para cuantificar los recursos de agua que se producen. Para determinar los recursos de agua en régimen natural en la cuenca del Duero el programa EVALHID ha usado el programa HBV con datos diarios de precipitación y temperatura para el periodo 1950-2015.

Para comprobar la bondad de las series de aportación natural obtenidas a partir de los resultados de los modelos SIMPA y EVALHID, en 16 puntos de la red hidrográfica de la cuenca del Duero se han contrastado con las series mensuales de aportaciones en régimen natural. En algunas subcuencas se observan diferencias importantes entre las series del modelo y las aforadas, de modo que para disponer en las masas de agua superficial de la categoría río de series lo más parecidas posible al régimen natural, se han substituido las series de escorrentía total resultado del modelo por series corregidas o ajustadas a régimen natural procedentes de datos reales de las estaciones de aforo o entradas a embalse. Este análisis ha sido realizado para los resultados de EVALHID para el periodo 1950/2015. Los resultados de EVALHID y SIMPA no presentan apenas diferencias a nivel medio en la demarcación del Duero, pero los de EVALHID son mejores en detalle debido al mayor esfuerzo para la calibración específica de la demarcación del Duero. Además, los niveles piezométricos calculados se han comparado con los observados en los piezómetros, para así mejorar la calibración.

Para la calibración de la parte alta de la cuenca del Duero se utilizaron los datos de las estaciones de aforo del río Duero de (Puente de) Garray-Soria y de Gormaz aguas abajo. Se observa un incremento de caudal natural y actual del río Duero de aproximadamente 120 hm³/año entre ambas estaciones de aforo.

Los resultados de los ajustes en (Puente de) Garray-Soria, aguas arriba, y en Aranda de Duero, notablemente aguas abajo del área considerada, se muestran en las Figuras 4.1.4 y 4.1.5.

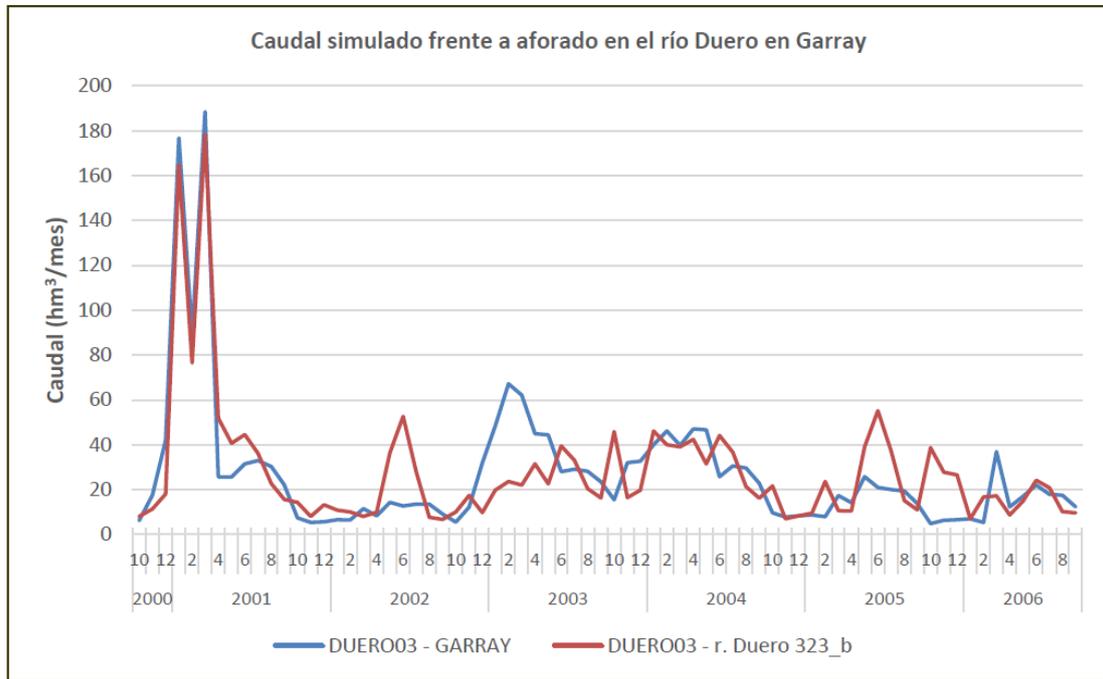


Figura 4.1.4 Comparación entre los caudales medios del río Duero aforados (en azul) y los simulados en la estación de Garray (en rojo).

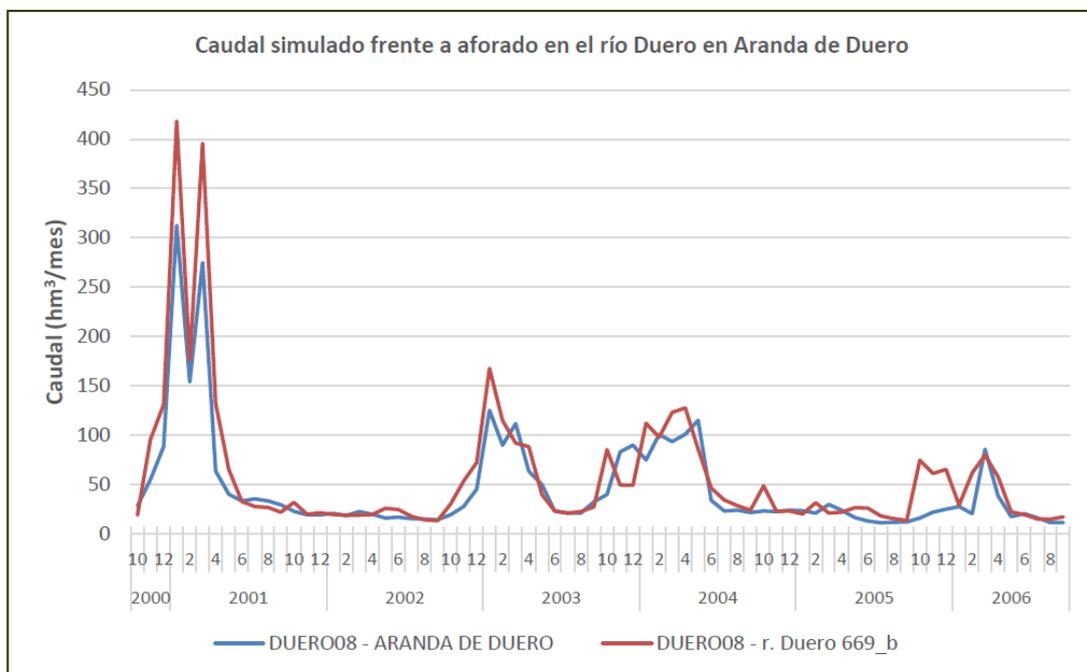


Figura 4.1.5 Comparación entre los caudales medios del río Duero aforados (en azul) y los simulados en la estación de Aranda de Duero (en rojo).

No se dispone de los resultados estadísticos comparativos por mes e integrados, por lo que no es posible estimar la incertidumbre en la escurrentía total. El ajuste es razonablemente bueno en Aranda de Duero, donde la superficie de la cuenca es grande, pero parece débil en Garray, donde la cuenca es menor y las irregularidades tienen mayor importancia. La incertidumbre asociada es muy posiblemente mayor para la escurrentía subterránea y los valores obtenidos son muy sensibles a cambios moderados de las condiciones.

En la MASb Araviana sólo se dispone de dos piezómetros para la observación del acuífero carbonatado. Al parecer no se han utilizado esos datos para calibrar el modelo, aunque es posible que se hayan tenido en cuenta a nivel de opinión informada.

Un aspecto general a destacar es que en la documentación de los PHD no se indican cuáles son los documentos que soportan la modelación ni su accesibilidad y además no se aporta información suficiente para conocer las condiciones de cálculo durante el periodo de planificación, con lo que los valores numéricos no pueden ser comprobados.

4.1.3 Balance de agua subterránea de una MASb

En toda MASb se debe cumplir el principio de conservación de masa, es decir:

Entradas por los límites + generación interna = salidas por los límites + aumento del almacenamiento

En la MASb Araviana no hay generación de agua interna y las entradas y salidas por los límites son la recarga, las transferencias desde o hacia las MASb colindantes, la recarga por ríos en régimen de río permanentemente perdedor y las extracciones por bombeo. No hay recarga artificial ni descarga a cauces fluviales conectados ni a manantiales. El acuífero se considera monocapa y con el nivel freático regional profundo, de modo que sólo hay entradas y salidas por la base y no hay evaporación del agua subterránea ni recarga artificial. Los diferentes términos de las entradas y salidas son los de la Tabla 4.1.2.

Tabla 4.1.2 Términos del balance de agua en una MASB monocapa, sin evaporación freática ni recarga artificial

| Sigla | Denominación | Evaluación | Incertidumbre y comentarios |
|-------|---|--|--|
| | ENTRADAS | | |
| R | Recarga por precipitación | Cálculo con fórmulas o modelos | Media a alta, según aridez y tipo de suelo y vegetación |
| RF | Recarga por infiltración de aguas superficiales | Medida o calculada con modelos | Puede ser alta |
| RR | Retornos de riego | Cálculos | Media si se aplican modelos |
| EL | Entrada lateral | Cálculo o deducida con modelos | Puede ser alta cuando los límites son abiertos y están difusos |
| | SALIDAS | | |
| DF | Descarga a ríos, lagos, manantiales, humedales y drenes | Medida, calculada o deducida con modelos | De media a alta si es difusa o no hay estaciones de medición |
| B | Bombeo | Inventario, estimación | Media a muy alta si el inventario es insuficiente y no es realista |
| SL | Salida lateral | Cálculo o deducida con | Puede ser alta cuando los límites |

| | | | |
|--|--|---------|------------------------------|
| | | modelos | son abiertos y están difusos |
|--|--|---------|------------------------------|

La ecuación de balance de agua subterránea para un determinado volumen de terreno y un cierto intervalo de tiempo, en las condiciones anteriores, es:

$$R + RF + RR + EL = DF + B + SL + \Delta V + \varepsilon$$

en la que ΔV es la variación del agua almacenada y ε es el error de cierre por incertidumbre de los distintos términos del balance de agua. ε puede ser de un orden de magnitud similar a la de los términos del balance. Cuando se trata de situaciones poco definidas, con modelos no calibrados, con cálculos con parámetros muy desviados o en MASb con formas no regulares, como en el caso de la MASb Araviana, incluso puede ser mayor. Frecuentemente alguno de los términos del balance no medible o de difícil cuantificación se obtiene por diferencia, con lo que el valor de dicho término acumula el valor de ε .

Una vez que se ha realizado la modelación del flujo del agua subterránea tras el proceso de calibración se tiene una herramienta consistente, aunque no reproduzca bien la realidad. Si el modelo se toma como una situación real, con el mismo se obtienen los diferentes términos del balance de agua subterránea para esa situación. En el caso de modelos de precipitación-escorrentía en los que no se simula el flujo del agua subterránea, los distintos términos han de evaluarse por aproximaciones, lo que introduce incertidumbres. Cuando se dispone de un modelo del flujo del agua subterránea con buena discretización espacial, se pueden calcular con precisión los distintos términos del balance u obtenerlos automáticamente por el propio modelo. Eso no significa que se trate de valores que no difieran de los reales si no se tiene una buena calibración. La modelación cierra el balance sin errores notables, tanto para el área modelada como para porciones definidas de la misma, como pueden ser las MASb, en las que las transferencias por los límites se calculan utilizando la modelación, implícita o explícitamente. Tal parece ser el caso de la MASb Araviana.

Mientras normalmente la recarga por la precipitación no está afectada por la explotación de agua subterránea, los valores de la recarga a partir de aguas superficiales y las transferencias de agua subterránea dependen de la explotación y de la ubicación de las captaciones. Para tenerlo en cuenta, tras dar el modelo como suficientemente calibrado, se realizan modelaciones en varias circunstancias de interés para la planificación hidrológica. Los resultados pueden referirse a un mes o año concreto, en cuyo caso la variación del almacenamiento puede ser relevante, o buscar valores medios. Para periodos largos, la variación del almacenamiento ΔV tiende a anularse salvo que se trate de sistemas grandes, varíe la explotación a lo largo del tiempo o se consuman permanentemente reservas.

En los PH se realiza una modelación en “estado natural”, es decir, sin extracciones ($B = 0$), en la que el subíndice 0 indica esa circunstancia. Para la MASb Araviana, en que no hay descarga a aguas superficiales:

$$R + RF_0 + RR_0 \text{ (a partir de aguas superficiales)} + EL_0 = SL_0 + \Delta V_0$$

y una modelación con extracciones (subíndice B), las existentes o las previsibles, en la que:

$$R + RF_B + RR_B + EL_B = B + SL_B + \Delta V_B$$

B es la extracción en el área del balance de agua y los valores de los términos con B dependen de estas extracciones y de las del resto del dominio regional que se ha modelado.

De acuerdo con el RPH los recursos de agua subterránea RA en cada circunstancia son:

$$RA = R + RF + EL$$

Los recursos de agua disponibles RAD los que resultan de restar los caudales a respetar o restricciones. Teniendo en cuenta que es difícil encuadrar el concepto de caudal ecológico para este tipo de acuífero, las restricciones son la transferencia a otras MASb y las descargas a masas de agua superficial terminales. Estas no existen en el caso de la MASb Araviana y a nivel más regional son al río Duero y la parte inferior de sus afluentes y al manantial de Almenar como respuesta a la transferencia la MASb Cuenca de Almazán. El resultado es:

$$RAD = RA - SL = B + \Delta V$$

El valor de B es la suma de las extracciones ya consolidadas y las que se puedan autorizar y este valor depende de la planificación general que se quiere hacer en un ámbito más amplio, pues ello influye, en el caso de la MASb Araviana, mayormente en los valores de EL y SL, si los niveles piezométricos son estables. Por lo tanto, los recursos de agua subterránea disponibles que se dan en la tabla del Anexo 2 del PHD-2021 son el resultado de condiciones en el Alto Duero no especificadas. El descenso de los RAD entre el PHD-2015 y el PHD-2021 es una indicación de la artificiosidad derivada de condiciones de simulación y balance general no especificadas. En el Anexo 2 Apéndice III del PHD-2021 se indica que se aplican valores medios entre los naturales y los alterados por los bombeos reconocidos, sin concretar las circunstancias del régimen alterado ni la razón de este artificio. Todo ello es algo a clarificar y llegar a que la herramienta permita analizar escenarios diversos, en función del interés y beneficio social de la explotación planteada, con elementos de decisión que eviten la “discrecionalidad”.

4.1.4 Recursos de agua en la MASb Araviana en la planificación hidrológica

El número total de puntos de agua en el visor Mírame Duero es de una cincuentena, donde están incluidos los principales usuarios. Este estudio ha detectado que existen más puntos de agua (sondeos y pozos excavados) y pequeños manantiales no inventariados por la CHD, como por ejemplo el pozo de abastecimiento de Jaray, la Fuente del Horcajo y la Fuente Romana de Masegoso, pero cuantitativamente no suponen un volumen anual de agua significativo.

Las sucesivas evaluaciones de los recursos de agua en la MASb Araviana en los planes hidrológicos de la cuenca del Duero figuran en la Tabla 4.1.3. Los balances de agua del PHD-2021 se indican en la Tabla 4.1.4. La transferencia lateral de la MASb Araviana es hacia las MASb Cuenca de Almazán del Duero y Borobia-Aranda de Moncayo del Ebro.

Tabla 4.1.3 Recursos renovables y disponibles en la MASb Araviana en los planes hidrológicos de la cuenca Hidrográfica del Duero. Valores en hm³/año.

| PH 1 ^{er} ciclo 2009-2014 | PH 2 ^o ciclo 2015-2021 | | PH 3 ^{er} ciclo 2022-2027 | |
|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|
| Recurso renovable | Recurso renovable | Recurso disponible | Recurso renovable | Recurso disponible |
| 12,0 | 34,8 | 27,7 | 12,5 | 9,4 |

Tabla 4.1.4 Balances de agua del PHD-2021, según el Anexo 2 de Inventario de Recursos Naturales. La segunda cifra en los datos de la MASb Araviana son los del PHD-2015. Valores en hm³/año.

| MASb | Araviana 400034 | Moncayo 400036 | C. Almazán 400037 |
|---------------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| Entradas | | | |
| Recarga precipitación | 18,6/28,9 | 8,0 | 96,4 |
| Infiltración ríos | 0,1/0,2 | 0,0 | 0,3 |
| Entradas laterales | 13,7/26,1 | 0,0 | 35,3 |
| Retornos de riego | 0,0 | 0,0 | 2,6 |
| Salidas | | | |
| Salidas laterales | 19,9/20,5 | 1,5 | 29,4 |
| Restauración ambiental | 3,1/7,0 | 1,3 | 20,5 |
| Recurso disponible | 9,4/27,7 | 5,2 | 84,7 |

Los valores indicados son los tomados de los documentos de los PHD, pero no tienen por qué ser valores con un claro significado.

El grado actual de explotación de la MASb Araviana es muy pequeño, por la escasa población, por ser la agricultura en su mayor parte de secano y por únicamente una veintena de granjas de ganado porcino estabulado de pequeño tamaño. Para la evaluación de los usos del agua en agricultura se consideran dotaciones entre 3200 y 6000 m³/ha/año y para el abastecimiento poblacional de 220 a 440 L/hab/día (85.000 a 170.000 m³/año).

El plan vigente cifra el uso total de agua autorizado en 0,247 hm³/a según la Tabla 4.1.5. El PHD-2021 establece un volumen reservado para atender las concesiones de 1 hm³/a.

Tabla 4.1.5 Usos de agua subterránea en la MASb Araviana en 2020 según PHD-2021.

| Tipos | nº puntos extracción | Volumen autorizado (m ³ /año) |
|--|----------------------|--|
| TOTAL | 37 | 247.100 |
| Abastecimiento a núcleos urbanos | 7 | 48.005 |
| Otros abastecimientos fuera de núcleo de población | 7 | 36.397 |
| Regadío | 6 | 87.716 |
| Ganadería | 17 | 74.955 |

La demanda agrícola y urbana de agua subterránea en las MASB Araviana, Moncayo y Cuenca de Almazán en los horizontes de PHD-2015 se muestra en la Tabla 4.1.6. La segunda cifra de la demanda asignada a la MASb Moncayo es de transferencia a la cuenca del Ebro, para abastecer a la población de Ólvega. No hay otras demandas significativas. Todas las demandas se consideran con un 100% de garantía. No sucede lo mismo para las demandas de agua superficial, en parte en déficit. Esto último es lo que se refleja como un incumplimiento en la MASb Araviana, pero se trata de la demanda agrícola de las pequeñas escorrentías del río

Araviana, las que guardan relación con el acuífero Mesozoico. Por lo tanto, no hay tal incumplimiento general y sólo pequeños desajustes muy locales y no relacionados con las aguas subterráneas.

En el PHD-2015 (Anexo 6, Tabla 181) se asignan 1,000 hm³/a para uso de regadío en la MASB Araviana y 0,013 hm³/a en la MASB Moncayo. Para uso de abastecimiento estas cifras son respectivamente 0,105 y 0,004 hm³/a, más 0,700 hm³/a para transferencia a la cuenca del Ebro. En el mapa del Visor Mírame Duero (CHD 2021b) aparece una previsión futura de concesión de aguas para el conjunto de pozos destinados al riego en Hinojosa del Campo. Igualmente contempla la solicitud formulada por la promotora, en trámite de derecho, de un sondeo de investigación de 500 m de profundidad para una futura demanda de 775.329 m³/año. Sin embargo, este volumen no aparece expresamente recogido entre las reservas hídricas para el plan 2022-2027.

Tabla 4.1.6 Demanda agrícola y urbana de agua subterránea en las MASB Araviana, Moncayo y Cuenca de Almazán en los horizontes de PHD-2015. La segunda cifra de la demanda asignada a la MASb Moncayo es de transferencia a la cuenca del Ebro, a la población de Ólvega. No hay otras demandas significativas. Todas las demandas se consideran con un 100% de garantía. No sucede lo mismo para las demandas de agua superficial, en parte en déficit.

| MASb | Demanda agrícola | | Demanda urbana |
|----------|------------------|----------------------|---------------------|
| | Superficie ha | hm ³ /año | m ³ /año |
| Araviana | | | |
| 2015 | 54 | 0,173 | 0,109 |
| 2021 | 350 | 1,130 | 0,091 |
| 2027 | 350 | 1,130 | 0,080 |
| 2031 | 350 | 1,130 | 0,068 |

| MASb | Demanda agrícola | | Demanda urbana |
|---------|------------------|----------------------|---------------------|
| | Superficie ha | hm ³ /año | m ³ /año |
| Moncayo | | | |
| 2015 | 4 | 0,013 | 0,000/0,105 |
| 2021 | 4 | 0,013 | 0,004/0,018 |
| 2027 | 4 | 0,013 | 0,004/0,019 |
| 2031 | 4 | 0,013 | 0,004/0,021 |

| MASb | Demanda agrícola | | Demanda urbana |
|-------------------|------------------|----------------------|---------------------|
| | Superficie ha | hm ³ /año | m ³ /año |
| Cuenca de Almazán | | | |
| 2015 | 1006 | 3,988 | 2,177 |
| 2021 | 1006 | 3,964 | 2,043 |
| 2027 | 943 | 3,732 | 1.003 |
| 2031 | 943 | 3.732 | 0,965 |

En el caso de la MASb Araviana no está especificado el uso natural actual del agua, de modo que no se puede establecer su valor competencial. En todo caso, este valor competencial es muy pequeño dada la ausencia de humedales y lagos, los escasos manantiales y descargas a ríos y las similares condiciones en la MASb Cuenca de Almazán, con excepción del manantial de Almenar.

4.1.5 Recursos totales y predicción de cambio climático

La IPH indica que se han de tener en cuenta las series cortas de aportaciones (1980-2018) y el escenario más severo previsto por el cambio climático, es decir el escenario RCP8.5 (*Representative Concentration Pathways*), que supone una reducción del 16% de los recursos en toda la cuenca hidrográfica del Duero.

Según CH Duero (2021a), los recursos totales son los de la Tabla 4.1.7.

Tabla 4.1.7 Recursos totales en la cuenca del Duero, en hm³/año, en el segundo y tercer plan hidrológico.

| Periodo | 2015-2021 | 2022-2027 |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| Serie larga | 14.166 | 12.892 |
| Serie corta | 12.712 | 11.935 |
| Serie corta + Cambio climático | | 10.990 |

Como se indica en la Tabla 4.1.7, si a la serie corta se le añade las predicciones del cambio climático, quedarían 10.990 hm³/a para el PHD-2021, o sea una reducción del 8% frente a un escenario sin cambio climático (CHDuero, 2021a).

En la memoria delPHD-2021 (CHDuero, 2021a pág. 252) se evalúan los recursos subterráneos de la cuenca del Duero en la parte española, considerados como escorrentía básica de las aportaciones fluviales, en un 25% de la escorrentía total, lo que supone 3194 hm³/a en el PHD-2015 vigente y en 4288 hm³/a para el PHD-2021, lo que supone el 36% de la escorrentía total.

El criterio de la IPH es tener en cuenta solo los recursos renovables, que son todas las cifras manejadas en este apartado, mientras que las reservas de agua almacenadas en los acuíferos por debajo de la cota de drenaje natural no se mencionan en ningún momento.

4.1.6.- Terrenos de la propiedad y su entorno

Los terrenos adquiridos por Valle de Odieta S.C.L en Noviercas se ubican en la margen izquierda del río Araviana, al sur del casco urbano de Noviercas (ubicado en la margen derecha) y el punto donde se piensa ubicar las futuras captaciones está separado unos 3 km del casco urbano. Se trata de varias parcelas con una extensión total próxima a las 97 ha. Todas las fincas se ubican sobre los materiales pliocuaternarios tipo raña y materiales del Terciario, probablemente del Paleógeno, visibles a lo largo del camino de Noviercas a la futura granja. Se trata de un terreno muy llano, dedicado a la agricultura de secano. No existen más explotaciones que las dedicadas a este tipo de agricultura y al pastoreo de ganado ovino. No se encuentran pozos o manantiales en todo este amplio sector. De hecho, los pozos más cercanos son los de abastecimiento a la población de Noviercas, distantes unos 3 km.

Por parte de la promotora, por iniciativa propia y para tratar de responder a los requerimientos de la CHD, se han hecho múltiples estudios sobre hidrología (Ambium 2020b), hidrogeología (Geoterra 2020a y 2020b) e impacto ambiental (Provodit, 2020a). Con el fin de conocer con mayor profundidad el terreno desde el punto de vista geológico, hidrogeológico y geotécnico, ENDUSA (2018, 2020a,2020b) ha efectuado estudios en el área y construido un total de 18 piezómetros.

4.2 Unidad hidrogeológica Alto Duero

Las MASb son ámbitos territoriales administrativos. Para abordar correctamente el funcionamiento y establecer el modelo conceptual hay que definir límites naturales con características hidrogeológicas definidas, aunque no siempre es una tarea sencilla y en no pocas ocasiones se trata de límites abiertos por los que fluye el agua subterránea entre MASb contiguas. Para el adecuado tratamiento conviene definir unidades agregadas con límites bien definidos hidrológicamente. En el área de estudio se considera lo que aquí se llama Unidad Hidrogeológica Alto Duero (UHAD), en sentido lato, pues en parte incluye áreas vecinas además de la parte correspondiente del Moncayo y sus faldeos. La UHAD comprende gran parte de la MASb Araviana, excepto la extensión del NW. Comprende también marginalmente la MASb Moncayo y la cabecera de las cuencas vertientes a la Cuenca del Ebro en Borobia, que alimenta previsiblemente al manantial de Lagüén. El límite occidental rebasa los afloramientos mesozoicos y se extiende por la MASb Cuenca de Almazán, comprendiendo el manantial de Almenar, próximo al límite, y la extensión hacia el río Duero. A lo largo del tramo del río Duero entre Garray y Gormaz hay manantiales identificados (IGME, 2007).

5 Caracterización del área de estudio

5.1.- Aspectos geográficos y climáticos y sus valores característicos

En el informe de impacto ambiental realizado para el desarrollo de una zona regable en un área próxima a Hinojosa del Campo se obtienen datos de utilidad, ya que se tienen similares características al área de Noviercas. Se utilizaron los datos procedentes del Sistema Geográfico Agrario (SIGA) de la estación meteorológica y termopluviométrica de Soria y las pluviométricas de Pozalmuro y Valdegeña.

Las características climáticas de la zona vienen marcadas principalmente por su orografía. Se trata de la altiplanicie soriana, con cotas topográficas entre los 1000 y 1150 m snm para buena parte del valle del Araviana a su paso por Noviercas. En concreto, el área central donde se ubicará la granja tiene una altitud de 1085 msnm. Además de la altitud, juega un papel las cadenas montañosas, situándose la zona en la vertiente sur de todas ellas (Sierras del Moncayo, de Madero y de Toranzo), por donde transcurre el río Araviana en sentido E-W.

La temperatura media anual es de 9,7°C. El régimen térmico está caracterizado por prolongados inviernos que denotan el carácter continental, con importantes oscilaciones térmicas. El clima es riguroso. El período libre de heladas es corto y las heladas tardías se prolongan hasta el mes de mayo. Los veranos son cortos y de temperaturas elevadas. Las temperaturas más altas se producen en los meses de julio y agosto, aunque durante estos meses las temperaturas diurnas se ven mitigadas por la fuerte oscilación que se produce entre el día y la noche, con temperaturas medias de las mínimas absolutas que no superan los 7º C debido al acentuado enfriamiento radiactivo.

Los valores característicos son:

| | |
|--|----------|
| Temperatura media anual | 9,7 °C |
| Temperatura media de las máximas del mes más cálido | 27,5 °C |
| Temperatura media de las mínimas absolutas de julio y agosto | 7,0 °C |
| Evapotranspiración potencial ETP | 615 mm/a |

La precipitación media es 554 mm/a. Los meses más lluviosos son abril y noviembre y el menos lluvioso es el mes de marzo. La precipitación media mensual en esta área es muy estable. Las precipitaciones mayores se producen en primavera y otoño con 153,1 y 148,3 mm respectivamente y en invierno y verano se producen 130,2 y 122,3 mm respectivamente, lo que muestra la gran uniformidad de las precipitaciones a lo largo de todo el año. Durante la época veraniega las precipitaciones no son escasas, lo cual conlleva que el período de aridez estival sea corto y poco acusado. El diagrama ombrotérmico de Hinojosa del Campo (Figura 5.1.) muestra como sólo en el mes de julio y casi todo agosto, la precipitación es inferior a la evapotranspiración potencial (ETP).

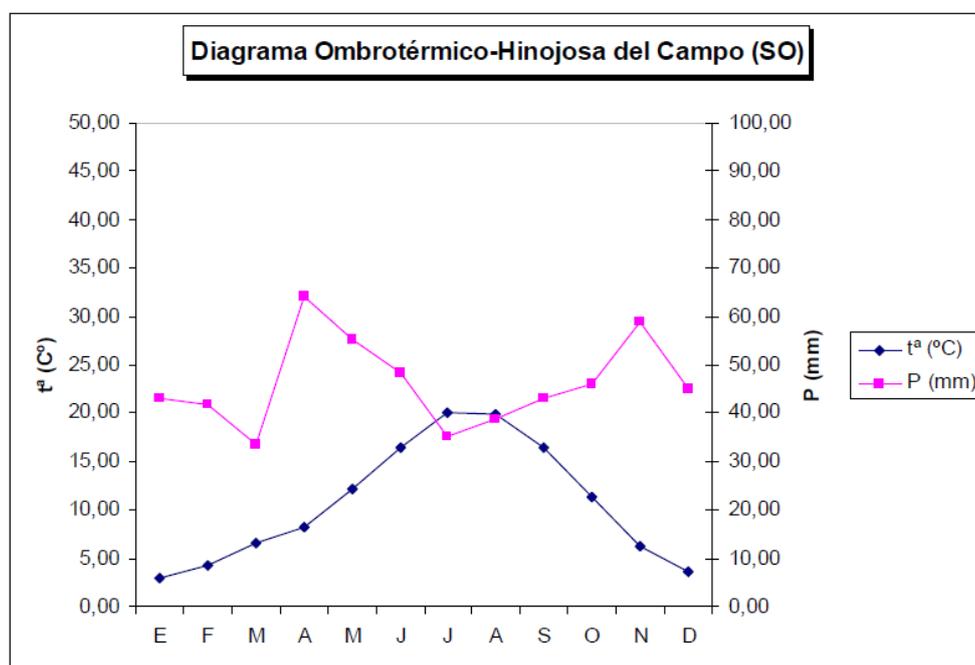


Figura 5.1 Diagrama ombrotérmico de Hinojosa del Campo (Prodivit, 2020a)

En el estudio de la JCyL (2010a), la evapotranspiración potencial (ETP) se estima en 615 mm/a. La evapotranspiración real ETR de 444,1 mm/a la obtuvieron como balance mensual de agua en el suelo asignándole una reserva de 50 mm, utilizando los datos de Soria capital por contar con datos de ETP y registros climáticos más largos (Tabla 5.1). La reserva de agua del suelo en Soria durante los meses de junio a octubre está vacía.

Tabla 5.1 Balance hídrico de agua en el suelo en la estación de Soria (E2030) (JCyL, 2010a). Valores en mm en el mes

| DATOS | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | TOTAL AÑO |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-----------|
| P | 43,3 | 44,8 | 52,3 | 46,2 | 42,2 | 40,3 | 36,4 | 58,8 | 55,7 | 50,2 | 35,7 | 33,5 | 539 |
| ETP | 82,1 | 49,3 | 22,5 | 12,1 | 8,9 | 13,6 | 29,5 | 41,3 | 71,9 | 100,2 | 126,9 | 116,7 | 675,0 |
| ETR | 43,3 | 44,8 | 22,5 | 12,1 | 8,9 | 13,6 | 29,5 | 41,3 | 71,9 | 84,0 | 35,7 | 33,5 | 444,1 |
| DEFICIT | 39 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 91 | 83 | 234 |
| RESERVA | 0 | 0 | 30 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 34 | 0 | 0 | 0 | |
| EXCESO | 0 | 0 | 0 | 14 | 33 | 27 | 7 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 98 |

Según la clasificación de Papadakis, el clima es mediterráneo-templado, con un régimen térmico TE (cálido) y un régimen de humedad ME (mediterráneo húmedo).

En el área de estudio se encuentran los siguientes tipos de suelos, según los criterios de la FAO (JCyL, 2010a):

Rendsinas. Suelos carbonatados sobre roca caliza, no muy evolucionados, saturados en bases y relativamente ricos en nutrientes. Tienen un horizonte A mólico (horizonte superficial bien estructurado, negruzco, con alta saturación de bases intercambiables, elevado contenido de materia orgánica y actividad biológica alta), que no tiene más de 50 cm de espesor y contiene material calizo.

Cambisoles cálcicos. Suelos que se caracterizan por tener un horizonte de humus muy poco desarrollado y la presencia de un horizonte de alteración (B cámbico). En el área se encuentran cambisoles cálcicos, variables entre débilmente ácidos, neutros y alcalinos, con buena reserva de bases y elevado porcentaje de saturación.

5.2.- Caracterización geológica y materiales geológicos

Desde el punto de vista geológico, dentro de la MASb Araviana afloran los siguientes materiales:

Cámbrico. Aflora en el sector SE de la hoja topográfica E1/50.000 nº 351, Ólvega, al E de Noviercas. Se trata de materiales básicamente impermeables asociados a la Sierra del Toranzo. Está compuesto por areniscas y limolitas, dolomías, esquistos y calcoesquistos y finalmente una serie de areniscas y limolitas. El conjunto puede considerarse como impermeable.

Por encima afloran materiales más modernos del **Ordovícico**. Es un conjunto predominantemente cuarcítico con capas de argilitas rojas, esquistos y areniscas intercaladas. Se trata de una formación geológica impermeable.

Con una importante discontinuidad estratigráfica, encima están los conglomerados cuarcíticos, limos, areniscas y limolitas del **Triásico** (Buntsandstein). Afloran en gran extensión en la Sierra del Toranzo y parte de la Sierra Madero. Los materiales del triásico de edad más reciente (Muschelkalk y Keuper) están escasamente representados. En el sector SE de la hoja E1/50.000 nº 351 estos materiales se encuentran cubiertos por materiales de coluvión y del terciario y sólo afloran en superficie aprovechando algún pequeño barranco.

Todo este conjunto del paleozoico (Cámbrico y Ordovícico) como del mesozoico (Triásico) tiene una importancia notable por dos aspectos. El fundamental es que se trata de formaciones impermeables y que por lo tanto impiden el flujo del agua hacia el E. Sin embargo, pueden facilitar un flujo subterráneo en sentido NW-SE hacia la cuenca del Ebro, en concreto hacia la MASbES091MSBT073 Borobia-Aranda de Moncayo. Por otro lado, los materiales del Keuper, compuestos por arcillas con yesos en algunos casos, son un nivel impermeable y que no debería penetrarse por los pozos debido a la mala calidad natural de las aguas subterráneas que albergan.

En la hoja topográfica E1/50.000 nº 380, Borobia, situada al S, existen unos escasos afloramientos del Buntsandstein en el núcleo anticlinal (Sierra de Aleza), situados entre Castrejón y Portillo de Soria. En este sector no afloran los materiales del Keuper. Fuera ya de la MASb Araviana, en la MASb Araviana-Borobia de la cuenca del Ebro, siguen los afloramientos

del Triásico (observables en la localidad de Borobia) y cuya extensión hacia el N aparece fosilizada bajo materiales de coluvión en la hoja topográfica nº 351. Esta banda triásica se extiende hacia al S, donde en contacto con el Jurásico da lugar al manantial de Lagüén, que es el origen del río Aranda. En la hoja de Borobia destaca la prolongación de la falla de cizalla de Soria, que tiene un recorrido NE-SW hacia Ciria, ya que es una zona intensamente tectonizada. El papel hidrogeológico que pueda dar lugar esta gran falla Soria-Ciria no está debidamente estudiado.

Jurásico. Se trata de los materiales de interés para la explotación de las aguas subterráneas. Los mejores afloramientos aparecen en las proximidades de Noviercas (al N y NE) y también en las proximidades de Ciria (barranco del Celorrio y estrecho del río Manubles, fuera de la MASb Araviana, los cuales fueron identificados durante los trabajos de campo para este estudio. Siguiendo la descripción de IGME (1973) e ITGE (1991b y García Gil (2012), la serie jurásica comienza con materiales constituidos por rocas eminentemente carbonatadas, aunque aparecen tramos margosos, eventos detríticos y cambios laterales de facies.

Por encima de los materiales triásicos del Keuper se disponen las dolomías tableadas y aproximadamente 200 m de dolomías brechoides masivas y oquerosas de aspecto carniolar (Fm. Carniolas). Sobre las dolomías se encuentra el tramo compuesto por calizas dolomíticas bien estratificadas en capas decimétricas, con niveles oolíticos y bioclásticos, con espesor de unos 200m y superficies de estratificación arcillosa y ferruginosa. Por encima empiezan a intercalarse de forma progresiva niveles margocalizos (tramo cartografiado como J_{13-21} , de unos 190 m de potencia en la hoja de Ólvega), hasta llegar a una monótona alternancia de calizas arcillosas-margosas y margas muy fosilíferas (denominado como tramo J^m_{13-21} , de 90 m de potencia en la hoja de Ólvega), que pertenecen al Jurásico Inferior en tránsito al medio (Pliensbachiense-Toarciense). Este tramo margoso puede semiconfinar hidráulicamente la serie jurásica inferior.

A este tramo sigue el cartografiado en el mapa como J_{22-23} , formado por un conjunto de calizas grises bien estratificadas y después la potente serie de areniscas calcáreas de Pozalmuro. Por encima se encuentra el tramo J_{32} que constituye el techo de la serie marina del Jurásico Superior; se trata de calizas para-arrecifales oolíticas y muy fosilíferas, bastante recristalizadas y dolomitizadas.

El Jurásico aflora ampliamente, tanto en la hoja de Ólvega como en la franja de la MASb Araviana que se extiende hacia Soria.

La Figura 5.2.1 muestra la columna estratigráfica de la serie Jurásica.

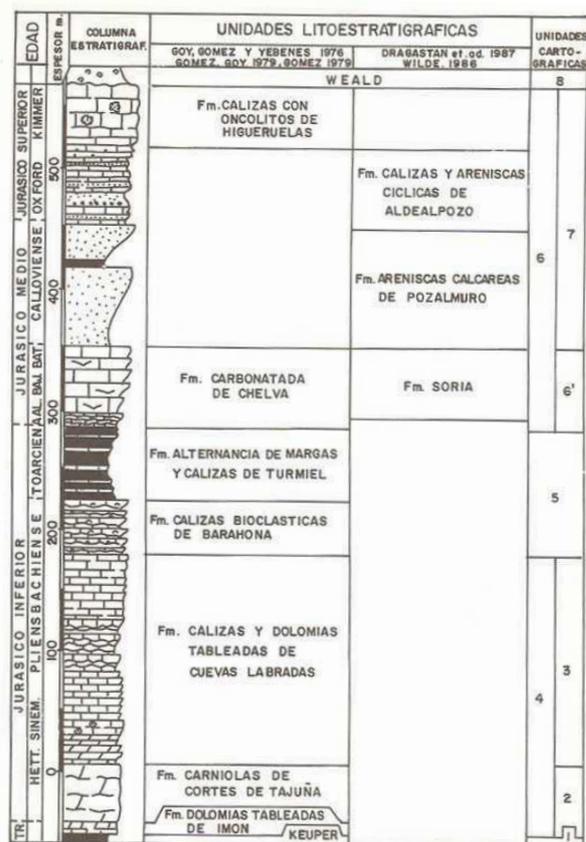


Figura 5.2.1 Columna estratigráfica según la memoria del mapa geológico del ITGE (1991a, pág. 13). Muestra la sucesión estratigráfica de los materiales del Triásico superior y Jurásico de la Hoja de Soria.

Por encima del Jurásico se encuentran los materiales del **Cretácico**, que afloran ampliamente en la hoja 350 (Soria). En la hoja de Ólvega aparecen por encima del Jurásico, para pasar a ser fosilizados por los depósitos pliocuaternarios. De abajo arriba se distinguen los siguientes tipos de materiales:

Conglomerados, areniscas y lutitas ocre y rojizas correspondientes al Cretácico inferior en facies Weald. Por encima un paquete de calizas lacustres que pueden constituir acuífero, también de la facies Weald. Por encima destacan por sus colores blancos las arenas de la Facies Utrillas, visibles sobre todo en la hoja geológica de Borobia. Superpuestas a éstas se encuentra un conjunto de dolomías del Cretácico superior, calizas nodulosas y calizas bioclásticas. El conjunto se trata de un acuífero.

En definitiva, la serie mesozoica del Jurásico y Cretácico da origen a una sucesión de acuíferos en la vertical que están confinados o semiconfinados merced a la presencia de paquetes y tramos margosos. Los tramos más impermeables serían las margas y alternancia de margas y calizas del Jurásico medio y en el Cretácico la facies Weald y la Fm. Utrillas que, a pesar de estar compuestas por arenas, son menos productivas que las calizas y dolomías y calizas bioclásticas. No obstante, en la zona de Noviercas, la serie cretácica está erosionada y cubierta por materiales pliocuaternarios, lo que reduce su importancia como acuíferos frente a los materiales jurásicos subyacentes.

Terciario y Cuaternario. El interés de estos materiales estriba en que sobre ellos se dispondrá la granja y las balsas.

Siguiendo la cartografía que muestra el mapa geológico a escala 1/50.000 del IGME (1973), en los alrededores próximos a la futura ubicación de la granja se distinguen arcillas rojas y limos, cartografiados en el mapa como $A-BT_{3-1}$. Se atribuyen al Oligoceno y por lo tanto están plegadas concordantemente con el Cretácico. Se visualizan bien en el camino de Noviercas a la ubicación de la granja en proyecto.

La cartografía muestra una mancha de cuaternario indiferenciado (Q5) compuesta por arenas, limos y gravas. No obstante, en las proximidades existen afloramientos pliocuaternarios asociados a depósitos de tipo raña, que se han identificado en el terreno de la futura granja. Se trata de bloques, gravas, arenas y arcillas. Los bloques y gravas son de naturaleza cuarcítica. Los piezómetros abiertos en estos terrenos muestran columnas litológicas acordes con esta descripción.

5.3.- Caracterización hidrogeológica

5.3.1 Consideraciones generales

Este informe considera los aspectos hidrogeológicos y de recursos de agua subterránea en relación con el proyecto de la Vaquería de Noviercas. Interesa por un lado explorar la posibilidad del abastecimiento de agua mediante captaciones practicadas en el acuífero jurásico que subyace en las parcelas adquiridas por la promotora. Por otro lado, la vaquería requiere la instalación de dos balsas superficiales, excavadas en el terreno, destinadas a almacenar agua procedente de la depuradora y una tercera balsa para almacenar las aguas de escorrentía generadas dentro de la granja, pero fuera de los establos y otras dependencias. Por lo tanto, se tienen dos objetivos totalmente diferentes: a) captar un caudal suficiente de agua subterránea para el abastecimiento y b) ubicar las balsas impermeables en terrenos del Pliocuaternario y Terciario, que no constituyen propiamente un acuífero, todo ello en la MASb Araviana, que actualmente apenas tiene usos consuntivos de agua.

5.3.2 Unidad hidrogeológica del Jurásico (MASbAraviana) en el entorno de la VN

Los estudios llevados a cabo se refieren en todo momento a los acuíferos del Mesozoico, que son los de interés a efectos de explotación, y dentro de él al Jurásico. Tan sólo unos pocos pequeños manantiales en la cuenca del río Rituerto parecen drenar algunos de los pequeños tramos permeables de los depósitos sedimentarios del Terciario y Pliocuaternario, como por ejemplo la fuente de Cabrejas o la de El Temblar (cerca de Almenar de Soria), a pesar de su gran extensión en superficie.

Los sondeos de Hinojosa del Campo en el proyecto de la futura explotación agrícola propiciado por la JCYL y el estudio geofísico elaborado por Geoterra (2020a) en el subsuelo de los terrenos de la ubicación de la granja en proyecto muestran que el Jurásico es el principal acuífero explotable. Por lo tanto, el objetivo se centra en el Jurásico, tanto en las zonas donde aflora como en aquellas otras en que queda cubierto por el Cretácico y/o el Pliocuaternario. La Figura 5.3.1 muestra un modelo conceptual del emplazamiento de la granja, tanto desde el punto de vista geológico como hidrogeológico.

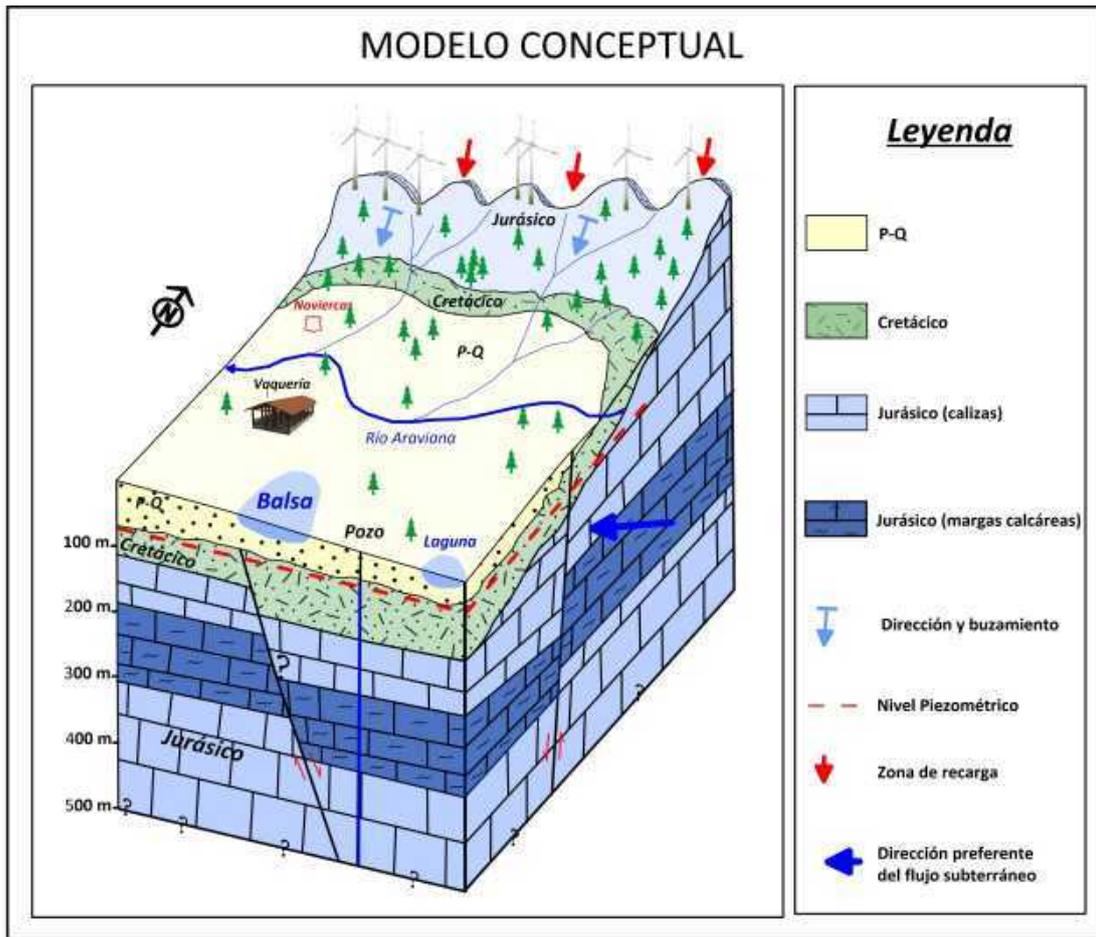


Figura 5.3.1 Modelo conceptual geológico e hidrogeológico del emplazamiento de la granja. P-Q = Pliocuaternal

Con los datos de los puntos de agua disponibles en el Visor Mírame Duero no se puede confeccionar un mapa de isopiezas con garantía. Básicamente, los datos públicos accesibles son las coordenadas UTM, tipo de captación (sondeo o manantial), profundidad del sondeo, destino del agua y volumen de la concesión. No se encuentran datos de caudales, ni de niveles freáticos, ni piezométricos. Se supone que los datos que están en la red son todos los que dispone la CHD. Las capas de piezometría del visor Mírame Duero, tanto de datos del año 2009 como del 2017 y para diferentes profundidades de piezómetros, dibujan líneas de isopiezas en las zonas centrales de la cuenca del Duero, pero en la cuenca del Araviana y tramo de interés del Rituerto se carece de esta información (CHD 2021b).

Con los escasos datos de piezometría disponibles y otros adquiridos en los trabajos de campo, se ha elaborado un esbozo de mapa preliminar de isopiezas (Figura 5.3.2).

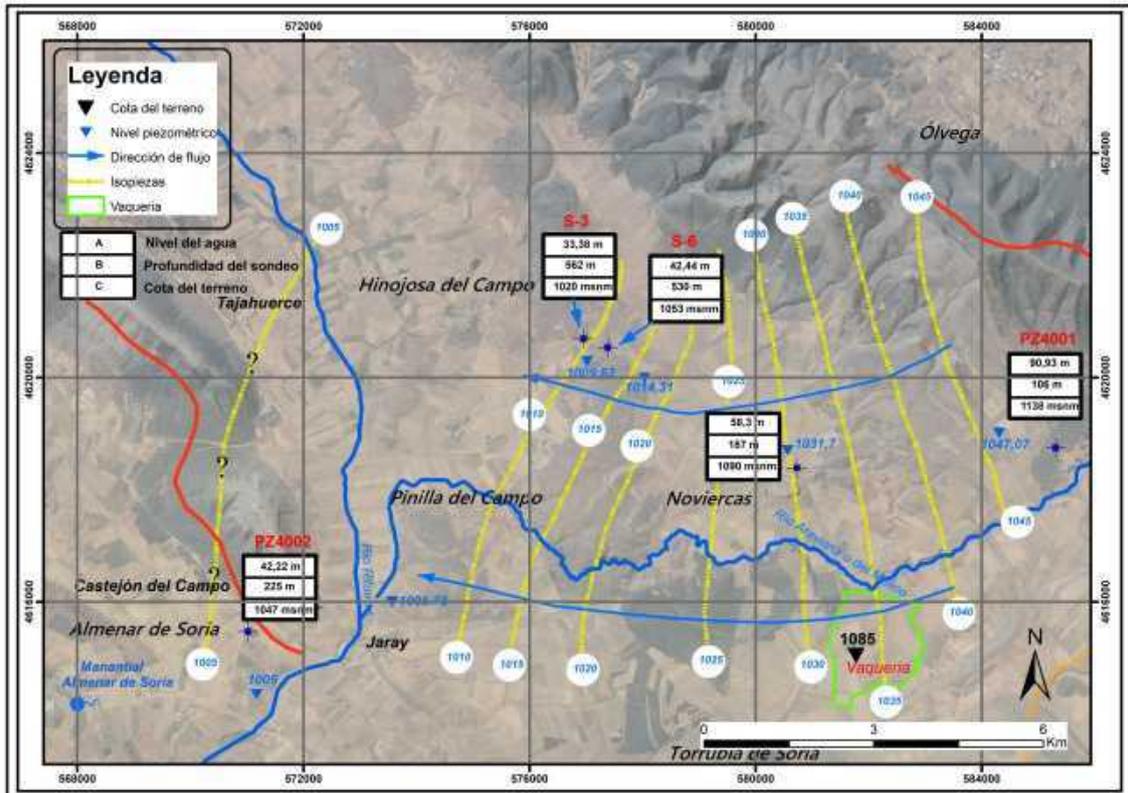


Figura 5.3.2 Mapa de isopiezas del Mesozoico en la zona de Noviercas (Soria). El mapa contiene datos de varias fechas distintas. Las líneas rojas indican límites de la MASb Araviana.

La Figura 5.3.2 revela:

- el papel de barrera impermeable de los afloramientos del Cámbrico, Ordovícico y Buntsandstein en el E de la hoja de Ólvega (351) y que separan la MASb Araviana de la MASb Moncayo. Esto condiciona el flujo de aguas subterráneas hacia el W.
- que el río Rituerto permanece desconectado (colgado sobre el nivel freático), aunque en los escasos días de escorrentía tras periodos de lluvia se puede producir alguna recarga.
- que el flujo de agua subterránea atraviesa el límite W de la MASb Araviana, dirigiéndose hacia la MASb Cuenca de Almazán. En el camino se encuentra la zona de cizalla regional Soria-Ciria. Según el perfil IV-IV' de la hoja geológica de Soria (nº 350), en algunos lugares esta cizalla puede favorecer el afloramiento del agua subterránea del conjunto Jurásico-Cretácico, que en alguna área próxima a Almenar quedan someras (Figura 5.3.3).
- que se debe prestar atención al manantial de Almenar (perteneciente a la MASb Cuenca de Almazán) en cuanto a caudales y composición química. La temperatura del agua era de 14°C el 17 de noviembre de 2021. El visor de la CHDuero no aporta datos seriados de aforos de dicho manantial. Debido a este interés se ha extendido la zona de estudio hasta el límite de la MASb Cuenca de Almazán, más allá del cauce del río Rituerto. En los alrededores del manantial existen dos piezómetros de control (PZ 0237018 y PZ 0237019).
- que la separación de las hojas geológicas nº 350 y 351 puede ser un límite discrecional que deja al W, fuera del alcance de este estudio, la franja que se alarga hasta Soria

capital. Esta separación tiene sentido porque respeta todo el recorrido del río Rituerto hasta Valdegeña, excluyendo tan solo el afluente del Rituerto por la margen derecha (arroyo de la Carrera), que no presenta interés. El borde E lo marca el límite de la MASb Araviana.

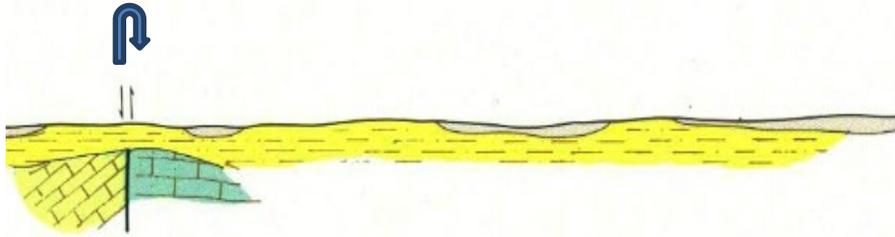


Figura 5.3.3 Posible origen del manantial de Almenar, aprovechando la cizalla Soria-Ciria y el alzamiento del acuífero jurásico. En verde el Cretácico, en azul el Jurásico, en amarillo el Terciario y en gris el Cuaternario. Tomado del mapa geológico de Soria (ITGE, 1991a)

El límite N es el que marca originalmente la MASb Araviana, donde afloran ampliamente de W a E materiales del Cretácico y del Jurásico y el Buntsandstein, sucesivamente.

El límite S es más complejo. La gran estructura tectónica de la cizalla Soria-Ciria se alarga en sentido NE-SW, pero no parece que pueda suponer un límite al flujo del agua. Por ello, la zona a considerar se extiende hasta el propio límite de la MASb Araviana. Hay que considerar la zona NE de la hoja nº 380 de Borobia y el sector NW de la hoja 381 (Illueca), donde se observa un extenso afloramiento de materiales jurásicos y triásicos (Buntsandstein) que se dirige hacia el SE, donde nace el río Aranda en el manantial de Lagüén, a casi 20 km del emplazamiento de la futura VN. De acuerdo con la información de la cuenca del Ebro (<http://www.chebro.es:81/masasAguaSubterra/masasaguasubterra.html>), no existen captaciones profundas en todo este sector, salvo el piezómetro de Ciria. La ficha técnica de la MASb Borobia-Aranda de Moncayo (073), perteneciente a la cuenca del Ebro, indica que, en la zona occidental de la MASb, el flujo del agua subterránea es hacia el SE. La descarga más importante se realiza hacia el manantial de Lagüén, nacimiento del río Aranda. Igualmente, la ficha de la MASb Manubles-Ribota señala que el acuífero carbonatado mesozoico se descarga hacia el río Manubles, entre las localidades de Berdejo y Bijuesca. Sin embargo, no aporta datos de piezometría y mapas de isopiezas que sustenten estas afirmaciones. No obstante, la configuración geológica e hidrogeológica favorece este flujo (Figura 5.3.4).

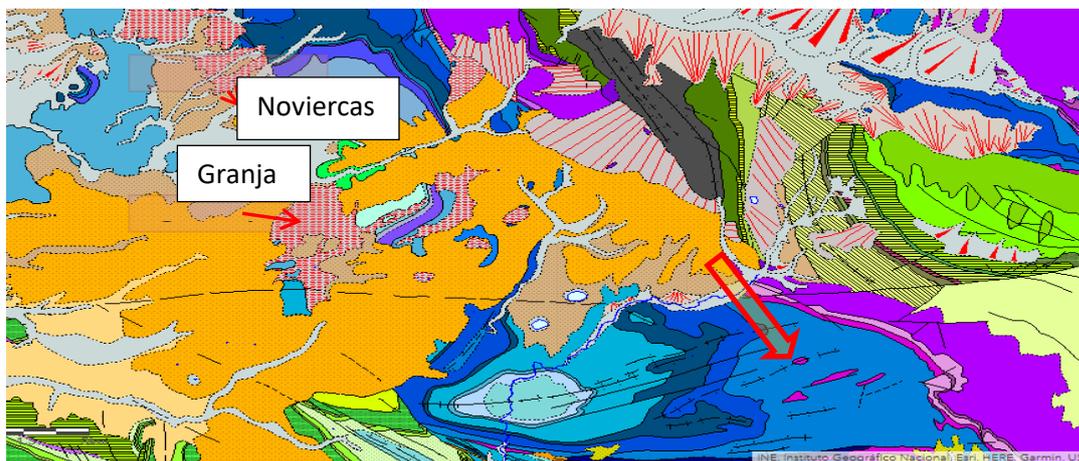


Figura 5.3.4 Mapa geológico continuo Geode del IGME (IGME,2021). La flecha grande indica la posible dirección de flujo de aguas subterráneas de la MASb Araviana (Duero) a la MASb Borobia-Moncayo (Ebro). Triásico (magenta), Jurásico (azul), Cretácico (verde), Terciario (naranja), Pliocuaternario (trama de puntos rojos) y Cuaternario (gris). La distancia en línea recta entre la flecha roja grande y la vaquería es de unos 10 km.

Dadas las características de la MASb Araviana, parece razonable excluir la parte de la MASb Araviana que se alarga hasta las afueras de Soria capital y que ocupa una buena parte de la hoja geológica nº 350. En esa franja alargada de 80 km² de superficie existe una divisoria de aguas superficiales a la altura de Omeñaca, entre el río Moñigón-Chavalindo, que drena al W hacia el río Duero, y el arroyo de la Carrera, afluente del río Rituerto y finalmente del Duero, que drena hacia el E. Esta divisoria se encuentra a unos 25 km de los terrenos de la futura vaquería (ver plano de inventario, en el Anexo 2). La parte restante de la MASb Araviana se encuentra en las hojas nº 351 (Ólvega) y 380 (Borobia), ocupando una extensión de 355 km² aproximadamente.

5.3.3 Funcionamiento de la unidad hidrogeológica del Jurásico.

El acuífero mesozoico (Cretácico y Jurásico) se recarga fundamentalmente a partir de la precipitación (nieve y lluvia). Los ríos Araviana y Rituerto aportan escasos caudales, que acaban por infiltrarse completamente en el acuífero. No hay datos de aforo en estos ríos, salvo algunas campañas esporádicas llevadas a cabo en el pasado por el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP) y por la JCyL durante algunos meses (JCyL, 2010b). No existen retornos procedentes de regadíos que puedan afectar significativamente al balance de agua subterránea. Los núcleos de población carecen de sistema de tratamiento de las aguas residuales y, según la información verbal transmitida durante los recorridos de campo, se vierten directamente a los cauces, si bien el volumen anual es muy pequeño. Igualmente, las salidas por bombeo pueden considerarse poco significativas. Se está ante un escenario próximo al estado natural. En estas condiciones, para el sector estudiado cabe esperar un flujo del agua subterránea hacia el W y SW, o sea hacia la MASb Cuenca de Almazán. En la parte oriental de la MASb Cuenca de Almazán existe el manantial de descarga regional de Almenar, en Almenar de Soria, fuera ya de la MASb Araviana, para el que se estimaron unos 40 L/s el 5 de julio de 2021 y unos 25 L/s el 17 de noviembre de 2021. Todo parece indicar que el agua descargada procede de la MASb Araviana. Algunos documentos oficiales indican que el manantial de Almenar está en la zona de Jaray. En las dos visitas realizadas al emplazamiento no se constató la existencia de dicho manantial. El cauce del río Rituerto aguas abajo de Jaray sostiene vegetación ribereña freatofítica, lo que no ocurre aguas arriba con tanta nitidez. El 5 de julio de 2021 el río Rituerto aportaba un caudal de unos 3 L/s a su paso por la carretera N-234 y el 17 de noviembre se encontraba totalmente seco.

En el Visor Mírame Duero, en el portal de la CH del Ebro y en los recorridos de campo se han identificado los manantiales de Almenar y Lagüén (Aranda de Moncayo) como los más notables. El manantial de Almenar dista en línea recta 14,3 km y el de Aranda de Moncayo 19,5 km de la futura VN.

Apenas se cuentan con datos precisos de niveles piezométricos, salvo los dos piezómetros que controla la CHD. Con los escasos datos disponibles se ha esbozado el mapa preliminar de

isopiezas para los materiales mesozoicos de la Figura 5.3.2, que es coherente con la estructura geológico-hidrogeológica del sector. Dada la casi nula explotación del acuífero, este mapa puede orientar en primera aproximación la dirección y sentido de flujo de las aguas subterráneas en el sector próximo a la futura granja.

La futura granja se ubica aproximadamente en el centro de una gran estructura sinclinal compuesta por materiales del Jurásico y Cretácico, bordeada periclinalmente por el N (Sierra del Madero) y por el E por materiales del Buntsandstein de la sierra de Toranzo (Figura 5.3.5). Aquí se cierra la estructura merced a la barrera impermeable del Buntsandstein y las formaciones paleozoicas. La falta de sondeos y piezómetros no permite comprobar si existe un flujo subterráneo hacia el SE, como el que intuitivamente se muestra en la Figura 5.3.4, aunque todo parece indicar que existe. Las isopiezas de la Figura 5.3.2 se han trazado con líneas discontinuas, haciendo así referencia a la falta de información. Las isopiezas apuntan a un flujo preferente de E a W, que es la misma que la del cauce del Araviana, si bien no hay conexión hidráulica entre el río y el acuífero. En todo momento se trata de un cauce colgado sobre el nivel freático regional. En la vertical de la futura granja el mapa indica que el nivel piezométrico está a unos 50 m de profundidad bajo la superficie del terreno.

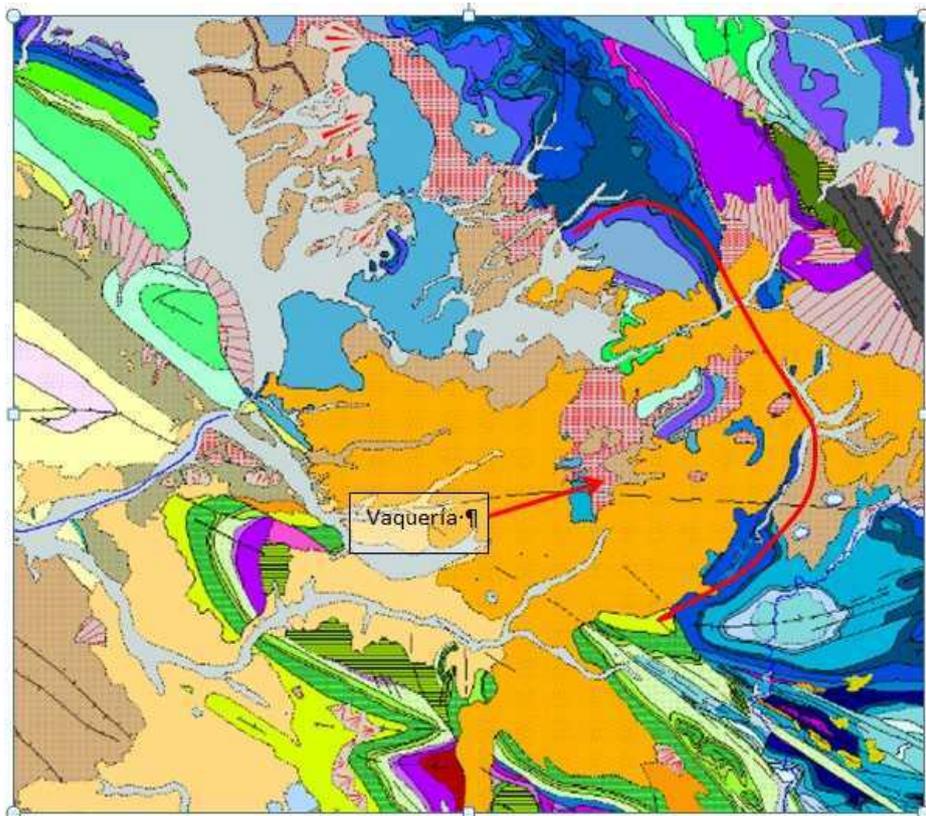


Figura 5.3.5 Cierre periclinal (línea roja) del gran sinclinal del Jurásico, alrededor de la VN. Sobre base geológica tomada del mapa geológico continuo Geode del IGME (IGME, 2021).

El informe CHEbro (2005), referente a un piezómetro construido en Ciria, en la MASB073 Borobia-Aranda de Moncayo de la cuenca del Ebro, plantea un posible flujo procedente de la MASb Araviana hacia el manantial de Lagüén, origen del río Aranda. Es una suposición a verificar con más datos, aunque se observa que en el piezómetro de Noviercas, a 1137 msnm, el nivel piezométrico está a 1042msnm y en Ciria, casi a 11 km al S, el piezómetro construido

en el 2005, a cota 1120 m, el nivel piezométrico está a 956 msnm. Finalmente, a 10km al SE de Ciria se encuentra, a cota 840 msnm, el manantial de Lagüén. Es decir, en un trazado de 20 km se cuenta con sólo tres datos.

El río Araviana circula por el N de la granja en dirección E-W.

El visor de Mírame Duero indica la existencia de las estaciones foronómicas: EA 0210180 y EA0210150 en el área de Valdegeña (nacimiento del río Rituerto); EA0210148 y EA0210149 en el área de Jaray donde el río Araviana tributa al Rituerto; EA 021 0181 que debe corresponder al manantial de Almenar; y EA020147 y EA020182, EA0210206, EA0210205 y EA0210204 en el río Araviana en la MASb Moncayo. Sin embargo, el anuario de aforos 2017-2018 del CEH no incluye ningún dato de estas estaciones y el visor Mírame Duero no aporta información.

Las observaciones reiteradas por parte de personal del ayuntamiento de Noviercas y por agricultores de Jaray atestiguan que los ríos Araviana y Rituerto no presentan flujo de agua constante, permaneciendo la mayor parte del año secos, como se ha podido constatar en las de campo. El tramo alto del río Araviana, al abandonar la MASb Moncayo, pierde toda el agua circulante en los primeros cientos de metros al adentrarse en la MASb Araviana, tal como se tuvo ocasión de comprobar en la visita de campo del 5 de julio de 2021. En cualquier caso, los escasos días con caudal en el río Araviana deben contabilizarse como recarga directa al subsuelo mesozoico del sector (IGME, 2007).

Los materiales del Jurásico constituyen los principales acuíferos a tener en cuenta. Tras la descripción geológica del apartado 5.2, se da a continuación una visión hidrogeológica del Jurásico. De acuerdo con Coloma (1999) y García-Gil (2012), se diferencian en el Jurásico tres unidades hidrogeológicas (Figura 5.2.1):

La unidad inferior, perteneciente al Lías inferior (Hetangiense, Sinemuriense, Pliensbachense). Está compuesta por materiales de elevada porosidad eficaz y elevada permeabilidad debido a una densa red de fisuras y a las oquedades características de las carnioles, que están bien interconectadas (García Gil, 2012). En el techo de este tramo aparecen calizas con karstificación favorecida por el diaclasado y la estratificación. De acuerdo con la clasificación establecida por Bayó et al. (1986), la unidad inferior se puede clasificar como un acuífero kárstico de flujo difuso, con un espesor de 300m. En una zona próxima, Coloma (1999) le asigna una transmisividad hidráulica de 100 a 3000 m²/día.

La **unidad intermedia**, perteneciente al Lías superior (Toarciense). Es una alternancia de margas y calizas de unos 100 m de potencia. Las margas a techo son poco permeables y mucho menos susceptibles a la karstificación dada su naturaleza arcillosa (García Gil, 2012). Se puede considerar en su conjunto como un tramo confinante (Sanz, 1987). Coloma (1999) le asigna transmisividades inferiores a 10 m²/día. En los sondeos de Hinojosa del Campo, estos materiales confinan totalmente al tramo jurásico inferior.

La **unidad superior**, de edad Dogger y Malm. Está constituida por materiales carbonatados con una importante red de fisuras, en los que ha desarrollado un sistema kárstico notorio. Correspondería a un acuífero kárstico por fisuración. El tramo inferior de 250m de potencia está constituido por calizas oolíticas, le siguen 200 m de areniscas calcáreas y marga calizas, visibles en Pozalmuro, y culmina con 100 m calizas arrecifales muy fisuradas y con una porosidad eficaz elevada. Dan manantiales de descarga importantes en la cuenca del Ebro en

las proximidades de Ágreda. Coloma (1999, en García Gil, 2012) les atribuye las transmisividades de la Tabla 5.3.1. Quitando los valores mayor y menor de la tabla, queda un valor medio de 1350 m²/día.

Tabla 5.3.1 Valores de transmisividad hidráulica para el Jurásico medio y superior, según Coloma (1999)

| Nº IPA | Localidad | Q[L/s] | descenso [m] | T [m ² día ⁻¹] |
|-----------|-----------|--------|--------------|---------------------------------------|
| 241380008 | Ágreda | 12 | 4.4 | 270 |
| 241370018 | Ágreda | 4.3 | 8 | 60 |
| 241360018 | Añavieja | 15 | 0.35 | 4300 |
| 241370009 | Añavieja | 40 | 9 | 200 |
| 241370010 | Añavieja | 70 | 14 | 500 |
| 241370013 | Añavieja | 16.6 | 7 | 240 |
| 241370019 | Añavieja | 50 | 1.25 | 4000 |
| 241370021 | Añavieja | 22.2 | 1 | 2200 |
| 241370024 | Añavieja | 28 | 8 | 1900 |
| 241370025 | Añavieja | 104 | 41 | 250 |
| 241370041 | Añavieja | 23 | 25 | 150 |
| 241340016 | Añavieja | 4.3 | 3 | 80 |
| 241340008 | Añavieja | 280 | 1.59 | 10000 |
| 241380019 | Ágreda | 29 | 1 | 3000 |
| 241430026 | Ágreda | 3 | 0.7 | 450 |

5.4 Sondeos piezométricos en el entorno de la futura ubicación de las balsas

Para caracterizar el emplazamiento donde se ubicará la granja y las balsas se construyeron un total de 18 piezómetros (ENDUSA, 2018; 2020a, 2020b). Inicialmente, en 2018 se construyeron 8 piezómetros (denominados serie A) de profundidades entre 11 y 27m. Posteriormente, en 2020 se construyeron otros cuatro piezómetros para caracterizar el cuenco de las futuras balsas, serie S1 a S4, todos ellos de 15 m de profundidad, con las características que se muestran en la Tabla 5.4.1. También en 2020 se construyeron los 6 piezómetros de la serie B (Tabla 5.4.2). Las fichas técnicas de cada piezómetro se pueden consultar en el Apéndice 1.

Tabla 5.4.1 Localización, columna litológica y características de los piezómetros de la serie S (ENDUSA, 2020b).

| Sondeo | Entorno | UTM X | UTM Y | Litología | N. piezométrico | K (Cond. Hidráulica) |
|--------|--------------------|--------|---------|---|--|---------------------------|
| 1 | Balsa pluviales | 582126 | 4615089 | 0-15 m: arenas con cantidades importantes de arenas arcillosas y limosas, junto a estratos de arcillas | N.D. | 2,6 10 ⁻⁴ cm/s |
| 2 | Biodigestores | 581885 | 4615238 | 0-0,6 m: gravas arenosas y tierra vegetal 0,6-15 m: arenas con arenas arcillosas | N.D. | 9,4 10 ⁻⁵ cm/s |
| 3 | Balsa 1 residuales | 581685 | 4615234 | 0-3 m: gravas con arenas limosas con fragmentos de rocas silíceas 3-4,0 m: arenas arcillosas con cantos silíceos 4,8-15 m: arenas con cantidades importantes de arenas arcillosas y limosas, junto a estratos de arcillas | 4,00 m (flujo interrumpid por la entubación) | 6,10 ⁻⁵ cm/s |
| 4 | Balsa 2 residuales | 581460 | 4615115 | 0-15 m: arenas con cantidades importantes de arenas arcillosas y limosas, junto a estratos de arcillas | N.D. | 9,70 ⁻⁵ cm/s |

Tabla 5.4.2 Localización, columna litológica y características de los 6 piezómetros de la serie B (ENDUSA, 2020b).

| Piezómetro | UTM X | UTM Y | Columna litológica | Nivel piezom. |
|------------|--------|---------|--|---------------|
| B1 | 581978 | 4615214 | 0-0,7 m tierra vegetal limo arenosa 0,7-18 m arenas arcillosas con arcillas arenosas 18-28,4 m arenas arcillosas con estratos métricos de arcillas arenosas 28,4 m-fin arenas algo limosas | N.D. |
| B2 | 581923 | 4615407 | 0-0,6 m tierra vegetal limo arenosa 0,6-4,5 m arenas con gravas areno limosas 4,5-6 m arcilla con cantidades variables de arena 6 m-fin arenas arcillosas con algún estrato arcilloso | 15 m |
| B4 | 581353 | 4615386 | 0-0,7 m tierra vegetal limo arenosa 0,7-5,4 m arenas con gravas areno limosas 4,5-9 m arenas arcillosas 9,0-27 m arcillas arenosas 27 m-fin arenas arcillosas | N.D. |
| B5 | 581293 | 4615214 | 0-0,6 m tierra vegetal limo arenosa 0,6-4,2 m con gravas areno limosas 4,2-9 m arenas arcillosas 9,0-15 m arcillas arenosas con niveles de arenas arcillosas 15,0-18 m arcillas arenosas con fragmentos de roca 18,0-24 m arenas arcillosas con niveles de arcillas algo arenosas 24 m-fin arenas algo limosas | N.D. |

| Piezómetro | UTM X | UTM Y | Columna litológica | Nivel piezom. |
|------------|--------|---------|--|---------------|
| B6 | 581350 | 4615062 | 0-0,7 m tierra vegetal limo arenosa 0,7-3 m arenas con gravas areno limosas 3,0-15 m arenas con cantidades variables de finos 15-18 m arcillas arenosas con fragmentos de roca 18 m-fin arenas arcillosas con algún estrato arcilloso | 12,5 m |
| B7 | 581412 | 4614842 | 0-0,6 m tierra vegetal limo arenosa 0,6-7,2 m arenas con gravas areno limosas (4,0-6m estrato areno-arcilloso) 7,2-15 m arcillas arenosas con niveles de arenas arcillosas 15-18 m arcillas arenosas con fragmentos de roca 18-25,5 m arcillas algo arenosas 25,50 m-fin arenas algo limosas | N.D. |

Las mediciones que se efectuaron de los niveles de la red piezométrica en diciembre de 2020 mostraron disparidad de niveles del agua y la existencia de piezómetros totalmente secos y otros cercanos con agua. Con objeto de despejar las dudas de interpretación, se ha optado por purgar todos los piezómetros el 15 de junio de 2021. Se midieron todos los niveles antes de la purga y de nuevo el 1 de julio de 2021. Los datos de ambas campañas se recogen en las Tablas 5.4.3.y 5.4.4.

Tabla 5.4.3 Datos sobre la limpieza de los sondeos de la ubicación de las futuras balsas de agua, según ensayos el 15-06-2021 y medidas adicionales el 01-07-2021

| PIEZÓMETRO | 15/06/2021 | | | | 01/07/2021 |
|------------|-----------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | PROFUNDIDAD (m) | PROFUNDIDAD al agua (m) | PROFUNDIDAD tras vaciado (m) | CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (mS/cm a 25º) | PROFUNDIDAD AL AGUA (m) |
| A1 | 27 | NO AGUA | | | NO AGUA |
| A2 | 12 | 2,10 | 10,10 | 0,715 | 2,20 |
| A3 | 11 | NO AGUA | | | NO AGUA |
| A4 | 12 | 1,25 | | | 1,25 |

| | | | | | |
|----|----|---------|-------|-------|---------|
| A5 | 12 | 3,85 | 9,35 | 0,783 | 3,80 |
| A6 | 16 | 11,50 | 13,00 | 0,281 | 11,50 |
| A7 | 17 | NO AGUA | | | NO AGUA |
| A8 | 27 | 24,30 | 24,52 | 0,676 | 24,35 |
| 1B | 30 | NO AGUA | | | NO AGUA |
| 2B | 30 | 22,60 | 22,60 | | 23,20 |
| 4B | 30 | 25,46 | 27,00 | 0,377 | 25,46 |
| 5B | 30 | NO AGUA | | | NO AGUA |
| 6B | 30 | 2,20 | 17,45 | 0,404 | 2,20 |
| 7B | 30 | 26,70 | 27,50 | 0,305 | 27,50 |

Tabla 5.4.4 Red piezométrica y cota absoluta del agua

| Piezómetro | Profundidad (m) | X | Y | Z | Profundidad desde el suelo del nivel freático | | Cota agua (m snm) |
|------------|-----------------|--------|---------|--------|---|----------|-------------------|
| | | | | | 2018 | jul-2021 | |
| A1 | 27 | 581809 | 4615659 | 1095,5 | | seco | 1095,5 (*) |
| A2 | 12 | 582234 | 4616067 | 1099,8 | 8 | 2,2 | 1097,6 |
| A3 | 11 | 583281 | 4614697 | 1098,3 | seco | seco | Jurásico |
| A4 | 12 | 582550 | 4614200 | 1100 | 8 | 1,25 | 1098,7 |
| A5 | 12 | 581899 | 4614389 | 1092 | 10,2 | 3,8 | 1088,2 |
| A6 | 16 | 580642 | 4614051 | 1080 | 12 | 11,5 | 1068,5 |
| A7 | 17 | 581583 | 4613686 | 1084 | seco | seco | 1084 (*) |
| A8 | 27 | 580090 | 4617263 | 1065 | seco | 24,35 | 1040,65 |
| S1 | 15 | 582126 | 4615089 | 1092,3 | seco | - | 1077,3 (*) |
| S2 | 15 | 581885 | 4615238 | 1094,3 | seco | - | 1079,3 (*) |
| S3 | 15 | 581685 | 4615234 | 1099 | rezume a 4 m | - | 1090 |
| S4 | 15 | 581450 | 4615115 | 1092,2 | seco | - | 1092,2 (*) |
| B1 | 30 | 581923 | 4615214 | 1094,5 | seco | seco | 1064,5 (*) |
| B2 | 30 | 581923 | 4615407 | 1094,8 | 15 | 22,3 | 1072 |
| B4 | 30 | 581353 | 4615386 | 1089,8 | seco | 25,46 | 1064,34 |
| B5 | 30 | 581293 | 4615214 | 1088,9 | seco | seco | 1058,9 (*) |
| B6 | 30 | 581350 | 4615062 | 1087,8 | 12,5 | 2,2 | 1085,6 |
| B7 | 30 | 581412 | 4614842 | 1087,5 | seco | 27,5 | 1060 |

El signo (*) indica que el posible nivel freático estaría por debajo de esa cota.

En el reconocimiento de campo se constata que no existen ni pozos ni piezómetros en los alrededores de los terrenos estudiados, con seguridad en más de tres km a la redonda. Las columnas litológicas atravesadas por los diferentes piezómetros están compuestas por el mismo tipo de materiales: niveles de cantos cuarcíticos en superficie, visibles en el terreno (en la leyenda del mapa geológico se los describe como raña), arenas arcillosas, arenas limosas, limos y tramos de arcillas, sin que exista continuidad lateral ni posibilidad de correlación. Son

características típicas asociadas a depósitos detríticos en medio continental. Ello conduce a que se trate de una formación marcadamente heterogénea y anisótropa. La única salvedad la constituye el piezómetro A3, de 11 m de profundidad, ubicado lejos de la futura granja y que penetró en las calizas mesozoicas (del Cretácico o del Jurásico) y estaba seco.

Esta constitución geológica, añadida a los niveles dispares que se muestran en las Tablas 5.4.3, 5.4.4 y el mapa de isopiezas elaborado para el mesozoico (Figura 5.3.2), que con todas sus incertidumbres apunta a que el nivel piezómetro regional del Jurásico y Cretácico se encuentra en la vertical donde se ubicarán las balsas a más de 50 m de profundidad, indica que los piezómetros sólo han penetrado el medio no saturado, aunque existen algunos posibles niveles acuíferos colgados mantenidos por la recarga local al encontrar capas de arcillas.

Hay datos evidentes que parecen corroborar estos supuestos. Quizá el más llamativo sea la presencia de la Lagunilla de los Esquiladores (cota topográfica 1092 m snm) (Figura 5.4.1). Se trata de una suave hondonada, con una escasa lámina de agua, que necesariamente está colgada sobre un fondo arcilloso, y que en verano se seca. En la visita de campo el 10 de junio de 2021 mantenía una pequeña lámina de agua y el 5 de julio estaba totalmente seca. Piezómetros próximos, como el B7, tienen agua a cota 1060 m snm (32 m de diferencia de nivel a una distancia de 370 m). Los piezómetros S4 (a 525 m) no alcanzan a encontrar agua por debajo de los 1077,5 m snm. El piezómetro S1, construido en la orilla de la laguna, de 15 m de profundidad, estaba seco mientras la laguna mantenía su cuenco lleno. El piezómetro B6, a una distancia de 527 m, tenía un nivel de agua supuestamente colgado con cota de 1085,6 m snm, mientras que, un poco más alejado, el B5 (a 684 m) estaba seco. Esto indica que el agua, de encontrarse, estaría a una profundidad mayor de 1058,9 msnm. Un ejemplo más son los niveles de los tres piezómetros S2, S3 y S4, distantes entre ellos 470 m. Dos de ellos están secos y el S3 con agua a cota 1090 m snm.

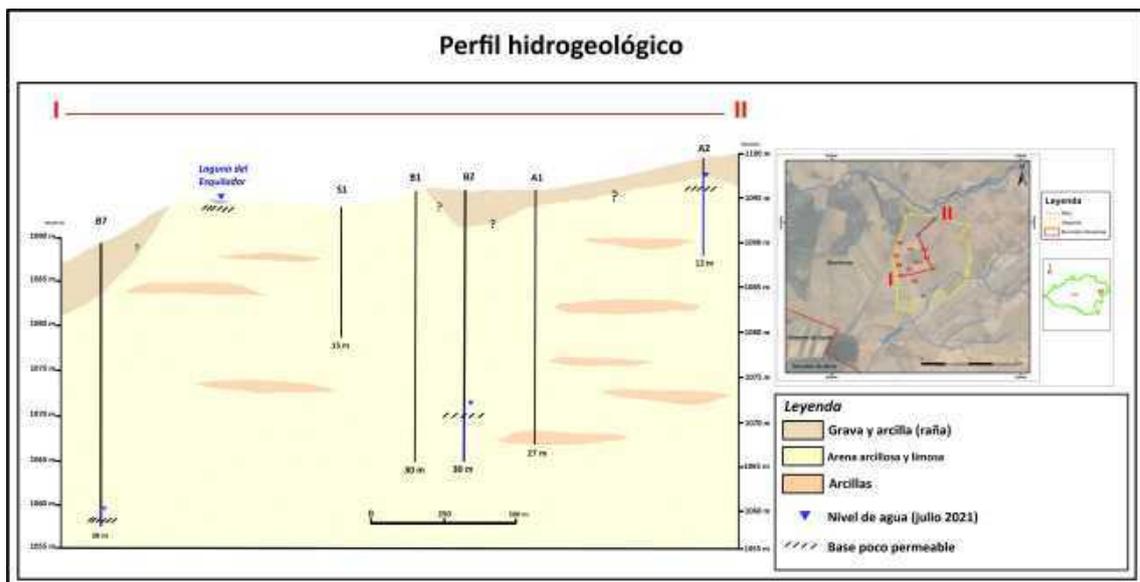


Figura 5.4.1. Perfil hidrogeológico de detalle en la zona de la vaquería

Dado el carácter local y colgado de los pequeños acuíferos del Pliocuaternario, no es posible confeccionar un mapa de isopiezas. Hay una inclinación natural del terreno en el sentido NE-

SW, por lo que el nivel del agua tiene menor cota en el W que en el E, pero, al tratarse de niveles colgados, no significa que realmente exista un flujo subterráneo continuo en el subsuelo en esa dirección y sentido, al menos a profundidades bajo la superficie del terreno inferiores a 30 m.

Estos datos indican que el fondo de las futuras balsas no alcanzaría un nivel saturado regional, dejando un amplio espesor de zona no saturada por debajo, con lentejones de arcilla sin continuidad lateral que favorecen niveles colgados de agua. Se interpreta se están produciendo rezumes de agua de estos niveles hacia el interior del tubo de los piezómetros, dentro de los cuales, la decantación de limos sobre el fondo da lugar a que se retenga un pequeño espesor de agua dentro del piezómetro.

5.5 Inventario de captaciones, explotación y usos

Se ha realizado un inventario de puntos de agua a partir de las siguientes fuentes: Visor de la CHD, censo de los abastecimientos de agua del Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (SINAC), visor del IGME y recorridos de campo.

El Anexo1 muestra un resumen de los 67 puntos de agua inventariados (Figura 5.4.2 y plano en Anexo2): cinco manantiales, siete pozos excavados y 55 sondeos. Aparte de estos puntos se cuenta con tres piezómetros (Noviercas, Castejón del Campo en Almenar y Ciria, éste último fuera de la MASb Araviana) y cinco pequeños manantiales más, también todos ellos fuera de la MASb Araviana. La Figura 5.5.1, muestra la situación de los puntos de agua próximos a la zona de interés.

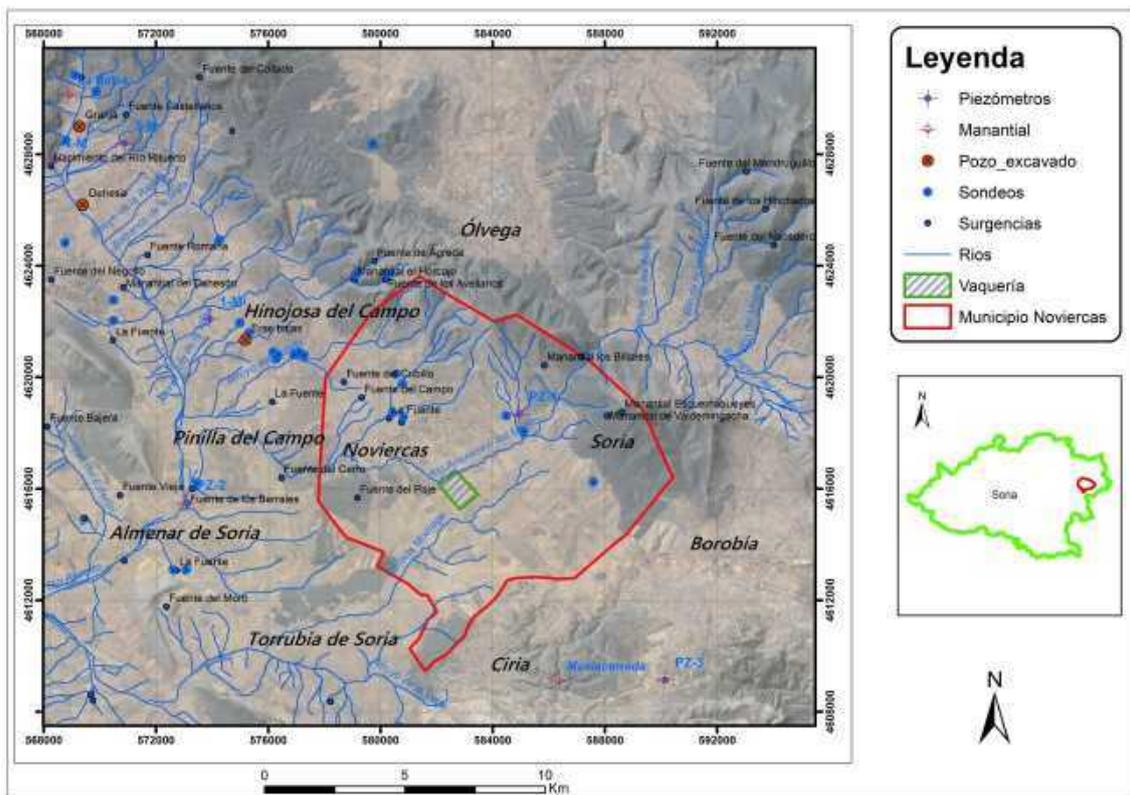


Figura 5.5.1 Mapa de inventario de puntos de agua del área próxima a Noviercas

Se estima que están casi todos los puntos principales de extracción, si bien en el campo y en los mapas topográficos se han identificado otros puntos que no están inventariados,

correspondientes a algún abastecimiento doméstico, alguna granja y manantiales (Esteban, 2021). El volumen total de agua sujeta a concesión, tanto para abastecimiento como para regadío y granjas ganaderas, se evalúa en 266.436 m³/a según la información suministrada por el Visor ChDuero, aunque el volumen anual realmente extraído sea probablemente menor.

El PHD-2021 (CHDuero, 2021) indica que la demanda para el periodo 2022-2027 será de 0,27 hm³/a. El visor Mírame Duero identifica las futuras demandas para riego de Hinojosa del Campo y de la vaquería de Noviercas, señalándolas en el mapa como futuras concesiones administrativas (con color diferente al resto de puntos de agua). Sin embargo, el denominado “Mapa 48. Distribución espacial de la demanda ganadera por UDG subterránea” del anexo 13 del borrador del PHD-2021 muestra un color para toda la MASb Araviana que indica en la leyenda una demanda entre 0 y 0,2 hm³/año, siendo así que la demanda de la vaquería es de 0,78hm³/a (Figura 5.5.2)



Figura 5.5.2. Distribución espacial de la demanda ganadera por UDG subterránea (CHDuero, 2021a).

El visor CHDuero aporta los siguientes datos sobre la solicitud de un sondeo de investigación por parte de la promotora de la vaquería:

- Número de identificación 10097922
- Expediente vinculado 1080/2020 (en trámite de derecho)
- Volumen anual: 775 329 m³
- profundidad: 500m
- Coordenadas UTM: X 582250,912; Y 4616080,977

Se constata que la población va disminuyendo paulatinamente al comparar la población asentada en el territorio según el primer y segundo PHD y lo que se prevé en el tercero. En resumen, existe una muy escasa extracción de agua subterránea, permaneciendo tanto las reservas (volumen de agua almacenada por debajo de la cota de los manantiales) como los recursos (agua renovable anualmente) prácticamente intactos, salvo las futuras predicciones

por cambio climático, que afectaría a los recursos y no tanto a las reservas. Hay una iniciativa de poner en riego 500 ha en la zona de Hinojosa del Campo, para lo que se han construido 6 captaciones, todavía sin funcionar, salvo una pequeña extensión de 15 ha. La demanda futura, caso de llevarse a cabo esta iniciativa, está cifrada en 2,67 hm³/a, con una dotación de 5381 m³/ha/a (JCyL, 2010b).

5.6 Parámetros hidrogeológicos

Dentro de la MASb Araviana existe una serie de sondeos de iniciativa pública (TRAGSA y JCyL) en los que se han realizado ensayos de bombeo y de recuperación. En algunos casos se contó con piezómetros cercanos, lo que permite cuantificar el coeficiente de almacenamiento (S) que corresponde al tiempo de bombeo. En algunos de los sondeos se repitió el ensayo de bombeo y recuperación tras haberse procedido a su desarrollo con ácido. En todos los casos, la acidificación mejoró el rendimiento de las captaciones. Las captaciones de la que se dispone de resultados son las correspondientes a los números 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 67 del inventario (Anexo 2), los seis primeros en Hinojosa del Campo y el último en Pozalmuro (Figura 5.4.2 y Anexo 3). También se cuenta con parámetros del Jurásico en áreas similares cercanas (Coloma, 1999). La información recopilada se muestra en la Tabla 5.6.1. En el ensayo de bombeo del sondeo de Pozalmuro se obtuvo una transmisividad hidráulica de 12.949 m²/día para un descenso de 0,94 m y una profundidad de nivel dinámico del agua de 57 m.

Tabla 5.6.1 Características y parámetros hidráulicos de los pozos y sondeos con ensayados.

| SONDEO | ENSAYO | NIVEL DINÁMICO FINAL | DESCENSO MAX. TOTAL | T (m ² /día) | S | Caudal óptimo (l/s) |
|--------|-----------------|----------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| S-2 | Corto percusión | 84,41 | 45,01 | 90 | 6,00 x 10 ⁻⁰² | 60 |
| | Reprofundizado | 43,54 | 3,23 | 5330 | 1,30 x 10 ⁻⁰⁴ | 80 |
| S-3 | Acidificado | 35,46 | 2,08 | 11000 | 7,68 x 10 ⁻⁰⁵ | >120 |
| S-4 | Sin acidificar | 73,49 | 33,41 | 211 | 6,85 x 10 ⁻⁰³ | 60 |
| | Acidificado | 48,39 | 7,47 | 3950 | 5,40 x 10 ⁻⁰⁵ | 80 |
| S-5 | Sin acidificar | 59,28 | 17,72 | 750 | 6,3 x 10 ⁻⁰³ | 80 |
| | Sin acidificar | 51,57 | 8,87 | 3950 | 6,12 x 10 ⁻⁰⁴ | 120 |
| S-6 | Sin acidificar | 104,65 | 62,21 | 222 | 6,0 x 10 ⁻⁰³ | 50 |
| | Acidificado | 63,33 | 20,77 | 588 | 2,90 x 10 ⁻⁰⁵ | 60 |
| TRAGSA | Acidificado | 39,70 | 2,07 | 5640 | - | - |

Teniendo en cuenta los resultados tras el desarrollo de la captación con ácido, se puede estimar la transmisividad media representativa de unos 6200 m²/día y un coeficiente de almacenamiento variable entre 1,3·10⁻⁴ y 7,7·10⁻⁵, lo que es característico de acuíferos de comportamiento confinado durante el ensayo. Todos ellos pertenecen al Jurásico. Esto último

quiere decir que el tramo de alternancia de margas y calizas margosas del Liásico Superior (Toarciense) actúa como nivel confinante. Los sondeos cortan tanto el acuífero inferior como el superior (Malm), por lo que la piezometría refleja un estado intermedio. Si se dispusiera de sondeos o piezómetros próximos y de diferente profundidad, mostrarían el potencial hidráulico de los distintos acuíferos superpuestos.

Según Coloma (1999), la transmisividad hidráulica media es de unos 1230 m²/día, si bien no se sabe si hubo desarrollo con ácido en los sondeos. Existen pozos de muy alta transmisividad junto a otros de sondeos próximos con valores un orden de magnitud o dos inferiores, lo que apunta en general a acuíferos intensamente karstificados, con porciones de menor karstificación que lo esperable en estos acuíferos.

Los caudales reproducen el mismo esquema de disparidad de valores según el sondeo. En los sondeos de Hinojosa del Campo los caudales óptimos de explotación están entre 50 y 100 L/s.

El visor Mírame Duero aporta una ficha técnica de la MASb Araviana donde se indica una transmisividad del Mesozoico variable entre 48 y 4346 m²/día y un valor de la conductividad hidráulica (permeabilidad) variable entre 0,086 y 86,4 m/día. No hay datos del coeficiente de almacenamiento.

5.7 Estudio hidrogeológico preliminar

5.7.1 Introducción

Se han recopilado los escasos análisis químicos de aguas subterráneas disponibles de la MASb Araviana y su entorno y se han realizado tres análisis de aguas adicionales y de las muestras obtenidas de la limpieza de los piezómetros construidos para el estudio de las balsas de agua. Los datos están en las Tablas del Anexo 3.

Para un primer estudio se ha recurrido a la representación de las agrupaciones apropiadas en diagramas de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Barkaloff), eliminando previamente los análisis de aguas no representativos por error excesivo en el balance iónico o a causa de una posible insuficiente limpieza de los pozos tras su desarrollo por acidificación; tal es el caso en que el contenido en Cl excede muy ampliamente al de Na,

Las muestras de agua para este estudio han sido analizadas químicamente por los laboratorios FITOSOIL (Murcia) y ENDUSA (Soria), y los isótopos ambientales (²H y ¹⁸O) en el laboratorio del Servicio Interdepartamental de la Universidad Autónoma de Madrid.

5.7.2 Sondeos del estudio de las futuras balsas de almacenamiento de agua

El 25-06-2021 se procedió a una campaña de medidas piezométricas y de limpieza de los sondeos piezométricos cortos construidos para el estudio de las futuras balsas de agua de la VN por la empresa ENDUSA, en la que se obtuvieron 6 muestras de agua para su análisis químico. Se trataba de muestras turbias que no se filtraron en el campo ni se estabilizaron. Los resultados analíticos están en el Anexo 3, con los valores medianos y desviaciones estándar de la Tabla 5.7.1. El error de balance iónico es excesivo, con un sistemático déficit de cationes, como muestra la Figura 5.7.1, de modo que los resultados se consideran con precaución.

Tabla 5.7.1 Valores analíticos medianos y desviaciones estándar de las muestras de agua de la limpieza de los sondeos de la ubicación de las balsas. CE = conductividad eléctrica y BI =

balance iónico, calculado como $BI = (C-A)/(C+A)$, en que A = suma de aniones y C = suma de cationes, en meq/L. No hay resultados analíticos del contenido en Fe disuelto, P_2O_5 y SiO_2 .

| Componente | CE $\mu S/cm$ | Ca mg/L | Mg mg/L | Na mg/L | K mg/L | Cl mg/l | SO ₄ | HCO ₃ mg/L | NO ₃ mg/l | NH ₄ mg/l | BI % |
|-------------|------------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|
| Mediana | 464 | 84 | 6,9 | 3,7 | 1,4 | 7,6 | 75 | 195 | 40 | 7 | 35 |
| D. estándar | 183 | 32 | 3,4 | 3,7 | 5,0 | 2,3 | 109 | 80 | 57 | 0,7 | 30 |

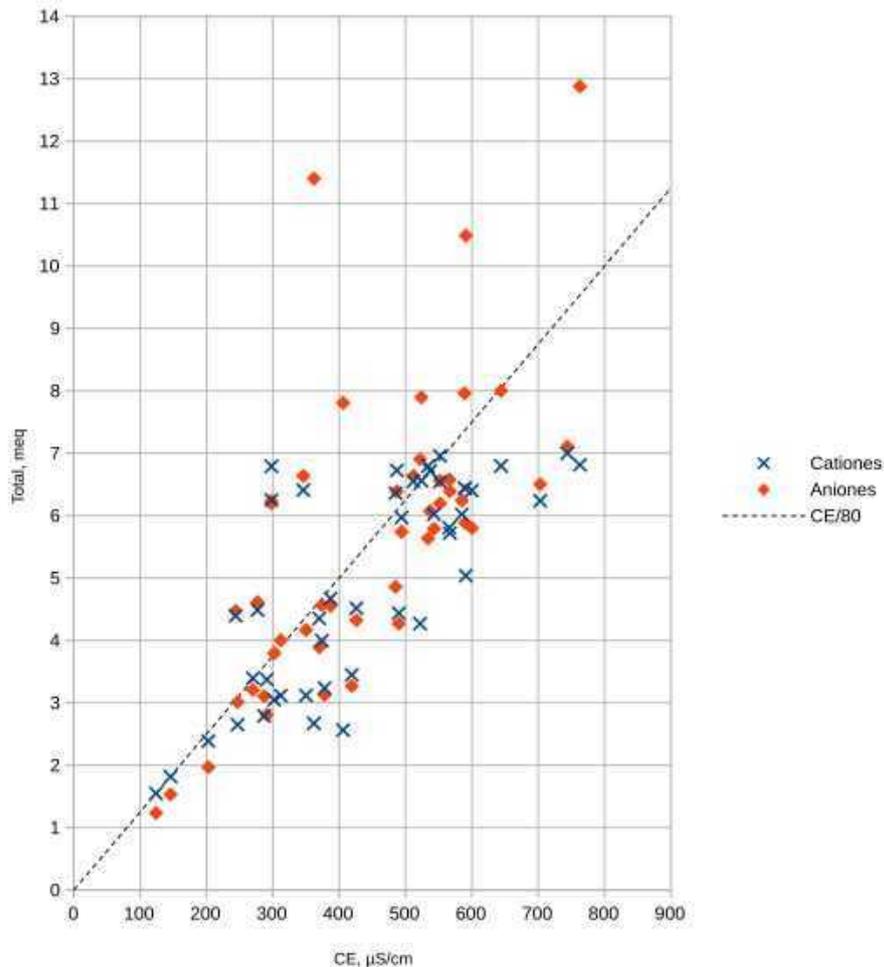


Figura 5.7.1 Comparación de la suma de aniones A y cationes C (en meq/L) con la conductividad eléctrica de laboratorio. La línea diagonal representa aproximadamente los valores esperables en aguas de composición química común a 20 °C. Los cationes están en general subvalorados

La presencia simultánea de los iones NO_3 y NH_4 (suponiendo que no hay error analítico), incompatibles en equilibrio químico, indica que la muestra es una mezcla de aguas colgadas del terreno en el medio no saturado, recientes, que incorporan fertilizantes aplicados al terreno en distintos momentos. Según datos comunicados por D. José Jiménez, por parte de la promotora, el uso habitual de fertilizantes en la zona para el cultivo de trigo y de cebada, que son el 90% de los cereales cultivados en el término de Noviercas, es de 350 kg/ha/a de abono 8-24-8 N-P-K (porcentajes ponderales respectivos de N, P_2O_5 y K_2O equivalentes). Su aplicación al campo se realiza de finales de octubre a mitad de noviembre, dependiendo de los usos del

agricultor, antes o después de la siembra. Además, se añaden 300 kg/ha/a de nitrato amónico cálcico ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$) al 27% para el trigo y 250 kg/ha/a para la cebada, sobre finales de marzo. La composición química real del fertilizante aplicado es variable y desconocida en detalle. Normalmente contiene fosfeyeso acompañando al fosfato cálcico ácido ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$) y KCl(a veces K_2SO_4).

Los resultados analíticos se muestran gráficamente en la Figura 5.7.2, en la que se aprecia un sistemático gran exceso de Cl relativo al Na y una tendencia no estable del contenido relativo de SO_4 , aunque elevado en comparación con la relación marina $r\text{SO}_4/r\text{Cl} = 0,12$ (r indica que la concentración es en meq/L). Las relaciones iónicas son las de la Tabla 5.7.2.

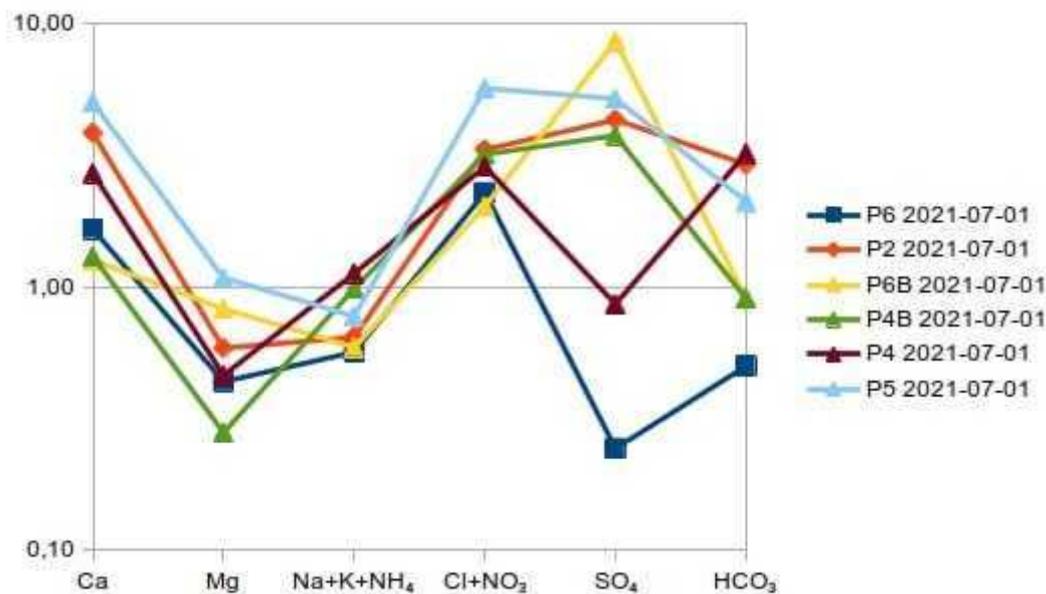


Figura 5.7.2 Diagrama de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Barkaloff) de las muestras de agua de la limpieza de los piezómetros de la ubicación de las balsas de la futura Vaquería de Noviercas.

Tabla 5.7.2 Relaciones iónicas y contenido en nitratos de las aguas muestreadas en los sondeos del emplazamiento de las futuras balsas de almacenamiento de agua (r indica que la concentración está en meq/L)

| Valor | rNa/rK | rSO ₄ /rCl | rNa/rCl | NO ₃ mg/L |
|------------|---------|-----------------------|------------|----------------------|
| P6 | 3,3 | 0,1 | 0,17 | 91 |
| P2 | 1,3 | 1,3 | 0,14 | 130 |
| P6B | 3,7 | 4,2 | 0,14 | 75 |
| P4B | 1,7 | 1,2 | 0,23 | 97 |
| P4 | 21 | 0,3 | 0,40 | 77 |
| P6 | 4,5 | 1,2 | 0,16 | 225 |
| referencia | 20 a 50 | 0,12 (mar) | 0,82 (mar) | |

El agua muestreada corresponde al agua de recarga local. Destaca le elevada concentración de Cl relativa a la de Na, que refleja que la fertilización aporta cantidades significativas de Cl, superiores al aporte natural. Posiblemente el Na sea el ion que mejor conserve el carácter original de la composición química de la precipitación. Un aporte de 10 kg/ha/a de Cl con el

fertilizante equivale a $1 \text{ g/m}^2/\text{a}$ de Cl, que es ya notablemente mayor que la deposición atmosférica natural. El alto contenido en sulfato tiene similar explicación y está en proporción variable, aunque del mismo orden de magnitud que el Cl. El alto contenido en K relativo al sodio refuerza lo expuesto.

5.7.3 Pozos profundos

La información disponible consiste en

1.- Datos analíticos de la red de control de la calidad química de las aguas subterráneas de la CHD en los pozos de abastecimiento de Noviercas y de Pozalmuro. Son muestras anuales, de las que en las tablas del Anexo 3 se incluyen dos análisis de cada pozo, separados por una década. Las condiciones de muestreo no son las mismas cada vez ni la muestra es siempre directa del pozo en funcionamiento. La muestra de Noviercas está en relación con el depósito de agua, que recibe agua de dos pozos relativamente próximos, en proporción variable.

2.- Sondeos para la zona regable de Hinojosa del Campo

3.- Muestreo especial para complementar este estudio en la Fuente de Horcajo (parte alta de la MASb de Araviana), pozo de abastecimiento a Noviercas bombeado hasta total renovación del agua de la tubería que llega al depósito de abastecimiento municipal y manantial de Almenar. En el análisis químico de la muestra de la Fuente de Horcajo se ha repetido la determinación de Cl para aumentar la precisión y cuantificar el contenido.

4.- Se han utilizado tres análisis del río Manubles, que descarga el macizo del Moncayo hacia la cuenca del Ebro, en puntos próximos al área de estudio. Es un agua poco influenciada por la actividad humana y que representa las condiciones naturales de generación del agua subterránea. También la Fuente de Horcajo representa las condiciones naturales, ya que está en el faldeo de la Sierra del Madero y por encima de la línea de drenaje, donde no hay campos de cultivos extensos. Las aguas del río Manubles están exentas del efecto del aporte de fertilizantes agrícolas y posiblemente la Fuente de Horcajo.

Los resultados se muestran gráficamente en las Figuras 5.7.3 y 5.7.4 y las relaciones iónicas en las Figuras 5.7.5 y 5.7.6.

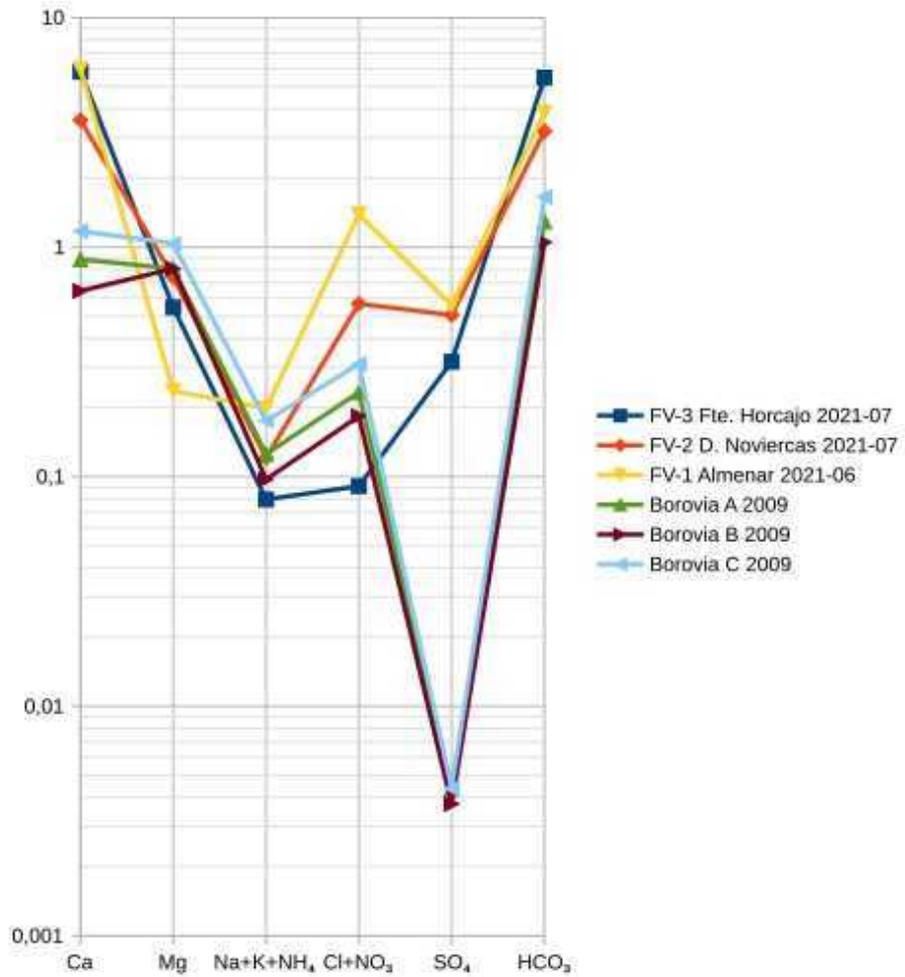


Figura 5.7.3 Diagrama de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Barkaloff) de las muestras de agua adicionales y del río Manubles (Borobia).

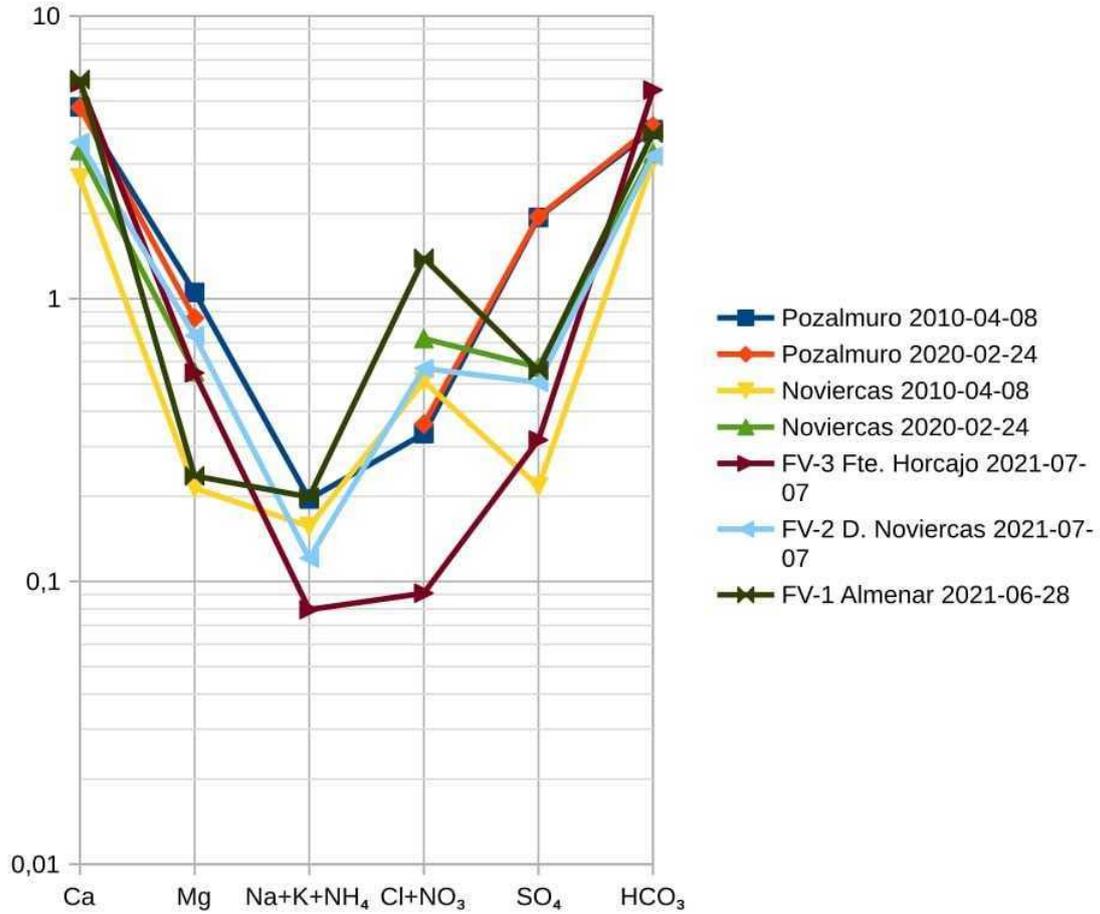


Figura 5.7.4 Diagrama de columnas verticales logarítmicas (Schoeller-Barkaloff) de las muestras de agua de los pozos profundos del entorno de la ubicación de la futura VN.

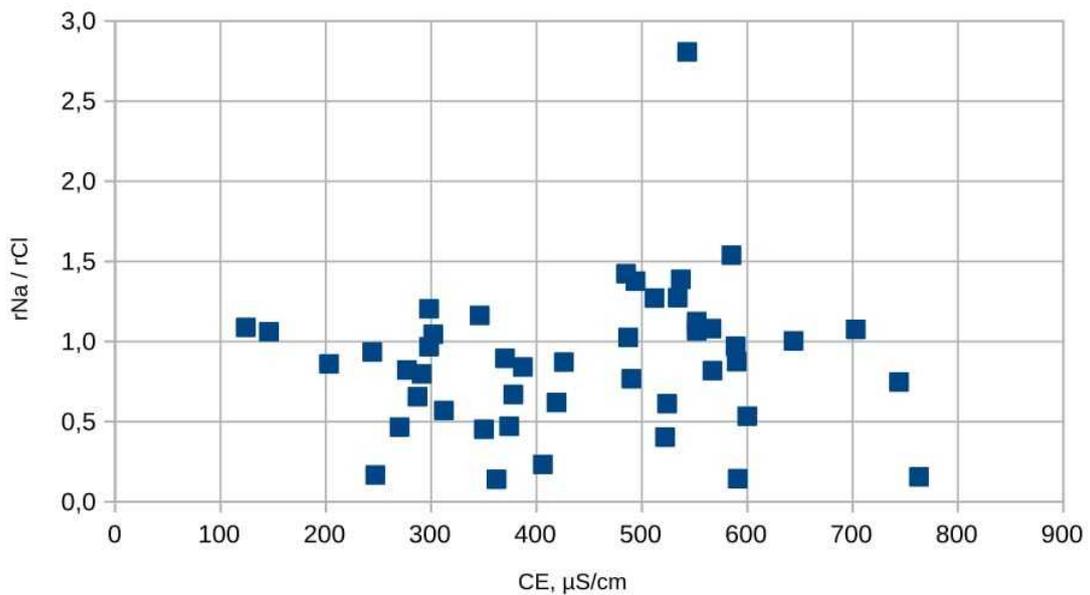


Figura 5.7.5 Relación entre la relación iónica rNa/rCl para los pozos con análisis químico y la conductividad eléctrica CE . El valor esperable en condiciones naturales con precipitación de

humedad atmosférica de origen marino (en este caso principalmente cantábrica y atlántica) es de 0,82. Los valores notablemente menores de la relación encontrados en diversas muestras señalan que el Cl procede mayormente de fertilizantes.

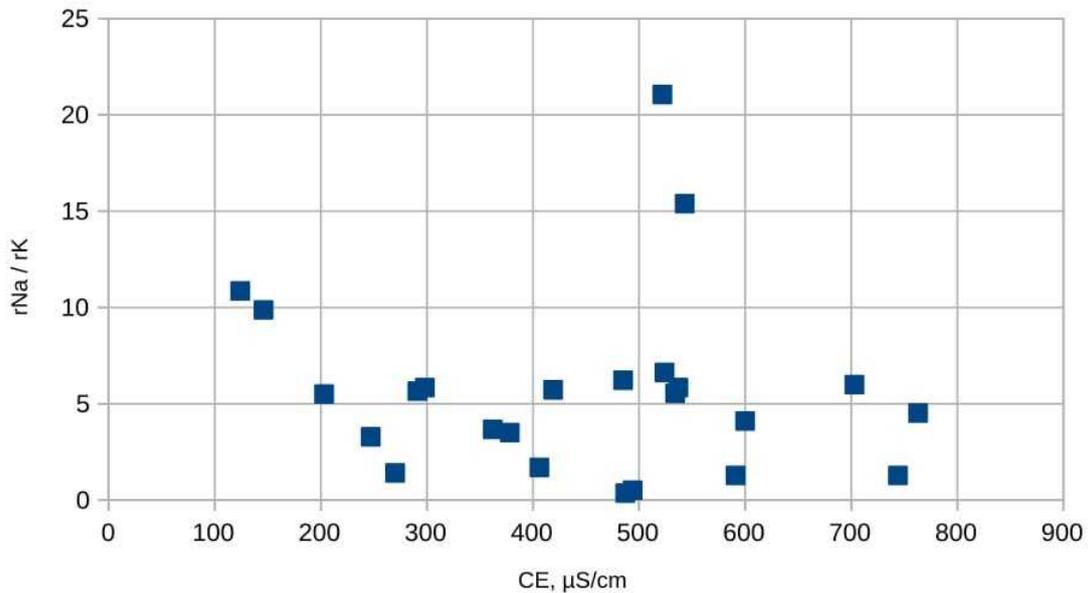


Figura 5.7.6 Relación entre la relación iónica rNa/rCl para los pozos con análisis químico y la conductividad eléctrica CE. El valor esperable en condiciones medias de meteorización a baja temperatura varía entre 10 y 20 para agua de precipitación y muy poco mineralizadas y vale en el entorno de 50 para las aguas de salinidad media. Los valores muy pequeños de la relación señalan que el K procede mayormente de fertilizantes.

Existe un notable exceso de K, Cl y SO₄ respecto al esperable según el contenido en Na, lo que indica una notable influencia del lixiviado de los fertilizantes aplicados en los campos agrícolas de secano, que son una notable porción del territorio y está de acuerdo con los relativamente elevados contenidos en nitratos.

Dado que la CHD dispone de datos analíticos detallados semestrales (aunque con huecos) de muestras de los pozos de abastecimiento a Pozalmuro y a Noviercas, entre 2010 y la actualidad, se ha analizado la estabilidad y posibles tendencias. En la Tabla 5.7.3 se muestran los valores medianos y la desviación estándar.

Tabla 5.7.3 Valores medianos y desviación estándar de los datos analíticos de la CHD detallados semestrales (aunque con huecos) de muestras de los pozos de abastecimiento a Pozalmuro y a Noviercas, entre 2010 y la actualidad.

| mg/L | Ca | Mg | Na | K | Cl | SO ₄ | HCO ₃ | NO ₃ | CE | pH |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|------------------|-----------------|-----|-----|
| Pozalmuro | | | | | | | | | | |
| Mediana | 104 | 13 | 3,5 | 1,1 | 4,8 | 95 | 250 | 14 | 545 | 7,8 |
| D. estándar | 6 | 1 | 0,6 | 4,8 | 1,5 | 5 | 44 | 1 | 114 | 0,8 |
| Noviercas | | | | | | | | | | |
| Mediana | 62 | 2,6 | 3,1 | 1,1 | 8,1 | 15 | 190 | 28 | 350 | 7,8 |
| D. estándar | 11 | 4,5 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 10 | 30 | 3 | 66 | 1,2 |

En la Figura 5.7.7 se representan los análisis iónicos mayoritarios del pozo de Noviercas a partir de los datos de la red de calidad del agua de la CHD. El agua muestreada se alimenta de dos pozos profundos próximos, en condiciones variables a lo largo del tiempo. Se aprecia la tendencia progresiva a mayor contaminación de origen agrícola.

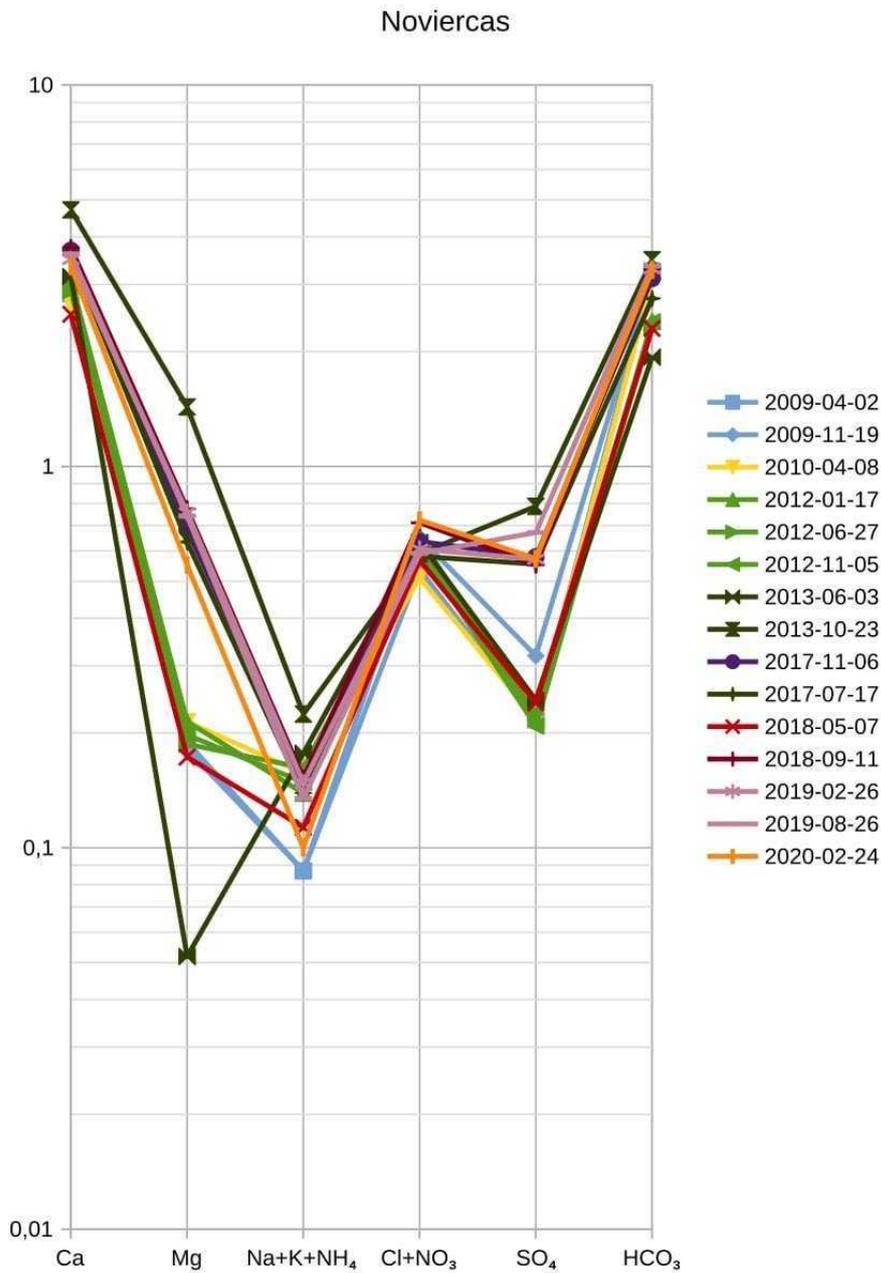


Figura 5.7.7 Representación de los análisis iónicos mayoritarios del pozo de Noviercas a partir de los datos de la red de calidad del agua de la CHD.

En la Figura 5.7.8 se representan los análisis iónicos mayoritarios del pozo de Pozalmuro a partir de los datos de la red de calidad del agua de la CHD. No se aprecia una tendencia progresiva a mayor contaminación de origen agrícola.

Pozalmuro

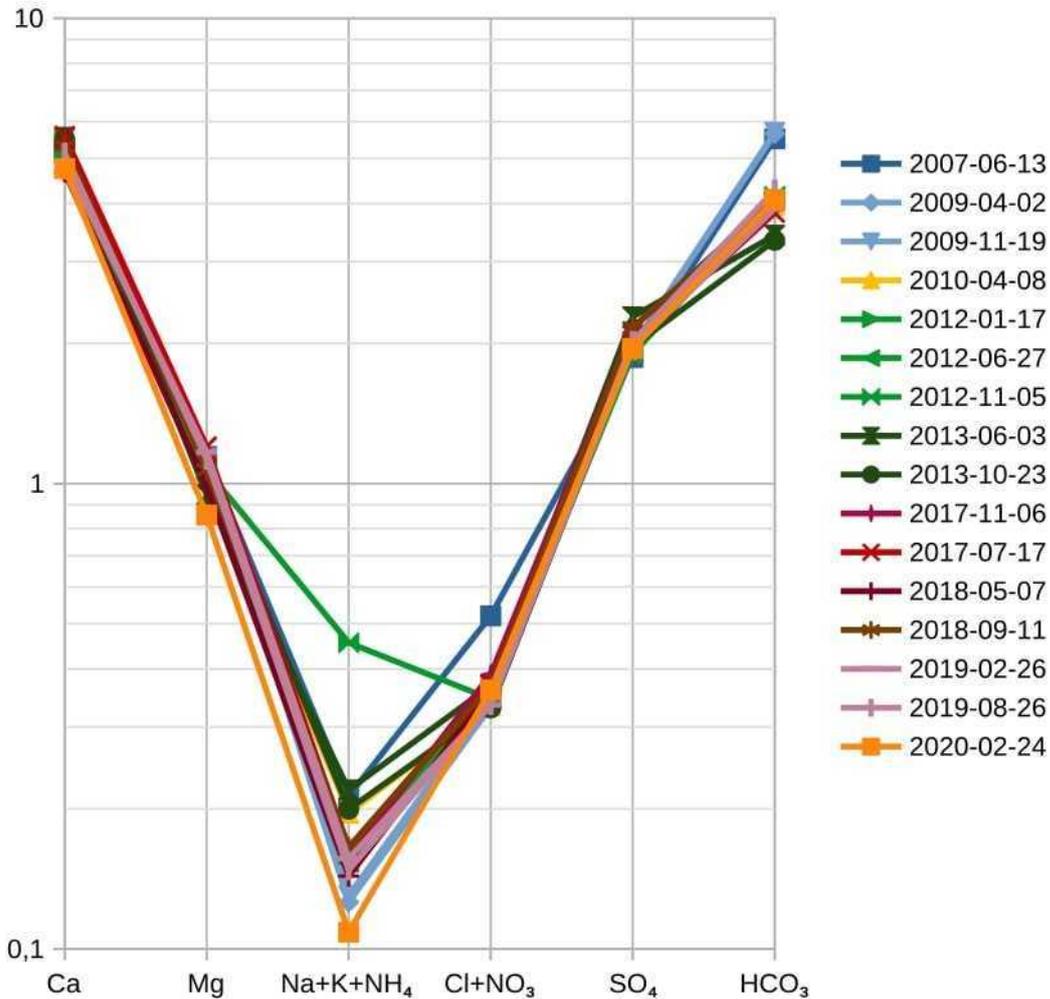


Figura 5.7.8 Representación de los análisis iónicos mayoritarios del pozo de Pozalmuro a partir de los datos de la red de calidad del agua de la CHD.

Cada pozo tiene una composición aceptablemente estable, en especial considerando que el muestreo no se ha hecho en iguales condiciones hidrodinámicas. Estudiando las relaciones iónicas en su rango más representativo se obtiene lo que muestra la Tabla 5.7.4

Tabla 5.7.4 Rango más frecuente de variación de las relaciones iónicas características de muestras de los pozos de abastecimiento a Pozalmuro y a Noviercas, entre 2010 y la actualidad.

| R = meq/L | rNa/rK | evolución | rNa/rCl | evolución | rSO ₄ /rCl | evolución |
|-----------|---------|------------|---------|-----------|-----------------------|-----------|
| Pozalmuro | 5,5-6,3 | (descenso) | 0,8-1,4 | estable | 14-17 | estable |
| Noviercas | 3,5-6,2 | ascenso | 0,6-1,0 | estable | 1,1-4,1 | ascenso |

Se aprecia un crecimiento de Cl y K, y menos acusado de SO₄, de SE a NW, por lo menos hasta el manantial de Almenar. Esto está de acuerdo con la progresiva incorporación de fertilizantes lixiviados de los campos agrícolas. La descarga principal de solutos posiblemente se realiza directamente al río Duero y ríos tributarios en el tramo próximo a Soria. Los escasos datos

disponibles y la incertidumbre de la representatividad de algunas muestras no permiten en estos momentos una cuantificación de flujos.

5.7.4 Valores isotópicos del agua

Para este estudio se han tomado y analizado tres muestras de agua para determinar el contenido isotópico estable, con los resultados de la Tabla 5.7.5. El exceso de deuterio d se ha calculado según la forma clásica $d = \delta^2\text{H}\text{‰} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}\text{‰}$.

Tabla 5.7.5 Resultados de las determinaciones isotópicas estables de muestras de agua subterránea, tomadas el 05-07-2021 y analizadas en la Universidad Autónoma de Madrid. Las determinaciones tienen una incertidumbre de 0,1‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y 1‰ para $\delta^2\text{H}$. El exceso de deuterio d se calculado como $d = \delta^2\text{H}\text{‰} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}\text{‰}$. Valores relativos al V-SMOW.

| Muestra | $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ V-SMOW | $\delta^2\text{H}\text{‰}$ V-SMOW | $d\text{‰}$ |
|----------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Fuente de Horcajo | -9,25 | -63,5 | 10,5 |
| Pozo de Noviercas | -9,03 | -64,1 | 8,14 |
| Manantial de Almenar | -8,15 | -58,5 | 6,70 |

Aunque con sólo tres determinaciones no es posible hacer deducciones con garantía, se manifiestan y confirman los rasgos antes comentados al estudiar los análisis químicos del agua subterránea.

1.- El valor $d = 10,5\text{‰}$ en el lado oriental está de acuerdo con el origen atlántico de las precipitaciones, con contenidos ligeros que corresponden a la altitud y clima locales.

2.- El aumento de d hacia el W parece indicar un progresivo mayor efecto de la recarga por la precipitación en terrenos sin vegetación o con largos periodos de barbecho, cuando el agua del suelo sufre un cierto fraccionamiento isotópico por difusión de vapor en el suelo durante la evaporación, en vez de por transpiración de las plantas. No es probable que sea debido a evaporación de las precipitaciones menores durante la caída y, en caso de tener alguna relevancia, no afectaría a la recarga por no contribuir significativamente.

3.- Parece que el enriquecimiento isotópico de E a W, tratando de corregir el efecto de fraccionamiento difusivo, indica que en Noviercas hay recarga procedente del lado E y hacia el W la componente local es mayor y de acuerdo con el cambio de altitud entre 100 a 200 m, considerando un gradiente altitudinal normal de -0,4 a -0,7 $\delta^{18}\text{O}\text{‰}/100$ m (RAEMIA, 2019).

5.8 Estimación de la recarga media en el área de Noviercas por balance de la deposición atmosférica de cloruro

No hay datos sobre la deposición de cloruros en el área de Noviercas. Por eso, como primera estimación se recurre a lo publicado en forma cartográfica en Alcalá y Custodio (2012) para toda la península Ibérica. Se dan los valores medios a largo plazo y el coeficiente de variación $\text{CV} = \text{media} / \text{desviación estándar}$.

Precipitación media = 400-550 mm/a CV = 0,21-0,27

Deposición atmosférica media de cloruro = 0,4-0,6 g/m²/a CV = 0,25-0,30

Concentración media de cloruro en la recarga = 2,3- 5,5 mg/L CV = 0,22-0,32

Exportación media de cloruro con la escorrentía = 0,02-0,04 g/m²/a CV = 0,30-0,32

La ubicación en un área rápidamente cambiante, junto con la escasez de datos básicos, es la causa de la notoria incertidumbre.

Los anteriores valores del agua son comparables a los observados en primera aproximación. Los datos químicos disponibles del agua subterránea profunda indican un contenido en cloruros para el área de Noviercas de $8,1 \pm 0,7$ mg/L Cl y $4,8 \pm 1,5$ mg/L en Pozalmuro, en la parte superior y por encima del rango indicado, considerando la incertidumbre. Como se comenta en el análisis hidrogeoquímico, estos valores observados pueden estar incrementados a causa del aporte del lixiviado de fertilizantes, considerando el Cl que correspondería al contenido en ion Na según la relación marina. Sin embargo, son coherentes con los datos de la Fuente de Horcajo y del río Manubles antes de Borobia, que es de 3,4 a 7,6 mg/L. Así, la estimación de la recarga parece que es un valor asumible para el área. Para primeras estimaciones, parece razonable adoptar un valor medio de la recarga de 60 a 80 mm/año en áreas de Terciario y de 100 a 130 mm/a en áreas de Mesozoico, o sea el 11% al 14% y el 18% al 23% de la precipitación media de 554 mm/a en Noviercas, respectivamente.

5.9 Estimación de la recarga y de los tiempos renovación

5.9.1 Consideraciones sobre la recarga en la unidad hidrogeológica del Alto Duero

Las siguientes consideraciones se basan en la escasa información disponible sobre la recarga en el territorio del sistema acuífero aquí denominado UHAD.

La recarga a los acuíferos es un valor cuya cuantificación tiene asociada una notoria incertidumbre, tanto intrínseca como por la cantidad y calidad de la información de que se dispone para su medida o su evaluación. Esto se discute en detalle en RAEMIA (2019), donde además se aportan las bases y comentarios de los modelos de cálculo de que se dispone.

La recarga difusa, la producida por la lluvia sobre el territorio, predomina en el área considerada. Hay cierta recarga localizada en algunos tramos de cauce, procedente de manantiales cuyo caudal se infiltra aguas abajo. La recarga difusa depende del clima, precipitación y su régimen, tipo de suelo y uso del territorio. Varía con la altitud, ya que con ella cambia la precipitación media anual. El área de estudio está predominantemente entre altitudes de 1000 y 1100 m snm, pero son notablemente mayores en el Moncayo (2314 m de altitud máxima) y sus faldeos, donde además de una mayor pluviometría hay amplias áreas de territorio con afloramientos de carbonatos fracturados y karstificados.

La evaluación de la recarga en clima semiárido depende de la diferencia entre precipitación y evapotranspiración real, con una evapotranspiración potencial que es notablemente superior a la precipitación y por tanto su evaluación mediante balances de agua en el suelo es una diferencia entre valores parecidos, con lo que aumenta la incertidumbre. Además, la recarga depende mucho de eventos lluviosos intensos concentrados. Los balances de agua en el suelo mensuales producen errores debidos a la suavización de los eventos de lluvia, de modo que es muy aconsejable la realización de balances diarios. No obstante, los balances mensuales pueden ser suficientes para evaluar las necesidades de riego en las áreas en que se plantea una transformación agraria, como en Hinojosa del Campo, pero la recarga que se deduce de esos balances suele estar subvalorada, a menos de haber utilizado parámetros del suelo distintos a los físicos y cuya calibración se desconoce. No obstante, el hecho de que el periodo de déficit de humedad del agua en el suelo sea de unos dos meses, hace que las estimaciones

de los balances mensuales estén posiblemente sólo moderadamente subvaloradas. En esta área, la escorrentía superficial es en general pequeña, de modo que gran parte de lo que se calcula como excedente se puede tomar como recarga.

En el estudio agronómico para el establecimiento de un área de regadío de hortalizas en Hinojosa del Campo (JCyL, 2010a) se realizaron balances mensuales del agua en el suelo que se pretende cultivar (actualmente ya hay una parte pequeña en explotación). Los datos son los de la estación pluviométrica próxima de Pozalmuro, completada con los datos de temperatura de la estación de Soria (Tabla 5.9.1).

Tabla 5.9.1 Estaciones meteorológicas próximas

| Estación | latitud | longitud | altitud, m | periodo | tipo |
|-----------|---------|----------|------------|-----------|------|
| Soria | 41°46'N | 02°28'W | 1082 | 1951-2001 | T, P |
| Pozalmuro | 41°46'N | 02°06'W | 1054 | 1951-2001 | P |

Se evalúa una ETP de 895 mm/a (Blaney-Criddle), 1029 mm/a (Hargreaves-Samani) y 1047 mm/a (Penman-Monteith), con un excedente medio de 98 mm/a. Descontando una posible escorrentía media de unos 10 mm/a, la recarga media en las áreas llanas con suelo es próxima a 90 mm/a, aunque podría estar algo sobrestimada. Este valor de recarga es coherente con el que se da en el Apartado 5.8.

En la tesis doctoral resumida en Sanz Pérez (1986) se estudian las descargas del manantial de Vozmediano, que drena la parte norte del Moncayo y sus depósitos de carbonatos karstificados. El manantial está a 905 m de altitud y representa a la zona alta del área de estudio, aunque su recarga se produce fuera de la misma. Descarga un caudal medio de unos 1100 L/s. La cuenca que se drena por el manantial se evalúa en 130 km², de los que 40 km² están en la Cuenca del Ebro y 90 km² en la del Duero. Esto supone un valor promedio de recarga de 266 mm/a. Este valor parece excesivo y posiblemente no representa al área en estudio, menos alta y con suelo desarrollado en buena parte del territorio. En este trabajo de tesis, la precipitación se correlaciona con la altitud y es mayor hacia el N que hacia el S, desde >600 mm/a en Noviercas (promedio de 554 mm/a en la localidad) y 1100 mm/a en el Moncayo. Se concluye con una relación entre valores medios anuales de R = recarga y P = precipitación de $R = 0,59P - 150$ mm/a (coeficientes redondeados). Así, R = 175 mm/a para P = 550mm/a y R = 440 mm/a para P = 1000 mm/a. Estos valores parecen muy sobrevalorados y no aplicables al territorio no montañoso.

Para este estudio preliminar no se han podido completar balances de agua diarios en diversos escenarios con el código Balan y el modelo (VisualBALAN) (RAEMIA, 2019), ya que en el tiempo disponible no se ha conseguido disponer de los datos diarios de precipitación y clima en series suficientemente largas, completadas y contrastadas.

A nivel más regional, en los PHD y trabajos del IGME (2007) se calcula un incremento medio de caudal de aproximadamente 120 hm³/año entre las estaciones foronómicas del río Duero de Garray-Soria (cuenca de 1458 km²) y la de Gormaz (cuenca de 5073 km²). Esto supone una escorrentía total media de 33 mm/año, sin corregir por el uso consuntivo del agua en el área. Este valor pequeño respecto a los del balance hídrico en el suelo y de deposición de ion cloruro, en parte muestra el efecto de algo menor precipitación y sobre todo de la mucho

menor proporción de afloramientos carbonatados y suelos notablemente más retentivos de agua. Esto refuerza que la adopción de valores mayores antes indicados sea lo más razonable.

5.9.2 Tiempos de tránsito y renovación en los acuíferos del sistema del Alto Duero

El tiempo medio para que la recarga generada en el suelo llegue al nivel freático regional se puede estimar como $t = H \cdot \theta / R$, en la que H = espesor del medio no saturado, θ = humedad del medio no saturado y R = recarga media anual. Utilizando valores característicos del área de estudio:

*Terrenos agrícolas en formaciones del Terciario: $H = 50$ m; $\theta = 0,1$; $R = 80$ mm/a $\rightarrow t \approx 60$ años

*Áreas de afloramientos Mesozoicos: $H = 80$ m; $\theta = 0,05$; $R = 120$ mm/a $\rightarrow t \approx 30$ años.

Estos tiempos son totalmente compatibles con la alteración química observada en el acuífero, ya que el empleo de fertilizantes se hace desde hace unas 6 a 7 décadas. Cabe esperar una dispersión del frente de concentraciones a causa de la heterogeneidad en sentido vertical, con una llegada diluida y progresivamente más concentrada.

Se puede obtener una primera aproximación de la evolución temporal de las concentraciones como resultado de la aplicación de contaminantes que llegan al acuífero en el tiempo $t = 0$, con el retraso desde el momento del inicio de las aplicaciones debido al paso por el medio no saturado. Se hace considerando al acuífero como un único reservorio de superficie S , espesor b y porosidad m , que contiene agua subterránea con una concentración homogeneizada C de un determinado componente iónico.

Se considera que por el límite de la parte superior entra un caudal Q_0 con concentración C_0 y que por la parte inferior se descarga esta cantidad más la recarga R , con la concentración C en el acuífero. En el reservorio, C varía con el tiempo, de modo que se modifica la cantidad de soluto almacenado.

El balance es:

entradas por el límite aguas arriba y por recarga - salidas = aumento en el almacenamiento

$$\text{Balance estacionario de agua } Q_0 + S \cdot R = (Q_0 + R \cdot S)$$

Balance de masa para los iones que no tienen procedencia litológica dominante

$$Q_0 \cdot C_0 + (P \cdot C_p + A)S - (Q_0 + R \cdot S)C = S \cdot b \cdot m \cdot dC/dt$$

en la que D = deposición total atmosférica = $P \cdot C_p$, con P = precipitación, C_p = concentración en la precipitación, A = aporte de fertilizante lixiviado y t = tiempo.

$$\text{Así resulta } dC/dt = -((Q_0 + R \cdot S)/Sbm)C + (Q_0 \cdot C_0 + (D + A)S)/Sbm = -MC + N$$

$$\text{siendo } M = (Q_0 + R \cdot S)/S \cdot b \cdot m ; N = (Q_0 \cdot C_0 + (D + A)S)/S \cdot b \cdot m$$

La resolución es: $\ln(C + M/N) = -Mt + K$ con K = constante de integración

$$\text{Con la condición } C = C_0 \text{ en } t = 0 \rightarrow (C + M/N)/(C_0 + M/N) = e^{-Mt} \rightarrow C = [1/(C_0 + M/N)]e^{-Mt} + M/N$$

$$\text{que para tiempo grande tiende a } C_a = (Q_0 C_0 + (D + A)S)/(Q_0 + R \cdot S)$$

$$\text{y que para } Q_0 = 0 \text{ es } C'_a = (D + A)/R$$

$$\text{Para } Q_0 = 0 \text{ es } M = R/(b \cdot m)$$

1/M es el tiempo característico. Cuando la concentración inicial es C_0 y la final C_{max} , el cambio en un cierto momento t viene dado por $f = (C - C_0)/(C_{max} - C_0)$. Para $t = 1/M$ es $f = 1 - 1/e = 0,64$ y para un cambio de $f = 0,9$ es $t = \ln 10/M = 2,30/M$.

Para estimar a grandes rasgos D y A se parte de:

*Para D: composición marina de la deposición atmosférica total, con el dato del Apartado 5.8 para el Cl

*Para A: datos de la aplicación estimada de fertilizante del Apartado 5.7.2 con k = fracción lixiviada estimada y suponiendo que el N se aporta como nitrato amónico-cálcico al 27% de N, P como superfosfato resultante de la reacción $Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4 = 2H_2PO_4^- + 3CaSO_4 + 2H^+$ que es la fuente de SO_4 , y K del KCl, que origina el Cl.

En la Tabla 5.9.2 se indican las estimaciones de D y A

Tabla 5.9.2 Estimaciones de D y A en $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ para el valor de k indicado y el valor de C'_a resultante en mg/L, para $R = 100$ mm/a. Con $b = 100$ m y $m = 0,1$ el valor inverso del coeficiente de tiempo es 100 a.

| Especie iónica | Cl | SO ₄ | NO ₃ | K |
|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------|
| k_D | 1 | 1 | 0,2 | 0,5 |
| D | 0,4-0,6 | 0,6-1,0 | 0,0 | 0,05-0,07 |
| k_A | 1 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| A | 1,4 | 15 | 15 | 0,9 |
| C'_a | 19 | 160 | 150 | 10 |

El elevado valor estimado de 100 años para el tiempo característico parece exagerado de acuerdo con lo observado, aunque se trata de apreciaciones inciertas. Parece más realista reducir el producto $b \cdot m$ efectivo, o sea un acuífero activo menos potente y/o con menor porosidad cinemática (la que participa en el flujo, es decir, sin considerar los poros aislados).

El cambio realizado según los valores estimados de la composición inicial (modificada de las determinaciones analíticas de Fuente de Horcajo y río Manubles) de la recarga actual (supuesta similar a la de los datos analíticos de los sondeos realizados en lo que se prevé el futuro emplazamiento de las balsas) y la información de los pozos de Noviercas y Pozalmuro, es el indicado en la Tabla 5.9.3. No hay coherencia entre los valores de f . Se puede explicar por no ser homogénea la distribución espacial de concentraciones en el acuífero y en la recarga y la escasez de datos contrastados. El flujo de agua subterránea de entrada puede tener importancia, ya que afecta a la distribución de las concentraciones.

Tabla 5.9.3 Cambio de $f = (C - C_0)/(C_{max} - C_0)$ realizado según los valores estimados de la composición inicial (modificada de las determinaciones analíticas de la Fuente de Horcajo y el río Manubles), de la recarga actual (supuesta similar a la de los datos analíticos de los sondeos realizados en lo que se prevé el futuro emplazamiento de las balsas) y la información de los pozos de Noviercas y Pozalmuro. Concentraciones en mg/L.

| | Cl | SO ₄ | NO ₃ | K |
|---------|----|-----------------|-----------------|-----|
| Inicial | 5 | 2 | 5 | 0,5 |
| Recarga | 8 | 100 | 50 | 2 |

| | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|
| Noviercas | 8 | 15 | 30 | 2 |
| f Noviercas | 1,0 | 0,1 | 0,6 | 1,0 |
| Pozalmuro | 5 | 95 | 15 | 2 |
| f Pozalmuro | 0,0 | 1,0 | 0,2 | 1,0 |

5.9.3 Tiempo de respuesta hidráulica / retraso

Una modificación hidráulica de las condiciones del acuífero se traduce a largo plazo en una modificación en igual magnitud de las descargas respecto a las recargas y extracciones o modificaciones en la evaporación en humedales. Sin embargo, la modificación implica una variación de las reservas de agua subterránea, que se traduce en cambios en el nivel piezométrico. Esto supone un retraso en la respuesta, con una lenta evolución hacia el estado final, tanto mayor cuanto mayor sea la reserva comparada con la recarga o descarga anuales.

El retraso τ , que a grandes rasgos es el tiempo para completar el 80% del cambio ($f = 0,8$), se puede estimar, dependiendo de las características y forma del acuífero, mediante $\tau = L^2S/T$ (Custodio y Llamas, 1976/1983), en la que L es una medida del tamaño del acuífero, S el coeficiente de almacenamiento y T la transmisividad hidráulica. Para un acuífero no alargado se puede tomar como L la raíz cuadrada de la superficie.

Para una primera evaluación, en el acuífero Mesozoico del Alto Duero se puede establecer, para $S =$ porosidad drenable/lleable en cuanto a la evolución a largo plazo:

Tamaño moderado y medio de alta transmisividad: $L = 20$ km; $S = 0.1$; $T = 2000$ m²/d $\rightarrow \tau \approx 70$ años

Tamaño grande y medio de moderada transmisividad: $L = 50$ km; $S = 0.05$; $T = 500$ m²/d $\rightarrow \tau \approx 100$ años.

Inicialmente se pueden producir cambios más rápidos, en especial en los niveles piezométricos de sondeos profundos, debido al comportamiento semiconfinado inicial de las partes más profundas del sistema acuífero.

El tiempo de renovación es el cociente entre las reservas de agua subterránea que se pueden movilizar y la recarga total, o sea el cociente entre la lámina de agua en el medio no saturado activa y la recarga. $t_r = b.m/R$, en la que $t_r =$ tiempo estimado de renovación; b espesor saturado activo; $m =$ porosidad total en poros conectados.

Para el acuífero Mesozoico del Alto Duero, para una primera evaluación y utilizando valores efectivos (se supone que el resto es inmóvil a efectos hidrodinámicos a la escala decenal), se puede establecer:

*Áreas con Mesozoico: $b = 100$ m; $m = 0,05$; $R = 120$ mm/a $\rightarrow t_r = 42$ años

*Áreas con Terciario sobre Mesozoico: $b = 200$ m; $m = 0,1$; $R = 80$ mm/a $\rightarrow t_r = 250$ años

El tiempo de renovación, que para el conjunto tiene un valor medio en torno a 150 años, supera ampliamente al tiempo desde cuando se debió haber iniciado la fertilización intensiva de los campos de cultivo, pero es compatible con una recarga de notable grado de contaminación que se acumula progresivamente en la parte superior del medio saturado y que se diluye al muestrear por bombeo en pozos profundos. En las áreas de recarga, que es gran

parte del territorio, estos pozos profundos además favorecen la dispersión hacia abajo de los contaminantes derivados de los fertilizantes.

5.9.4 Evolución de las concentraciones según tubos de flujo de agua subterránea

Se puede efectuar un cálculo preliminar simplificado de la evolución de la composición química media del acuífero a lo largo de una línea de flujo, aunque la realidad es más compleja por la estratificación y porque el flujo no es 1-D sino 3-D. Se parte de un tubo de flujo que abarca todo el espesor del acuífero y que se inicia en la parte alta del río Araviana y evoluciona hacia el río Duero, sin descargas intermedias significativas, con recarga a lo largo de todo el recorrido y aplicación de fertilizantes en superficie. Se considera un ion determinado. Las mismas ecuaciones son aplicables al contenido en Na, Cl, SO₄, NO₃ y K, que proceden predominantemente de la deposición total de la precipitación y de la aplicación de fertilizantes. Los iones Ca, Mg y HCO₃ no se consideran pues tienen una procedencia litológica dominante.

Para régimen estacionario y las siguientes variables:

x = recorrido a lo largo del tubo de flujo, con origen en la parte alta del río Araviana

C_p = concentración en la precipitación, incluyendo la deposición seca, suponiendo que no varía a lo largo del recorrido

C = concentración en el acuífero, en x, en flujo, que se corresponde con muestras bombeadas de pozos o de manantiales regionales

A = aporte con el fertilizante que se lixivia con la recarga

P = precipitación media, supuesta constante

R = recarga por infiltración de la precipitación, supuesta constante

En el lugar de recorrido x desde el origen:

q = flujo (caudal) de agua subterránea para un tubo de flujo de ancho unitario = R·x + q₀

con q₀ = flujo entrante por el límite de la parte alta, con concentración C₀

m = flujo másico con el agua subterránea = A·x + P·C_p·x + q₀·C₀

$C = (A \cdot x + P \cdot C_p \cdot x + q_0 \cdot C_0) / (R \cdot x + q_0)$

Se ha de utilizar un sistema de unidades coherente, como A en g·m⁻²·a⁻¹; P y R en m/a; C, C_p y C₀ en g/m³

En el caso que q₀ = 0 (sin entrada por la parte alta)

$C = m/q = (A + P \cdot C_p) / R \rightarrow A = C \cdot R - P \cdot C_p$

que expresa el valor de A cuando C es constante en el acuífero. De otro modo, C varía al crecer x, que es lo que parece observarse.

Al no disponerse de determinaciones de la deposición atmosférica total, no es posible obtener valores absolutos de A y R, pero admitiendo que el Na es predominantemente de origen atmosférico, se determinó en el Apartado 5.9 que para P = 554 mm/a es R ≈ 100 mm/a en primera aproximación. Así: A = 0,1C – 0,55C₀ y C₀ se deriva de los datos del río Manubles en Borobia.

Balance de flujo: $dq = R \cdot dx \rightarrow q = R \cdot x + K$, con K = constante de integración

Balance de masa: $dm = d(C \cdot q) = q \cdot dC + C \cdot dq = A \cdot dx + C_0 R \cdot dx = (C_0 + A/R)R \cdot dx$

y combinándolas

$$R(C_0 - C + A/R) = (R \cdot x + K)dC \rightarrow dC/(C_0 - C + A/R) = dx(x + K/R)$$

Con los cambios de variable $C' = C_0 - C + A/R$; $x' = x + K/R \rightarrow dC'/C' = dx'/x' \rightarrow$

$\ln C' = K' \cdot \ln x'$, con K' la segunda variable de integración.

El resultado es

$$C = C_0 + A/R - KK'/R - K' \cdot x$$

Las condiciones de contorno para la determinación de las constantes son:

$C = C_0$ en $x = 0$; $C = C_1$ para $x = x_1$ siendo 1 un punto del recorrido con concentración conocida.

5.9.5 Consideraciones sobre la variación del aporte de solutos

Está previsto reunir en una balsa de retención las aguas de escorrentía pluvial y en otras dos balsas las aguas usadas depuradas procedentes de la vaquería. La composición de las aguas pluviales será la de la lluvia local más las sales solubles contenidas en el polvo depositado de origen regional y local. La composición de las aguas usadas depuradas será la resultante de un proceso intenso de depuración incrementado por desnitrificación y retención de fósforo, por acuerdo con la administración, hasta conseguir la calidad establecida por la Confederación para vertido a cauce. El contenido iónico por unidad de tiempo es el que corresponde al agua de abastecimiento, incrementada por el derivado de la alimentación del ganado y en menor proporción de los reactivos químicos que requiere el proceso de producción, limpieza y sanitario. Estos aspectos no forman parte de este estudio y se carece de datos suficientes para realizar estimaciones confiables. En principio se estima a grandes rasgos un incremento de las concentraciones de unos 100 mg/L de Cl y 100 mg/L de SO_4 en un total de menos de 1 hm^3/a de agua usada, que incluye la de abastecimiento y la contenida en el forraje, menos la evaporación, y más unos 0,05 a 0,1 hm^3/a de aguas pluviales, según el área cubierta, la precipitación local y la evaporación.

Está previsto que la parte no evaporada del agua de las balsas (tanto la balsa de recogida de aguas pluviales limpias, como las dos balsas de recogida de las aguas depuradas) se destine a riego de forraje en los terrenos adyacentes de la propiedad. Los retornos de riego reciben el contenido salino del agua de riego más el lixiviado de los fertilizantes que se han de aplicar. Para el riego de forrajes se supone una dotación de 4000 a 5000 $m^3/ha/a$, de modo que se dispondrá de agua para el riego tecnificado y controlado de una superficie alrededor de 225 ha, mayor que la superficie de 83 ha no construidas en los terrenos de la promotora. En esa superficie y en la construida se ha dejado de aplicar la fertilización practicada en el secano actual.

No se dispone de un balance de solutos suficientemente soportado, pero en primera estimación no se estima una variación importante en el aporte salino al acuífero respecto a la situación de agricultura de secano.

Si se llegasen a producir infiltraciones importantes en las balsas, a pesar de las medidas ingenieriles para evitarlo, la afección al agua del acuífero sería presumiblemente nula en cuanto a la calidad y favorable en cuanto a la cantidad.

6 Modelo hidrogeológico conceptual de funcionamiento del sistema

6.1 Planteamiento

Según los objetivos de este estudio, interesa específicamente el entorno próximo a los terrenos donde se ubicará la futura granja, pero teniendo en cuenta que se sitúa dentro de una división administrativa hidrológica que es la MASb Araviana y ésta pertenece a una unidad hidrogeológica más extensa. Todo esto se ha tenido en cuenta en los apartados anteriores. En lo que sigue se pone el foco en la caracterización hidrogeológica de la futura VN.

6.2 Aspectos clave identificados

Los terrenos de la futura granja ocupan el núcleo de un gran sinclinal (Figura 5.3.5) que se cierra periclinalmente por el N y el E. Por el S y el W, los límites son más difusos. Este extenso sinclinal está en parte bajo depósitos continentales del Terciario y Pliocuaternalio, que no obstante dejan entrever la continuidad de esta estructura. Los materiales del Cretácico se superponen a los del Jurásico y serán los primeros que se encuentran con alta probabilidad en la vertical de la granja, tras atravesar los depósitos del Pliocuaternalio y Terciario. Los materiales interesantes para la obtención de agua de abastecimiento son los mesozoicos y más concretamente los del Jurásico. Esto se comprueba tanto por la cartografía y afloramientos que presenta el mapa geológico (Figura 5.3.4), como por las observaciones de campo (karstificación, sumideros, dolinas asociadas al karst, columnas estratigráficas, etc.) y las observaciones de infiltración del agua de los cauces al substrato jurásico y cretácico. Los autores que han trabajado en la zona o en áreas próximas de similares características (Sánchez-Navarro y de Leiva 2008; Sanz Pérez 1886,1987; Coloma, 1999; García Gil, 2012) identifican al Jurásico como el principal acuífero a explotar, como así lo parecen confirmar los sondeos muy productivos practicados para futuro regadío en Hinojosa de Campo.

Las futuras balsas se dispondrán excavadas en los terrenos del Terciario y Pliocuaternalio que cubren el núcleo del sinclinal. Los sondeos geofísicos eléctricos verticales (Figura 6.2.1) realizados por Geoterra (2020a) indican un espesor de unos 50 m para el conjunto Terciario y Pliocuaternalio, de composición básicamente limo-arcillosa (Apéndice A2).

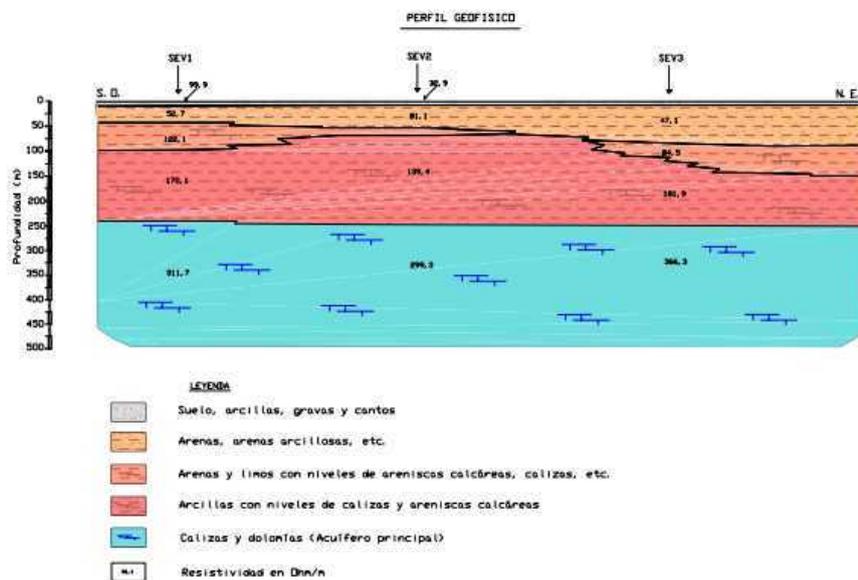


Figura 6.2.1. Corte geofísico de los terrenos donde se ubicará la granja. La posible columna estratigráfica standard del subsuelo sería: de 0 a 50 m Pliocuaternario y Terciario, de 50 a 250m Cretácico y Jurásico de 250 a 450 m (límite de interpretación de los sondeos geofísicos). Tomado de Geoterra (2020 a) (Apéndice A2).

Se ha realizado un estudio mediante tomografía eléctrica de la zona de las balsas (Geoterra, 2020b). La interpretación se muestra en la Figura 6.2.2. Destaca la presencia de amplias áreas de baja resistividad eléctrica, que se interpretan como presencia dominante de arcillas y arcillas arenosas. El primer perfil muestra una capa superficial más resistiva atribuible a la presencia de gravas y cantos fácilmente identificables en el terreno y que se atribuye a la “raña” del Pliocuaternario. Los perfiles 2º y 3º de la Figura 6.2.2 muestran un aumento de la resistividad a partir de los 10 m de profundidad, en principio atribuible a capas más arenos-arcillosas o bien a una débil cementación carbonatada en la matriz del sedimento. En el Apéndice 1, junto a las columnas de los piezómetros, hay fotografías de los testigos.

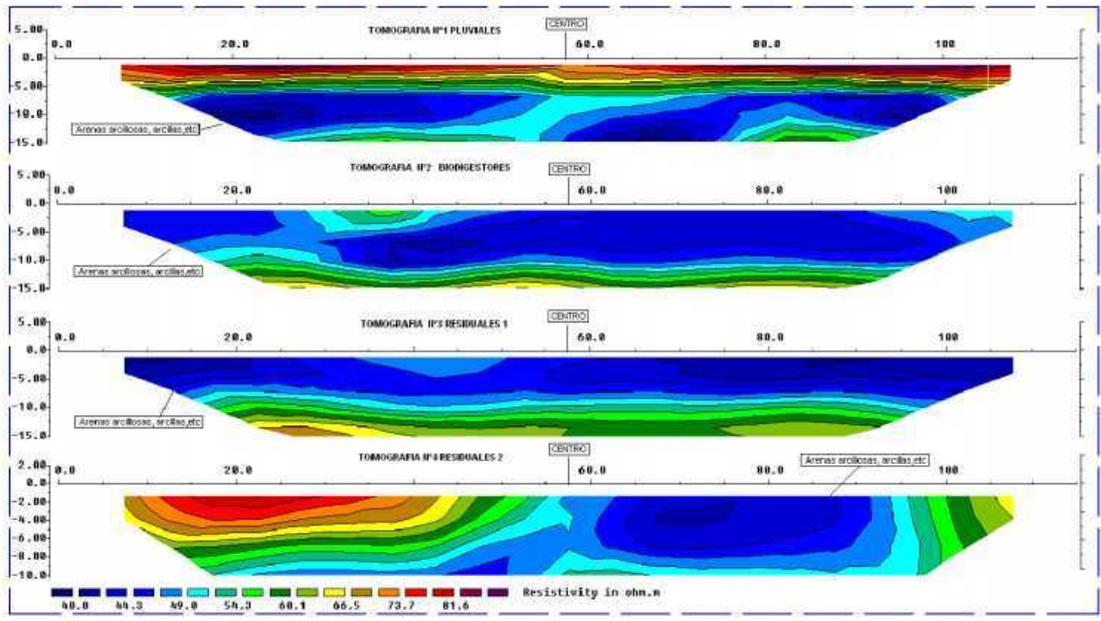


Figura 6.2 Tomografía eléctrica de los 15 primeros metros en la zona de las balsas. (Geoterra, 2020 b). Las áreas de baja resistividad eléctrica (colores azules) se interpretan como presencia dominante de arcillas y arcillas arenosas.

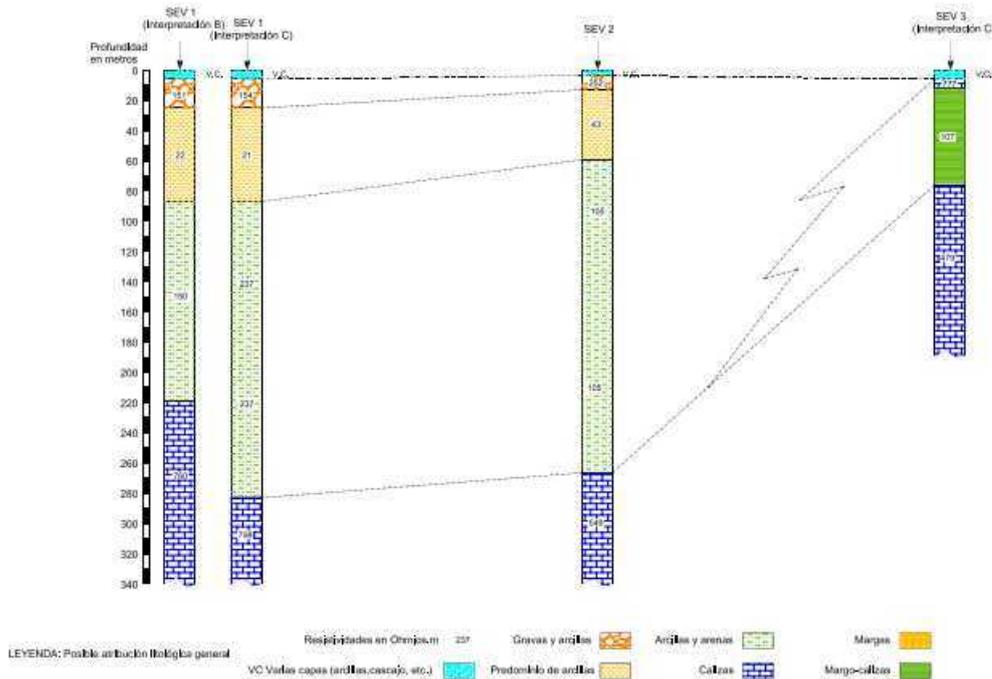


Figura 6.2.3 Interpretación de los perfiles SEV para el Ayuntamiento de Noviercas. Realizado por OCSA (en Sánchez-Navarro y de Leiva,2008)

Se han identificado los siguientes aspectos principales hidrogeológicos:

- a) Para el futuro abastecimiento de agua se cuenta con el acuífero karstificado del Jurásico. Existen datos de siete sondeos (CRN, 2019; JCCyL,2001, 2004), cuyos ensayos de bombeo proporcionan información sobre caudales, transmisividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento.
- b) El grado de explotación de toda la MASb Araviana es muy poco significativo. Dentro de los límites de la MASb Araviana no existen manantiales de descarga regional relevantes. Los más importantes están fuera. Se han identificado el manantial de Almenar, a 15 km hacia el W de la granja, en la MASb Cuenca de Almazán, y el manantial de Aranda de Moncayo (Lagüén), a 20 km de distancia hacia el SE, en la cuenca del Ebro.
- c) En el visor Mírame Duero hay dos piezómetros de observación del estado cuantitativo del acuífero jurásico y no hay ninguno que controle el Terciario y Pliocuaternalio. Los datos de puntos de agua de las concesiones no ofrecen información de niveles piezométricos ni de caudales de explotación (solo de volúmenes de concesión anual).
- d) Aunque con lo dicho en el punto c) no se puede elaborar un mapa de isopiezas del todo fiable, se ha esbozado el mapa tentativo y lo más orientativo posible de isopiezas de la Figura 5.3.2, que indica un flujo preferente de sentido E-W para el acuífero mesozoico en el área de la granja.
- e) Domina la recarga difusa por la infiltración de la precipitación (nieve y lluvia) sobre toda el área, que se evalúa en unos 60-80 mm/a para el Terciario y Pliocuaternalio y en 100-130 mm/a para el Mesozoico.
- f) La recarga directa concentrada del acuífero proviene de los afloramientos karstificados del Jurásico, así como de los sumideros que funcionan esporádicamente en el cauce del Araviana y del Rituerto.
- g) No existen o no se han encontrado datos hidrogeológicos sobre el Pliocuaternalio y Terciario. Los 18 piezómetros construidos por ENDUSA (2018, 2020a,2020b) son toda la información disponible. Todos estos piezómetros se quedan dentro de la zona no saturada, sin alcanzar un nivel saturado regional (Figura 5.4.1).
- h) Las manifestaciones hídricas superficiales, como los encharcamientos temporales, no guardan relación con el acuífero mesozoico. La pequeña área regada con agua superficial que se menciona en las tablas del PHD tampoco depende del acuífero mesozoico.

Con toda la información disponible se plantea el siguiente modelo conceptual de funcionamiento del acuífero mesozoico:

1.-La recarga se produce preferentemente en la zona llana del valle del Araviana a través del Pliocuaternalio y en el N (Sierra del Madero), NE y E de Noviercas, donde afloran ampliamente los materiales del Jurásico. También por el E se extiende el Jurásico, en parte oculto bajo materiales del Pliocuaternalio. Más al E afloran o están ocultos bajo el Pliocuaternalio los conglomerados y areniscas del Buntsandstein, impidiendo que haya flujo hacia el E, es decir hacia las estribaciones occidentales de la sierra del Toranzo. En días de escorrentía fluvial hay

recarga directa al acuífero en el cauce del río Araviana. Los retornos de riego y/o abastecimiento urbano son despreciables.

2.-El flujo del agua subterránea parece seguir una dirección E-W, paralela a la del río Araviana. En todo su trayecto en la MASb Araviana, el río Araviana permanece colgado con respecto al acuífero mesozoico.

3.-La descarga regional del acuífero se dirige hacia el W, sin poder afinar más detalles por carecer de datos suficientes. Muy probablemente gran parte de la descarga se hace por la MASb de la Cuenca de Almazán hacia el río Duero, con una fracción por el manantial de Almenar.

4.-Los bombeos en la zona próxima a la vaquería se estiman en unos 0,103 hm³/año, según el inventario de puntos del visor Mírame Duero (Anexo 1) y está circunscrita a los municipios próximos a la vaquería (Noviercas, Pinilla del Campo, Hinojosa del Campo, Tajahuerce y Pozalmuro).

5.-La estructura geológica favorece la existencia de una conexión con la MASb Borobia-Aranda de Moncayo, de la cuenca del Ebro, pero no es posible con los datos disponibles cuantificar el posible flujo hacia esa MASb, más allá de lo reciente y presumiblemente evaluado por organismos como el IGME, 2021.

6.3 Incertidumbres remanentes y modo de reducirlas

El enfoque que sigue se centra en conocer más profundamente los terrenos de la granja desde el punto de vista geológico e hidrogeológico.

Geología. Los sondeos eléctricos verticales (SEV) de Geoterra han servido para conocer el subsuelo en la zona de la granja. Para un conocimiento más detallado es recomendable realizar otros perfiles geofísicos en otras parcelas de la promotora, dado que habrá que construir más de un sondeo de abastecimiento. De esta forma se podrán elegir con mayor rigor y criterio los emplazamientos de los sondeos de explotación. Por otro lado, el estudio de las calcatas y sondeos geotécnicos para las cimentaciones de los edificios e infraestructuras futuras podrá mejorar el conocimiento del Terciario y Pliocuaternario.

Hidrogeología. Aunque se ha obtenido una primera superficie piezométrica del acuífero mesozoico que es suficiente para los objetivos de este estudio, es recomendable la realización de una campaña de campo para obtener datos de piezometría. Ello supone visitar las captaciones existentes, medición (si lo permite el sondeo) del nivel del agua y, al menos, captura de información sobre caudales de explotación y profundidad de emplazamiento de los motores-bomba dentro de los sondeos, tanto en la MASb Araviana como en la MASb Borobia. A lo largo del desarrollo del estudio se ha visto que los límites inicialmente establecidos, a pesar de su ampliación en la realidad, para una visión más coherente, requieren una extensión a lo que aquí se ha denominado Acuífero del Alto Duero, incluyendo la parte que se ubica en la cuenca hidrográfica del Ebro.

Sondeo de reconocimiento en el área de la granja. Se trata de una actividad necesaria y que está prevista cuando sea autorizada. El visor CHDuero ya lo contempla en su cartografía. Este sondeo aportará información sobre la existencia real del acuífero, del nivel piezométrico y del

espesor del Terciario y Pliocuaternalio bajo el subsuelo de la vaquería, además de otra información hidrogeológica de interés.

Hidrogeoquímica e isotopía local y semi-regional, con muestreos complementarios para confirmar lo desarrollado en este estudio y en especial para tratar de cuantificar los tiempos de renovación y de tránsito, que son de especial interés para la administración del agua.

Climatología. Recogida de información con datos diarios de diferentes variables meteorológicas para realizar balances de agua en el suelo orientados a cuantificar con más detalle la recarga difusa.

7 Caracterización hidrogeológica del emplazamiento de la VN

7.1 Parámetros hidráulicos esperados y caudales de los pozos

Los resultados de los sondeos de Hinojosa del Campo referidos al Jurásico (tras el desarrollo de las captaciones con ácido), dan una transmisividad hidráulica media de aproximadamente 6200 m²/día y un coeficiente de almacenamiento variable entre $1,3 \cdot 10^{-4}$ y $7,7 \cdot 10^{-5}$ que es característico de acuíferos de comportamiento confinado durante los ensayos de bombeo. Si el espesor saturado de toda la columna mesozoica se estima en 300 m, la conductividad hidráulica (permeabilidad) es de aproximadamente 20m/día.

En los ensayos de bombeo de Hinojosa del Campo, los caudales unitarios óptimos por captación están entre 50 y 100 L/s (CRN,2019). La demanda continua de la granja es de unos 25 L/s, por lo que no será necesario equipar las futuras captaciones con motores-bomba de tanta capacidad.

7.2 Características físico-químicas y calidad del agua

Las aguas del acuífero carbonatado principal son actualmente de buena calidad en cuanto a salinidad y composición química, pero muestra ya el efecto del lixiviado de fertilizantes. El impacto de la aplicación de fertilizantes se traduce en un aumento del contenido en SO₄ y NO₃. Dada la naturaleza carbonatada del medio geológico, los fosfatos quedan retenidos como coprecipitados.

7.3 Planteamiento de un sondeo profundo de reconocimiento y de las observaciones y ensayos a realizar

Se recomienda a la empresa promotora VALLE DE ODIETA, S.COOP.LTDA., en aras a promover este proyecto con las mayores garantías de éxito, la realización de un SONDEO DE RECONOCIMIENTO, que según la información disponible se ha solicitado reiteradamente a la CHDUERO. Es el modo lógico para corroborar todas las expectativas de existencia de agua en cantidad y calidad suficiente, tal como así lo indican los diferentes informes hidrogeológicos llevados a cabo en el área, y previamente y como aseguramiento para el promotor antes de acometer una importante inversión.

7.4 Abastecimiento a partir del acuífero jurásico subyacente.

La única alternativa o posibilidad razonable de abastecimiento de agua a todo el complejo de la granja es la explotación de las aguas subterráneas. La demanda anual de la granja se evalúa

en 0,78 hm³. Para garantizar el abastecimiento en caso de averías, roturas, cambio de tuberías y bombas, etc., será necesario disponer al menos de dos captaciones. Las nuevas campañas de sondeos eléctricos verticales y el sondeo de reconocimiento ayudarán a localizar los emplazamientos más idóneos donde emplazar las captaciones, así como su profundidad.

La explotación total de agua subterránea en la MASb Araviana sería:

- a.- Bombeo solicitado para la VN 0,78 hm³/a
- b.- Bombeo actualmente reconocido 0,247 hm³/a
- c.- Área de regadío proyectada en Hinojosa del Campo 2,67 hm³/a
- d.- Incremento de demanda local de agua por el empleo asociado a la VN y efecto dinamizador asociado, con un incremento de 1000 a 2000 personas con una dotación urbana y de servicios de 150 a 250 L/hab/día 0,5 a 1,9 hm³/a
- e.- Total de 4,2 a 5,6 hm³/a

En la Tabla 7.1 se dan los porcentajes sobre los recursos de agua subterránea de las distintas demandas en la MASb Araviana. Incluso en el supuesto más pesimista y poco fundamentado, la demanda de la VN no supera el 10% y es estimable en alrededor del 3%. Los usos totales esperables no superan los denominados recursos disponibles en dicha MASb Araviana.

Tabla 7.1 Porcentajes sobre los recursos de agua subterránea de las distintas demandas en la MASb Araviana

| Concepto | Estimador | hm ³ /a | Br | Ba | VN | Be | Total |
|----------------------|----------------------|--------------------|-------|-------|------|------------|-------------|
| hm ³ /a | | | 0,247 | 2,67 | 0,78 | 0,5-1,9 | 4,2-5,6 |
| Recarga infiltración | PHD-2015 | 29,1 | 0,9% | 9,2% | 2,7% | 1,7%-6,5% | 14,4%-19,2% |
| | PHD-2021 | 18,7 | 1,3% | 14,3% | 4,2% | 2,6%-10,2% | 22,4%-29,9% |
| Recurso renovable | PHD-2015 | 34,8 | 0,6% | 7,7% | 2,2% | 1,4%-5,4% | 12,1%-16,1% |
| | PHD-2021 | 12,5 | 2,0% | 21,4% | 6,2% | 4,0%-15,2% | 33,6%-44,8% |
| "Recurso disponible" | PHD-2015 | 27,7 | 0,9% | 9,6% | 2,8% | 1,8%-6,9% | 15,2%-20,2% |
| | PHD-2021 | 9,4 | 2,6% | 28,4% | 8,3% | 5,3%-20,2% | 44,7%-59,6% |
| Descarga tramo Duero | 3555 km ² | 80 | 0,3% | 3,3% | 1,0% | 0,6%-2,4% | 5,2%-7,0% |

Br = bombeo reconocido

Ba = bombeo agrícola futuro en Hinojosa del Campo

VN = vaquería de Noviercas

Be = bombeo extendido por el efecto dinamizador de la VN

En lo anteriormente expuesto no se ha considerado la recarga derivada del riego con el agua regenerada, estimable en 0,1 a 0,15 hm³/a, de modo que el impacto de los bombeos de la VN sería menor que lo indicado.

Para calcular el efecto de las extracciones en los niveles piezométricos se requiere modelación, aunque es posible realizar una estimación de forma sencilla considerando el actual esbozo piezométrico de la Figura 5.3.2, considerando una descarga actual media al Duero de 80 hm³/a y una variación piezométrica entre 1035 m en Noviercas y alrededor de 950 m en el Duero, separados 20 km. El gradiente piezométrico que se considera es coherente con el valor 0,45% que se deduce del mapa piezométrico. Suponiendo proporcionalidad al ser el flujo lineal

paralelo, en descenso piezométrico general en el entorno de Noviercas se puede evaluar en 0,8 m debido a la extracción solicitada para la VN, de 2,8 m por la futura área de regadío de Hinojosa del Campo y de 4,5 a 5,9 m por la previsión total de extracciones.

El manantial de Almenar está insuficientemente caracterizado y medido. Parece que tiene algunos problemas de disminución de caudal de carácter estacional, principalmente debido a que es una descarga en tránsito (intermedia) del acuífero mesozoico. Los anteriores descensos pueden afectar a la actual situación, moderadamente en lo que respecta a la solicitud de la VN y más acusadamente por las futuras extracciones de regadío. La solución requiere regular el manantial de Almenar mediante un pozo profundo, lo que sería la compensación razonable que deberían aportar los beneficiarios de los nuevos bombeos.

7.5 Caracterización hidrogeológica del emplazamiento de las balsas de aguas tratadas y de aguas pluviales limpias y su comportamiento

En los inicios de propuesta de la VN se proyectó almacenar temporalmente aguas procedentes de los establos (purines) tras un tratamiento primario. Lo que finalmente se pretende realizar es construir una planta depuradora para tratar todas las aguas residuales y conducir las, una vez tratadas y depuradas, a dos balsas, para posterior uso en regadío. Se trata por tanto de aguas depuradas con calidad suficiente para su vertido a cauce público, alojadas temporalmente en balsas excavadas en el terreno. No habrá presas o diques de contención. Por lo tanto, no existe riesgo de vertido por ruptura. El Decreto 4/2018 sobre condiciones ambientales mínimas para las actividades o instalaciones ganaderas en Castilla y León exige la impermeabilización mediante lámina plástica del cuenco de la balsa y la construcción de por lo menos dos piezómetros, uno aguas arriba y otro situado aguas abajo según el flujo del agua subterránea. Lo que se pretende realizar es más exigente, puesto que todo el cuenco de las balsas se recubrirá previamente con una capa de 25 cm de arcilla de un grado de impermeabilidad seleccionado. Ya está instalada una red de observación y control, con 18 piezómetros. Por otra parte, los materiales donde se alojarán las balsas no constituyen propiamente un acuífero.

El presente estudio no ha detectado la presencia de piezómetros específicos del Pliocuatrnario o Terciario controlados oficialmente por la administración del agua, ni de sondeos que lo exploten. Algún manantial de escaso caudal puede drenar un nivel freático colgado y dar origen a una pequeña manifestación de agua. Por lo tanto, no es posible contar con información sobre transmisividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento. Los piezómetros construidos, algunos hasta 30 m de profundidad, no han alcanzado la superficie freática (Figura 5.4.1). La realización del sondeo de reconocimiento solicitado permitirá levantar una columna que abarque el espesor total de estos depósitos y caracterizar adecuadamente sus aguas, en caso de existencia de niveles freáticos colgados.

8 Programa de posibles estudios adicionales

En el Apartado 6.3 se han identificado algunas incertidumbres remanentes y el modo de reducirlas. La promotora no es propiamente quien debe resolver estas dudas, que deberían ser afrontadas por la administración hidráulica. No obstante, la disponibilidad a la colaboración en este sentido con la administración es total, en cuanto a toda la información procedente de la

red de piezometría de las balsas y derivada del futuro sondeo de reconocimiento, así como todos los análisis químicos e isotópicos que pudieran llevarse a cabo por parte de Valle de Odieta SCL para completar el presente estudio. Aunque el diseño del sondeo es para poder realizar ensayos de bombeo y por lo tanto puede convertirse con las adiciones correspondientes en pozo de explotación, podría quedar como piezómetro de vigilancia cuantitativa si así es requerido. Además, se aportará toda aquella información de obligado cumplimiento en cuanto a lectura de niveles en los pozos, caudalímetros y datos de calidad química de seguimiento rutinario.

8.1 Determinaciones químicas e isotópicas ambientales

La información química de componentes mayoritarios de los pozos de abastecimiento de Noviercas y Pozalmuro que genera la CHDuero es suficiente para caracterizarlos, pero sería conveniente una determinación anual del contenido isotópico del agua y del contenido en tritio.

Conviene completar la información química de las aguas de los pozos actualmente no muestreados, determinando además el contenido isotópico del agua, en especial en algunos de los manantiales del área del Moncayo, tanto en la cuenca del Duero como en la del Ebro, y el manantial de Almenar.

Se debería caracterizar químicamente el contenido total de los fertilizantes mayoritariamente aplicados y tratar de establecer la posible evolución a lo largo del tiempo desde que su aplicación se hizo intensivamente.

La realización de una campaña para muestreos con los que determinar el contenido en radiocarbono (^{14}C) y en ^{13}C de las aguas de los pozos profundos y en ^{13}C en algunos de los manantiales del Moncayo y en Almenar, puede aportar datos de interés para validar el modelo conceptual y cuantificar los tiempos de renovación y de tránsito.

No parece estrictamente necesario determinar la composición isotópica del SO_4 y quizás del NO_3 . Para resolver dudas sobre el origen de la salinidad, las determinaciones isotópicas del N pueden ayudar, si también se caracterizan isotópicamente los fertilizantes aplicados.

Aquellos sondeos de control existentes en lo que será el futuro emplazamiento de las balsas que tienen agua permanente (hoy no bien caracterizado) deberían ser muestreados mensualmente para formar una muestra compuesta anual destinada a análisis químicos e isotópicos.

8.2 Medidas de niveles piezométricos y ensayos.

Campaña de campo para recogida de datos de calidad de las instalaciones (sondeos) en explotación, incluso si hubiera sondeos abandonados que permitieran medir niveles estáticos. No se considera necesario realizar más ensayos de bombeo en sondeos actualmente existentes. Los nuevos sondeos que se construyan serán objeto de ensayos de bombeo rigurosos para caracterizar adecuadamente el acuífero, así como la eficiencia del sondeo y caudal óptimo de extracción.

8.3 Bases para una posible modelación matemática orientada a la obtención de respuestas a las cuestiones de sustentabilidad y compatibilidad con las diversas planificaciones territoriales y ambientales

A partir de una ampliación territorial del estudio al aquí denominado Acuífero del Alto Duero y su extensión dentro de la cuenca hidrográfica del Ebro, la modelación matemática del acuífero del Alto Duero, con énfasis en la MASb Araviana y detalle suficiente en los terrenos de la futura VN, sería una potente herramienta de estudio y prueba de hipótesis. No es actualmente necesaria, pero sí recomendable si se acepta previamente los grados de incertidumbre inherentes. Esta modelación debería abarcar tanto el flujo de agua como el transporte de masa referido a los solutos de interés, principalmente Cl, SO₄, NO₃ y K. En todo caso debe considerarse la utilización de los modelos de simulación disponibles en la CHD y en su caso detallarlos. Debería cubrir unos 600 km² con malla de 1 km x 1 km. Esta modelación implica realizar mejores estimaciones de la recarga, a nivel diario, estudios hidrogeológicos complementarios, reconocimiento de las condiciones de contorno y algunas nuevas determinaciones química e isotópicas estables y radioactivas.

Toda modelación requiere una calibración y si los datos lo permiten una validación (RAEMIA, 2019). Es el caso presente, la información espacial y temporal es muy escasa y a veces incierta. Por esta razón, en el momento presente la modelación sólo podría aportar una visión coherente con los datos existentes de la que obtener respuestas preliminares y con notable incertidumbre del comportamiento local y general. Esta visión será mejor que la conseguida, pero aún precaria.

Conclusiones sumarias del estudio

Los terrenos donde se ubicará la futura VAQUERÍA DE NOVIERCAS están en la masa de agua subterránea ARAVIANA, la cual forma parte de lo que puede denominarse Unidad Hidrogeológica del Alto Duero, que se extiende desde el Moncayo hacia el río Duero y que en la parte alta comparte territorio con la cuenca del Ebro.

Se ha logrado una suficiente caracterización de la recarga y del flujo del agua subterránea, que debe plantearse como más amplia que la MASb Araviana y comprende el aquí denominado Acuífero del Alto Duero y su extensión dentro de la cuenca hidrográfica del Ebro.

Los acuíferos principales y más productivos son los correspondientes a los carbonatos mesozoicos y en especial determinados niveles del Jurásico, mientras los rellenos terciarios y cuaternarios sobre los que se desarrolla la agricultura de secano son poco permeables, aunque permiten la recarga.

Este estudio presenta una visión avanzada y coherente del funcionamiento de los acuíferos que permite definir el comportamiento y flujo del agua subterránea local y regionalmente y llegar a cuantificaciones.

Los resultados obtenidos en este estudio son de mayor precisión que los indicados en la planificación hidrológica, ya que se ha ampliado la base de información y se han utilizado métodos de contraste hidrogeoquímico e isotópico ambiental. Muestran que el estado actual de la MASb ARAVIANA es bueno cuantitativamente.

La actual definición de MASb que ofrecen la legislación actual y la propia CHDuero, que está orientada principalmente por aspectos geológicos, es susceptible de mejora si se orientase hidrogeológicamente y se considerase que el río Duero es un límite a tener en cuenta. Esto facilitaría la gestión de los recursos de agua subterránea, así como la consideración de una unidad hidrogeológica integradora.

La unidad hidrogeológica se recarga mayoritariamente por infiltración de la precipitación sobre toda la superficie y localmente por infiltración en cauces de agua superficial procedente de manantiales y escorrentía esporádica de tormenta.

La recarga actual se estima en unos 60-80 mm/año en las áreas con suelos y en 100-130 mm/año en los afloramientos de los carbonatos del Mesozoico, aunque son cifras que podrían ser mejoradas con estudios adicionales.

El caudal solicitado para el abastecimiento de las instalaciones ganaderas proyectadas es de 0,78 hm³/año, que supone un bajo porcentaje en relación con los recursos hídricos disponibles en la MASb 400034 Araviana. Atendiendo a los datos publicados en la página web de la propia Confederación Hidrográfica del Duero:

| PLAN HIDROLÓGICO DEL DUERO 2º Ciclo (2015-2021) | PLAN HIDROLÓGICO DEL DUERO 3º Ciclo (2022-2027) |
|--|--|
| Recurso disponible | Recurso disponible |
| 27,79 hm ³ /a | 9,4 hm ³ /a |

Se puede comprobar que la demanda de 0,78 hm³/año solicitada para el proyecto de la VN supone:

Un 3% anual del **recurso disponible** (27,79 hm³/a) en el acuífero existente de la MASb Araviana 400034, si se considera el 2º ciclo 2015-2021 del Plan Hidrológico del Duero.

Un 8,5% anual del **recurso disponible** (9,40 hm³/a) en el acuífero existente de la MASb Araviana 400034, si se considera el 3º ciclo 2022-2027 del Plan Hidrológico del Duero.

Incluso, el caudal solicitado supone menos, si se considera la recarga por precipitación e infiltración. Y supone del orden del 1,2% de la escorrentía subterránea de la unidad hidrogeológica. Si se tiene en cuenta el efecto dinamizador de la población y la actividad económica derivada de la instalación de la VN, estos porcentajes no llegarían a doblarse, ni en supuestos maximalistas. En cualquier caso, de forma realista, las previsiones de extracciones totales de agua subterránea son menores al 10 % de los recursos.

La adecuada contextualización de la demanda asociada a la VN deberá considerar todo lo que aquí se denomina Acuífero del Alto Duero, donde se generan recursos de agua subterránea superiores en un orden de magnitud a la demanda y consumo de agua estricta de la VN y la que se derivaría del efecto dinamizador socio-económico asociado. Y aunque no afecte al contenido de este estudio, que se circunscribe estrictamente a las demandas ganaderas, las evaluaciones preliminares indican que incluso en el supuesto de que el forraje necesario para alimentar a la VN fuese de producción local mediante nuevas áreas de regadío, en dicho acuífero se generan recursos de agua ampliamente suficientes para atender a esa demanda agrícola hipotética. En el caso de que en el futuro se pretendiese un aprovechamiento para nuevos regadíos en la zona, se recomienda realizar la correspondiente modelización para valorar sus efectos y la corrección y compensación de los mismos.

Los descensos piezométricos en el entorno de Noviercas como consecuencia de las posibles futuras extracciones de la VN son inferiores a 1 m y mucho menores que los esperables por

otras causas, como la nueva zona de regadíos planificada para el municipio de Hinojosa del Campo. Adicionalmente, y siendo exhaustivos en el estudio de las posibles repercusiones de estos descensos sobre manantiales en tránsito separados varios kilómetros de la granja, como pudiera ser el manantial de Almenar, se podrían estudiar y considerar medidas compensatorias, como regular dicho manantial mediante un pozo profundo.

En estos territorios, como en otros de toda la geografía española, la aplicación generalizada de fertilizantes en los extensos campos de cultivo en secano ha ido acumulando desde hace algunas décadas nitratos en el medio no saturado, que se va transmitiendo al medio saturado y lleva a un progresivo aumento de la concentración de nitrato en el agua subterránea y sus descargas.

Las balsas de almacenamiento de aguas depuradas se ubican en materiales de baja permeabilidad, que son favorables a su excavación y revestimiento para evitar fugas.

Las aguas depuradas, tras el tratamiento para reducir el contenido en nutrientes de la fracción líquida de los purines mediante la instalación de una depuradora en el interior de la granja, posibilitará obtener aguas con calidad de vertido a cauce cumpliendo las condiciones marcadas por la CHDUERO y tras su mezcla con las aguas pluviales limpias recogidas de escorrentía, se utilizarán para regar los terrenos de cultivo de alrededor de la granja, que son propiedad de la empresa promotora (conforme al R.D. 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas). La aportación de solutos que proporcione este regadío será la adecuada y necesaria para el desarrollo fisiológico de las plantas, respetando los límites reglamentarios establecidos. Considerando el balance final de aportación de nutrientes a los terrenos de la zona, se puede decir que se aplicará menor cantidad total después de la construcción de la granja que antes, ya que la propia construcción de la granja supone la merma de 83 ha como zona de cultivos que pasarán a ser superficie edificada ocupada por la propia granja.

Para confirmar la idoneidad del emplazamiento para captar los caudales de agua subterránea necesarios para el abastecimiento del proyecto ganadero propuesto y en especial para un mejor conocimiento local del acuífero, es altamente recomendable realizar y ensayar un sondeo profundo de reconocimiento.

Es conocido por parte del equipo redactor de este informe que desde hace años la empresa promotora ya viene insistiendo y solicitando a la administración (CHDUERO) la realización del mencionado sondeo de reconocimiento.

Esta recomendación dada a la empresa promotora es lógica de entender, porque, aun siendo positivas las expectativas respecto de la existencia de agua (en cantidad y calidad suficientes) a tenor de lo descrito en toda la documentación técnico-científica manejada (de la propia CHDUERO, de la Junta de Castilla y León, del IGME, etc.) y lo que se indica en el presente estudio, resulta evidente que la empresa promotora, antes de tomar la decisión final de invertir cerca de 105.000.000 € en un proyecto, deba asegurarse al máximo sobre la disponibilidad de agua, así como del funcionamiento y la sostenibilidad del propio acuífero.

Como conclusión final, mediante la realización de este estudio se han analizado los recursos de agua subterránea de la zona donde se plantea el establecimiento de una nueva explotación ganadera. Se concluye que la MASb Araviana 400034 tiene recursos suficientes para atender la

demanda solicitada por la explotación ganadera, de manera sostenible a lo largo del tiempo, a tenor de los valores de recarga estudiados. Adicionalmente se indica que la depuración de aguas en el interior de la granja y su posterior almacenamiento temporal en balsas excavadas en terrenos limo arcillosos, con el cuenco sellado con una capa de arcilla, es una correcta medida para preservar los acuíferos respecto de la contaminación por sustancias nitrogenadas que ya no estarán en las aguas.

Referencias

AEMET (2021) Agencia Estatal de Meteorología. Consulta por internet.

Alcalá, F.J. y Custodio, E. 2014. Natural uncertainty of spatial average aquifer recharge through atmospheric chloride mass balance in continental Spain. *Hydrological Processes*. doi.org/10.1002/hyp.9556

AMBIUM Consultores, S.L. 2020a. Estudio hidrológico e hidráulico de la zona de la Cañada Modrega, en el término municipal de Noviercas (Soria). Memoria 23 pp y 4 anexos

AMBIUM Consultores, S.L. 2020b. Estudio de posibles afecciones de la construcción de una balsa de recogida de pluviales limpias en la zona de la Cañada Modrega, en el término municipal de Noviercas (Soria). Memoria 9 pp + 1 anexo

Bayó, A., Castiella, J., Custodio, E., Niñerola, S., Virgos, L. 1986. Ensayo sobre las diversas tipologías de acuíferos en rocas carbonatadas de España. Identificación, técnicas de estudio y formas de captación y explotación. *Jornadas sobre el Karst*. Euskadi-86. San Sebastián (2):255-340.

BOCYL, 2018. Decreto 4/2018 sobre condiciones ambientales mínimas para las actividades o instalaciones ganaderas en Castilla y León. Boletín Oficial de Castilla y León, del lunes 26 de febrero 2018.

CHDuero, 2019. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Duero Revisión de tercer ciclo (2022-2027) Documentos iniciales, programa, calendario, estudio general sobre la demarcación y fórmulas de consulta. Memoria. 25 de junio de 2019; 283 pp.

CHDuero, 2021a Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero. Revisión de tercer ciclo (2022-2027). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Memoria, : 270pp.

CHDuero, 2021b. Visor Mírame Duero. Confederación Hidrográfica del Duero. (<http://www.mirame.chduero.es>).

CHEbro, 2005 Informe del piezómetro de Ciria 09605.11. Informe de Control y Geología (CYGSA): 108 pp.

CHEbro, 2021a Plan 2022-2027. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. CH Ebro. (Consultado en www.chebro.es).

CHEbro, 2021b. Visor de la Confederación Hidrográfica del Ebro. (www.chebro.es).

CEH, 2017. Informe Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España. Centro de Estudios Hidrográficos-CEDEX, Madrid.

Coloma, P. 1999. Funcionamiento hidrogeológico de las cuencas riojanas orientales: Iregua, Leza, Cidacos y Alhama (Cuenca del Ebro). Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. Instituto de Estudios Riojanos;506 pp.

CRN, 2019. Interpretación y cálculos hidráulicos de los ensayos de bombeo y recuperación de cinco sondeos para la puesta en riego de 497 has en Hinojosa del Campo (Soria). Instituto Tecnológico Agrario (ITA) Junta de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería: 231 pp.

Custodio, E., Llamas, M.R. 1976/1983. Hidrología subterránea. Sección 9: Hidráulica de pozos. Ediciones Omega. Barcelona: 1-2150.

ENDUSA, 2018. Construcción de 6 piezómetros en Noviercas. Serie A. Ensayos y Geotecnia Endusa, S.L, Soria.

ENDUSA, 2020a Construcción de 8 piezómetros en Noviercas Serie B. Ensayos y Geotecnia Endusa, S.L, Soria.

ENDUSA, 2020b Construcción de 4 piezómetros de caracterización. Serie S. Ensayos y Geotecnia Endusa, S.L, Soria.

Esteban, J.I. 2021. Fuentes y manantiales de Soria. <http://www.soriagoig.org/fuentes/fuentes-a.htm>

García Gil, A. 2012. Estudio hidrogeológico e hidroquímico del drenaje subterráneo del macizo del Moncayo en las tierras de Ágreda (Soria). Trabajo de fin de máster dirigido por Sánchez Navarro, J.A. y Pérez García, A. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza: 83 pp.

GEOTERRA, 2020a. Estudio hidrogeológico realizado en varias parcelas situadas en los polígonos nº 4 y 5 del T.M. de Noviercas (Soria) para comprobar las posibilidades de existencia de agua en el subsuelo del área investigada. Memoria (9 pp), planos y anexos.

GEOTERRA, 2020b. Estudio hidrogeológico para la viabilidad y control de las balsas de agua residuales procedentes de la actividad de la granja de ganado vacuno en los polígonos nº 4 y 5 del T.M. de Noviercas (Soria). Memoria y anexos (136 pp).

IGME, 1973. Mapa Geológico de España Escala 1/50.000. Hoja 351 Ólvega. Autores principales: Martín Fernández, M. y Esnaola Gómez, J.M. Memoria: 23 pp + plano. 1ª edición. IGME (Instituto Geológico y Minero de España). Madrid.

IGME 2021. Visor del IGME (Instituto Geológico y Minero de España). (www.igme.es)

IGME (2021). Encomienda de gestión para desarrollar diversos trabajos relacionados con el inventario de recursos hídricos subterráneos y con la caracterización de acuíferos con continuidad hidrogeológica entre demarcaciones hidrográficas. Definición y caracterización de masas de agua subterránea con continuidad hidrogeológica entre demarcaciones hidrográficas. Duero-Ebro. Araviana-Borobia. Mayo de 2021. Documento en revisión y aún no de acceso público.

IGME-DGA 2007. 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 021 Duero, Sistema de Explotación 021.07 Alto Duero. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo y protección de las aguas subterráneas: 125 pp.

INE (2021) Instituto Nacional de Estadística. Consulta sobre el censo de habitantes en 2020.

ITGE, 1991a. Mapa Geológico de España Escala 1/50.000 Hoja 350 Soria. Autores principales: Navarro Vázquez, D., Muñoz del Real, J.L. et al. Memoria. ITGE (Instituto Tecnológico GeoMinero de España). Madrid: 70 pp+ mapa

ITGE, 1991b. Mapa Geológico de España Escala 1/50.000. Hoja 380 Borobia. Autores principales: Navarro, D. y Muñoz del Real, J.L. Memoria 96 pp+ plano. 1ª edición. ITGE (Instituto Tecnológico GeoMinero de España). Madrid.

JCCyL, 2001. Informe final del sondeo de investigación de aguas subterráneas en Hinojosa del Campo (Soria). Junta de Comunidades de Castilla y León. TRAGSA: 12 pp.

JCCyL 2004. Informe hidrogeológico sobre el sondeo de investigación y pruebas de bombeo realizado en el valle del río Rituerto para el regadío (Pozalmuro, Soria). Junta de Comunidades de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería Dirección General de Desarrollo Rural. Informe realizado por TRAGSA: 133 pp.

JCCyL, 2010a. Necesidades hídricas. Estudio agronómico. Anejo 2. Proyecto de infraestructura rural de regadío en la zona de concentración parcelaria de Hinojosa del Campo II (Soria). Instituto Tecnológico Agrario (ITA), Unidad Territorial de Soria. Junta de Comunidades de Castilla y León.

JCCy-ITA, 2010b. Estudio de impacto ambiental del anteproyecto de infraestructura rural de regadío en la zona de concentración parcelaria de Hinojosa del Campo II (Soria). Instituto Tecnológico Agrario (ITA). Junta de Comunidades de Castilla y León, Consejería de Agricultura y Ganadería. Autores: Otero, I., Millán, A.: 387 pp.

JCCyL, 2017? Proyecto de infraestructura rural de regadío en la zona de concentración parcelaria de Hinojosa del Campo II (Soria). Anejo nº 2 Necesidades hídricas. Estudio agronómico. Junta de Comunidades de Castilla y León: 62pp.

PROVODIT Ingeniería, 2020a. Estudio de Impacto Ambiental para la ejecución de un sondeo de investigación para la caracterización estratigráfica del subsuelo en la paraje "La Hoya de la Pared" T.M. de Noviercas (Soria). Memoria 138 pp+ 6 anejos.

PROVODIT Ingeniería, 2020b. Proyecto técnico para la ejecución de un sondeo de investigación para la caracterización estratigráfica del subsuelo en el paraje "La Hoya de la Pared" T.M. de Noviercas (Soria) Memoria: 75 pp+ anejos.

RAEMIA, 2019. Recarga natural a los acuíferos, metodología y soporte de la isotopía del agua. Aplicación a la planificación hidrológica y conocimiento de las aguas subterráneas en España: 1-1206. Emilio Custodio (Prof. Emérito UPC, RAC), revisión de Jorge Jódar y aportaciones específicas de J.V. Giráldez y A. Sahuquillo. <http://hdl.handle.net/2117/182282>

Sánchez-Navarro, J.A., de Leiva, 2008. Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de Noviercas (Soria): 7 pp + planos

Sanz Pérez, E. 1986. El karst del sur y oeste del Moncayo. Boletín Geológico y Minero, 97(II): 56-75

Sanz Pérez, E. 1987. El karst del sur y oeste del Moncayo. Servicio Geológico. Informaciones y Estudios nº 47. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid: 163 pp.

SIGA2021. Sistema Geográfico Agrario. <https://sig.mapama.gob.es/siga/>.

SINAC2021 (Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo). <https://sinac.sanidad.gob.es/SinacV2/Index.do>

ANEXOS

Anexo 1 Inventario de puntos de agua

Ver documento adjunto

Anexo 2 Plano de inventario de puntos de agua

Ver documento adjunto

Anexo 3 Datos hidroquímicos

Ver documento adjunto

APÉNDICES

Apéndice 1 Piezómetros de las balsas (series A y B) de ENDUSA.

ENDUSA, 2018. Construcción de 6 piezómetros en Noviercas. Serie A. (Ensayos y Geotecnia Endusa, S.L, Soria

ENDUSA, 2020a Construcción de 8 piezómetros en Noviercas Serie B. (Ensayos y Geotecnia Endusa, S.L, Soria

ENDUSA, 2020b Construcción de 4 piezómetros de caracterización. Serie S. (Ensayos y Geotecnia Endusa, S.L, Soria

Ver documento adjunto

Apéndice 2 Estudio hidrogeológico de Geoterra.

GEOTERRA, 2020a. Estudio hidrogeológico realizado en varias parcelas situadas en los polígonos nº 4 y 5 del T.M. de Noviercas (Soria) para comprobar las posibilidades de existencia de agua en el subsuelo del área investigada. Memoria (9 pp), planos y anexos.

GEOTERRA, 2020b. Estudio hidrogeológico para la viabilidad y control de las balsas de agua residuales procedentes de la actividad de la granja de ganado vacuno en los polígonos nº 4 y 5 del T.M. de Noviercas (Soria). Memoria y anexos: 136 pp.

Ver documento adjunto

Apéndice 3 Ensayos de bombeo de Hinojosa del Campo e interpretación de CRN.

CRN, 2019. Interpretación y cálculos hidráulicos de los ensayos de bombeo y recuperación de cinco sondeos para la puesta en riego de 497 has en Hinojosa del Campo (Soria). Instituto Tecnológico Agrario (ITA) Junta de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería. 231 pp.

Ver documento adjunto

Apéndice 4 Características técnicas del sondeo de reconocimiento.

PROVODIT Ingeniería, 2020b. Proyecto técnico para la ejecución de un sondeo de investigación para la caracterización estratigráfica del subsuelo en el paraje “La Hoya de la Pared” T.M. de Noviercas (Soria) Memoria: 75 pp + anejos.

Ver documento adjunto

Informe concluido en Barcelona el 21 de diciembre de 2021

Emilio Custodio Gimena

Catedrático emérito