

LOS REGADIOS Y LA GESTION INTEGRAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN EL ACUIFERO DE LOS ARENALES, COMARCA DE EL CARRACILLO (SEGOVIA)

Galán López, R. (1)

López Mendieta, F.J. (2)

Martínez Rubio, J. (3)

Macías Antequera, C. (3)

RESUMEN:

La Dirección General de Desarrollo Rural del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en coordinación con la Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla y León, está desarrollando una serie de actuaciones con vistas a la consolidación de los regadíos en las comarcas de El Carracillo y cubeta de Santiuste-Villeguillo, en la provincia de Segovia. En estas zonas se ha desarrollado por iniciativa privada una importante actividad agrícola, basada esencialmente en productos hortícolas de excelentes calidades, alcanzándose incluso una cierta organización del sector. Los regadíos se abastecen esencialmente de aguas subterráneas, produciéndose desde hace varias décadas problemas de desequilibrios entre extracciones y recuperación del acuífero, con sus consiguientes repercusiones sobre las producciones y expectativas de futuro de los regantes.

Las actuaciones que se describen en la presente comunicación buscan soluciones para mejorar la garantía de la disponibilidad de recursos hídricos mediante la derivación de los excedentes invernales de la red fluvial y su almacenamiento-recarga en el acuífero cuaternario. Para ello se ha realizado un completo estudio, con geofísica y sondeos de investigación, que ha permitido desarrollar y calibrar un modelo matemático de flujo, con el que actualmente se están realizando las simulaciones de diversas hipótesis y escenarios de gestión de las aguas de recarga.

1.- INTRODUCCION Y CONTEXTO

La actividad económica principal de la comarca natural de "El Carracillo" está ligada a una producción hortícola bastante evolucionada, caracterizada por elevadas producciones y excelentes calidades de productos. Presenta una extensión de unas 15.000 ha y engloba los términos municipales de Sanchonuño, Gomezarracín, Chatún, Campo de Cuellar, Arroyo de Cuéllar, Narros de Cuéllar, Chañe, Fresneda de Cuéllar y Remondo.

(1) Ingeniero de Montes. Dirección General de Desarrollo Rural (MAPA).

(2) Geólogo (TRAGSA)

(3) Geólogos. TRAGSATEC

Las principales peculiaridades de la comarca de “El Carracillo” son: por una parte, suelos muy poco evolucionados y, por otra, unos acuíferos que suministran agua de calidad a un coste razonable.

La marcada cultura de regadío, desarrollada por iniciativa privada, a partir de las aguas subterráneas ha ocasionado un desequilibrio entre las extracciones y la capacidad de recuperación del acuífero cuaternario, que ha llegado incluso a situaciones de riesgo para la actividad en los periodos de sequía prolongada. En determinadas áreas de la zona regable, y especialmente en aquellas que se manifestaron como más sensibles al descenso de los niveles, se optó por la búsqueda de recursos más profundos, perforando sondeos para captar agua del acuífero terciario. Este agua, sin embargo, presentaban una calidad sustancialmente inferior a las del acuífero superficial, además de suponer unos costes de inversión y explotación claramente superiores.

Ante esta problemática, el principal planteamiento de soluciones, valorado así por los propios usuarios, ha sido la posibilidad de recargar el acuífero a partir de la derivación de los excedentes invernales del río Cega. Para analizar esta solución, la Junta de Castilla y León ha llevado a cabo una serie de estudios y actuaciones puntuales, cuyo contenido y alcance se resumen a continuación:

- *“Estudio de Viabilidad Técnica, Económica y Social de la Zona Regable de la Comarca de “El Carracillo”*. En este trabajo (1993) se analizaron las posibilidades de captación de aguas en el río Cega y se estudiaron distintas alternativas de puntos de explotación.
- *“Proyecto de trasvase del río Cega a la comarca de “El Carracillo”*(1995). Como conclusión final, se considera una recarga de 1300 l/s conducidos por una tubería de 1200 mm desde 15 km de distancia.
- *“Geometría del acuífero, comarca de “El Carracillo”, en Sanchonuño y Gomezserracín (Segovia)”* (1998). El estudio, realizado en 1998, tenía como finalidad la confirmación de la existencia de posibles superficies erosivas (paleocauces), fosilizadas por acumulación y relleno de arenas cuaternarias.

Ante los resultados de este último estudio, y paralelamente al inicio de las obras, la Dirección General de Desarrollo Rural del MAPA realizó con TRAGSA/TRAGSATEC el *“Proyecto de investigación hidrogeológica y obras de apoyo para la definición del acuífero de los arenales en la comarca de “El Carracillo” (Segovia)”*, con el objetivo de establecer los modelos físico e hidrogeológico de la zona y, en consecuencia, proponer el modelo de gestión de la proyectada infraestructura de recarga del acuífero.

2.- METODOLOGIA DE TRABAJO

2.1.- CONTEXTO HIDROGEOLOGICO

La Unidad Hidrogeológica de la región de El Carracillo se encuentra en la Depresión del Duero, en su sector meridional, extendiéndose dentro de la provincia de Segovia. La Depresión del Duero está enclavada en el Macizo Hespérico. Es una gran depresión de forma asimétrica debido a su comportamiento geodinámico, que está rellena de materiales terciarios y cuaternarios depositados en ambiente continental. Los mayores espesores de estos sedimentos se localizan hacia el Este (Figura nº 1).

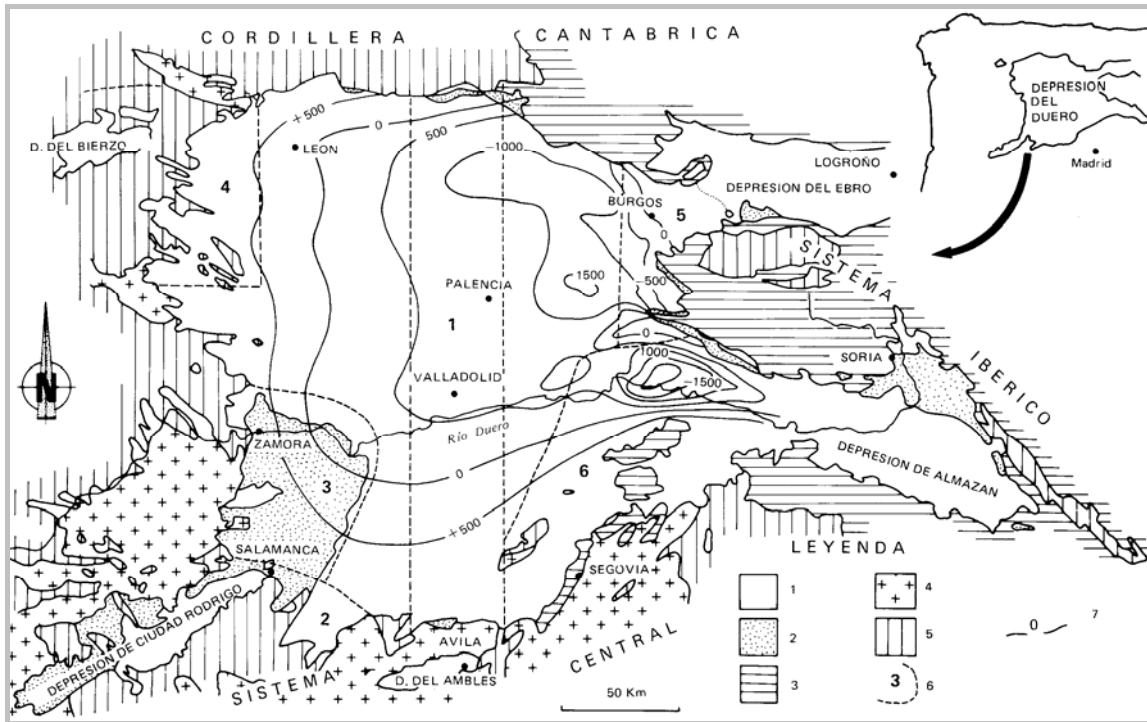


Figura nº 1. Mapa de isobatas de la Cuenca del Duero. 1: Neógeno y Cuaternario; 2: Paleógeno; 3: Mesozoico; 4: Rocas plutónicas y metamórficas; 5: Paleozoico y Precámbrico; 6: Principales áreas investigadas; 7: Isobatas en metros. (G. Alonso Gavilán et al, 1.981; La depresión del Duero)

La zona de estudio, se encuentra dentro de la Unidad Hidrogeológica de Los Arenales (02.17). Esta Unidad abarca una superficie de 7754,4 km² (MOPTMA, 1.993) comprendiendo parte de las provincias de Salamanca, Valladolid, Segovia y Avila. Los ríos principales que la atraviesan son el Duero, Zapardiel, Cega, Adaja, Eresma y Voltoya.

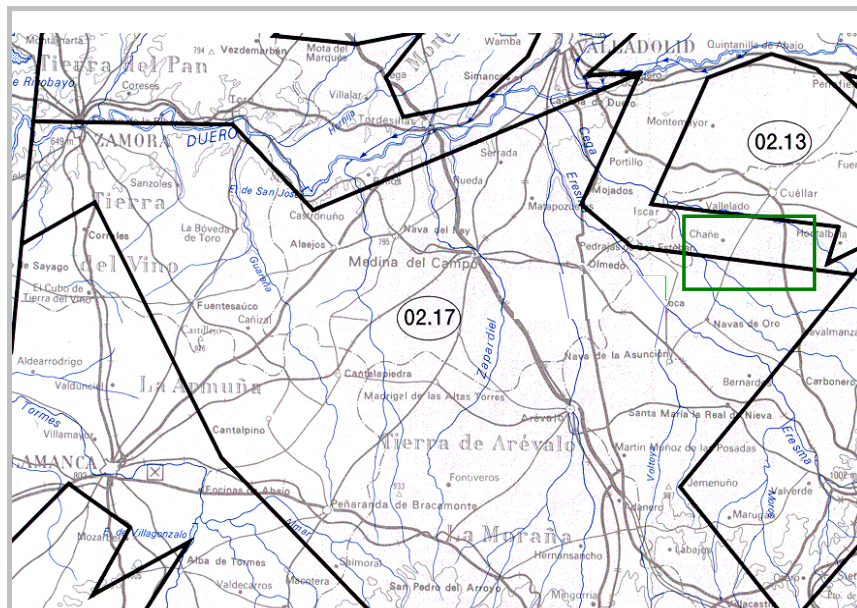


Figura 2. Trazado de la poligonal de la Unidad hidrogeológica de Los Arenales (U.H.02-17). El rectángulo verde corresponde a la zona de estudio.

Dentro de la Unidad Hidrogeológica 02.17, se pueden diferenciar tres unidades con un comportamiento hidrogeológico diferente:

Unidad superficial: Constituida por las formaciones cuaternarias correspondientes a depósitos de origen fluvial y eólico (Unidad Arévalo principalmente) y que da lugar al acuífero superficial.

Unidad intermedia: Constituida por materiales terciarios de baja permeabilidad (facies Cuestas), que se comportan como un acuitardo, e incluso como un acuífugo, desconectando las otras dos unidades.

Unidad inferior: Constituida por materiales detríticos terciarios de permeabilidad media (facies Puente Runel). Constituye el acuífero profundo.

Los acuíferos constituidos por estas unidades presentan las siguientes características:

Acuífero superficial: Las formaciones cuaternarias que constituyen el acuífero superficial en la zona de estudio presentan espesores de hasta 45 m según los datos disponibles. Debido a las características texturales de los depósitos, de alta permeabilidad, el acuífero superficial es importante. La existencia de canales de arenas y gravas y de niveles de limos y arcillas confieren a este acuífero una cierta heterogeneidad y anisotropía, especialmente en el trazado del paleocauce principal.

Acuitardo intermedio: Los materiales terciarios inmediatamente inferiores (facies Cuestas) presentan un comportamiento de acuitardo o acuífugo de baja a muy baja permeabilidad y una elevada heterogeneidad y anisotropía. Para el presente trabajo y debido a estas características, se ha considerado como la base impermeable del acuífero cuaternario.

Acuífero profundo: El acuífero profundo se desarrolla en las facies Puente Runel, en relación con el nivel de saturación regional, formando parte del sistema acuífero nº 8 o Terciario Detrítico Central del Duero. En el área de estudio, el acuífero profundo se encuentra desconectado hidráulicamente del acuífero superficial.

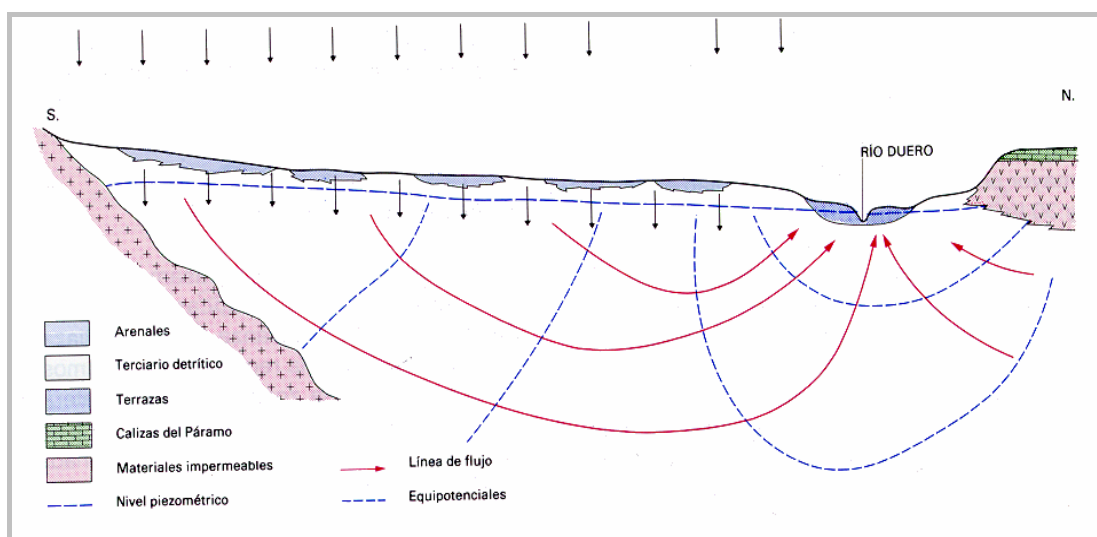


Figura 3. Esquema del funcionamiento regional del acuífero de Los Arenales.

2.2.- DATOS DE PARTIDA: DEFINICIÓN DE MODELOS FISICO E HIDROGEOLOGICO

El estudio hidrogeológico partió de una profunda revisión de la cartografía existente, y actualización del inventario de puntos de agua, realizándose además una intensa campaña de prospección geofísica, apoyada y calibrada con sondeos de investigación, que ha permitido definir el esquema geológico-estructural del acuífero cuaternario (figura 4). Este está compuesto por arenas eólicas en el sector occidental del área, pasando a partir de la zona central a un desarrollo fluvial con presencia de gravas y arenas gruesas. Esta estructura principal, se encuentra desconectada del resto de la zona de acuífero por el afloramiento de materiales impermeables (margas) del Terciario.

Se ha definido los parámetros hidrogeológicos generales del acuífero cuaternario, a partir de la medición de la piezometría, realización de ensayos de bombeo y de laboratorio. Con los datos obtenidos se ha construido un modelo matemático que posibilita prever la evolución del comportamiento del acuífero en diferentes condiciones.

Paralelamente a la definición del medio físico se avanzó en la adquisición de datos para la caracterización hidrogeológica del acuífero cuaternario, mediante campañas periódicas (3/año, periodo 2000-2002) de medición en las redes de control de piezometría, pluviometría, aforos y calidad de aguas subterráneas (figura 5). Para la evaluación, y asignación espacial, de los parámetros hidrogeológicos (figura 6) se realizaron diversos ensayos de bombeo e infiltración y pruebas con trazadores químicos, así como estudios geotécnicos de las muestras obtenidas en los sondeos de investigación.

Para la evaluación de las extracciones se contó también con un reciente elenco de regadíos, realizado por la Junta de Castilla y León, así como los datos obtenidos de las encuestas de campo (abastecimientos y otros usos).

Con toda la información disponible se realizaron las estimaciones del balance hídrico de la zona de estudio.

2.3.- MODELIZACION MATEMATICA. DISEÑO Y CALIBRACION

A partir de la información obtenida, se dio paso a la modelización matemática del acuífero de la comarca de El Carracillo. El programa informático utilizado fue el “*Visual Modflow*”. El objetivo final de la modelización era analizar la respuesta del acuífero ante las alternativas de recarga propuestas. El objetivo inmediato para esta primera etapa de modelización fue conseguir calibrar el modelo de forma que la situación piezométrica registrada en febrero de 2000 diera paso a la situación piezométrica de septiembre de 2000 al igual que sucedía en la realidad.

El criterio fundamental de selección del área de modelización fue la idoneidad de la zona para los fines perseguidos (recarga artificial) atendiendo a dos factores:

- Existencia de espesores mínimos suficientes para poder ser recargados.
- Condiciones mínimas de conductividad hidráulica.

Los condicionantes establecidos para la modelización (figura 7) han sido:

El acuífero se discretizó con una malla bidimensional de 96 columnas y 40 filas comprendiendo desde la abcisa UTM 378000 hasta la abcisa UTM 402000 y desde la

ordenada UTM 4568000 hasta la ordenada UTM 4578000. Las celdas que constituyen la malla son cuadradas y de dimensiones DELTAX = DELTAY = 250 m.

El acuífero es libre, el modelo admite la variabilidad de la transmisividad hidráulica en el espacio y en el tiempo en función de la variación de la conductividad hidráulica y del espesor saturado. Los límites norte y sur están discretizados como barreras hidrogeológicas. Al oeste de Sanchonuño y Pinarejos la barrera hidrogeológica viene definida por el afloramiento o subafloramiento del sustrato impermeable que delimita la morfología de la paleoforma. Al este de estas dos poblaciones los límites del sistema vienen definidos por dos líneas de flujo.

En cuanto a las condiciones de contorno, el límite este se ha definido por el trazado de una isopieza y por tanto está constituido por celdas de recarga constante; mientras que el límite oeste lo constituye el río Pirón. El techo del acuífero (parámetro que al tratarse de un acuífero libre no interviene en los cálculos del modelo) es la superficie del terreno. La discretización de esta superficie se realizó a partir del modelo digital del terreno del que se dispone con una precisión de ± 1 m. El muro del acuífero (contacto con el sustrato impermeable) se discretizó a partir del mapa de isohipsas del techo del terciario.

El tiempo de simulación en esta primera etapa de la modelización fue de 210 días, con obtención de resultados cada 30 días.

En cuanto a los parámetros hidráulicos (permeabilidad, porosidad eficaz, coeficiente de almacenamiento y transmisividad), los valores introducidos de permeabilidad son los obtenidos en los ensayos para las distintas zonas. La porosidad eficaz fue un parámetro a calibrar. Se realizaron diversas simulaciones con valores de porosidad eficaz entre 9 y 22.5 %. Como valor del rendimiento específico (coeficiente de almacenamiento) se ha tomado como valor aproximado el de la porosidad eficaz, al tratarse de un acuífero libre constituido principalmente por arenas. Los valores de transmisividad hidráulica (T) son calculados por el modelo a partir de la conductividad hidráulica (k) y del espesor saturado (b). Así, $T = k \cdot b$.

Según el balance hídrico efectuado, únicamente existe recarga a partir de la precipitación en abril. Se estima un valor a partir del balance hídrico de 8.7 mm/mes, es decir, 0.00029 m/día.

Respecto a los bombeos, a partir de las superficies regadas en la comarca de El Carracillo, no es posible obtener una estimación de lo que se extrae estrictamente de la paleoforma cuaternaria. Tal y como comprobó en campo, una parte considerable de estas superficies son regadas, bien con aguas procedentes de los sondeos profundos que captan el acuífero inferior terciario, o bien a partir de tomas directas en los ríos Cega y Pirón. Por este motivo, la estimación previa de las extracciones en la paleoforma se realizó a partir de los descensos observados en el nivel piezométrico entre el comienzo y el final de la época de riego y de la porosidad eficaz. Como valor inicial de porosidad eficaz se utilizó 0.22 (considerando que al tratarse de arenas la porosidad eficaz no debía diferenciarse mucho de la porosidad total). La extracción estimada con este valor es en torno a los 11 hm³. Para el modelo se ha realizado la distribución espacial y temporal de las extracciones, a partir de los datos suministrados por las campañas de campo.

Respecto al río Pirón se establecieron los siguientes considerandos: la cota del lecho del río se estableció en un metro por debajo de la cota media del terreno en cada celda. La cota de la lámina de agua, basándose en la sección de las estaciones de aforo, se estableció en 0.4 m por encima de la cota del lecho del río. La conductancia del río en

cada celda se ha calculado a partir de los caudales estimados que gana o pierde el acuífero en cada una de ellas (obtenidos a partir de los datos foronómicos y de conductividad hidráulica) y de la diferencia entre las alturas de lámina de agua. La conductancia del río varía entre 461 y 2310 m²/día según la celda

El modelo del acuífero de la comarca de El Carracillo se consideró calibrado cuando la situación piezométrica observada en febrero de 2000 (introducida en el modelo como valor inicial de potencial hidráulico para el día 1 de simulación) dio paso a la situación piezométrica observada a finales de septiembre, después de 210 días de simulación.

Considerando el modelo validado, los resultados que aporta, son los siguientes:

El volumen de extracción real producida en el acuífero ha sido de 6.5 hm³ para el año modelizado.

La porosidad eficaz media del acuífero es de un 15 %.

A partir de estos resultados, y de acuerdo con la superficie de regadío existente, podemos calcular que si se utiliza para fines de riego en la comarca un volumen total de agua aproximado de unos 10 hm³/año. Según esto, se extraería de la paleoforma cerca de un 70 % del volumen total de agua utilizado, siendo el 30 % restante agua procedente de la explotación del acuífero terciario y de bombeos directos de los ríos Cega y Pirón.

3.- RESULTADOS Y DISCUSION

Previamente al estudio realizado por esta Dirección General, el proyecto de obras de recarga planteaba como infraestructura y dispositivos de recarga un diseño simplista, que consistía básicamente en utilizar la propia red de arroyos como elementos de transporte y recarga del acuífero. Este diseño podría haber sido razonablemente eficaz en una situación en que el acuífero a recargar hubiera cumplido las hipótesis de partida de que se trataba de un manto eólico, homogéneo e isótropo, con suficiente desarrollo en todo el área de recarga, etc, en el que se suponía incluso que las posibles paleoformas coincidirían apreciablemente con la distribución actual.

Sin embargo, y como ha quedado de manifiesto en el estudio realizado, la realidad física e hidrogeológica es bien distinta, con un desarrollo muy pronunciado de una paleoforma principal, con amplias zonas parcial o totalmente desconectadas, con un modelo sedimentario complejo con intervención de la dinámica fluvial, con interferencias causadas por la neotectónica, con complejas relaciones con la red fluvial, etc.

Consecuencia de ello es la necesidad de definir una infraestructura de distribución y unos dispositivos de recarga que permitan administrar adecuadamente los recursos, asegurando la óptima distribución de los mismos en el área de demanda, y minimizando los riesgos de daños colaterales (inundaciones, afecciones a infraestructuras, impactos ambientales negativos). El modelo de infraestructura de recarga que se está definiendo será la base para el futuro proyecto de las instalaciones necesarias: instalaciones de regulación en zona almacén, tuberías/conducciones de distribución, cades/balsas/pozos de recarga, balsas de almacenamiento, etc.

Así, tal y como quedó identificado en este estudio, la zona de mayor desarrollo del acuífero libre cuaternario, con potencias de hasta varias decenas de metros, se localiza

en el sector más oriental de la comarca, coincidiendo con superficies forestales (pinares), de propiedad privada pero bajo administración pública, y con muy escaso desarrollo de actividades agrarias de regadío.

Dicha actividad se ha desarrollado históricamente en el entorno de los sectores en que se han identificado las paleoformas, extendiéndose posteriormente a otras zonas, bien a través de conducciones de agua desde los pozos de las zonas con buen desarrollo del acuífero cuaternario, y/o a través de sondeos de captación del acuífero terciario (de peor calidad química) subyacente.

En definitiva, con el estudio realizado ha quedado de manifiesto que con el esquema originalmente previsto para la distribución del agua de recarga, no existían garantías razonables de que se iban a cumplir los objetivos de:

- Máximo aprovechamiento de los volúmenes de recarga: Las simulaciones previas realizadas parecen indicar que la recarga a través de *cañales* dispuestos coincidentes aproximadamente con al red de drenaje actual, no tendría capacidad para retener los volúmenes de agua derivables, de forma que una considerable parte de este volumen transitaría sobre dicha red para descargar hacia los cauces del Cega y Pirón.
- Óptima distribución del recurso: La existencia de sectores con mínimo desarrollo del acuífero, o hidráulicamente desconectados, implican que con el diseño original amplias zonas regables no se beneficiarían directamente de la recarga, salvo que los dispositivos se complementaran con sistemas de almacenamiento superficial (balsas).
- Minimización de impactos: Con el diseño originalmente planteado, cabría esperar la aparición de problemas de inundaciones parciales durante la etapa de recarga por la dificultad de regular los caudales de distribución. Este problema podría tener especial relevancia en casos en los que durante el periodo de recarga se produjeran precipitaciones extraordinarias. Los impactos negativos de estas situaciones podrían alcanzar cierta gravedad en el caso de afecciones a las explotaciones agrícolas, e incluso a las infraestructuras.

A la vista de los resultados del estudio, el diseño original no parece posibilitar la regulación de los volúmenes anuales de agua disponibles para la recarga, ni su adecuada distribución en el espacio y en el tiempo. Es por ello que se ha planteado la posibilidad de utilizar como “sistema de regulación intermedio” el único sector del acuífero que presenta potenciales para ello, denominada “zona almacén”.

En las simulaciones realizadas hasta la fecha con el modelo matemático, se han analizado hipótesis de explotación, con distintas combinaciones de número y distribución de los pozos, y caudales y tiempos de extracción. De los resultados de estas simulaciones se concluye un modelo mixto de recarga/regulación, basado en el siguiente esquema:

- Recarga directa, mediante dispositivo a definir, de la paleoforma. Esta recarga se realizaría en la etapa de derivación, garantizando así la recuperación anual del acuífero en el eje Gomezserracín-Narros de Cuéllar. Este sector se autorregularía anualmente con los recursos naturales aportados por las precipitaciones, apoyados por los caudales de recarga que fueran necesarios.

- Para el resto de la zona, como alternativa a la opción del almacenamiento superficial en balsas, se aplicaría un modelo de abastecimiento desde el almacenamiento subterráneo, mediante bombeo de baterías de pozos dispuestas en la “zona almacén” (con balsas de regulación intermedias). Los volúmenes extraídos durante la temporada de

riegos serían repuestos en otoño-invierno mediante recarga con las aguas derivadas desde el Cega.

Este planteamiento, perfectamente coherente con la filosofía del “uso conjunto” de los recursos hídricos, ha sido simulado mediante el modelo matemático que, trabajando en los supuestos más conservadores, parece poner de manifiesto su capacidad de respuesta incluso en situaciones de sequía prolongada.

4.- ACTUACIONES EN CURSO

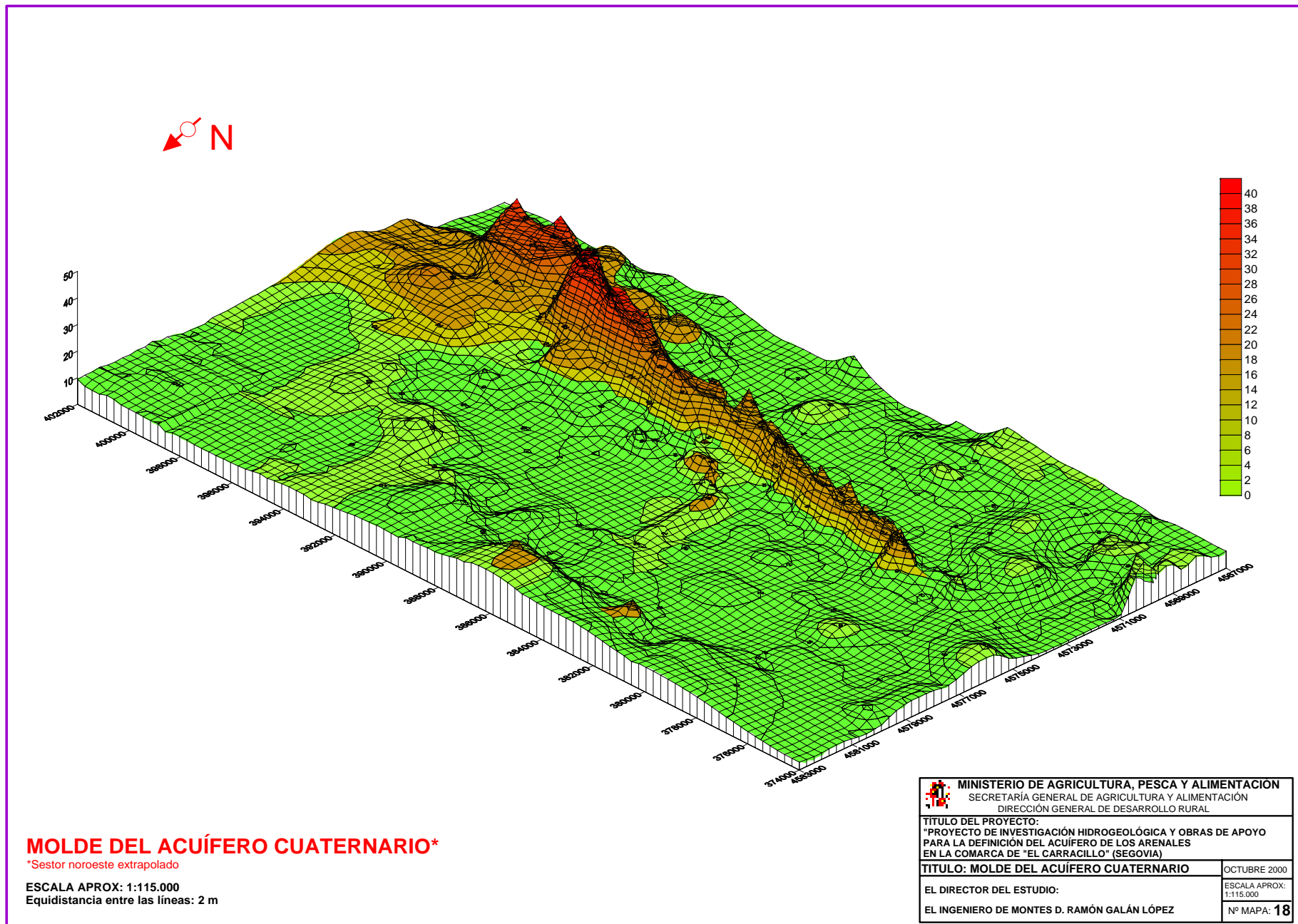
Actualmente la Dirección General de Desarrollo Rural está realizando un estudio complementario para la definición del modelo de gestión de los recursos hídricos en la zona, cuyos principales objetivos son:

- Perfeccionamiento del modelo matemático: en la fase de modelización de la respuesta del acuífero a la recarga artificial quedó de manifiesto la necesidad de ampliar la fase de calibración, con adquisición de datos de campo (campañas de piezometría, aforos, hidroquímica), realización de nuevos ensayos para la determinación de parámetros hidráulicos en áreas específicas y estratégicas, etc. Esta fase de adquisición de datos complementarios cobrará especial importancia en la denominada “zona almacén”, donde está previsto se desarrollen las principales actuaciones de recarga y bombeo.
- Estudio detallado de las capacidades de regulación del sector denominado “zona almacén”, y de definición de los sistemas/dispositivos de recarga y bombeo desde el mismo.
- Realización de simulaciones de distintos escenarios y modelos de gestión de los recursos hídricos: con la carga al modelo matemático de los datos complementarios, resultados de los ensayos, y campañas de control, y con la ampliación del periodo de calibración, se podrán diseñar y realizar simulaciones de las distintas hipótesis que se planteen en cuanto a dispositivos y programación de la recarga. El modelo matemático se constituirá así en el soporte esencial para la fase de diseño de las redes de distribución y dispositivos de recarga, así como para la propia planificación y gestión futura de la misma.
- Diagnóstico de las implicaciones ambientales de las actuaciones y de las obras de regulación/recarga/bombeo, en que se prestará especial atención a los posibles efectos de la oscilación de la superficie piezométrica sobre las masas forestales.
- Realización de un informe técnico-jurídico orientado a dar soporte a la solicitud de las preceptivas autorizaciones y concesiones ante el organismo competente, la Confederación Hidrográfica del Duero.

Para la consecución de los objetivos propuestos, y además de las actuaciones ya indicadas (nuevas campañas de adquisición de datos, ampliación del periodo de calibración del modelo matemático y realización de simulaciones, etc), se están ejecutando una serie de obras y ensayos, entre los que se destacan:

- Nuevos sondeos de testigo continuo y de investigación hidrogeológica, con sus analíticas y ensayos correspondientes: Los nuevos sondeos se están centrando especialmente en la “zona almacén” con objeto de consolidar el modelo hidrogeológico, y contrastar los parámetros hidráulicos calculados en la anterior fase.

- Ensayos de extracción/recarga en “zona almacén”. Se prevé construir una serie de dispositivos-tipo para ensayos de recarga, básicamente secciones de cades, balsas, pozos y zanjas drenantes.
- Ensayos de extracción/recarga en “paleoformas”. En las “paleoformas” los ensayos se centrarán en análisis de eficiencia de dispositivos de recarga. En principio para los ensayos se utilizarán las aguas procedentes de los ensayos de extracción en la “zona almacén” y de los pozos y sondeos que allí está previsto construir, llevando el agua a través de tuberías hasta la cabecera del arroyo Marieles



Figura

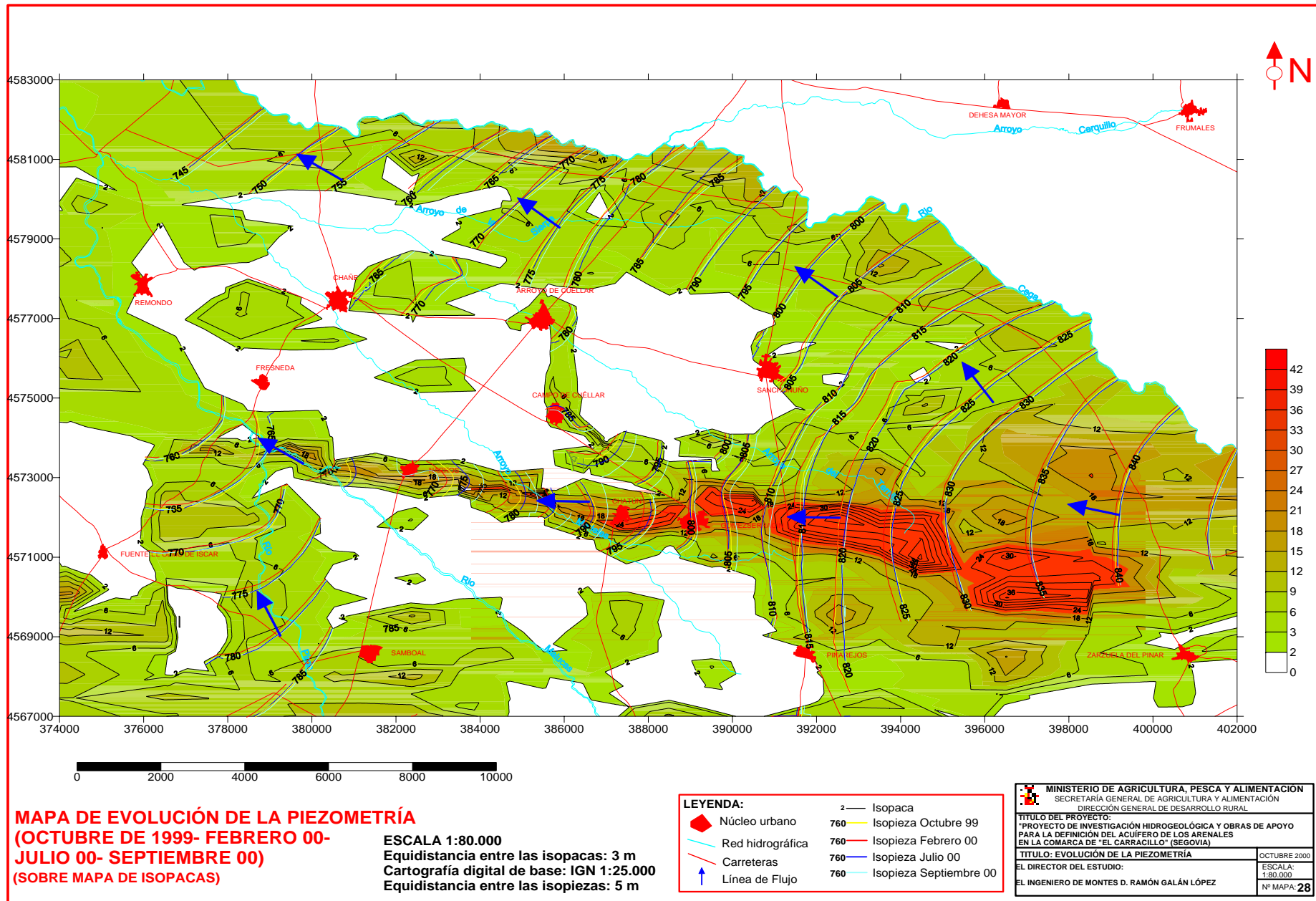
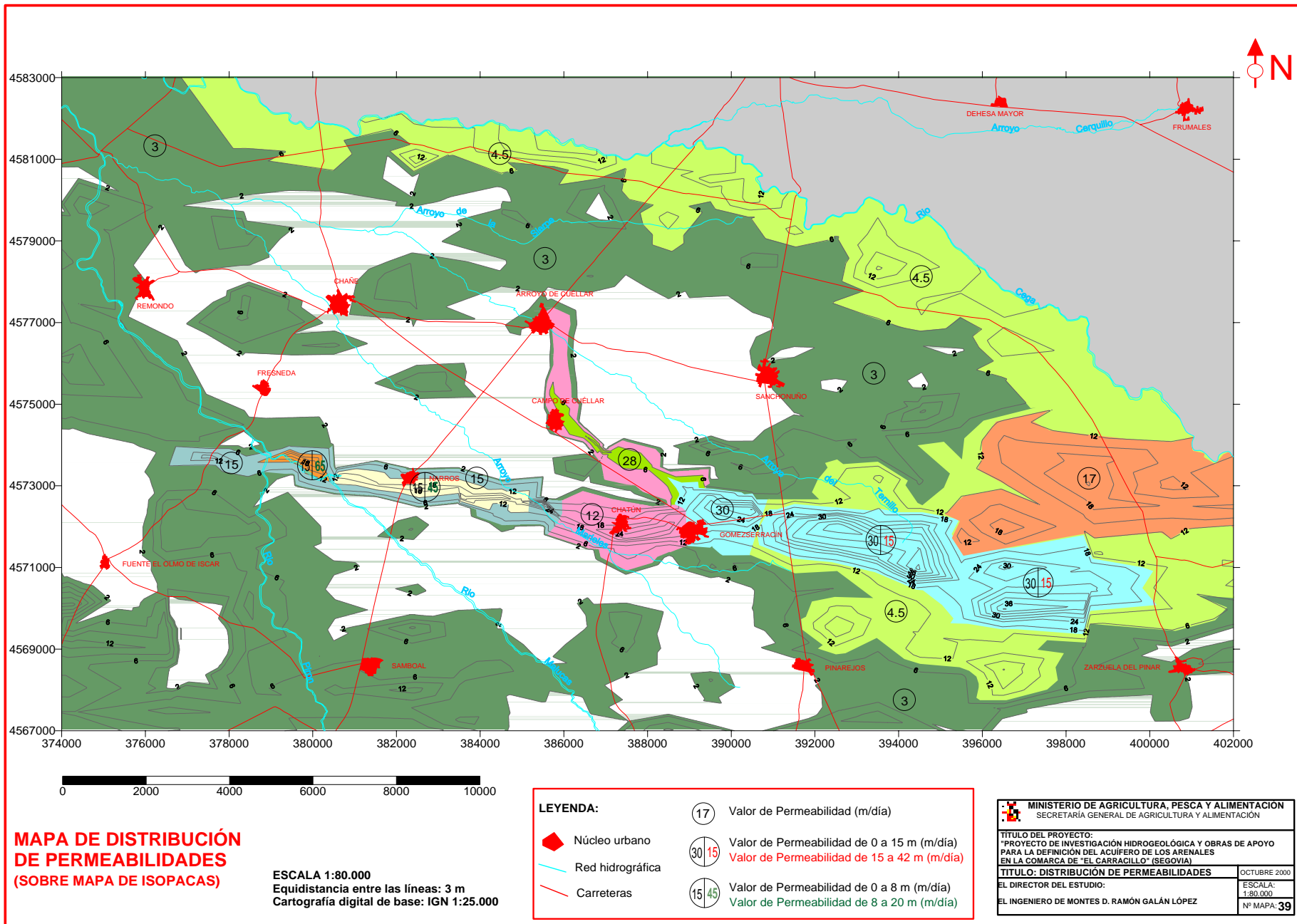


Figura 2

La figura muestra que es en el mes de febrero cuando los niveles piezométricos están más altos. Lógicamente nos encontramos en la época invernal, donde las extracciones son prácticamente inexistentes y, aunque no ha llovido demasiado en este año hidrológico, el acuífero se ha recargado ligeramente. En el mes de septiembre de 2000 es cuando los niveles piezométricos están más bajos, coincidiendo con el final de la época de riego y con los meses más secos.



Figura