

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



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

Ebro-Cantábrico Oriental

Informe nº 16 (CALIZAS DE LA LOSA-SALVADA)

20. Calizas de la Losa

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

PRESENTACIÓN

Pág.

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO	1
2. ANTECEDENTES	3
3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	4
3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	4
3.2. GEOMETRÍA, ESTRUCTURAS Y LÍMITES.	7
3.3. FORMACIONES HIDROGEOLÓGICAS	10
3.4. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y PIEZOMETRÍA.....	14
3.5. RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO	22
3.6. USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	23
4. CLIMATOLOGÍA	24
4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	24
4.2. ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL	26
4.2.1. <i>Análisis espacial</i>	26
4.2.2. <i>Análisis temporal</i>	26
5. RECARGA A LOS ACUÍFEROS	32
5.1. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL MÉTODO APLIS.....	32
5.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE VISUAL BALAN	37
5.3. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA.....	40
5.3.1. <i>Metodología de cálculo y entrada de datos</i>	41
5.3.2. <i>Calibración</i>	49
6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	54
7. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL	55
8. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	58

Anexo I. Datos climáticos mensuales utilizados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema general de situación de las MASCH La Losa-Salvada y adyacentes.....	1
Figura 3.1. Cortes y mapa geológico simplificado de la Cordillera Cantábrica (Según Quintana, inédito, Alonso et al., 1996)	4
Figura 3.2 Esquema de división de la Cuenca Vasco-Cantábrica según Barnolas, A. y Pujalte, V. (editores) (2004): La Cordillera Pirenaica. En: Geología de España (J. A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 233-343.....	5
Figura 3.3. Esquema cronoestratigráfico simplificado de la sucesión Mesozoico-Terciaria de la Cuenca Vasco-Cantábrica según Barnolas, A. y Pujalte, V. (editores) (2004): La Cordillera Pirenaica. En: Geología de España (J. A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 233-343.	6
Figura 3.4. Principales estructuras de la zona (Cartografía: Mapa Geológico continuo E: 1:50.000. IGME).....	8
Figura 3.5. Mapa Hidrogeológico de la MASCH Calizas de La Losa-Salvada	12
Figura 3.6. Cortes Hidrogeológicos de la MASCH Calizas de La Losa-Salvada	13
Figura 3.7. Piezómetros del acuífero	16
Figura 3.8. Esquema de funcionamiento de las descargas del nacimiento del Cadagua	17
Figura 3.9. Cartel explicativo de las surgencias situado en el acceso a la zona del nacimiento del Cadagua (tomado de http://descendedor.blogspot.com/2010/10/surgencia-del-cadagua-valle-de-mena.html)	18
Figura 3.10. Fuentes del Cadagua (Tomada de https://ivanruizfotos3.wordpress.com/2016/06/)..	18
Figura 3.11. La Cencerrona (Tomada de http://tierrasdeburgos.blogspot.com/2011/04/cascadas-de-burgos-la-cencerrona.html).....	19
Figura 3.12. Plano y perfil de la Cueva del Agua de Quincoces de Yuso (Tomado de https://grupodelweiss.com/)	20
Figura 3.13. Fotografías de la salida del manantial de la Cueva del Agua en diferentes épocas (Tomadas de la Web Tierras de Burgos).....	20
Figura 3.14. Descarga subterránea al Río Tamecillo en Osma. (Sistema de Información del Agua. URA-Agencia Vasca del Agua. Gobierno Vasco)	21
Figura 3.15. Manantial de Osma, perteneciente a la Red de Control de Calidad de URA, punto SC47 (Tomada de http://www.telur.es/redbas/SC/SC47)	22
Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas disponibles	24
Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos	28
Figura 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen	29
Figura 4.4. Hietograma anual de la precipitación media caída en la MASb	29
Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos	30

Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio.....	30
Figura 4.7. Desviaciones de la precipitación anual respecto a la media acumuladas.....	31
Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) y Suelo (S) para el método APLIS.....	36
Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS.....	37
Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la Calizas de Losa - Salvada (acuífero Cretácico superior) (1992/93-2014/15).....	39
Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA.....	41
Figura 5.5. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.....	42
Figura 5.6. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA.....	43
Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA.....	44
Figura 5.8. Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.....	45
Figura 5.9. Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo	47
Figura 5.10. Condiciones en los límites del modelo de flujo.....	48
Figura 5.11. Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros de la zona este de la MASCH	51
Figura 5.12. Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros de la zona centro de la MASCH	51
Figura 5.13. Piezometría representada en Renata para el régimen permanente.....	52
Figura 5.14. Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo	53
Figura 7.1. Superficie piezométrica flujo subterráneo, manantiales y ríos principales de la MASCH Calizas de la Losa-Salvada (acuífero coniaciense) en régimen natural permanente.....	56
Figura 7.2. Distribución de los recursos drenados y transferidos en la MASCH.	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Relación de estaciones climáticas disponibles para realizar el estudio climático.....	24
Tabla 4.2. Valores característicos de las estaciones meteorológicas	25
Tabla 4.3. Valores característicos de las series anuales de precipitación para el período 1955/56-2014/15	26
Tabla 4.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos acontecidos entre octubre de 1992 y septiembre de 2015.	27
Tabla 5.1. Puntuaciones a asignar para cada parámetro de la metodología APLIS, Parámetro Altitud (m) Puntuación.....	33
Tabla 5.2. Porcentaje y clases de recarga metodología APLIS.....	36
Tabla 5.3. Parámetros aplicados para evaluar la recarga mediante el método VISUAL BALAN ...	38
Tabla 5.4. Características de los sectores climáticos (1992-2015)	43
Tabla 5.5. Sectores de suelo: parámetros utilizados	45
Tabla 5.6. Áreas establecidas con diferente recarga.....	46
Tabla 5.7. Recarga en cada una de las áreas (1992-2015)	50
Tabla 5.8. Precipitación media, recarga media por precipitación y tasa de recarga en los sectores de suelo que se han denominado carbonatico y no carbonatico (1992-2015)	52
Tabla 5.9. Recarga del acuífero jurásico por Demarcaciones Hidrográficas (1992-2015)	52
Tabla 6.1. Valor de la recarga de la MASCH denominada Calizas de la Losa-Salvada (acuífero coniaciense) mediante la utilización de los métodos APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1990/91-2014/15).....	54
Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen natural estacionario de la MASCH de Calizas de la Losa-Salvada (acuífero coniaciense) por Demarcaciones Hidrográficas	55
Tabla 7.2. Distribución de recursos subterráneos por cuencas (suponiendo homogéneos por superficie)	57

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

PRESENTACIÓN

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

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

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

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

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

En concordancia con los objetivos perseguidos, esta memoria contempla la identificación, caracterización y mejora del conocimiento de los acuíferos compartidos en la MASCH de Calizas de la Losa-Salvada (integrada por la MASb091.010 Calizas de la Losa de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y parte de las MASb013.007 Salvada de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental). Los resultados obtenidos servirán como referencia técnica en la tarea de actualización de los contenidos que a este respecto debe incluir el Plan Hidrológico Nacional a partir de las propuestas de los planes hidrológicos de cuenca.

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO

La MASCH en estudio engloba las Masas de Agua Subterránea de La Losa y Salvada pertenecientes a las Demarcaciones Hidrográficas del Ebro y Cantábrico Oriental respectivamente, ocupando una extensión total de 351,25 km², de los que 285.90 km² corresponden a la Cuenca del Ebro y 65.35 km² a la Cuenca del Cantábrico Oriental (Figura 1.1).

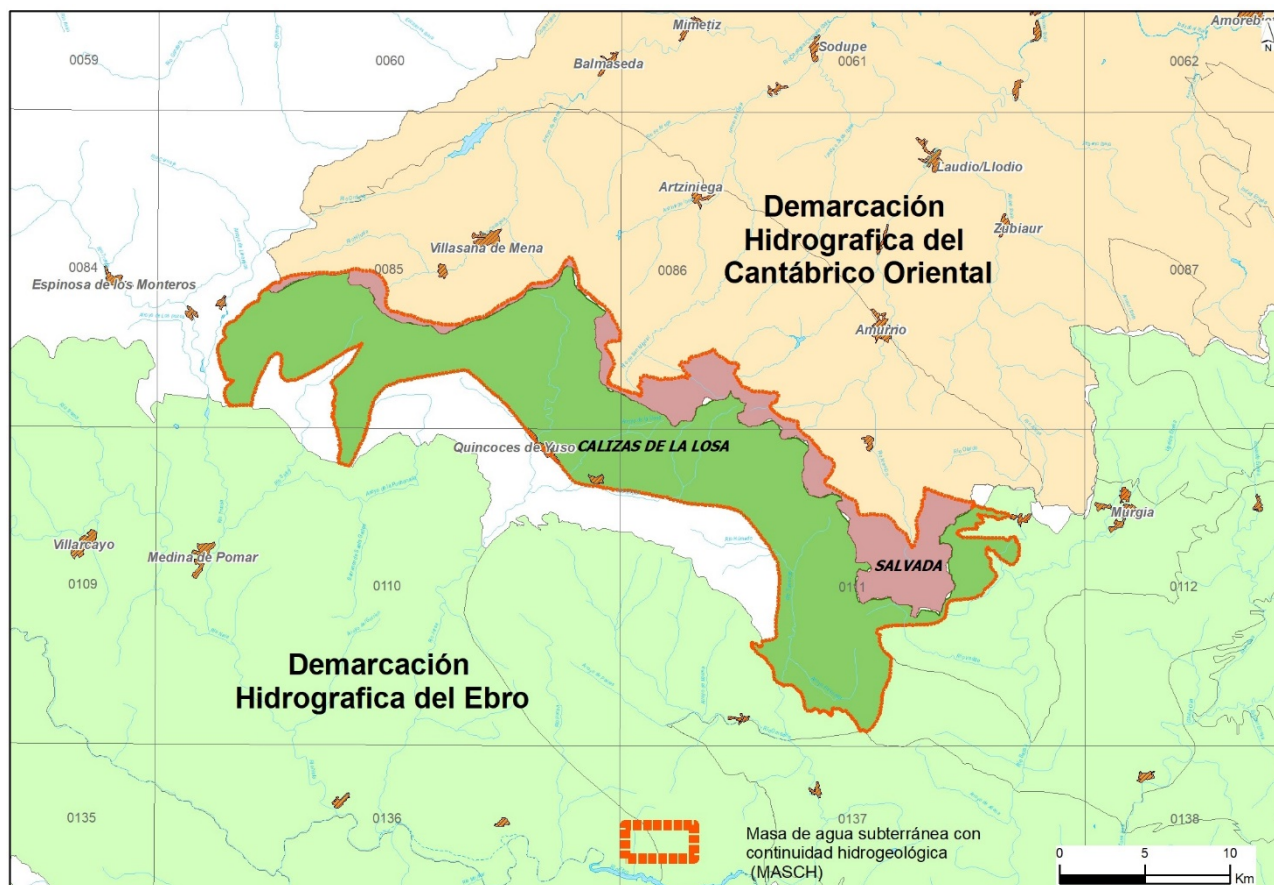


Figura 1.1. Esquema general de situación de las MASCH La Losa-Salvada y adyacentes

Administrativamente la MASCH, se encuentra a caballo entre las provincias Burgos (72,57%, 254,92 km²) y Álava (27,11%, 95,53 km²), con una pequeña proporción de la provincia de Vizcaya (0,31%, 1,10 km²) y, por tanto, entre dos Comunidades Autónomas: Castilla y León y País Vasco.

La población más importante dentro de la MASCH es Quintoces de Yuso, situada en el centro del límite suroccidental, destacando en los alrededores, pero fuera de la MASCH las poblaciones de Villasana de Mena al norte, Espinosa de los Monteros al oeste y Medina de Pomar y Villarcayo al suroeste, en la provincia de Burgos y, Amurrio al norte y Murgia e Izarra al este, en la provincia de Álava.

La masa se sitúa entre los ríos Corneja, afluente del Trueba, al este y Bayas (Ibaia) al oeste, ambos pertenecientes a la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

Los principales ríos, pertenecientes a la Cuenca del Ebro, son: Jerea y Nabón, que nacen en el sector central y confluyen al S de Quintoces de Yuso, fuera ya de los límites de la MASCH, y

Tumecillo, que desde las proximidades del Puerto de Orduña discurre hacia el sur, cerca de la localidad de Osma.

En el extremo oriental, en el área de las sierras de Guivijo y Guillarte, la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental se adentra en la MASCH, constituyendo la cabecera del río Nervión que discurre hacia el norte, en dirección a la localidad de Orduña.

En el extremo occidental de la MASCH, en el límite mismo de esta, se encuentran los manantiales que dan origen al río Cadagua, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, que desde este punto se dirige al norte hacia la localidad de Villasana de Mena.

Solo un pequeño sector de la masa en esta zona corresponde a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, ya que casi la totalidad de la mitad occidental del límite norte coincide con la divisoria de aguas con la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

La MASCH presenta un relieve suave ascendente hacia el norte, desde los 600-700 m s.n.m del límite sur, hasta los 1000-1250 m s.n.m. del límite norte, reflejo de las estructuras monoclinales de dirección E-W de las formaciones cretácicas que la constituyen, formando una cuesta estructural que cae abruptamente en el límite norte hacia las depresiones de los diapiros de Villasana de Mena y Orduña y los valles de los ríos Cerneja, Herrerías (afluente del Cadagua), Nervión y Bayas.

Por tanto, los principales relieves de la masa se sitúan a lo largo del límite norte, encontrándose de oeste a este, los siguientes:

- **Montes de la Peña.** Con cotas entre los 1000 y 1250 m s.n.m, se extiende desde el extremo oriental de la MASCH hasta el paso de El Portillo, constituyendo además el borde sur del Diapiro de Villasana de Mena. Las mayores cotas corresponden a la Peña Hornilla que con 1259 m s.n.m es el punto más elevado de la masa y al pico Peñalva que alcanza los 1244 m s.n.m.
- **Sierra de Carbonilla.** Situada inmediatamente al este, se extiende hasta el puerto de Angulo, con su cota máxima de 1126 m s.n.m en el Alto de la Peña.
- **Sierra Salvada.** Se extiende al este de la Sierra de la Carbonilla, entre el Puerto de Angulo y las proximidades del Puerto de Orduña, con cotas superiores a los 1100 m s.n.m, siendo su punto más elevado la Peña de Aro con 1185 m s.n.m.
- En el extremo occidental de la MASCH se encuentran las sierras de Guivijo y Guillarte con cotas que apenas superan en algún punto los 900 m s.n.m. El punto más elevado corresponde al Arancatxas con 921 m s.n.m. en la Sierra de Guivijo.

Entre el puerto de Orduña y el nacimiento del Nervión se encuentra el Monumento Natural Monte Santiago que muestra un paisaje característico, con numerosas estructuras kársticas (dolinas, simas, lapiaces) constituyendo una de las zonas de recarga de la masa, formando parte además de la cabecera del Nervión, que desde este punto se precipita en una cascada de más de 200 m de altura hacia la depresión del Diapiro de Orduña.

2. ANTECEDENTES

Como se ha indicado anteriormente, la actual MASCH Calizas de la Losa-Salvada incluye las Masas de Agua Subterránea La Losa, definida en la Demarcación Hidrográfica del Ebro y Salvada, pertenecientes a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

El IGME dentro del *Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS)* realizó la definición y delimitación de los sistemas acuíferos de España, que en el caso de la Demarcación Hidrográfica del Ebro se llevó a cabo en la segunda mitad de la década de los setenta del pasado siglo. En esta, la MASCH se encontraba incluida en el SA 64 Cretácico de la Lora y Sinclinal de Villarcayo, formando parte del Subsistema del Sinclinal de Villarcayo.

Posteriormente, en el *Estudio de delimitación de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e islas Baleares y síntesis de sus características* (DGOH-ITGE, 1988), la MASCH queda incluida en la Unidad Hidrogeológica de Villarcayo (09.03), coincidente aproximadamente con el mencionado Subsistema del Sinclinal de Villarcayo, aunque limitada al Este por las UU.HH. de Subijana–Nanclares (09.06) y de Treviño (09.05), y al norte por la divisoria de las cuencas del Ebro y Norte, actualmente denominada Cantábrico Oriental. El sector de la U.H. correspondiente a la cuenca Norte no se asoció a ninguna unidad hidrogeológica, manteniéndose incluida en la de Villarcayo.

Más adelante, en el “Estudio de las Unidades Hidrogeológicas de Villarcayo (09.03) y La Bureba (09.62)” (DGOH, 1999) se completa y actualiza la información de la U.H., definiéndose 9 subzonas hidrogeológicas dentro de esta, coincidiendo de forma bastante aproximada la denominada como Montes de La Peña-Carbonilla-Sierra Salvada con la actual MASCH Calizas de La Losa-Salvada.

En este estudio se establece para la Subzona Hidrogeológica La Peña-Carbonilla- Sierra Salvada, asimilable a grandes rasgos a la MASCH objeto de estudio, el siguiente balance hídrico en hm^3/a :

- ENTRADAS
 - Infiltración lluvia 54
- SALIDAS
 - Manantiales 26
 - Ríos 2

Finalmente, con la implantación de la Directiva Marco del Agua se introdujo la Masa de Agua Subterránea (MASb) como unidad básica de gestión de acuerdo con los criterios establecidos por esta, definiéndose desde entonces, en los sucesivos Planes Hidrológicos de Cuenca, para cada una de las Demarcaciones Hidrográficas.

3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

3.1. Contexto geológico

La MASCH Calizas de La Losa-Salvada se ubica en la Cordillera Cantábrica, que constituye la prolongación hacia el oeste del Sistema Pirenaico y dentro de esta, en la Zona o Cuenca Vasco-Cantábrica. En la Figura 3.1 se representa el mapa geológico simplificado y los cortes de la Cordillera Cantábrica, en los que se ha marcado la situación de la zona de estudio.

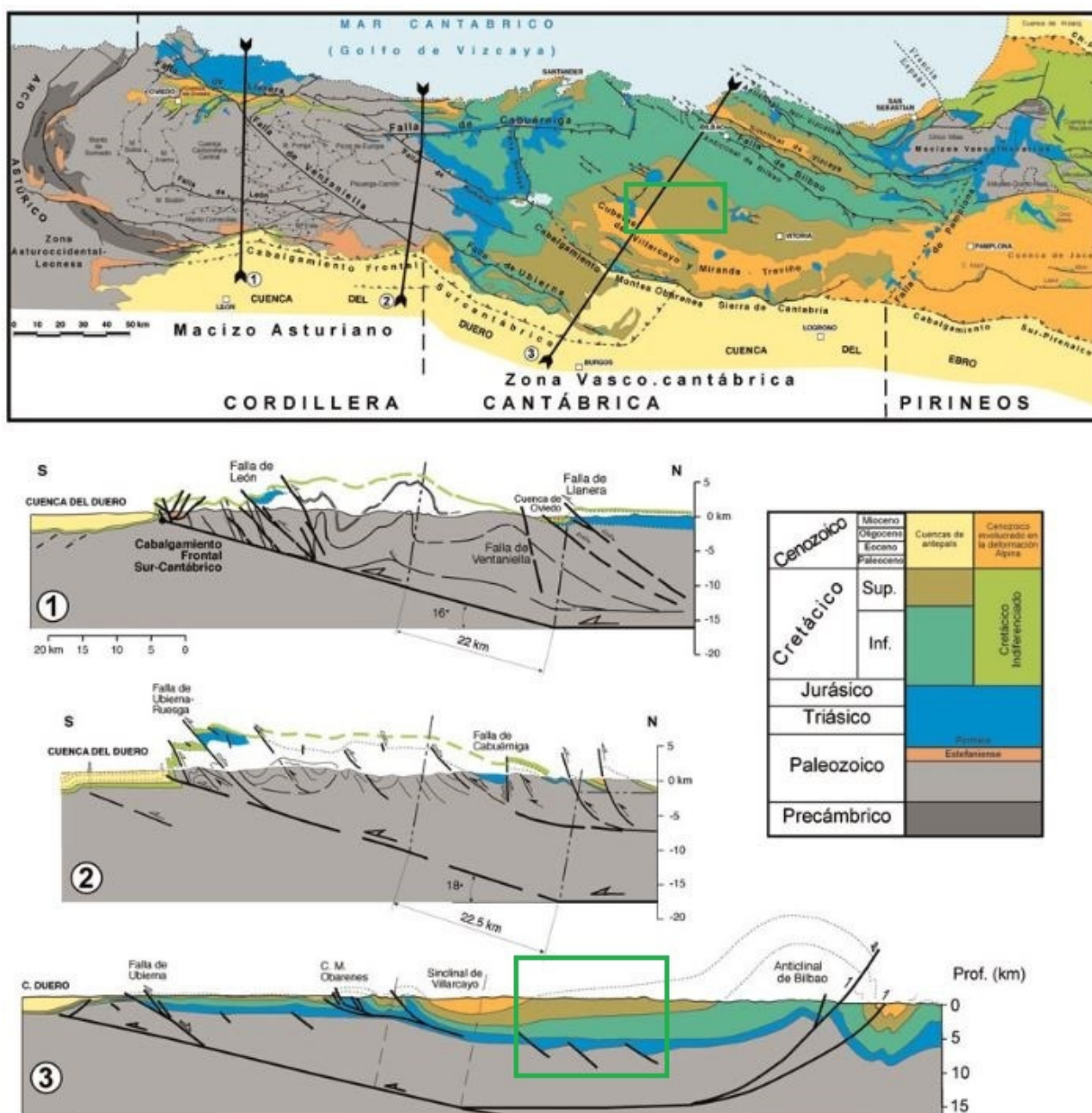


Figura 3.1. Cortes y mapa geológico simplificado de la Cordillera Cantábrica (Según Quintana, inédito, Alonso et al., 1996)

La Cordillera Cantábrica corresponde al sector de la Cordillera Pirenaica emergido, situado al oeste de la Falla de Pamplona. Está constituida, en su mitad oriental (Cuenca Vasco-Cantábrica), fundamentalmente por materiales Mesozoicos, principalmente del Cretácico y, en las zonas central y occidental, por materiales Paleozoicos y Precámbricos.

El rasgo más destacado de la Cuenca Vasco-Cantábrica, y que justifica la denominación de esta zona como “Cuenca”, es la gran potencia de la serie Mesozoica, especialmente la del Cretácico, con un espesor acumulado estimado entre 12000 m (Brinkmann y Lögters, 1968) y 17000 m (Lotze, 1960), (en Vera, J. A. 2004), consecuencia de la fuerte subsidencia tectónica.

La Cuenca Vasco-Cantábrica se divide a su vez en tres zonas separadas por accidentes tectónicos, según la división propuesta por Barnolas y Pujalte (en Vera, J. A. 2004), representada en la Figura, ubicándose la MASCH en la zona central del Surco Navarro-Cántabro, al noreste de la Cuenca de Villarcayo.

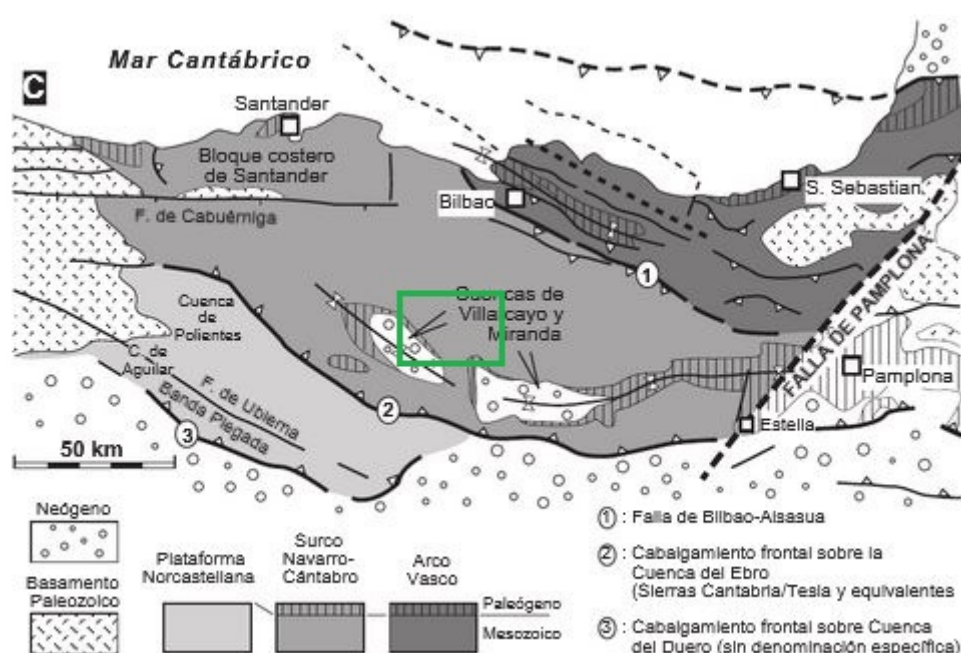


Figura 3.2 Esquema de división de la Cuenca Vasco-Cantábrica según Barnolas, A. y Pujalte, V. (editores) (2004): La Cordillera Pirenaica. En: Geología de España (J. A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 233-343.

El Surco Navarro-Cántabro, conocido también como Cubeta alavesa, corresponde igualmente a una zona de fuerte subsidencia delimitada por dos sistemas de fallas: el de Bilbao-Alsasua al noreste y el formado por los cabalgamientos de la Sierra de Cantabria-Montes de Tesla y su continuación por la falla de Carrales y Rumaceo al sur (Figura 3.2). Una de sus características más notables es la profusión de estructuras diapíricas en su interior, representadas en la zona de estudio por los diapiros de Villasana de Mena y Orduña al N, el de Rosío al SO y el de Murguía en el extremo oriental.

Durante la orogenia Pirenaica, el Surco Navarro-Cántabro fue levantado y transportado de 15 a 20 km hacia el sur, sobre la Cuenca del Ebro y la Plataforma Norcastellana, favoreciendo su erosión parcial y el desarrollo de depocentros endorréicos de carácter aluvio-lacustre (Pujalte et al., 2002) (en Vera, J. A. 2004), representados por las cuencas Oligoceno-Miocenas de Miranda y Villarcayo, situadas al SE y SO de la MASCH (Figura 3.2).

En conjunto la zona se presenta como un sinclinorio, estructurado por una serie de pliegues de cobertera de dirección principal ONO-ESE, resultado de la Orogenia Alpina.

En la Figura 3.3 se muestra el esquema cronoestratigráfico de la sucesión Mesozoico-Terciaria general de la Cuenca Vasco-Cantábrica según Barnolas y Pujalte (en Vera, J. A. 2004), en el que se ha marcado la situación de la MASCH, de acuerdo con las formaciones y materiales que la constituyen.

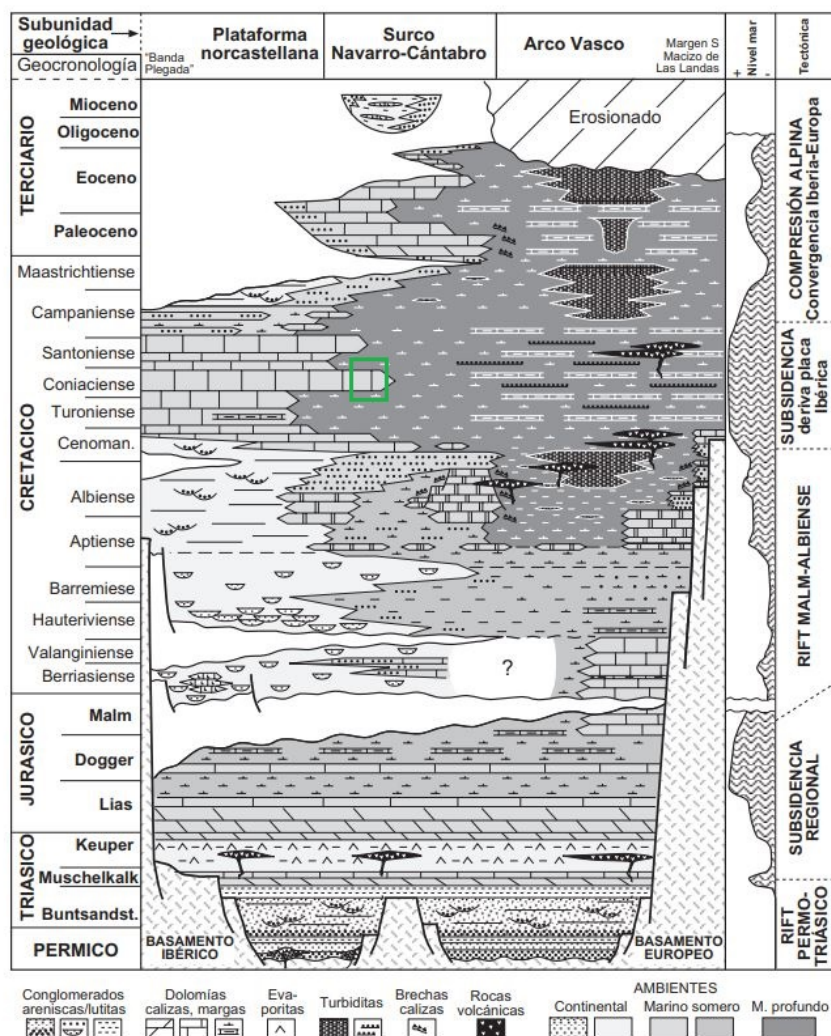


Figura 3.3. Esquema cronoestratigráfico simplificado de la sucesión Mesozoico-Terciaria de la Cuenca Vasco-Cantábrica según Barnolas, A. y Pujalte, V. (editores) (2004): La Cordillera Pirenaica. En: Geología de España (J. A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 233-343.

Dentro de los límites de la MASCH afloran únicamente materiales del Cretácico Superior, además de los escasos depósitos cuaternarios, en concreto la formación de calizas y dolomías del Coniaciense medio y superior que constituye el acuífero, limitada por las margas y calizas margosas del Turoniense-Coniaciense inferior a muro y las margas y calizas arcillosas del Santoniense a techo (Figura 3.3).

Solo en dos estrechas franjas de los límites de la masa con los diapiros de Villasana de Mena y Salinas de Rosío, en el extremo occidental de la masa, los materiales carbonatados del Coniaciense medio-superior entran en contacto con los materiales del Keuper.

La formación de margas y calizas margosas del Turoniense-Coniaciense inferior está constituida por un conjunto de margas grises compactas, generalmente hojosas, con algunas intercalaciones de calizas arcillosas, que adquieren mayor desarrollo en el tramo superior. El conjunto, con una potencia entre 500-600 metros, está compuesto por un tramo basal de 100 m de margas con intercalaciones de biomicritas, sobre las que se encuentran 400 m de una alternancia de biomicritas y biopelmicritas con margas. El espesor del conjunto se reduce hacia el O y SE, siendo muy notable esta reducción en las inmediaciones del diapiro de Rosío.

El Coniaciense medio-superior está representado por un conjunto calizo-dolomítico, bastante homogéneo en toda la masa, que destaca morfológicamente en el paisaje dando lugar a una característica cresta o “cejo” que forma los relieves elevados de la zona. A techo suele presentar delgadas intercalaciones de margas hojosas de tonos amarillentos que le dan un aspecto tableado. Por el contrario, la parte inferior se presenta masiva con niveles frecuentemente dolomitizados, lo que acentúa el carácter masivo del tramo.

El espesor de la unidad varía entre 120-270 metros, encontrándose los mayores espesores en la zona central de la masa que, como en el caso anterior, disminuyen hacia las inmediaciones del diapiro de Rosío al O y hacia el SE.

Sobre el paquete calizo-dolomítico descrito anteriormente se encuentra una formación constituida por una alternancia de margas amarillentas y grisáceas con calizas arcillosas y limolíticas. El conjunto presenta una potencia variable, entre los 100-120 metros de potencia media en la mitad occidental, que se reduce ligeramente hacia el O, y los 1150 m que se alcanzan en las inmediaciones de Osma, superiores incluso en la zona central, entre Villalba de Losa y Villacián, disminuyendo de nuevo los espesores hacia el SE.

Los materiales cuaternarios están representados por depósitos aluviales, coluviales y fondos de valle.

3.2. Geometría, estructuras y límites.

Como se ha indicado en el apartado anterior, la MASCH se encuentra formando parte del denominado Surco Navarro-Cántabro, situada entre los diapiros de Villasana de Mena y Orduña al norte y los de Rosío y Murguía a oeste y este respectivamente, que limitan y condicionan su estructura, y con los dos grandes sinclinales de Miranda-Treviño y Villarcayo, situados inmediatamente al sur.

En la Figura 3.4 se muestran, sobre la base cartográfica del mapa continuo a escala 1:50.000 del IGME, la situación de la MASCH y las principales estructuras de esta y su entorno.

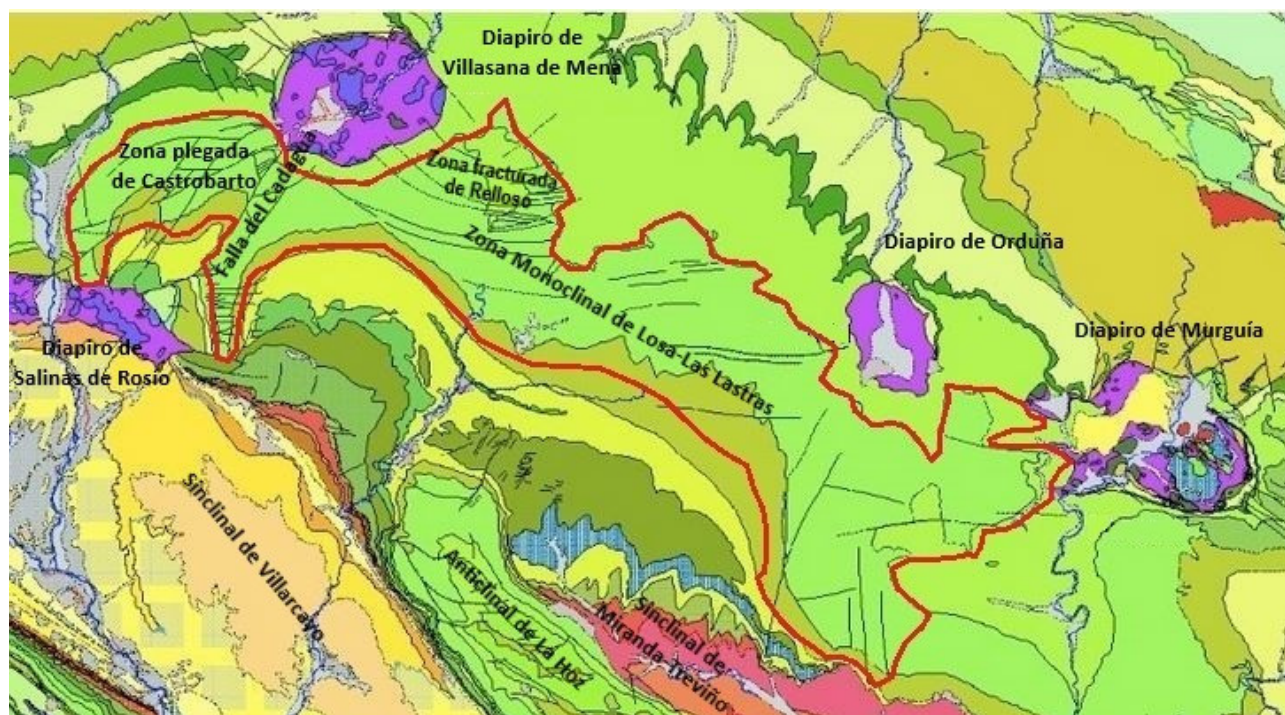


Figura 3.4. Principales estructuras de la zona (Cartografía: Mapa Geológico continuo E: 1:50.000. IGME)

Las principales estructuras tectónicas de la MASCH y su entorno son las siguientes:

Diapiro de Villasana de Mena

Corresponde a una intrusión salina de materiales triásicos del Keuper de tipo chimenea y de forma casi circular, que perfora la potente serie monoclinal cretácica y que no parece estar ligada a ninguna falla o zona de debilidad preexistente detectable en superficie, que ha dado lugar a la formación de una depresión de 8 Km de diámetro.

La extrusión del diapiro del Valle de Mena provocó el levantamiento de los Montes de la Peña, en el borde noroccidental de la masa originando un característico relieve estructural

Diapiro de Orduña

Situado en el límite nororiental de la masa corresponde, al igual que en el caso anterior, a una estructura diapírica sencilla de tipo chimenea, formada por la intrusión de las arcillas y sales triásicas del Keuper, que atraviesan los materiales cretácicos. Englobados en los materiales arcillosos del Keuper que constituyen el diapiro se encuentran algunos bloques de los materiales mesozoicos atravesados por este.

El diapiro forma una depresión casi circular que constituye el Valle de Orduña que se extiende al pie de Sierra Salvada hacia el norte

Diapiro de Murguía

Se trata de un diapiro complejo, que se encuentra situado en el extremo nororiental de la masa, formando un ancho cilindro encajado en los materiales cretácicos que lo circundan, que aparecen levantados en casi todo su contorno, llegando incluso a estar invertidos en algunas zonas. En el centro del diapiro quedan flotando dos bloques de Cretácico Superior desligados de los flancos y hundidos como consecuencia de la disolución de los materiales salinos del Keuper.

Falla del Cadagua y Zona plegada de Colina-Castrobarto

En el extremo occidental de la masa se encuentra la falla del Cadagua, de dirección NE-SO, que enlaza los diapiros de Mena y Rosío y delimita la Zona Plegada de Colina-Castrobarto al oeste.

Se trata de una falla inversa de plano subvertical o de escaso ángulo, formada probablemente por el empuje ascensional de ambos diapiros, que ha provocado el avance del bloque suroriental sobre el noroccidental.

Esta falla delimita dos bloques con características tectónicas claramente diferenciadas: el occidental, que resiste el empuje del bloque suroriental plegándose en una serie de anticlinales y sinclinales de dirección NE-SO, perpendiculares al sentido del esfuerzo y fracturándose intensamente (Zona Plegada de Colina-Castrobarto) y, el oriental, escasamente afectado por la tectónica.

Zona Fracturada de Relloso

Situada en la mitad nororiental de la masa, entre los Montes de la Peña y Sierra Salvada, se caracteriza por la existencia de numerosas fracturas de gran longitud y escaso o nulo desplazamiento, algunas de las cuales están relacionadas con fallas radiales del diapiro de Mena.

Zona monoclinal de Losa-Las Lastras

Constituye el flanco noreste de la Cubeta Alavesa, ocupando todo el sector central de la masa, en el que los materiales del Cretácico Superior afloran formando una suave estructura monoclinal de dirección NO-SE, suavemente inclinada al S con buzamientos entre 5° y 20°. Las fallas y fracturas que afectan a esta zona siguen direcciones E-O y NE-SO.

Esta disposición origina una morfología característica en crestas sucesivas por la alternancia de materiales duros y blandos. En el ámbito de la masa se presenta formando una cuesta estructural hasta la cresta que constituye el límite norte, donde cae abruptamente hacia las depresiones y valles limítrofes.

Diapiro de Salinas de Rosío

Se encuentra en el extremo suroccidental de la masa y, al igual que los diapiros anteriormente descritos, se trata de una extrusión de materiales plásticos del Keuper, con abundantes bloques caóticos de carniolas y ofitas, que perfora materiales desde el Cretácico Inferior hasta el Mioceno. Los materiales del Keuper extruidos rebosan los límites del diapiro hacia el sur, llegando a cubrir conglomerados terminales del Mioceno.

Sinclinal de Miranda-Treviño, Anticlinal de Lahoz y Sinclinal de Villarcayo

Estas importantes y amplias estructuras se encuentran al sur de la masa, fuera de sus límites, bajo las que se prolongan hacia el sur los materiales del Cretácico Superior que forman la MASCH.

El Sinclinal de Miranda de Ebro, situado al sureste de la zona, constituye el cierre del amplio sinclinal de Miranda-Treviño que se desarrolla hacia el sureste. Se trata de un pliegue de dirección NO-SE con una fuerte asimetría, con buzamientos inferiores a los 20° en el flanco norte y muy superiores en el sur, donde llega a verticalizarse.

El Anticlinal de Lahoz situado entre los sinclinales de Villarcayo y Miranda constituye, en esta zona, el cierre periclinal del Anticlinal de Lahoz-Nogaro que se extiende hacia el sureste. Se trata de un estrecho pliegue de forma alargada de dirección NO-SE con vergencia al NE. El flanco norte presenta un buzamiento muy notable, incluso subvertical en algunos puntos, mientras que en el sur

los buzamientos no superan los 45°, siendo más suaves hacia el noroeste, en el cierre periclinal en el Valle de Losa.

El Sinclinal de Villarcayo situado al suroeste de la masa, constituye una cubeta sinclinal que se extiende ampliamente hacia el noroeste y sureste, rellena de materiales depositados desde el Paleoceno al Mioceno con buzamientos suaves en sus flancos.

En su conjunto, la MASCH Calizas de La Losa-Salvada se presenta como una serie monoclinal de dirección E-O en su mitad occidental que gira a NO-SE en el extremo oriental, levemente inclinada hacia el S y SSO, formando una cuesta estructural con caída abrupta al norte y fondo de valle en el sur debido a la cercana influencia de los diapiros de Villasana de Mena y Orduña. Está integrada por los potentes bancos carbonatados del Coniaciense medio-superior que ocupan las partes más elevadas, al norte de la masa, dispuestos sobre la alternancia de margas y calizas margosas turonienses que constituyen el sustrato impermeable del acuífero kárstico, situándose a techo de las calizas y dolomías de la formación de margas y calizas margosas del Santoniense que se extienden al sur ocupando las zonas más bajas.

En el contexto de esta sencilla estructura monoclinal, los límites hidrogeológicos se establecen en el contacto con las formaciones de baja permeabilidad dispuestas a muro y techo de las calizas y dolomías que constituyen el acuífero.

De esta manera, los límites N, O y la mayor parte del E de la masa quedan definidos por el contacto con la formación margosa del Turoniense, infrayacente a los bancos de calizas y dolomías del Coniaciense, que la cierran a lo largo de todo su recorrido, excepto en el sector noroccidental, en la cabecera de la cuenca del río Cadagua, hacia donde se produce la descarga del sector E del acuífero, a favor de la falla del Cadagua, por las surgencias que dan lugar al nacimiento del río. En el extremo suroriental, las calizas y dolomías tienen continuidad hacia el E donde forman la MASb Calizas de Subijana.

Por el contrario, el límite S se considera abierto dada la continuidad de las calizas y dolomías hacia el sur, bajo la formación Suprayacente que las confinan, quedando definido por el contacto con los materiales margosos y arcillosos del Santoniense.

3.3. Formaciones hidrogeológicas

Como se ha indicado en el apartado 3.1, los materiales aflorantes en el ámbito de la MASCH corresponden a las formaciones del Cretácico Superior descritas, que de acuerdo con sus características hidrogeológicas se han agrupado en tres niveles que se corresponden con las unidades cartográficas representadas en el Mapa Hidrogeológico (Figura 3.5) y en los cortes hidrogeológicos (Figura 3.6).

- Formación margosa del Turoniense-Coniaciense inferior (3) (Permeabilidad: baja)
- Formación calizo-dolomítica del Coniaciense Medio y Superior (4) (Permeabilidad: alta-muy alta)
- Formación margosa del Santoniense (5) (Permeabilidad: baja)

Además de las formaciones indicadas, las únicas aflorantes dentro de los límites de la MASCH junto con algunos pequeños afloramientos cuaternarios (7), se han incluido en la cartografía los materiales triásicos del Keuper (1) de los diapiros de Villasana de Mena y Salinas de Rosío que comparten dos pequeños tramos del límite noroccidental de la masa y los bloques de materiales jurásicos arrastrados por la extrusión del diapiro de Rosío (2), así como los materiales neógenos (6) del

extremo suroriental. En cualquier caso, todos estos materiales se encuentran fuera de los límites de la masa y escasamente representados.

La Formación calizo-dolomítica del Coniaciense Medio y Superior (4) constituye el acuífero de la MASCH, limitado por las dos formaciones margosas situadas a muro y techo.

Formación margosa del Turoniense-Coniaciense inferior (3)

Formada por un potente paquete de margas grises compactas con algunas intercalaciones de calizas arcillosas en la base, que en el tramo superior pasa a ser una alternancia de margas y calizas arcillosas.

La permeabilidad del conjunto de la formación es baja, constituyendo el sustrato impermeable del acuífero.

Formación calizo-dolomítica del Coniaciense Medio y Superior (4)

Se trata de una formación bastante homogénea en toda la masa, constituida por calizas y dolomías masivas que a techo presentan delgadas intercalaciones de margas hojosas amarillentas que le dan un aspecto tableado.

Los niveles carbonatados se encuentran karstificados, especialmente en las zonas de fractura, por lo que las direcciones predominantes del karst siguen fielmente las de la fracturación de la zona, siendo también importantes los procesos de dolomitización y silicificación que aumentan considerablemente la permeabilidad, que en conjunto se considera alta-muy alta.

Formación margosa del Santoniense (5)

Formada por una alternancia de margas y calizas arcillosas y limolíticas de baja permeabilidad que limitan a techo el acuífero, confinándolo en su prolongación hacia el sur, fuera ya de los límites fijados de la MASCH.

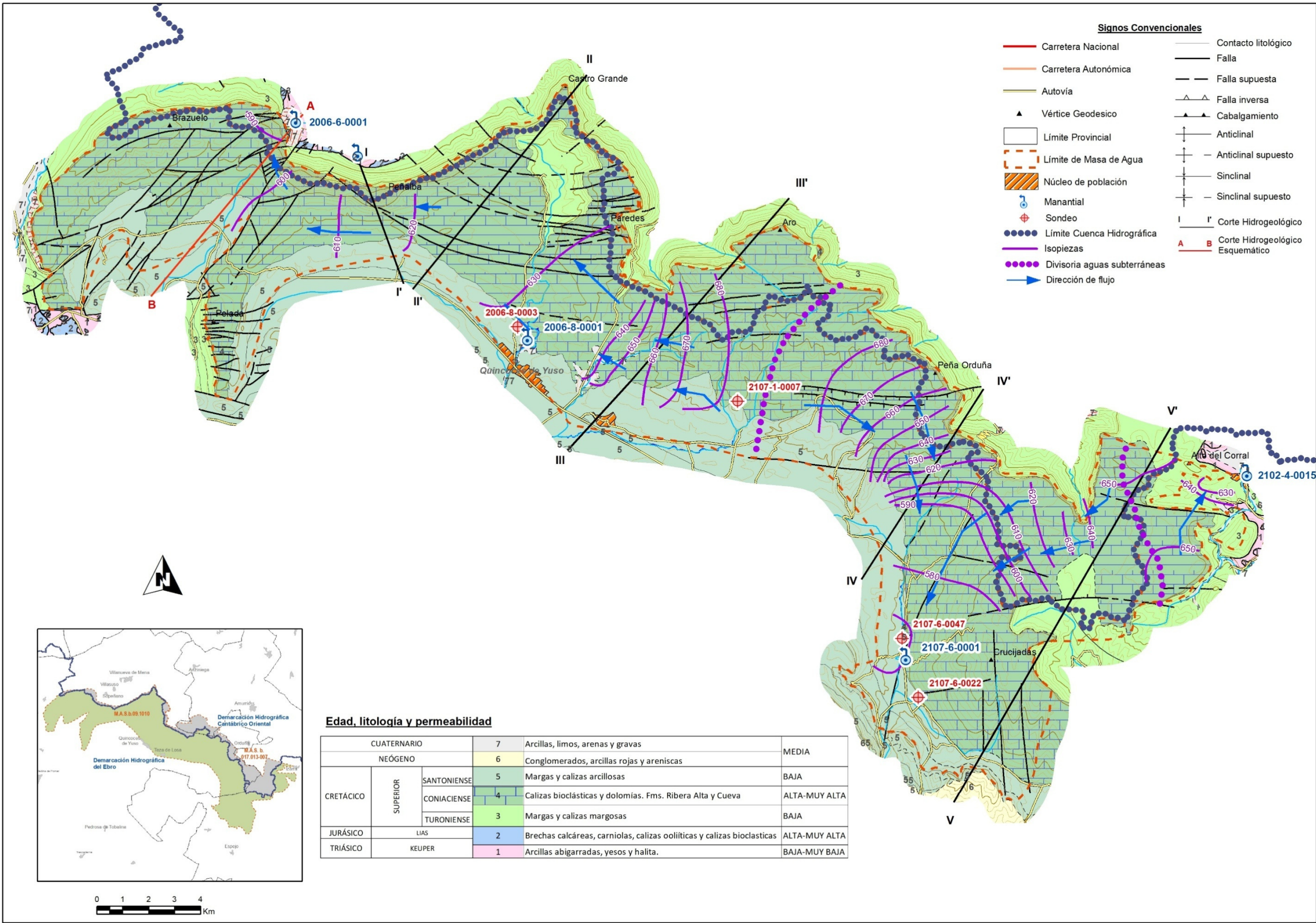


Figura 3.5. Mapa Hidrogeológico de la MASCH Calizas de La Losa-Salvada

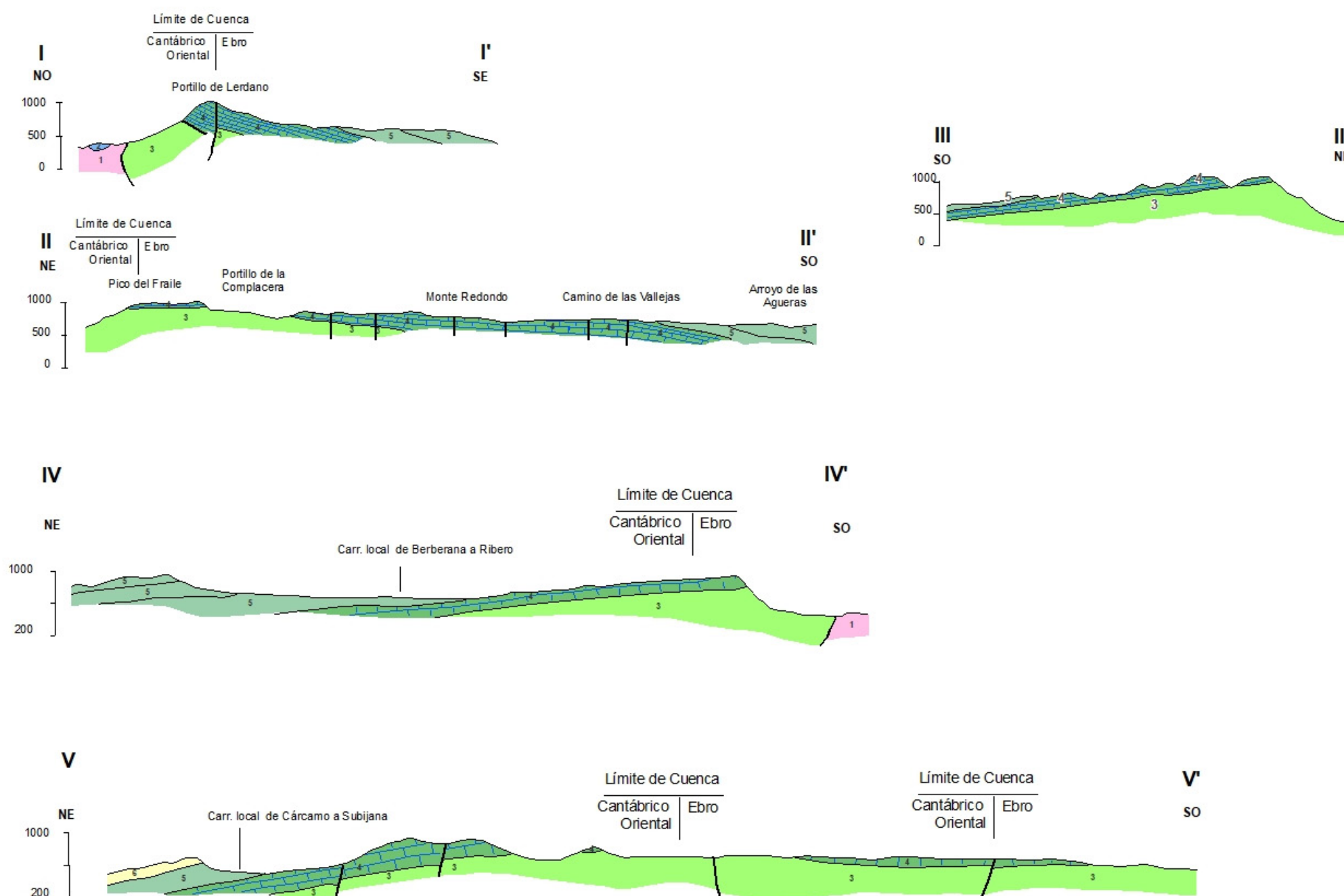


Figura 3.6. Cortes Hidrogeológicos de la MASCH Calizas de La Losa-Salvada

3.4. Funcionamiento hidrogeológico y piezometría.

Como se avanzó en apartados anteriores, el acuífero de la MASCH Calizas de La Losa-Salvada está integrado por los materiales de la Formación calizo-dolomítica del Coniaciense Medio y Superior (4), compuesta por niveles de calizas y dolomías masivas sobre los que se ha desarrollado el karst, más intensamente en las zonas de fractura, en especial en las fracturas subverticales.

Se trata por tanto de un acuífero cárstico en el que los procesos de dolomitización y silicificación aumentan considerablemente la permeabilidad en los niveles en los que se han desarrollado, llegando a constituir un acuífero de tipología kárstica mixta. La permeabilidad estimada del conjunto de la formación es alta-muy alta.

La geometría del acuífero viene marcada por la sencilla estructura de la formación, dispuesta como una serie monoclinal de dirección E-O a NO-SE inclinada ligeramente al S y SSO hasta que se sumerge bajo los sinclinales de Miranda de Ebro y Villarcayo, fuera ya de los límites de la MASCH. Solo el sector del extremo oriental al oeste de la falla del Cadagua se encuentra plegado, además de intensamente fracturado, debido probablemente al empuje ascendente de los diapiros de Mena y Rosío.

El sustrato impermeable del acuífero lo forman los materiales de baja permeabilidad infrayacentes de la Formación margosa del Turoniense-Coniaciense inferior (3), que a su vez constituyen los límites N, O y la mayor parte del E, mientras que el límite S se establece en el contacto con la Formación margosa del Santoniense (5) suprayacente. En el extremo suroriental las calizas y dolomías tienen continuidad hacia el E donde forman la MASb Calizas de Subijana, estableciéndose el límite entre ambas en la divisoria de aguas subterráneas existente.

Solo en dos pequeños tramos de los límites N y S del extremo oriental las calizas y dolomías del acuífero están en contacto con los materiales de los diapiros de Mena y Rosío, siendo estos últimos por tanto los que constituyen, en esos pequeños tramos, el límite de la masa.

Se dispone de información de parámetros hidrodinámicos del acuífero (Transmisividad) obtenidos de los ensayos de bombeo realizados cuando se construyeron los piezómetros de la red de control de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

- Piezómetro 2006-8-0003Quincoces de Yuso: $T = 123 \text{ m}^2/\text{día}$
- Piezómetro 2107-1-0007 Cuesta de la Riba: $T = 1,74\text{-}1,92 \text{ m}^2/\text{día}$

Además, se dispone de datos de estos mismos materiales en su prolongación en la vecina masa de Calizas de Subijana, en la que se obtuvieron valores máximos de transmisividad de $2600 \text{ m}^2/\text{día}$ en las proximidades de las zonas de descarga, que disminuyen considerablemente en las zonas alejadas de estas.

La variabilidad de estos datos confirma la gran anisotropía y heterogeneidad en la distribución de la permeabilidad del acuífero, consecuencia de su carácter kárstico.

La piezometría del acuífero y su evolución se puede establecer a partir de la información aportada por los 4 piezómetros existentes en la masa, situados en la zona central (2) y en el entorno de la localidad de Osma al sureste (2, actualmente solo se controla 1), así como por la cota de descarga de los manantiales principales (nacimiento del Cadagua, Cueva del Agua y Osma).

En la Figura 3.7 se muestra la evolución de los niveles en los piezómetros del acuífero:

- Sector central:
 - Piezómetro 2107-8-0003 Quincoces de Yuso (CHE)
 - Piezómetro 2107-1-0007 Cuesta de la Riva (CHE)
- Sector suroriental (Osma)
 - Piezómetro 2107-6-0022 Fresneda (Datos 1992-2001-CHE)
 - Piezómetro 2107-6-0047 Osma C (URA)

La superficie piezométrica del acuífero de las Calizas de La Losa-Salvada se sitúa entre los 680-700 m s.n.m. de la zona central de la masa, en el sector de la Sierra Salvada, marcada por el piezómetro 2107-1-0007 Cuesta de la Riva, los 420-450 m s.n.m. de los manantiales del nacimiento del Cadagua, en el extremo noroccidental y los 565-570 m s.n.m. de los manantiales de Osma, en la mitad suroriental. En el extremo oriental de la masa, la descarga se produce por el manantial de Abecia a 620 m s.n.m.

En general, los piezómetros del acuífero muestran una evolución constante a lo largo del tiempo, en la que no se aprecia claramente ninguna tendencia ascendente o descendente de los niveles, reflejando solo las variaciones estacionales anuales propias de los ciclos secos y húmedos, consecuencia de la situación de régimen natural que corresponde a un acuífero de cabecera escasamente explotado. En todos se aprecian claramente los máximos de los periodos húmedos seguidos de los agotamientos en estiaje, con oscilaciones en torno a 15-20 m.

Por otra parte, el carácter kárstico del acuífero queda claramente reflejado en los marcados picos puntuales que se registran, producidos por la rápida respuesta a los eventos de precipitaciones.

Las principales áreas de recarga del acuífero están constituidas por las zonas elevadas que forman las sierras que se extienden a lo largo del límite N (Montes de la Peña, Sierra de Carbonilla, Sierra Salvada, etc.), produciéndose la descarga a través de los manantiales, zonas de surgencia y ríos (Manantiales del nacimiento del Cadagua, Cueva del agua, manantiales y descargas al Tumecillo en Osma, etc.). Además, parte de la descarga del acuífero, sin cuantificar, se podría producir subterráneamente hacia el sur, a través de los propios materiales de la formación calizo-dolomítica que se sumergen bajo los sinclinales de Miranda y Villarcayo fuera de los límites de la masa.

En la MASCH se han definido tres sectores con funcionamiento hidrogeológico diferenciado, delimitadas por las dos divisorias de aguas subterráneas deducidas a partir de la piezometría y del mapa de isopiezas obtenido en la simulación realizada con RENATA. Además, existe una tercera divisoria subterránea que constituye el tramo sur del límite suroriental de la masa, que la separa de la MASb Calizas de Subijana formada por la prolongación hacia el E de la formación calizo-dolomítica.

En el Mapa Hidrogeológico de la Figura 3.5 se han incluido las divisorias de aguas subterráneas establecidas y el trazado de las isopiezas obtenidas de la simulación.

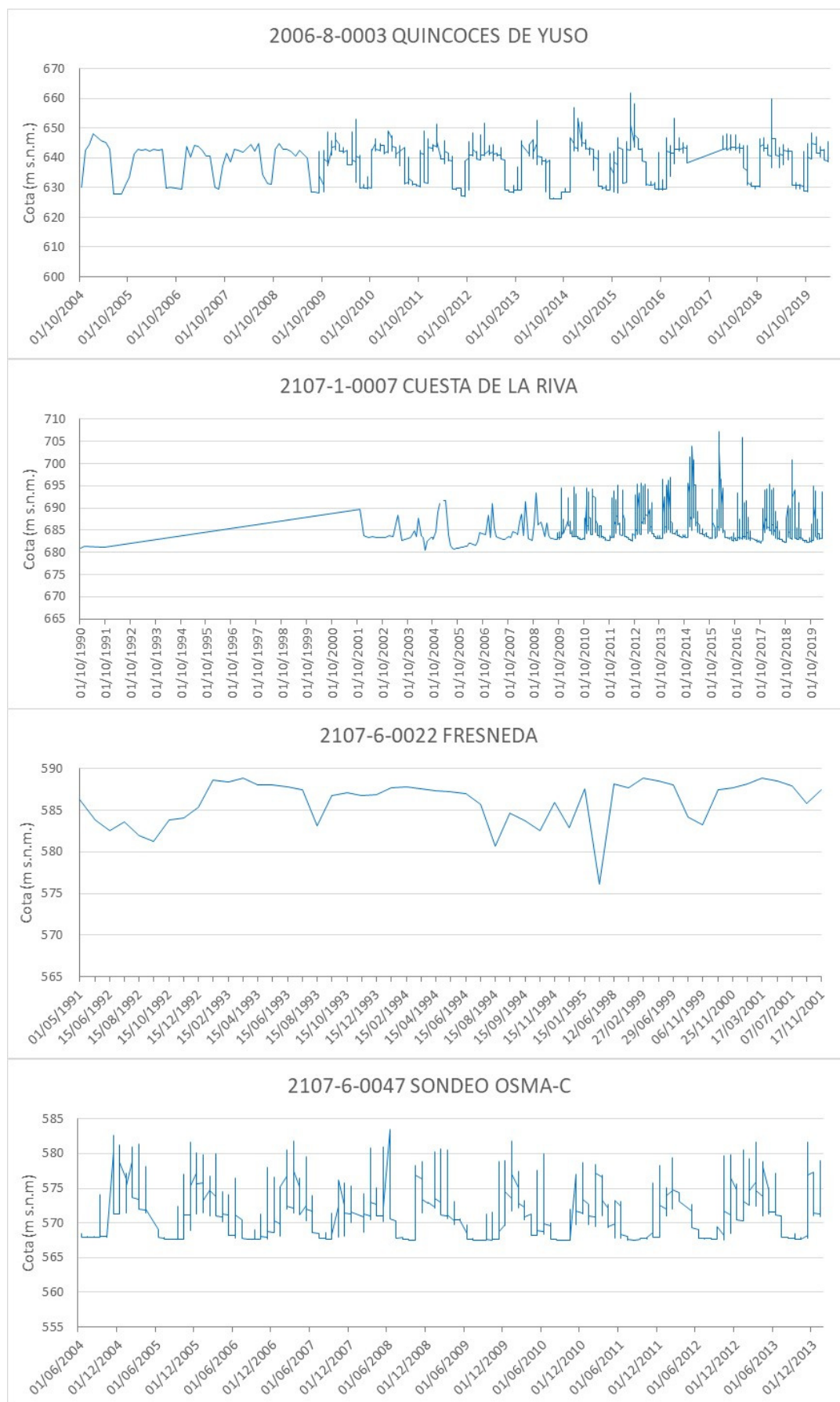


Figura 3.7. Piezómetros del acuífero

Sector Occidental

Ocupa la mitad occidental de la masa, desde la divisoria de aguas subterráneas de dirección SSO-NE establecida en la zona de Sierra Salvada, que pasa entre las localidades de Barriga de Losa y Villaño.

En este sector el flujo de agua subterránea se produce desde las zonas altas que se extienden a lo largo del límite N: Montes de la Peña, Sierra de Carbonilla y Sierra Salvada, hacia los principales puntos de descarga ubicados en el límite norte, especialmente los manantiales que constituyen el nacimiento del Cadagua y, en menor medida, hacia el manantial de la Cueva del Agua, situado en el río Jerea, en las proximidades de Quincoces de Yuso.

Aunque en ninguno de ellos se controlan periódicamente los caudales drenados, sí se han realizado estimaciones a partir de aforos y medidas puntuales en el nacimiento del Cadagua, estimándose el caudal medio conjunto de todos los manantiales y surgencias que lo forman en unos 500 l/s.

Aunque casi la totalidad de la superficie de este sector forma parte de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, la descarga de la mayor parte de sus recursos se produce hacia el N, en las surgencias que constituyen el nacimiento del Cadagua, situadas en la cuenca Hidrográfica del Cantábrico Oriental. En la Figura 3.8 se muestra un corte hidrogeológico esquemático que pasa por la zona de descarga, mostrando la geometría del acuífero y su funcionamiento (en el Mapa Hidrogeológico de la Figura 3.5 se ha marcado la traza del corte).

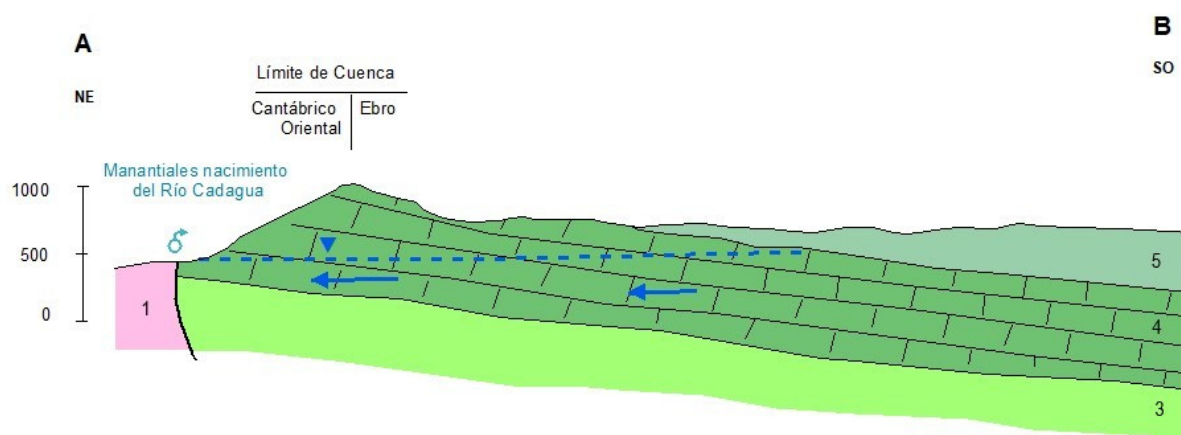


Figura 3.8. Esquema de funcionamiento de las descargas del nacimiento del Cadagua

La zona de descarga del nacimiento del Cadagua está formada por un conjunto de surgencias situadas a distintas cotas, con un funcionamiento típicamente kárstico, con importantes variaciones de caudal que responden rápidamente a los eventos de precipitaciones. Las surgencias situadas a menor cota funcionan durante todo el año, aunque con amplias variaciones de caudal en función de las precipitaciones y el resto van entrando en funcionamiento según aumentan los niveles de agua en el acuífero en episodios de precipitaciones importantes. En la Figura 3.9 se muestra un cartel informativo anónimo situado en el acceso a la zona, en el que se da una detallada y concisa explicación de los manantiales y su funcionamiento.



Figura 3.9. Cartel explicativo de las surgencias situado en el acceso a la zona del nacimiento del Cadagua (tomado de <http://descendedor.blogspot.com/2010/10/surgencia-del-cadagua-valle-de-mena.html>)

En la Figura 3.10 y Figura 3.11 se muestran unas fotografías de algunas de las surgencias de la zona.



Figura 3.10. Fuentes del Cadagua (Tomada de <https://ivanruizfotos3.wordpress.com/2016/06/>)



Figura 3.11. La Cencerrona (Tomada de <http://tierrasdeburgos.blogspot.com/2011/04/cascadas-de-burgos-la-cencerrona.html>)

La Cueva del Agua, también conocida como Cueva de la Fuente o del Molino, se sitúa unos 2 km al norte de Quincoces de Yuso, en la margen izquierda del río Jerea y constituye la principal surgencia del karst de la zona de Sierra Salvada. Se trata de la boca de salida de una cavidad que se extiende en dirección ONO-ESE que, aunque permanece seca en los periodos de estiaje, en episodios de lluvias prolongadas o fuertes tormentas experimenta importantes crecidas de caudal por la subida del nivel piezométrico en el acuífero, llegando a inundar completamente la entrada.

Esta surgencia es captada para el abastecimiento de la población de Quincoces de Yuso mediante un sondeo realizado en 2003, que fue ubicado con el apoyo de espeleólogos para captar el agua de la zona saturada de la cavidad, con objeto de asegurar el suministro con garantía, y evitar la falta de agua de captaciones anteriores, realizadas en la boca de salida o en el interior próximas a esta, que se veían afectadas por la fluctuación estacional de los niveles de agua del acuífero. En la Figura 3.12 se muestra un esquema de la planta y el perfil de la cavidad explorada, en el que se indica la situación del sondeo de abastecimiento.

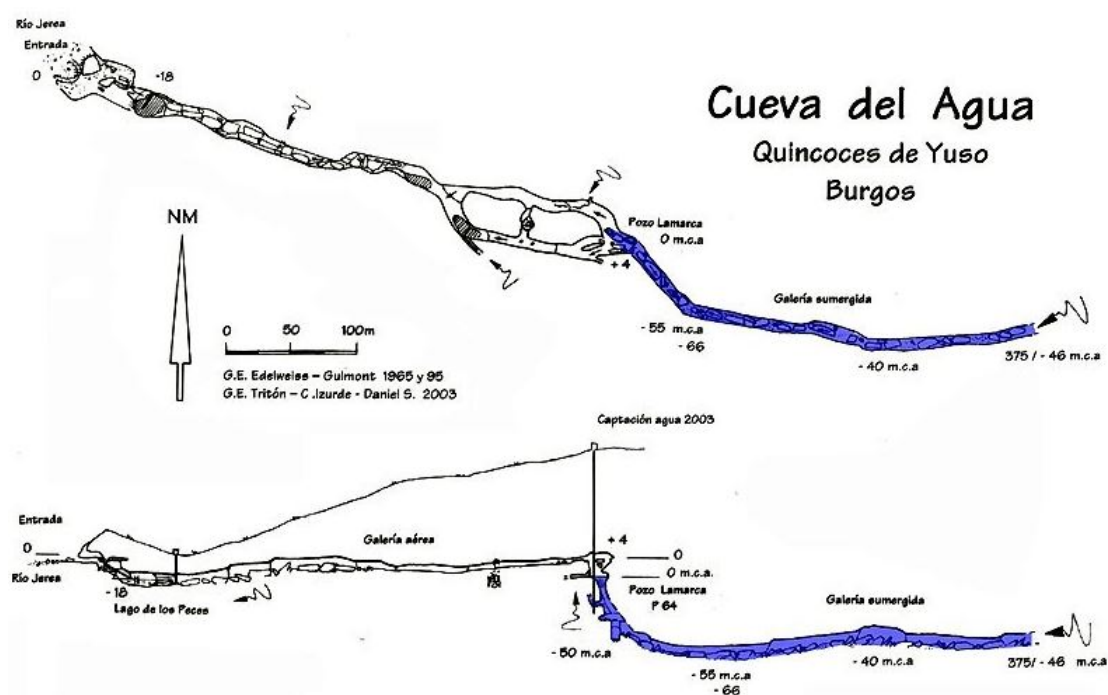


Figura 3.12. Plano y perfil de la Cueva del Agua de Quincoces de Yuso (Tomado de <https://grupoedelweiss.com/>)

En la Figura 3.13 se incluyen varias fotografías de la salida del manantial en diferentes periodos, en el que se puede apreciar la enorme variación de caudales de este en función de la situación de los niveles de agua en el acuífero.



Figura 3.13. Fotografías de la salida del manantial de la Cueva del Agua en diferentes épocas (Tomadas de la Web Tierras de Burgos)

Sector Oriental

Ocupa la mitad oriental de la masa, excepto una pequeña zona del extremo noreste, extendiéndose desde la divisoria que lo separa del sector anterior en Sierra Salvada, hasta el límite suroriental, en el que otra divisoria lo separa de la MASb Calizas de Subijana.

En este sector, el flujo principal del agua subterránea se produce hacia el río Tumecillo o Húmedo en Osma, que constituye la principal zona de descarga de este sector de la MASCH. Se trata de una zona en la que el río circula por el contacto de la formación calizo-dolomítica que constituye el acuífero con la formación margosa situada a techo, que provoca la descarga del agua subterránea por rebose en el contacto con los materiales de baja permeabilidad.

La descarga se produce de forma difusa al río y puntualmente por manantiales como el de Osma, a lo largo de un tramo del río al norte de Osma, entre el cruce con la carretera A-2625 hacia Berberana y la propia localidad de Osma.

Se dispone de datos de los caudales de agua subterránea drenados en todo este tramo del río, obtenidos de las dos estaciones de aforo establecidas por URA. El caudal medio drenado en el periodo 2011-2021 es de 390 l/s, con puntas que llegan a superarlos 2500 l/s y que en estiaje bajan por debajo de los 10 l/s. En la Figura 3.14 se ha representado la evolución de los caudales drenados en el periodo de control.

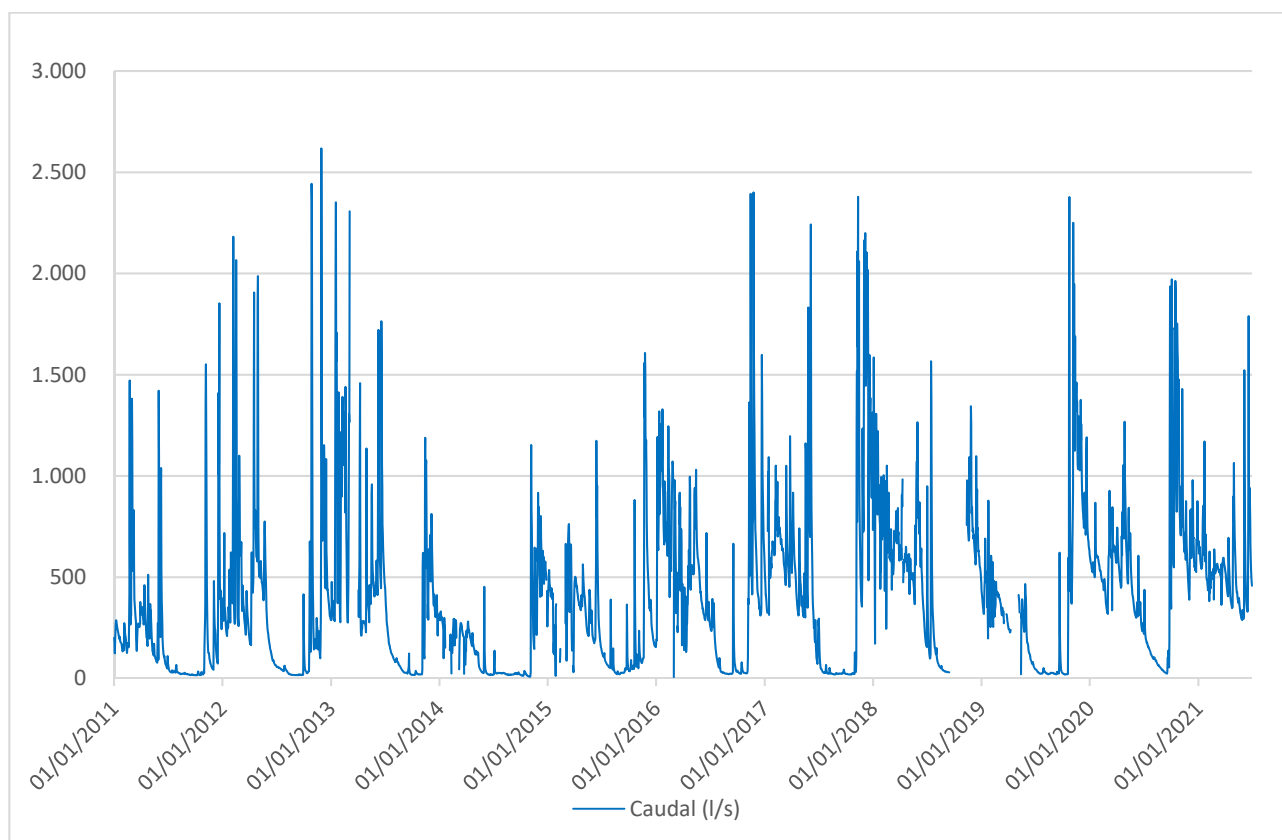


Figura 3.14. Descarga subterránea al Río Tumecillo en Osma. (Sistema de Información del Agua. URA-Agencia Vasca del Agua. Gobierno Vasco)

En la Figura 3.15 se muestra el Manantial de Osma, perteneciente a la Red de Control de Calidad de Aguas Subterráneas de URA.



Figura 3.15. Manantial de Osma, perteneciente a la Red de Control de Calidad de URA, punto SC47 (Tomada de <http://www.telur.es/redbas/SC/SC47>)

Sector Nororiental

Corresponde a una pequeña zona del extremo nororiental de la masa, delimitado por la divisoria de aguas subterráneas en este caso coincidente con la divisoria de aguas superficiales entre las cuencas del Ebro y Cantábrico Oriental.

La descarga de la zona se realiza a través del manantial de Abecia, situado en la propia localidad, situado en el contacto de los materiales cretácicos con los del Keuper del diapiro de Murguía.

No se dispone de datos periódicos de los caudales drenados por este manantial, estimándose un caudal del orden de 10 l/s.

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 Calizas de la Losa, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, se han definido 3 tramos con conexión de los cauces existentes con el acuífero. Todos los tramos definidos tienen carácter ganador, definidos en las proximidades del contacto de las Calizas de la Losa con las margas. En el cauce del río Jerea se ha definido la conexión por conexión difusa a lo largo del cauce, aguas abajo de la Cueva del Agua y el piezómetro de Quincoces, casi en la confluencia del río Jerea con el Nabón. A su vez se ha definido relación río-acuífero en el propio río Nabón casi en la confluencia con el Jerea, pero en este caso la conexión es mixta (puntual y difusa) aunque no se han definido manantiales en la zona. El tercer tramo con relación río-acuífero se encuentra en el río Húmedo o Tumecillo, en este caso, gracias a la aportación del manantial o manantiales de Osma, su conexión se ha definido como drenaje puntual a cauce (manantial o grupo de manantiales). Todos los tramos definidos reflejan la piezometría presente en la zona y las zonas de descarga de las Calizas de la Losa en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

En la parte de la MASb Salvada en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico oriental, únicamente se ha definido un tramo con relación río-acuífero. Este tramo (016.307.001) se ha definido con Conexión mixta difusa directa y manantiales y con una génesis de la descarga por circulación kárstica y/o presencia de impermeable de muro, aunque no se menciona ningún manantial en la zona ni cuantificación de la conexión por falta de información. Geológicamente, el contacto entre las Calizas de la Losa y las margas se encuentra un poco más al norte y por lo tanto fuera de la MASCH, no obstante, según la piezometría obtenida en la zona, y la cota a la que se encuentra la cabecera del Nervión y sería posible una descarga dentro de la MASCH, ésta se produciría aguas abajo, en el cauce del Nervión en su discurrir por la MASb adyacente a Salvada.

3.6. Usos del agua subterránea.

Apenas existe explotación de los recursos de agua subterránea dentro de la MASCH Calizas de la Losa-Salvada, dado que la casi la totalidad de la superficie cultivada es de secano y la población asentada en su interior no es muy numerosa. El único núcleo de población que se encuentra dentro de la MASCH es Quincoces de Yuso, quedando los demás, Medina de Pomar o Espinosa de los Monteros de la parte de la Demarcación Hidrográficas del Ebro e Izarra de parte de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico oriental, fuera de la delimitación de la propia MASCH.

La localidad de Osma se abastece de las aguas subterráneas de la masa a partir de sondeos ubicados en las proximidades.

SONDEO	PROFUNDIDAD	CAUDAL	OBSERVACIONES
Osma-A	300	2.5	Considerado negativo a los efectos previstos de regulación de las aportaciones del manantial Osma y de disponibilidad de recurso para los usos más probables en el entorno.*
Osma-B	250	3.2	Considerado negativo a los efectos previstos de regulación de las aportaciones del manantial Osma y de disponibilidad de recurso para los usos más probables en el entorno.*
Osma-C	151,5	>40	El elevado rendimiento del sondeo permite su explotación en condiciones energéticas muy favorables.*
Osma-D	215	6-8	El caudal de explotación del sondeo podría verse incrementado tras someter al sondeo a un proceso de desarrollo mediante acidificación. No obstante la proximidad del sondeo al manantial de Osma y la conexión hidráulica directa existente entre este sondeo y la fuente "El Berral", desaconsejan su realización.*
Osma		>50	Datos obtenidos del Mapa Hidrogeológico del País Vasco

*Datos provenientes de los informes de la construcción de los propios sondeos. Gobierno Vasco (1999)

El municipio de Quincoces de Yuso también se abastece de sondeo realizado en el manantial de la Cueva del Agua. El manantial de Abecia abastece al municipio con el mismo nombre.

En cualquier caso, las extracciones del acuífero para abastecimiento, no suponen más que un porcentaje muy pequeño, ya que la población es escasa. Por tanto, se puede considerar que la MASCH se encuentra en régimen natural, sin alteraciones ni afecciones a sus recursos ni a su funcionamiento.

4. CLIMATOLOGÍA

4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La base principal de los datos climáticos empleados ha sido la de dos estaciones pluviométricas (9048A y 9054A) y una termopluviométrica (9072G). Se dispone, además, de otras dos estaciones termopluviométricas en la zona; una de ellas (9060X) no se ha utilizado por tener series de datos muy cortas; mientras que la serie de temperatura de la otra estación (1060X) se ha utilizado para facilitar el completado de las lagunas de la serie de temperatura de la 9072G (Figura 4.1).

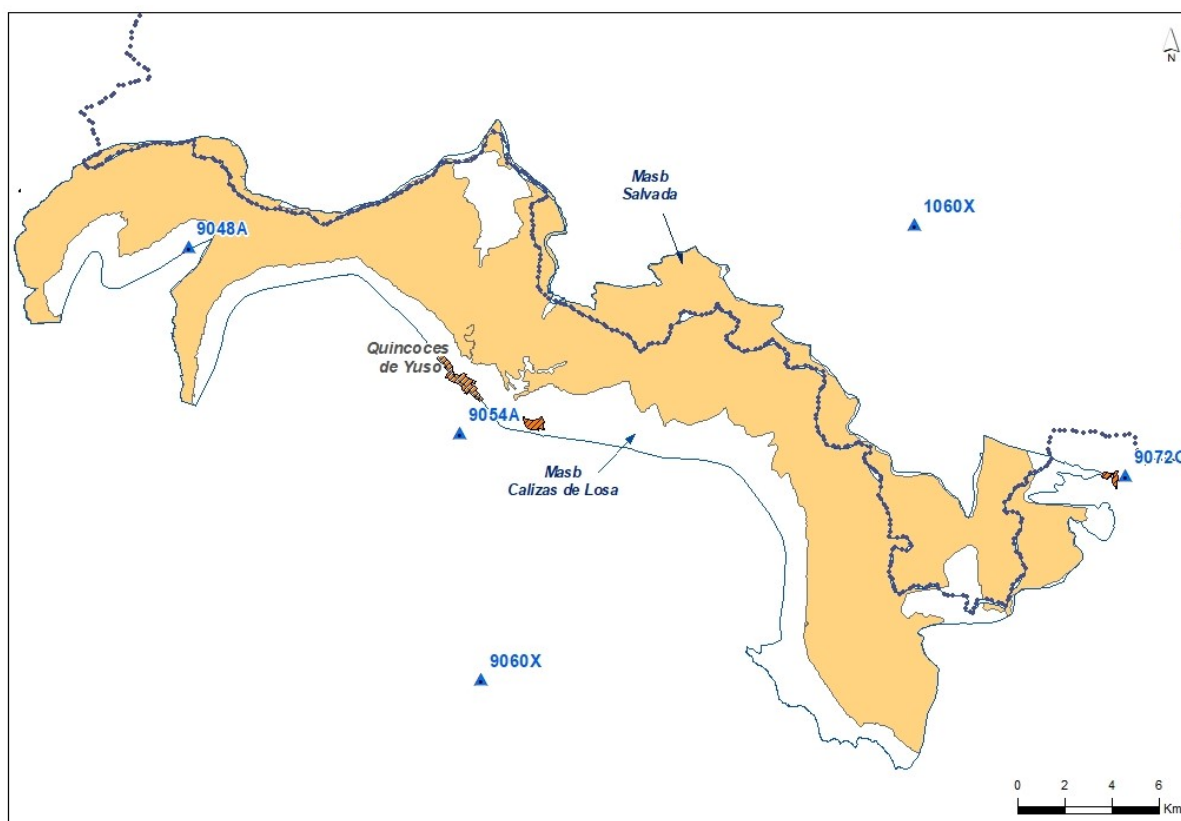


Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas disponibles

Los datos diarios disponibles abarcan los períodos mostrados en el siguiente cuadro.

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

Código	Nombre	Cota	Tipo	Desde	Hasta
1060X	AMURRIO (INSTITUTO) (Araba/Álava) Automática	240	P T	01-08-2003 01-01-2004	31-12-2015 31-12-2015
9048A	CASTROBARTO2 (Burgos) Pluviométrica	690	P T	01-07-1991 -	31-12-2015 -
9054A	SAN LLORENTE DE LOSA (Burgos) Pluviométrica	630	P T	01-09-1992 -	31-12-2015 -
9060X	LALASTRA-PARQUE VALDEREJO (Araba/Álava) Automática	910	P T	04-04-2009 16-04-2009	31-12-2015 31-12-2015
9072G	IZARRA (DFA) (Araba/Álava) Termopluviométrica	612	P T	01-01-1977 01-01-1977	31-12-2015 31-12-2015

Los años con datos se muestran en las siguientes gráficas.

Precipitación

Precipit.	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
1060X																																							
9048A																																							
9054A																																							
9060X																																							
9072G																																							

Temperatura

Temperat.	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
1060X																																							
9048A																																							
9054A																																							
9060X																																							
9072G																																							

Las tres estaciones con series más largas de precipitación se encuentran en el borde de la MASb al Oeste (9048A), cerca del borde en el centro (9054A) y en el borde Este (9072G), de modo que superficie de la MASb queda bien cubierta.

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 dichas estaciones meteorológicas comprendido entre octubre de 1992 y septiembre de 2015.

Originalmente estas estaciones presentaban lagunas en valores de precipitación y temperatura por lo que se ha procedido a su completado. El completado de los datos de precipitación de las estaciones 9048A, 9054A y 9072G ha realizado mediante regresión simple entre ellas. El completado de los datos de temperatura de la 9072G se ha realizado desde 2004 mediante regresión simple con los de la 1060X, mientras que desde el comienzo de la serie hasta 2004 se han completado por interpolación lineal y medias periódicas. Se dispone, por tanto, de una única serie de temperatura, que se asume suficientemente representativa para toda la MASb.

Los valores característicos, una vez realizado el completado, 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**
9048A Castrobarrio2	X: 468579 Y: 4765454 Z: 690	Pluviométrica Caracteriza el sector Oeste Superficie de influencia: 84.43 km ²	P media: 931.6 mm/a P max: 1312.7 mm P min: 750.1mm T media: - °C
9054A San Llorente de Losa	X: 480186 Y: 4757483 Z: 630	Pluviométrica Caracteriza el sector Centro Superficie de influencia: 142.54 km ²	P media: 801.8 mm/a P max: 1075.6 mm P min: 636.5mm T media: - °C
9072G Izarra (DFA)	X: 508572 Y: 4755670 Z: 612	Termopluviométrica Caracteriza el sector Este Superficie de influencia: 120.91 km ²	P media: 1208.8 mm/a P max: 1565.4mm P min: 902.8 mm T media: 11.7 °C

(*) Proyección ETRS89

(**) Período 1992/93-2014/15 una vez realizado el completado de las series

Las estaciones 9048A y 9054A no disponen de datos de temperatura, por lo que se ha utilizado la serie de temperatura de la 9072G como representativa para toda la MASb. Por otro lado, a partir de los valores diarios de temperatura de la estación 9072G se ha calculado la evapotranspiración potencial (ETP) utilizando el método de Thornthwaite.

Los datos de precipitación y temperatura completados y los de 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 las estaciones 9048A, 9054A y 9072G se han elaborado los planos de isoyetas para la precipitación media de las series (1992/93 -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 las 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	9048A	9054A	9072G
Precipitación media (1992/93-2014/15)	931.6 mm	801.8 mm	1208.8 mm
Nº años secos	9	4	8
Nº años medios	10	14	9
Nº años húmedos	4	5	6
Año tipo seco	2001/02 (750 mm)	2011/12 (656 mm)	2001/02 (984 mm)
Año tipo medio	2003/04 (935 mm)	2007/08 (803 mm)	2003/04 (1214 mm)
Año tipo húmedo	2008/09 (1161 mm)	2006/07 (920 mm)	1994/95 (1434 mm)
Media de los años secos (mm)	782.6 mm	653.2 mm	1003.3 mm
Media de los años húmedos (mm)	1195.4 mm	967.3 mm	1466.6 mm

Tabla 4.3. Valores característicos de las series anuales de precipitación para el período 1955/56-2014/15

4.2.2. Análisis temporal

La precipitación global en la MASb se ha obtenido ponderando la de las tres estaciones pluviométricas consideradas en función del área de influencia calculada mediante polígonos de Thiessen (Figura 4.3). El hietograma anual resultante se muestra en la Figura 4.4 junto a la distribución normal ajustada en la Figura. 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 974.8 mm/a) es *2013/14 con 980.3 mm*, el año Tipo Seco el 2011/12 con 792 mm (el que más se acerca a la precipitación con el 12,5% de probabilidad de ser menor) y el Tipo Húmedo el 2008/09 con 1129 mm (el que más se acerca a la precipitación con el 87,5% de probabilidad de ser menor).

En la Figura 4.6 se muestra el diagrama ombrotérmico para la precipitación y temperatura media mensual de la MASb. Como se puede observar, el periodo de sequía anual ocupa 5 meses, de mayo a septiembre.

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

Después de un primer año húmedo de la serie se aprecia un período de 6 años de duración entre 1993/94 y 1998/99 con años de tipología climática media, con precipitaciones anuales medias para el período de 968 mm/a. A continuación un período desde 1999/00 hasta 2001/02 (3 años) en el que se alternan años muy secos y secos; las precipitaciones anuales fueron 808 mm/a (17%) inferiores a la media. El siguiente período de 6 años, entre 2002/03 y 2007/08, es de tipología climática media, con precipitaciones anuales medias para el período de 987 mm/a. El año 2008/09 es de tipo húmedo con precipitación anual un 16% superior a la media y le sigue un año medio (2009/10). Los dos años siguientes 2010/11 y 2011/12) son secos con precipitaciones anuales inferiores a la media en torno a 183 mm/a (19%). Y los dos últimos años de la serie son uno de tipología climática media y otro muy húmeda (2014/15) con precipitación anual un 31% superior a la media.

Tabla 4.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos acontecidos entre octubre de 1992 y septiembre de 2015.

Periodo	Tipología climática	Duración (años)	Diferencia respecto a la media (mm)*	Porcentaje de precipitación con respecto a la media
1992/93	Húmeda		127.8	13% superior
1993/94 a 1998/99	Media	6		
1999/00	Muy Seca		-195.9	20% inferior
2000/01	Seco		-116.3	12% inferior
2001/02	Muy Seca		-189.2	19% inferior
2002/03 a 2007/08	Media	6		
2008/09	Húmeda		154.4	16% superior
2009/10	Media			
2010/11	Muy Seca		-184.2	19% inferior
2011/12	Seca		-182.3	19% inferior
2012/13	Muy Húmeda		282.4	29% superior
2013/14	Media			
2014/15	Muy Húmeda		304.8	31% superior

(*) La precipitación media de la serie ponderada para el período 1992/93 a 2014/15 es de 974.8 mm

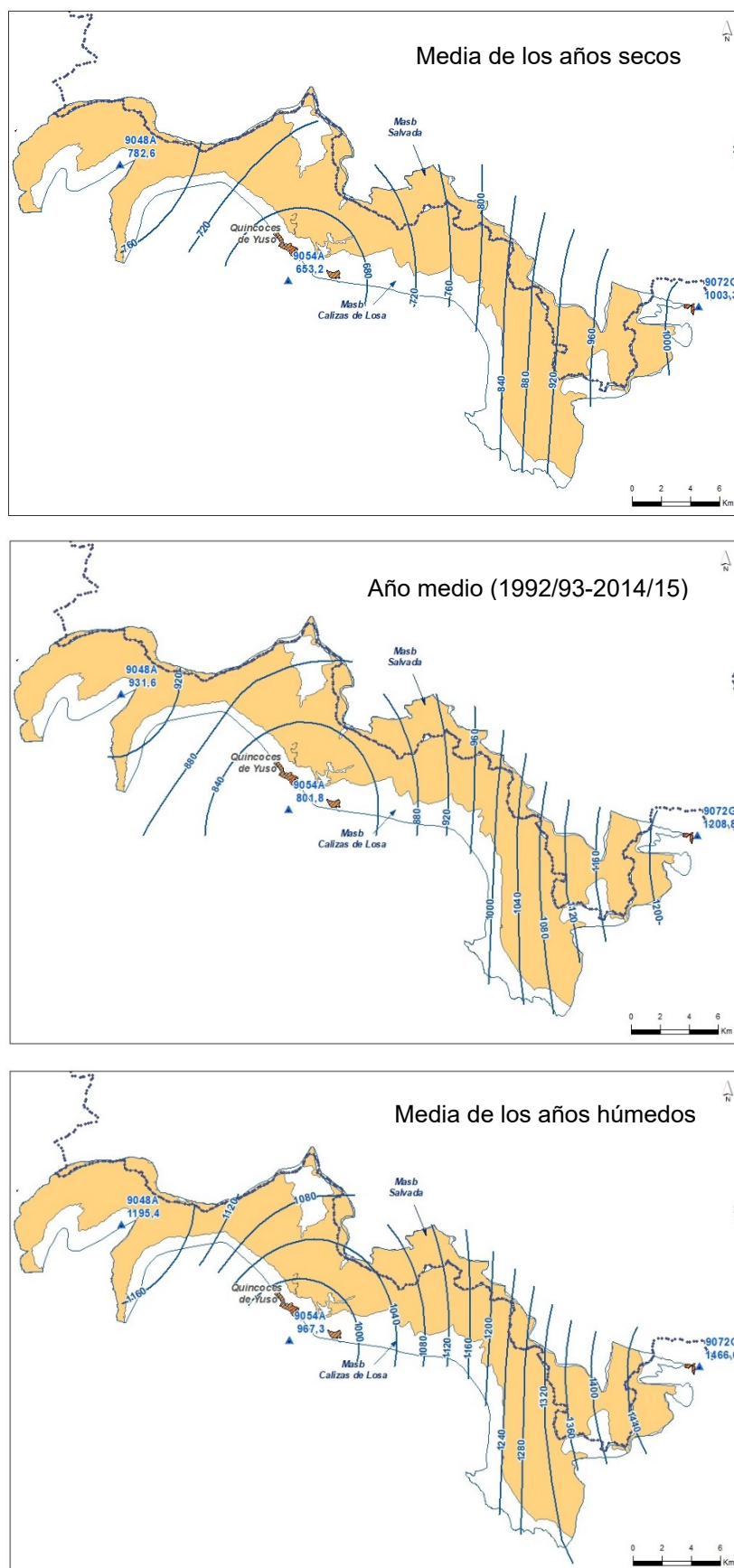


Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos

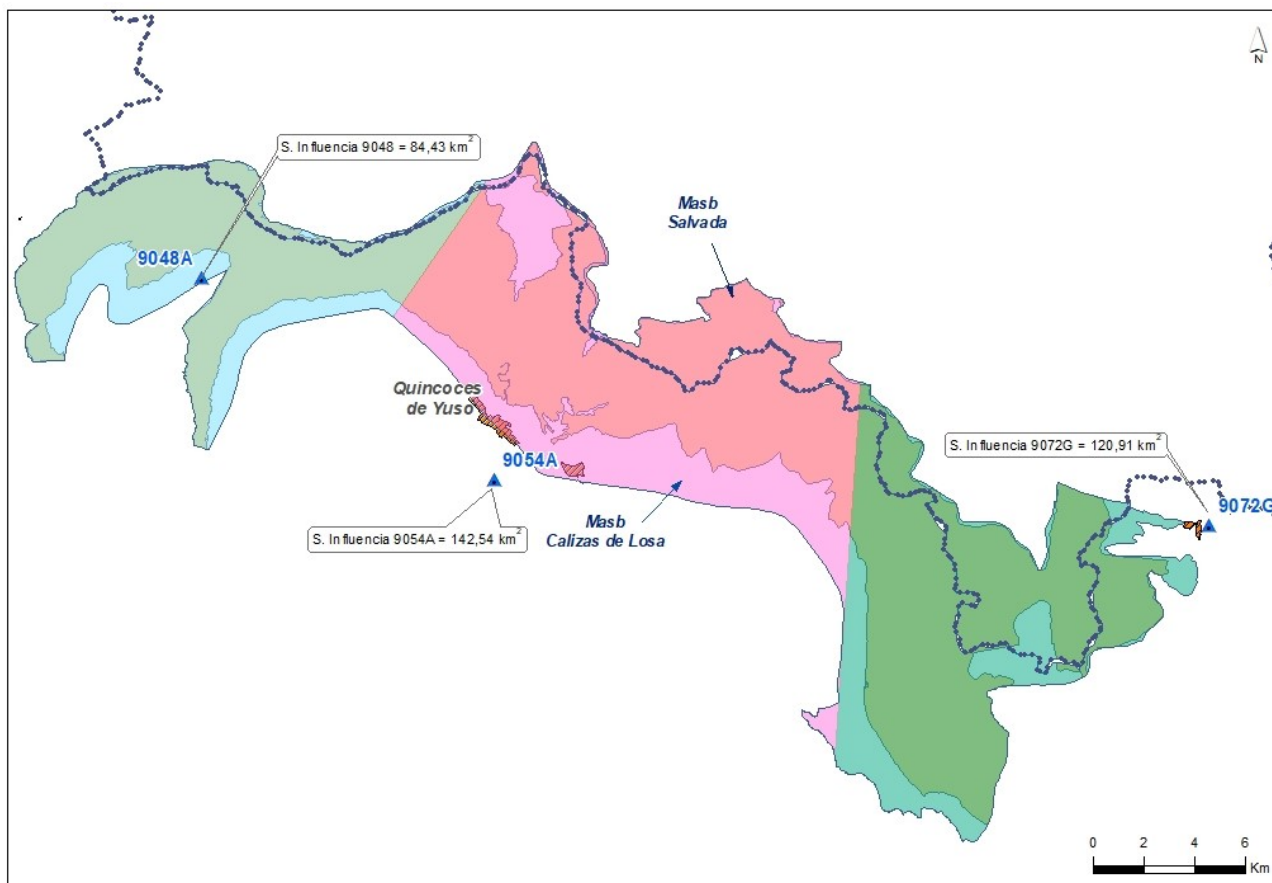


Figura 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen

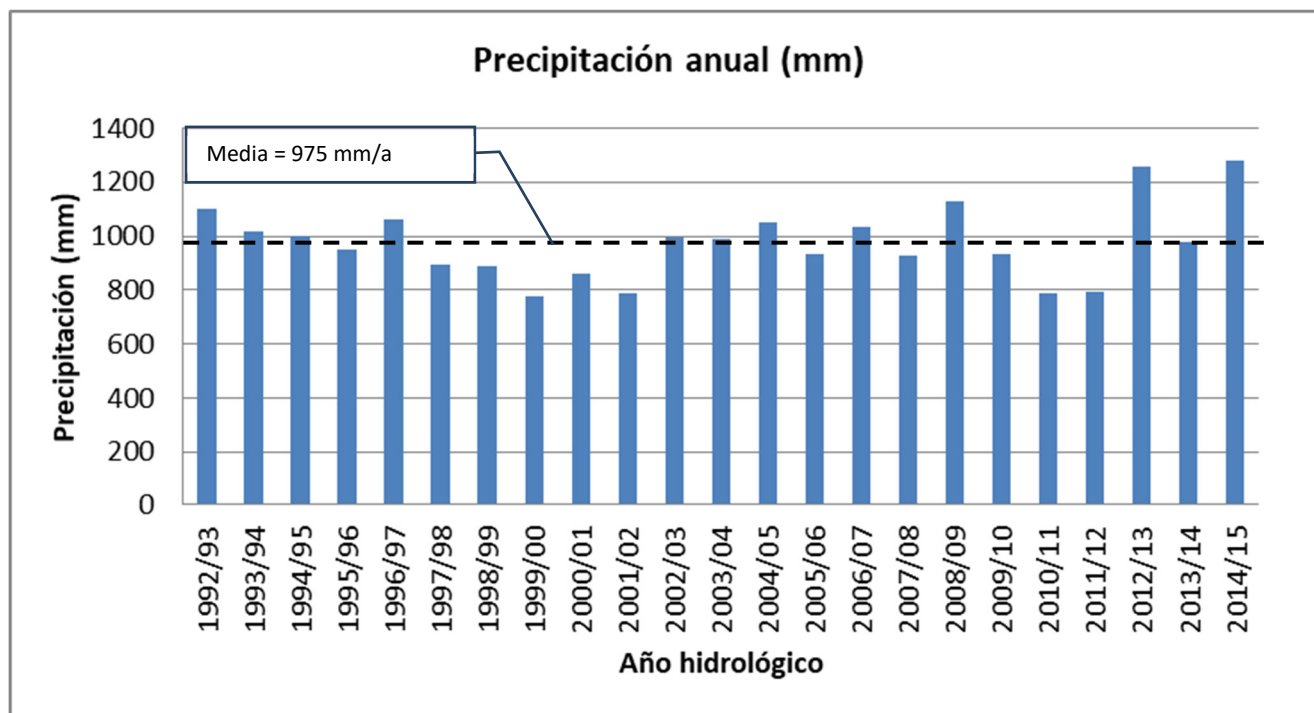


Figura 4.4. Hietograma anual de la precipitación media caída en la MASb

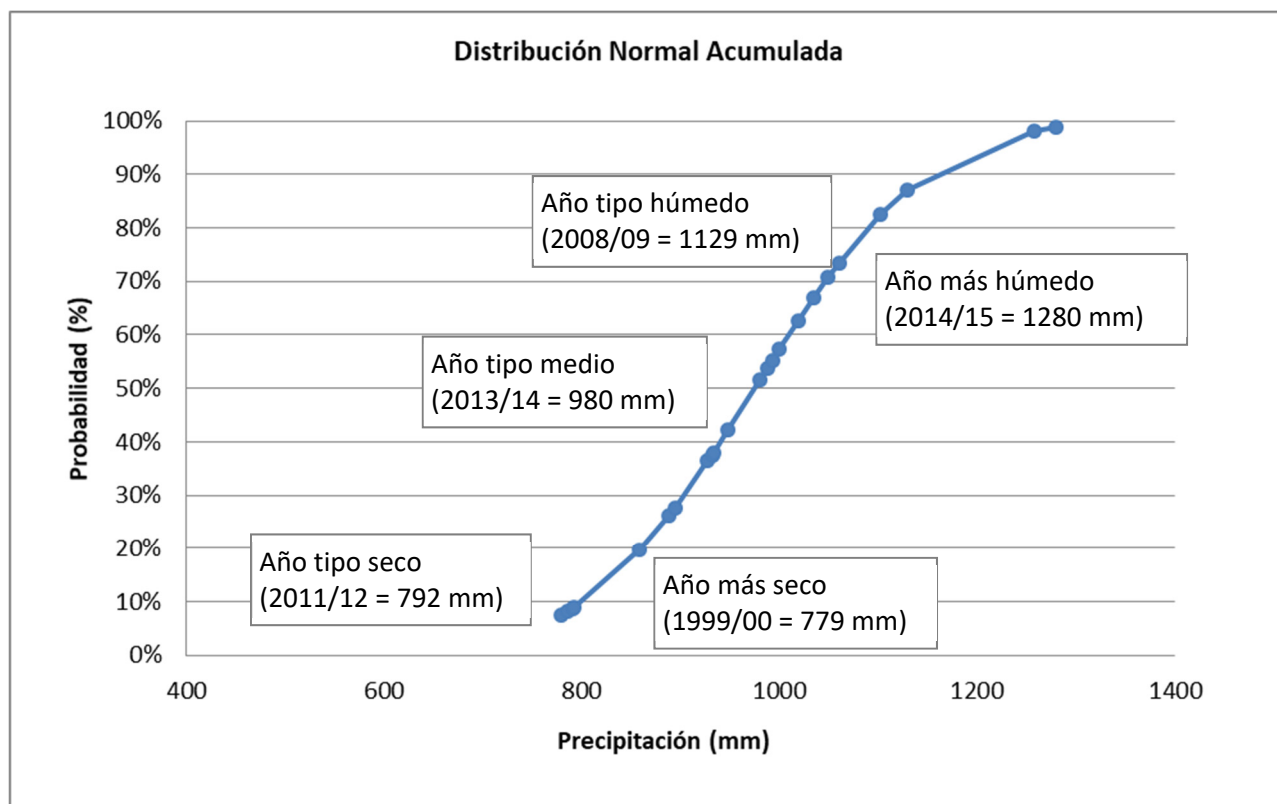


Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos

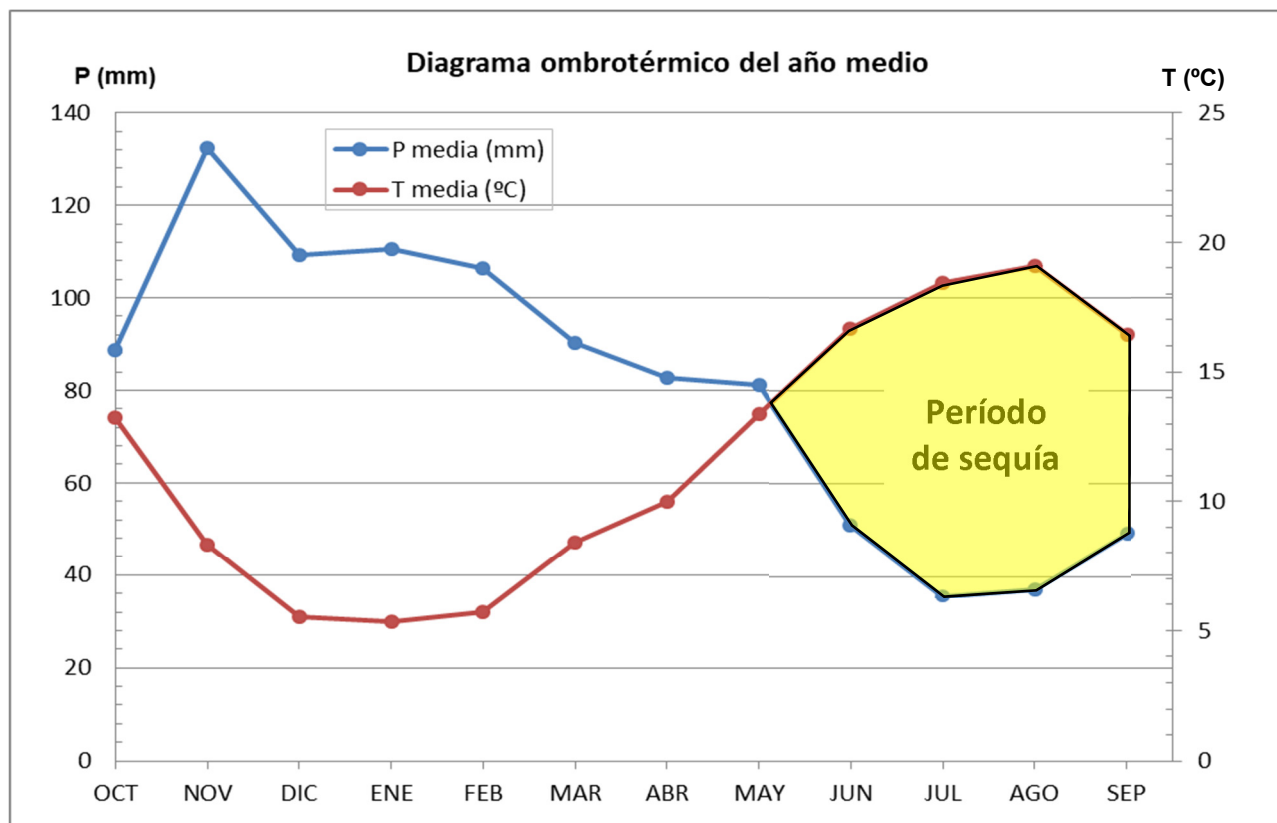


Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio

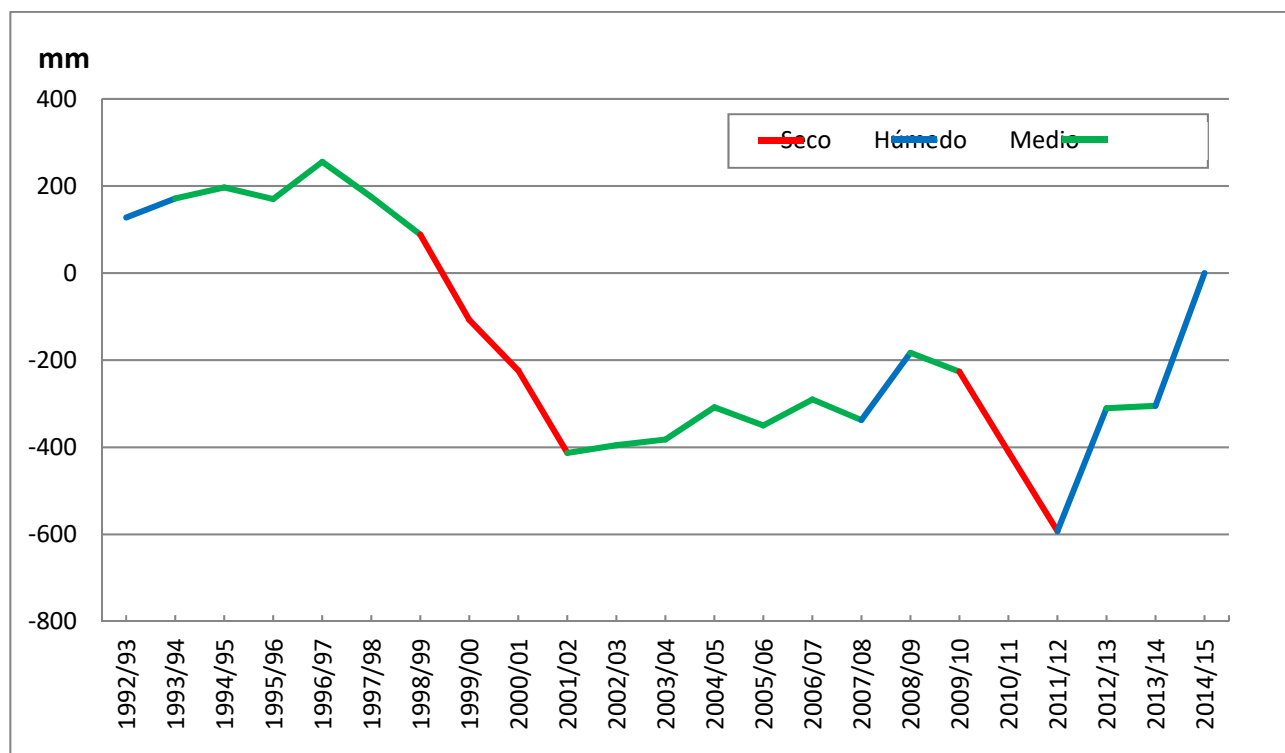


Figura 4.7. Desviaciones de la precipitación anual respecto a la media acumuladas

5. RECARGA A LOS ACUÍFEROS

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

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

Aunque la MASCH “Calizas de la Losa-Salvada” está constituida por un acuífero carbonático de edad Cretácico superior (Coniaciense), todas las formaciones aflorantes en mayor o menor medida se tienen en cuenta en la recarga, 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 procesamiento 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:

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

Donde:

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

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

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

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

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

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

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

Parámetro Altitud (A) y Pendiente (P)

Se obtienen del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con paso de malla 25 m del IGN (Instituto Geográfico Nacional), recortado sobre la superficie de la MASCH 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 402 y 1254 m.s.n.m. con rangos de pendientes muy suaves, las zonas más abruptas corresponden a las zonas próximas a las elevaciones de Montes La Peña y de la Sierra de La Salvada.

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 arcillas, lutitas correspondientes a depósitos aluviales se les ha asignado un valor de 1 punto, a las margas se les ha asignado el valor de 2 puntos, el valor de 3 puntos se ha reservado para las margas y calizas de la Fm. Valle de Losa, mientras que a los coluviones se les ha asignado un valor de 4 puntos. Para las calizas bioclásticas y dolomías de la FM Ribera Alta y Cueva se les ha asignado el valor de 6 puntos. Su distribución espacial se recoge en la Figura 5.1.

Parámetro Estructuras de Infiltración preferencial (I)

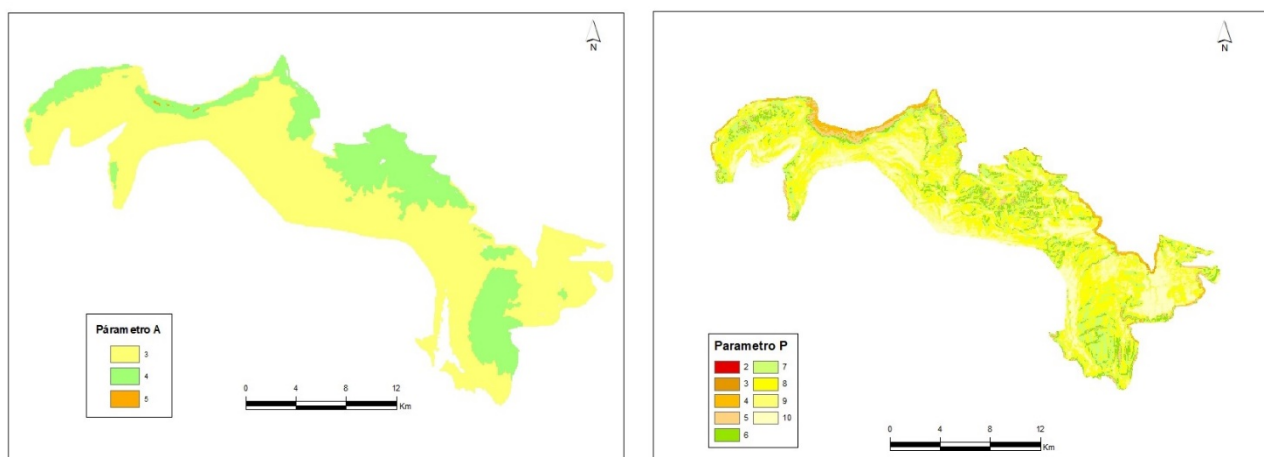
En la mitad este de la MASCH se ha podido identificar unas arcillas de descalcificación que corresponden a fondos de dolinas y a las que se les ha asignado un valor de 10 puntos ya que corresponden a zonas endorreicas que concentran la escorrentía superficial y favorecen la infiltración preferencial. Al resto de la zona se le ha asignado la constante de 1 punto.

Su distribución espacial se recoge en la Figura 5.1.

Parámetro Suelo (S)

Se ha utilizado como fuente de información La base de datos europea de suelos del Centro Europeo de Datos de Suelos (ESDAC) a escala 1:1.000.000. Es una base de datos de suelos armonizada para Europa, que contiene una base de datos geográfica de suelos a la que se adjuntan una serie de atributos esenciales del suelo. 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.

El único tipo de suelo presente en el ámbito de estudio corresponde a cambisoles calcáricos (con un valor de 6 puntos). Su distribución se recoge en la Figura 5.1.



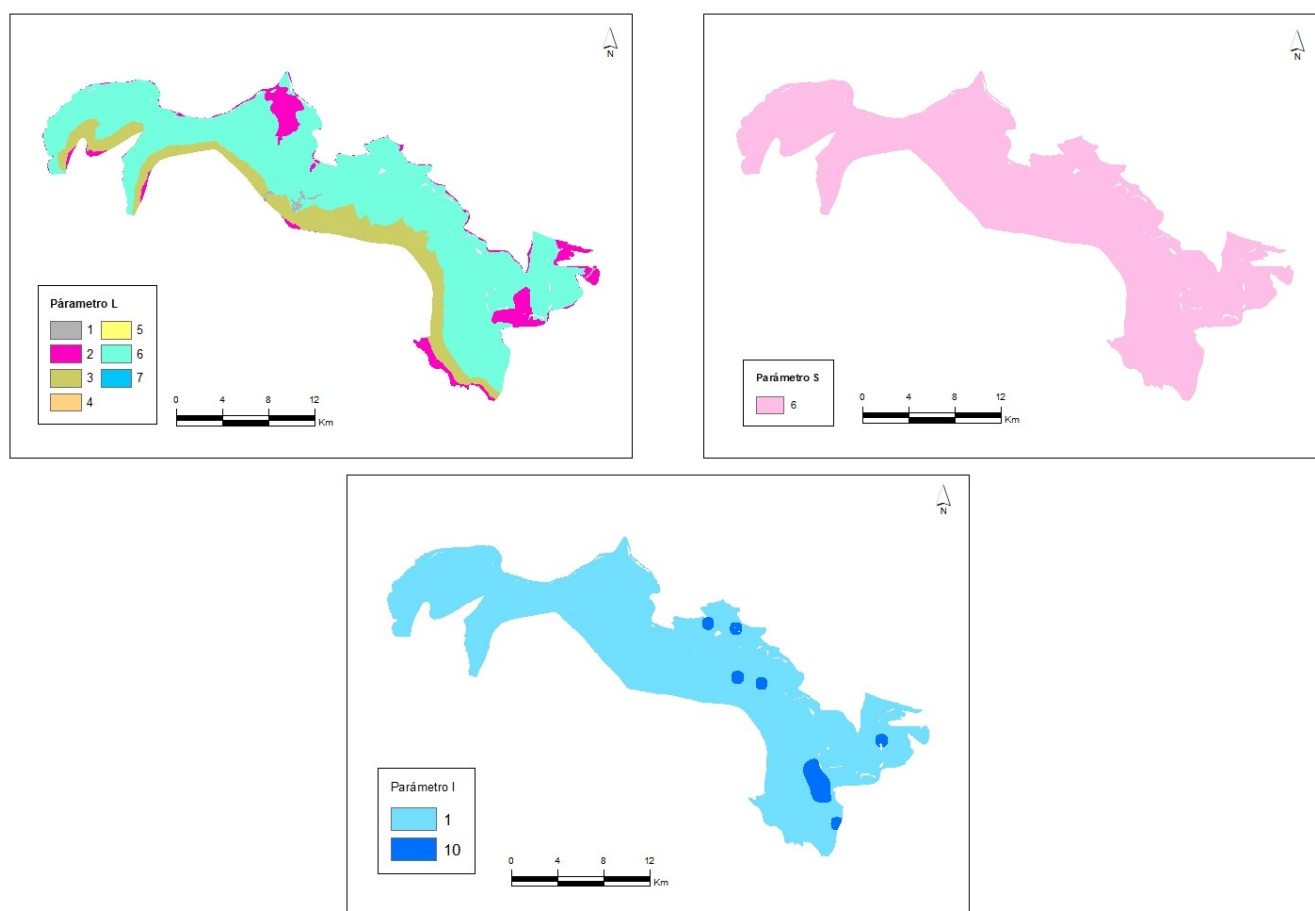


Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) y Suelo (S) para el método APLIS.

Factor de corrección (Fh): Como se ha comentado el método APLIS es representativo de la recarga de acuíferos en macizos carbonatados karstificados. Para la Calizas de Losa - Salvada, dado que sus características geológicas e hidrogeológicas, corresponden a afloramientos de naturaleza carbonatada, no se considera necesario aplicar un factor de corrección el factor de corrección (Fh) de para la recarga calculada por APLIS. La superficie de afloramientos de naturaleza detrítica corresponde solamente al 0,5% de la superficie estudiada.

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 Calizas de Losa - Salvada, 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 Calizas de Losa - Salvada obtenida por el método APLIS es de **39,19%** para toda su superficie (38,83% en la cuenca del Ebro y 40,86% en la cuenca del Cantábrico Oriental), incluyendo los materiales poco permeables. Esta recarga va desde un 18,88 a un 64,44%, comprobándose que las zonas de mayor recarga corresponden a los afloramientos permeables de calizas del cretácico superior tal y como puede observarse en la Figura 5.2. Así mismo se puede observar que los campos de dolinas presentan la tasa de recarga más alta de toda la zona de estudio. Aplicando la distribución obtenida en la totalidad de la MASCH, con una superficie de 352,19 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 **134,54 hm³/año**, valor acorde con los estudios de recarga previos. Por cuencas se distribuye en **108,22 hm³/año** en el **Ebro** y **26,40 hm³/año** en la Cuenca del **Cantábrico Oriental**.

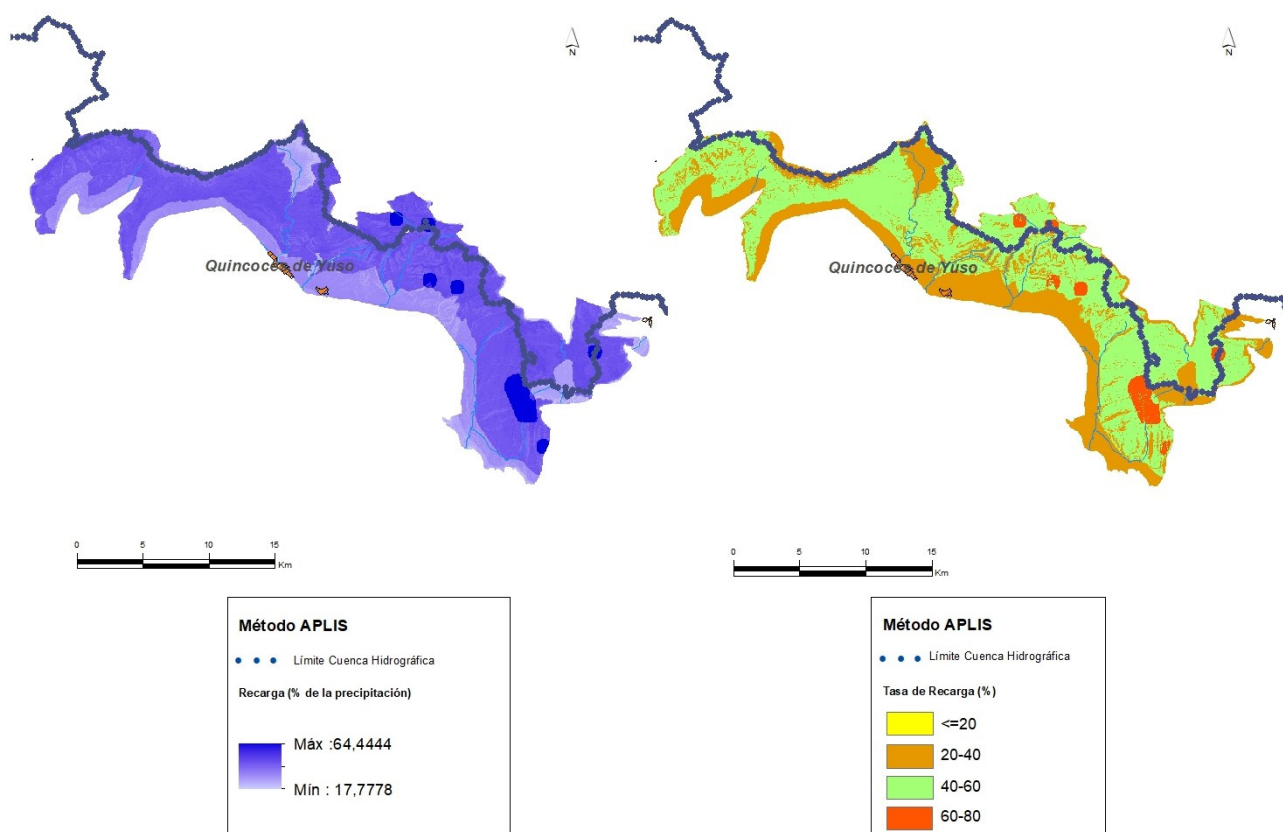


Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS)

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: escurrimiento

superficial, evapotranspiración, flujo hipodérmico y flujo subterráneo, así como la variación del contenido de humedad en el suelo, en la zona no saturada y de agua en el acuífero.

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

El balance lo realiza para un intervalo de cálculo diario. El programa calcula valores diarios del nivel de agua en un piezómetro representativo y 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 5.3, el resumen de los resultados de mayor interés para los objetivos de este trabajo. De los datos que se muestran en la Figura 5.3 se deduce que la recarga al acuífero coincide prácticamente con la infiltración, ya que el flujo hipodérmico es muy pequeño.

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

CONCEPTOS	Valores considerados
EL SUELO EDÁFICO	
Porosidad total (tanto por uno)	0,08
Punto de marchitez (tanto por uno)	0,03
Capacidad de campo (tanto por uno)	0,07
Humedad inicial (mm)	0,03
Espesor del suelo (m)	0,5
Permeabilidad vertical (cm/s)	1.00E-04
Reserva útil resultante (mm)	20
DATOS GEOGRÁFICOS	
Latitud	42° 49' 30"
⁽¹⁾ Área (km ²)	256.97
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)	Método de Penman-Grindley
CRPG (mm)	0
CEPG (adimensional)	1
ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	Número de curva

Lluvia mínima del aguacero (en mm)	0
Número de curva	75
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: ACUÍFERO	Método de una celda.
Coefficiente de agotamiento del acuífero o descarga subterránea (días ⁻¹)	0.0039 (180 días)
Coefficiente de almacenamiento del acuífero (adimensional)	0.02
Nivel inicial en el acuífero (m)	600
Nivel de descarga del acuífero ⁽²⁾ (m)	570

(1) Superficie correspondiente a los afloramientos carbonatos permeables

(2) Cota del manantial 2107-6-0001 (Manantiales de Osma)

Tabla 5.4.- Recarga estimada por cuencas hidrográficas (1992/93-2014/15) en la MASCH Calizas de Losa-Salvada (acuífero cretácico) mediante VISUAL BALAN

Cuenca hidrográfica	Afloramientos (km ²) carbonáticos	Precipitación (mm)	Infiltración lluvia (mm)	Infiltración (hm ³ /a)
Calizas de Losa (Ebro) ⁽¹⁾	198.60	1083.1	462.4	91.83
Salvada (Cantábrico) ⁽¹⁾	58.37	1083.1	462.4	26.99
Total acuífero	256.97	1083.1	462.4	118.82

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

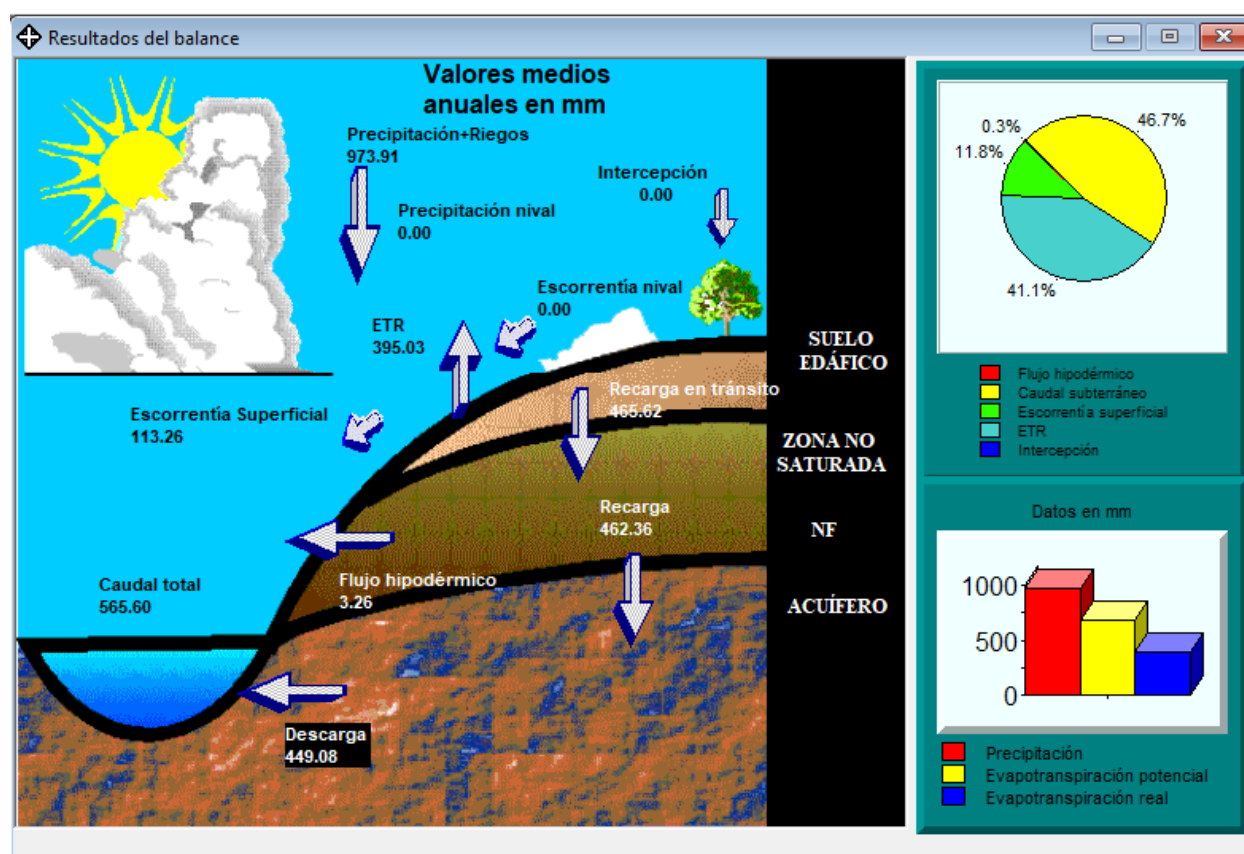


Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la Calizas de Losa - Salvada (acuífero Cretácico superior) (1992/93-2014/15)

5.3. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA

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

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

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

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

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

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

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

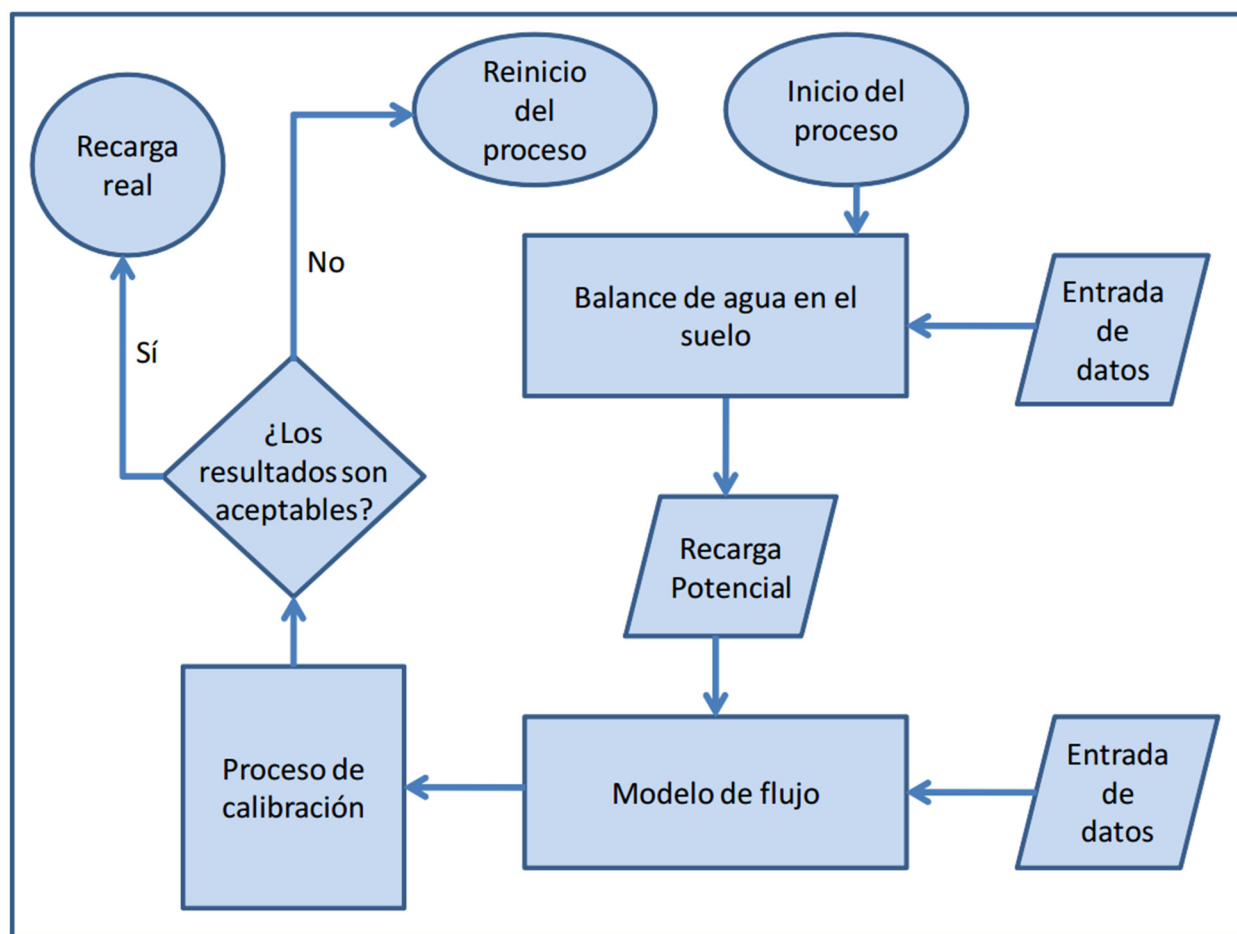


Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA

5.3.1. Metodología de cálculo y entrada de datos

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

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

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

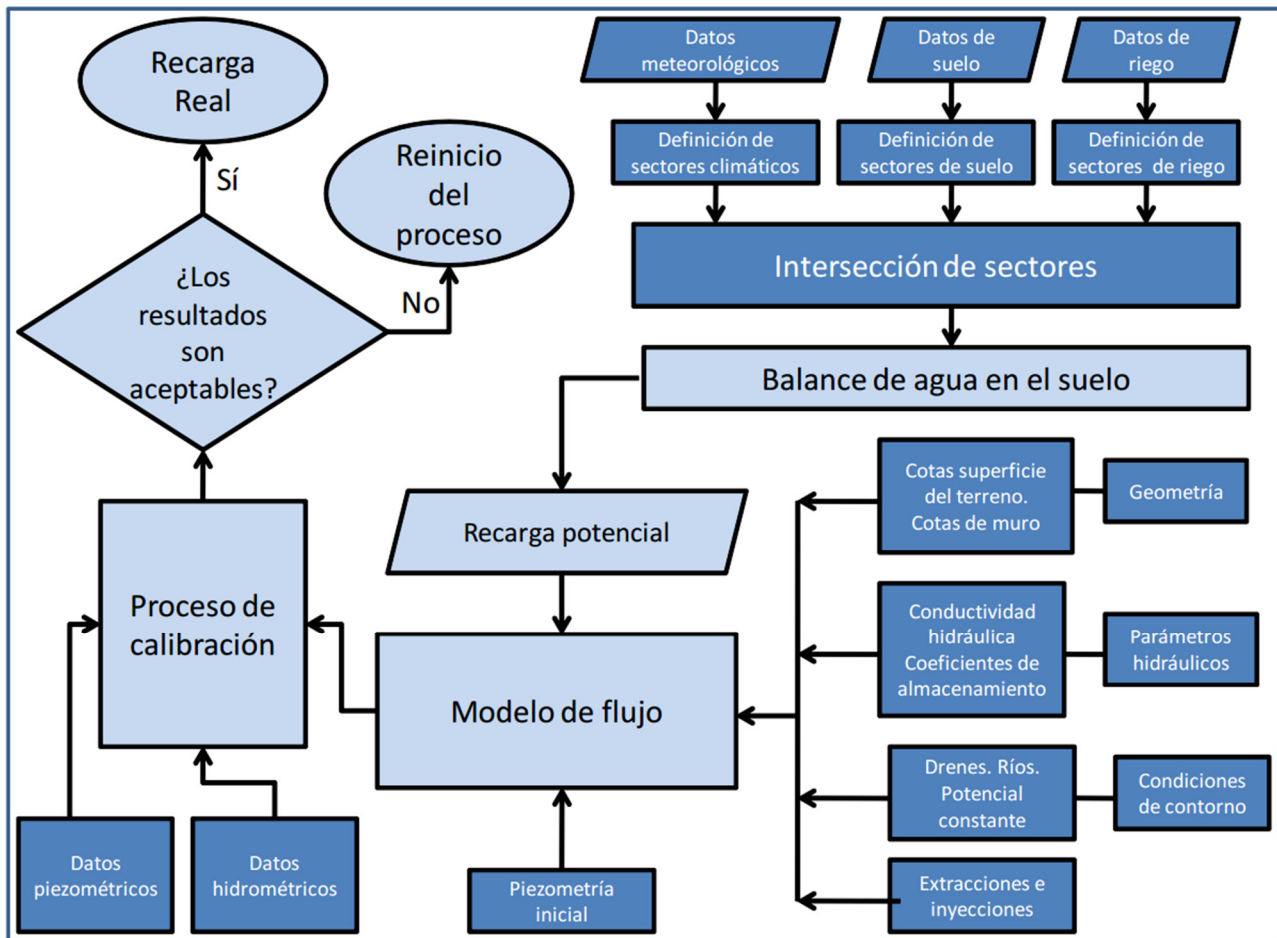


Figura 5.5. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.

Generación de la malla y establecimiento del periodo de cálculo

Se ha definido, dentro del entorno de RENATA, un mallado rectangular de coordenadas UTM X: 461000 - 509000 e Y: 4743000 - 4771000 en la que queda enmarcada la superficie sujeta al cálculo y estimación de la recarga.

La malla definida consta de 28 filas y 48 columnas con celdas de tamaño 1x1 km. Las de tipo activo (superficie permeable) ocupan una extensión de 361 km².

El cálculo de la recarga se ha realizado a nivel diario en cada una de las celda activas del mallado para un periodo de 23 años, comprendidos entre 1992 y 2015.

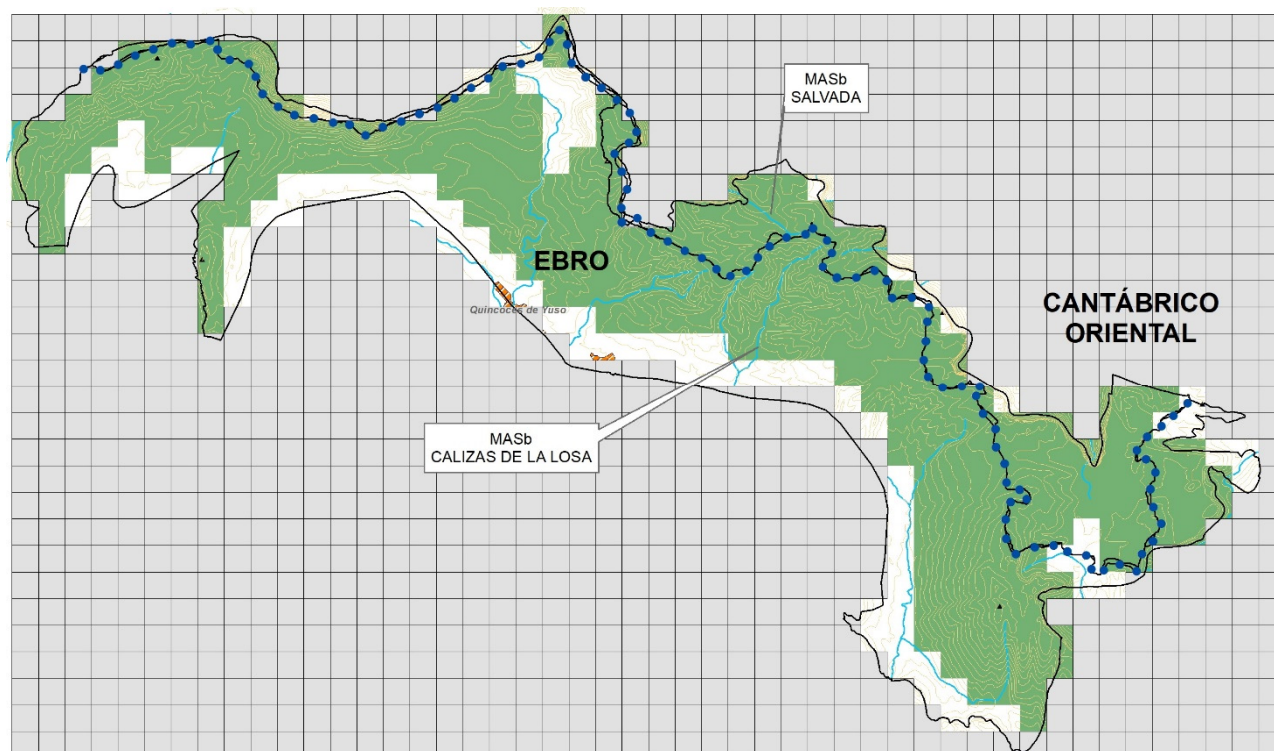


Figura 5.6. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA.

Sectores climáticos

Para la definición de los sectores climáticos se han utilizado tres estaciones pluviométricas (9048A-CASTROBARTO2, 9054A-SAN LLORENTE DE LA LOSA y 9072G-IZARRA). A cada una de ellas se le han asignado su serie pluviométrica, pero la serie termométrica utilizada para determinar la ETP, ha sido la de la estación 9072G-IZARRA, para todas ellas, al ser la única de las tres que tenía datos de temperatura. Se consideró la posibilidad de completar la serie de temperatura de las estaciones en las que faltaba, utilizando otras de la zona, aunque más alejadas, pero finalmente se decidió usar la de IZARRA para todas.

Tabla 5.4. Características de los sectores climáticos (1992-2015)

Sector climático	Estación pluviométrica	Superficie (km ²)	Precipitación media (mm/a)	ETP media (mm/a)
9048A	9048A-Castrobarto2	88	931,6	677,8
9054A	9054A-San Llorente de la Losa	140	801,8	677,8
9072A	9072G-Izarra	133	1208,8	677,8

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

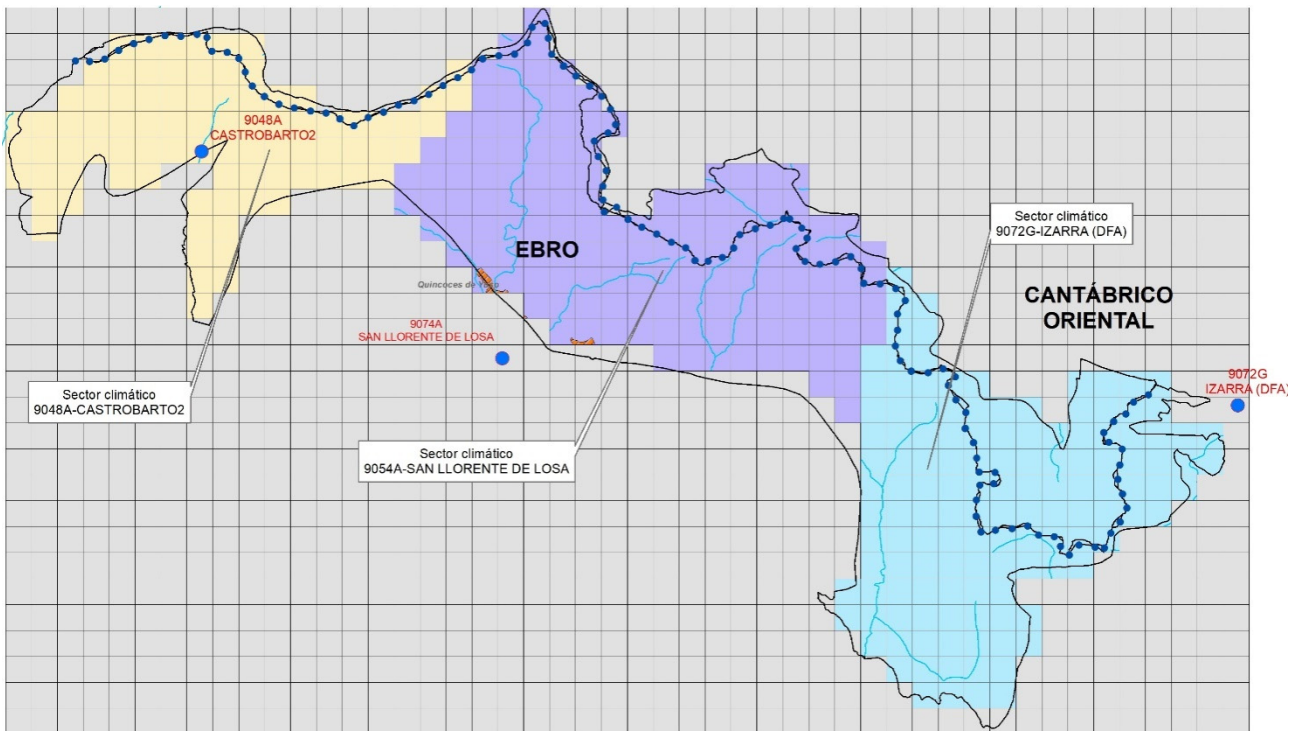


Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA

Sectores de suelo

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

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

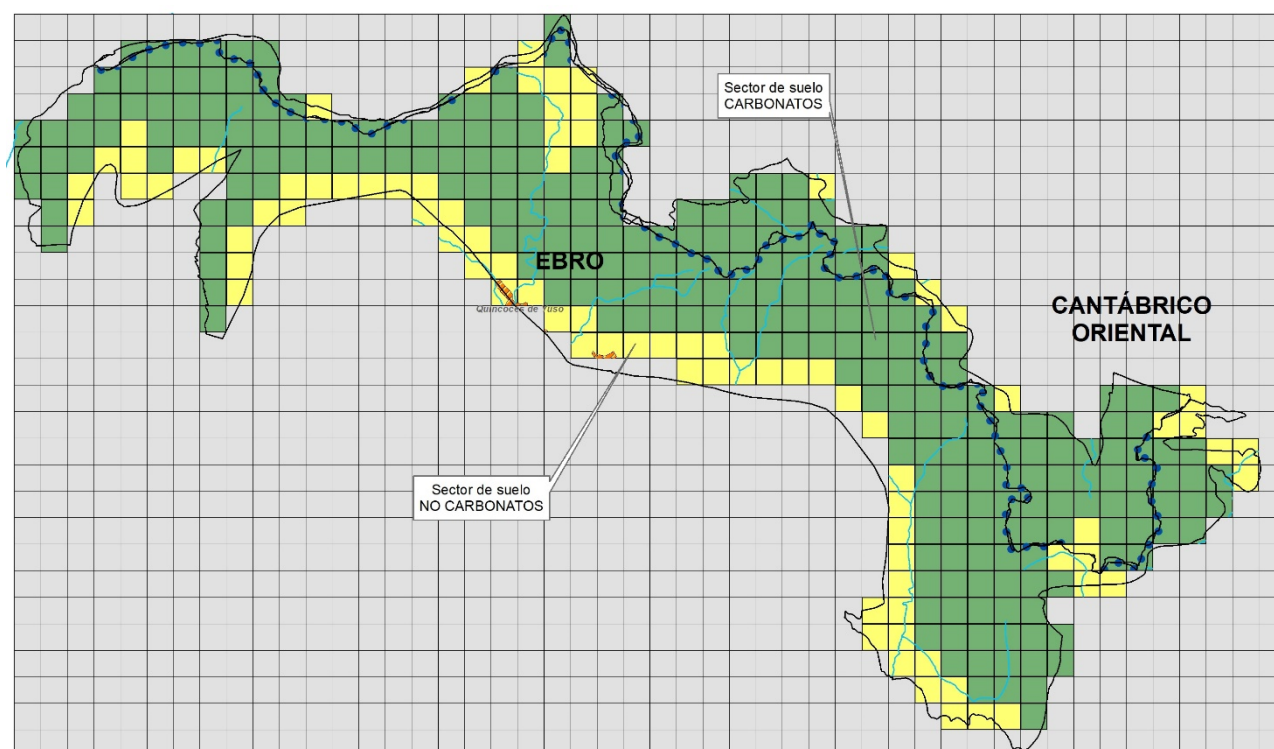


Figura 5.8. Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.

Para asignar un valor inicial a los parámetros del suelo, lo más acorde a la realidad posible, además de criterios hidrogeológicos se ha utilizado el conocimiento geomorfológico de la zona, por ello se ha dividido por formaciones con comportamientos diferentes frente a la infiltración en función de su litología, pendiente y disposición de los materiales, obteniéndose un total de 2 sectores de suelo.

El umbral de escorrentía P_0 para los carbonatos se ha estimado muy bajo en torno a 2, ya que a pesar de existir muchas cavidades kársticas, éstas están muy localizadas y las diaclasas, en su mayoría, según la bibliografía consultada, se encuentran rellenas de calcita y, por lo tanto, menos permeables de lo que puede parecer a priori.

En la Tabla 5.5 se muestran los valores asignados a cada uno de los sectores diferenciados.

Tabla 5.5. Sectores de suelo: parámetros utilizados

Sector de suelo	Superficie (km ²)	Parámetros
Carbonatos	296	$RU_{min}=40$
		$RU_{max}=60$
		$P_0=2$
		$NC=96$
No carbonatos	65	$RU_{min}=220$
		$RU_{max}=240$
		$P_0=1$
		$NC=98$

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, todas ellas situadas en el borde sureste de la MASCH, aunque 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 6 áreas que pueden presentar diferente tasa de recarga (Tabla 5.6). 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 5.6. Áreas establecidas con diferente recarga

Área	Superficie (km ²)	Sector climático	Sector de suelo
1	105	9054A-SAN LLORENTE DE LOSA	Carbonatos
2	67	9048A-CASTROBARTO2	Carbonatos
3	35	9054A-SAN LLORENTE DE LOSA	No carbonatos
4	21	9048A-CASTROBARTO2	No carbonatos
5	9	9072G-IZARRA	No carbonatos
6	124	9072G-IZARRA	Carbonatos

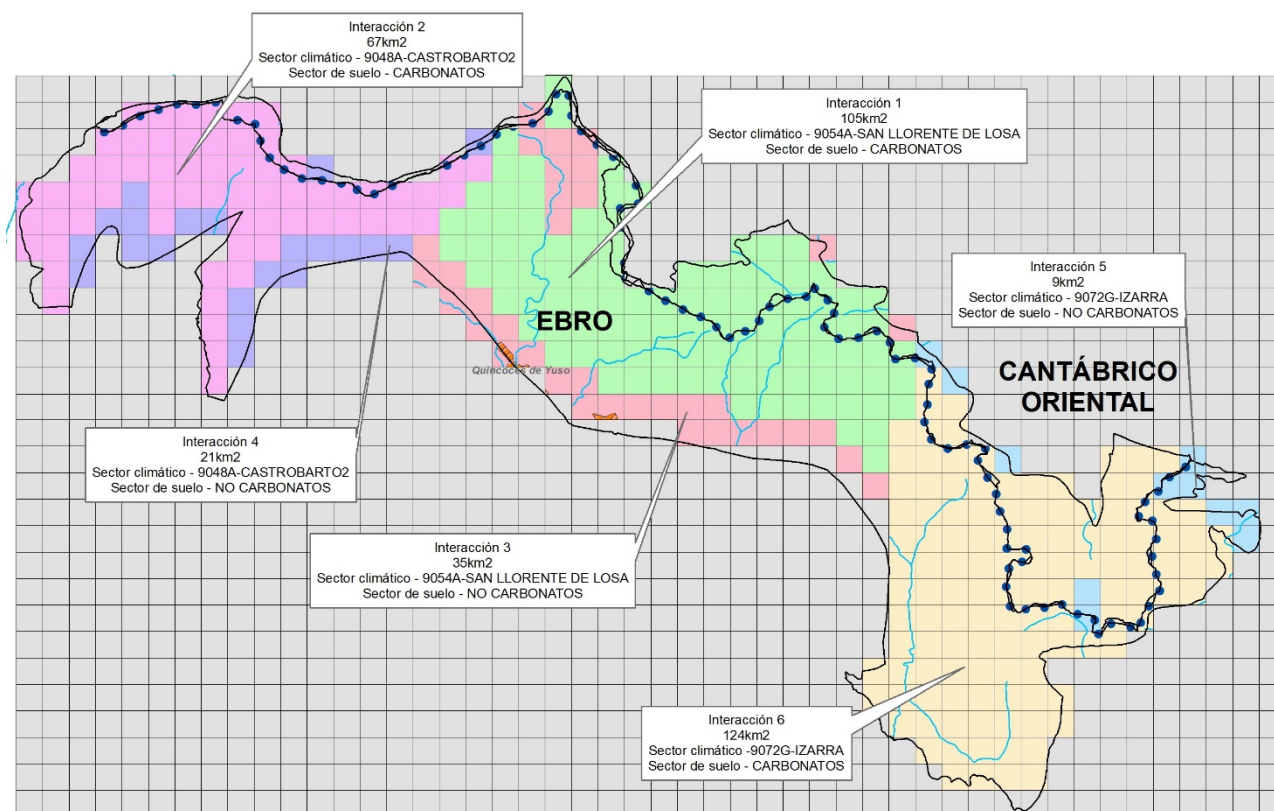


Figura 5.9. Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo

Condiciones de contorno

Todas las celdas exteriores a los límites de la MASCH Calizas de la Losa-Salvada se han definido como de flujo nulo o celdas inactivas. La condición de contorno tipo dren se ha aplicado a los manantiales de los que se tiene constancia que drenan la zona. Dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, al este, el manantial de Abecia (2107-4-0015), cercano a la población del mismo nombre, al sur, el manantial de Osma o Fuente Sarrico (2107-6-0001) y al suroeste, en la parte central de la MASCH, la Cueva del Agua (2006-8-0001), en Quincoces de Yuso. En la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico oriental solo se han recogido los manantiales del nacimiento del Cadagua (2006-6-0001-3).

Dentro de la condición de río se han representado los principales existentes en la zona, todos ellos dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, ya que el principal de la Demarcación del Cantábrico oriental es el Cadagua y simplemente nace en la MASCH y luego discurre por la MASb contigua. Los ríos que se han tenido en cuenta para la simulación con RENATA han sido el río Tumecillo, al este de la MASCH y donde vierte el manantial de Osma, el río Jerea, que cruza la MASCH de norte a sur por el centro de esta y el arroyo de Bárcena, que discurre en el límite de la MASCH y desemboca en el Jerea al sur de la localidad de Quincoces de Yuso.

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

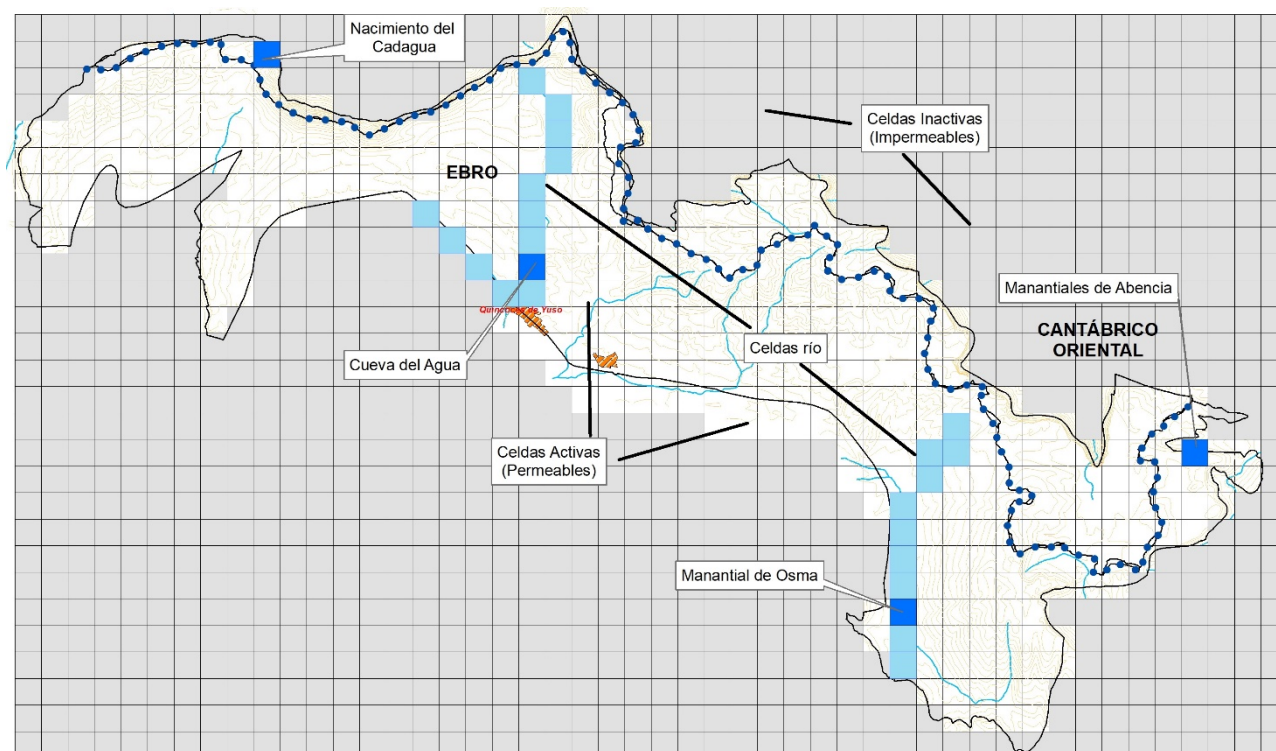


Figura 5.10. Condiciones en los límites del modelo de flujo

Geometría

Para diseñar la geometría se ha importado la topografía del modelo digital del terreno de 200 m referido a ETRS89 tomado del IGN y se ha considerado una sola capa limitada por la superficie topográfica extraída de dicho MDT y una profundidad media estimada del muro del acuífero carbonatado a cota de 500 m s.n.m.

Parámetros hidráulicos

Para la asignación de los parámetros hidráulicos se han tenido en cuenta, para las primeras calibraciones, los datos de los ensayos de bombeo realizados durante la perforación de los sondeos de la zona además de las características hidrogeológicas definidas para las diferentes formaciones, 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 Calizas de la Losa-Salvada 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, todos ellos en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, 2006-8-0003 - QUINCOCES MMA. CAMINO DEL RELLOSO, 2107-1-0007 - BARRIGA MMA. "CUESTA LA RIVA", 2107-6-0047 - SONDEO OSMA C. EVE SP14 y 2107-6-0022.

5.3.2. Calibración

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

En régimen permanente, para conseguir una calibración idónea se ha utilizado el ajuste de la evolución piezométrica de los piezómetros de los que se tiene datos de nivel en la MASCH compartida, así como la coherencia del funcionamiento hidrológico, lugares por donde se producen los drenajes naturales y la cuantificación de éstos, así como el conocimiento que se tiene de la zona.

Todos los piezómetros se encuentran dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, 2107-6-0047 Osma C, 2107-1-0007 Cuesta de la Riva, 2107-6-0022 y 2006-8-0003 Quincoces. Fundamentalmente se han tenido en cuenta los tres piezómetros más importantes o de los que se tiene más registro (2107-6-0047 Osma C, 2107-1-0007 Cuesta de la Riva y 2006-8-0003 Quincoces)

y que caracterizan los sectores con parámetros hidráulicos distintos que se han considerado. En la Figura 5.11 se muestra la evolución de los niveles de los piezómetros situados en las cercanías de Osma, al este de MASCH y el ajuste obtenido con la piezometría calculada en la simulación. El piezómetro 2107-6-0022 no se ha podido calibrar adecuadamente. En este caso, se ha considerado que al tener menos datos y, éstos fueran probablemente manuales, reflejaban menos el funcionamiento que el piezómetro de Osma, con datos más continuos y estando tan cerca uno de otro no procedía el sectorizar aún más las calizas en esa zona para poder calibrar mejor el piezómetro.

En la Figura 5.12, por su parte, se muestra la evolución de los piezómetros de la zona central de la MASCH, Quincoces y Cuesta de la Riva, en los cuales se ha conseguido una calibración muy buena, y, además, se muestra el ajuste obtenido con la piezometría calculada en la simulación.

Los datos de recarga según las áreas creadas en la simulación quedan recogidos en las tablas Tabla 5.7 y Tabla 5.8, los cuales también tienen coherencia con los datos bibliográficos disponibles. En la Tabla 5.7 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 riego, por lo que toda la recarga se produce por la infiltración de la precipitación.

Tabla 5.7. Recarga en cada una de las áreas (1992-2015)

Área	Superficie (km ²)	Sector climático	Sector del Suelo	Recarga por precipitación (hm ³ /a)	Recarga total (hm ³ /a)
1	105	9054A-San Llorente de Losa	Calizas	83.93	83.93
2	67	9048A-Castrobarto2	Calizas	62.20	62.20
3	35	9054A-San Llorente de Losa	Sin acuífero	27.98	27.98
4	21	9048A-Castrobarto2	Sin acuífero	19.49	19.49
5	9	9072G-Izarra	Sin acuífero	10.84	10.84
6	124	9072G-Izarra	Calizas	149.36	149.36

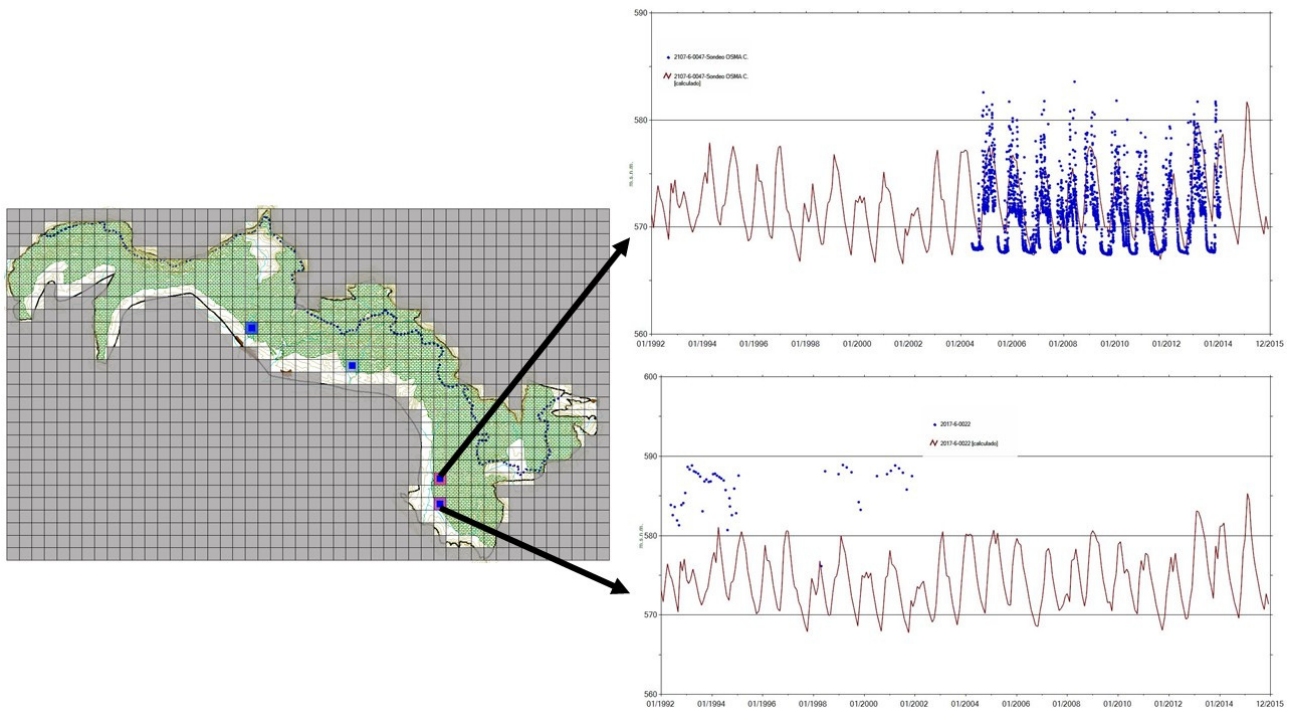


Figura 5.11. Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros de la zona este de la MASCH

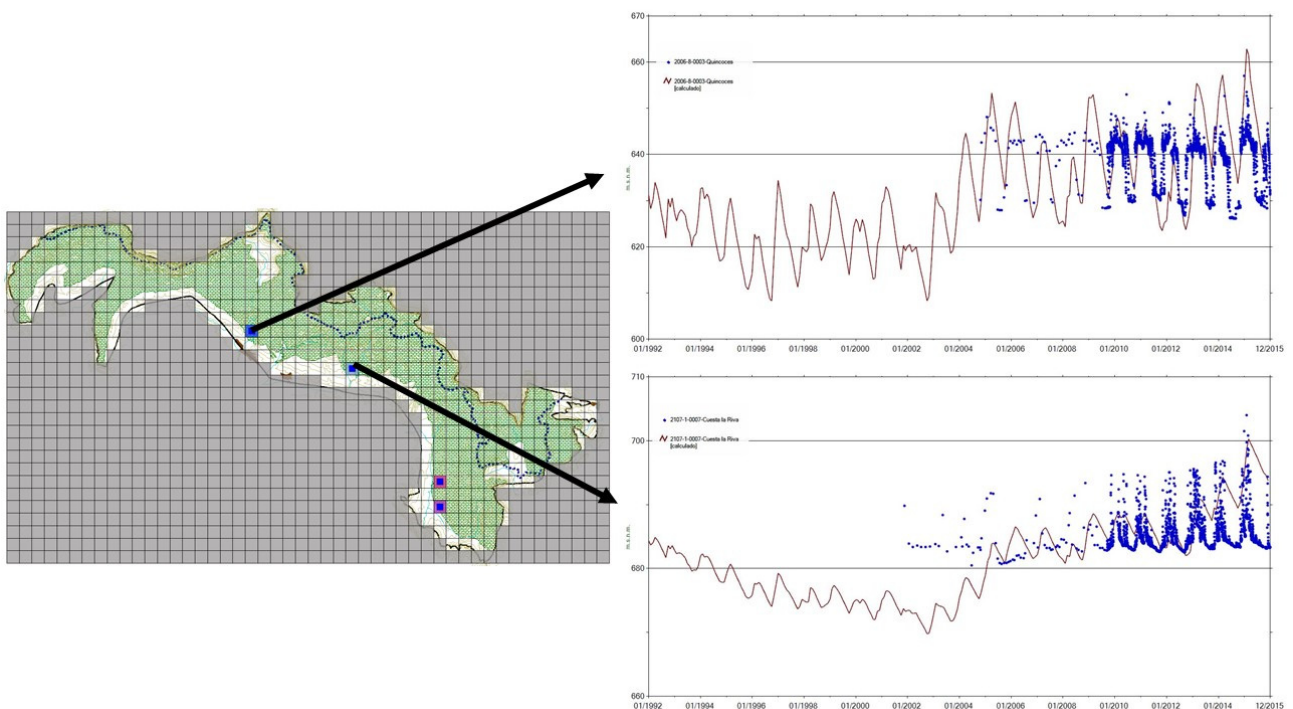


Figura 5.12. Evolución de las medidas realizadas y calculadas en los piezómetros de la zona centro de la MASCH

A continuación en la Tabla 5.8 se presenta la precipitación media, la recarga media originada por precipitación y la tasa de recarga por sectores de suelo

Tabla 5.8. Precipitación media, recarga media por precipitación y tasa de recarga en los sectores de suelo que se han denominado carbonatico y no carbonatico (1992-2015)

Área	Superficie (km ²)	Parámetros	Precipitación (P) media (hm ³ /a)	Recarga media (R) (hm ³ /a)	Tasa de recarga
Calizas	307	RU _{min} =40 RU _{max} =60 P ₀ =2 NC=96	295,48	85,08	28,79
Sin Acuífero	54	RU _{min} =220 RU _{max} =240 P ₀ =1 NC=98	58,31	7,08	12,14

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

Tabla 5.9. Recarga del acuífero jurásico por Demarcaciones Hidrográficas (1992-2015)

Demarcación Hidrográfica	Superficie (km ²)	Precipitación (hm ³ /a)	Infiltración (hm ³ /a)	Recarga total (hm ³ /a)
Ebro	291	285,13	74,37	74,37
Cantábrico oriental	70	68,66	17,79	17,79
Total MASCH	361	353,79	92,17	92,17

En la Figura 5.13 se refleja la piezometría que aporta la simulación realizada con el código RENATA en la MASCH Calizas de la Losa-Salvada.

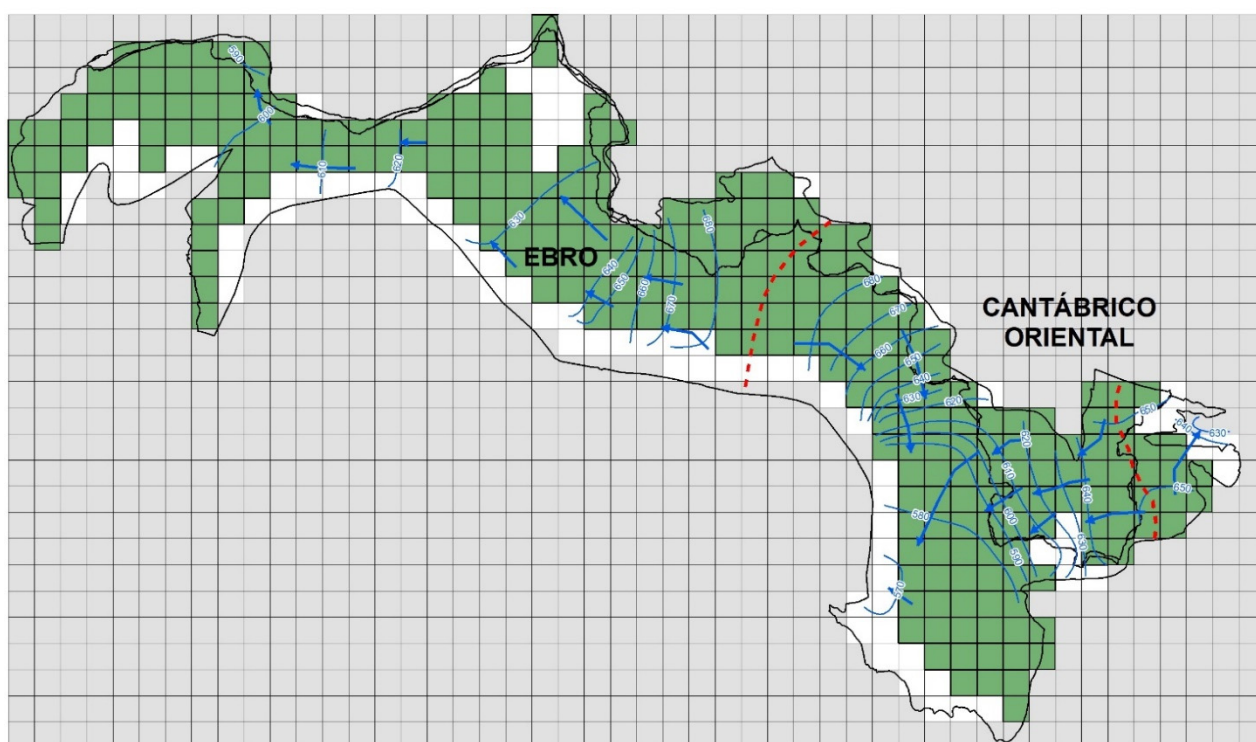


Figura 5.13. Piezometría representada en Renata para el régimen permanente

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

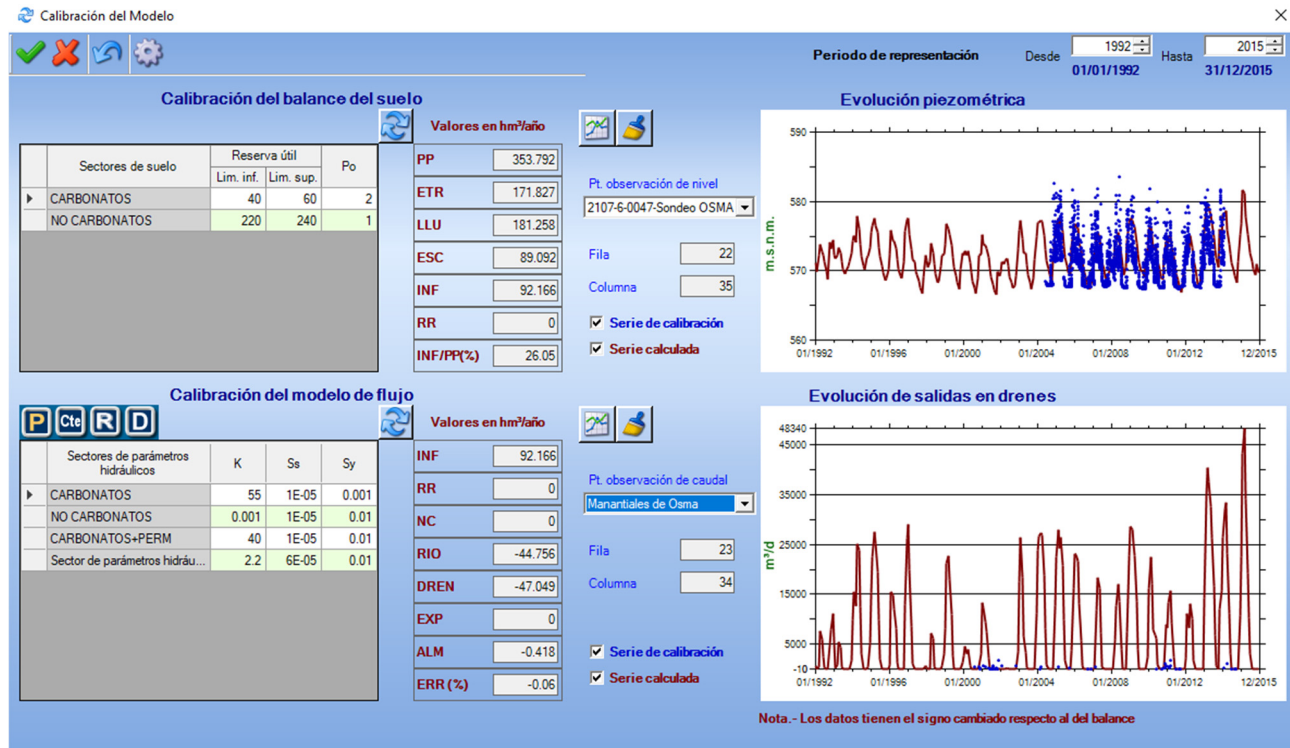


Figura 5.14. Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo

6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Los tres métodos (APLIS, VISUAL BALAN y RENATA) que se han empleado para evaluar la recarga muestran resultados dispares (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Valor de la recarga de la MASCH denominada Calizas de la Losa-Selvada (acuífero coniaciense) mediante la utilización de los métodos APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1992/93-2014/15)

Método	Recarga (hm ³ /a)			Tasa de recarga por precipitación
	Ebro	Cantábrico oriental	TOTAL	
APLIS	108,22	26,40	134,54	38,02%
VISUAL BALAN	91,83	26,99	118,82	33,58%
RENATA	74,37	17,79	92,17	26,05%

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

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

7. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL

En 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 será 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 de la Calizas de la Losa (Coniaciense) de la MASCH de Calizas de la Losa-Salvada, durante el periodo 1992/1993-2014-2015, son de 92,17 hm³/a. De este volumen, como se aprecia en la Tabla 7.1, en la Demarcación Hidrográfica del Ebro se generan 74,37 hm³/a, lo que supone un 80,7% del total de los recursos generados en la MASCH, mientras que 17,79 hm³/a se generarían en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico oriental, que suponen un 19,3% de los recursos de la masa.

Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen natural estacionario de la MASCH de Calizas de la Losa-Salvada (acuífero coniaciense) por Demarcaciones Hidrográficas

Demarcación Hidrográfica	Recarga (hm ³ /a)	%	Descarga por manantiales (hm ³ /a)	%	Descarga a ríos (hm ³ /a)	%
Ebro	74,37	80,7%	7,16	15,22%	45,47	100%
Cantábrico oriental	17,79	19,3%	39,84	84,78%	0,00	0%
Total MASCH	92,17	100%	47,00	100%	45,47	100%

Por lo que respecta a los recursos del acuífero drenados por manantiales en régimen natural, que son 47hm³/a, se distribuyen básicamente entre los manantiales principales y abundantes que son el nacimiento del Cadagua 2006-6-0001/3, con 39,84 hm³/año, el manantial de Osma 2107-6-0001 con 1,70 hm³/año y el manantial de Abecia 2107-4-0015 que drenaría 5,46 hm³/año. Por su parte, la Cueva del Agua 2006-8-0001, al tener un caudal tan dispar, pudiendo variar entre 0 (la gran mayoría de las ocasiones) hasta 2000 l/s cuando rebosa después de algún evento muy abundante de lluvia, el código RENATA no ha aportado unos recursos drenados por dicho manantial.

En cuanto a las que se producen directamente a cauce, un total de 45,47 hm³/a, se producen la totalidad de ellos en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, ya que del Cantábrico oriental no se tiene cuencas fluviales, solo la cabecera del Cadagua que discurre íntegramente fuera de la MASCH y la cabecera de la cuenca del Nervión, los recursos, subterráneamente, se drenarían hacia la Demarcación Hidrográfica del Ebro, concretamente hacia la cuenca del río Tumecillo.

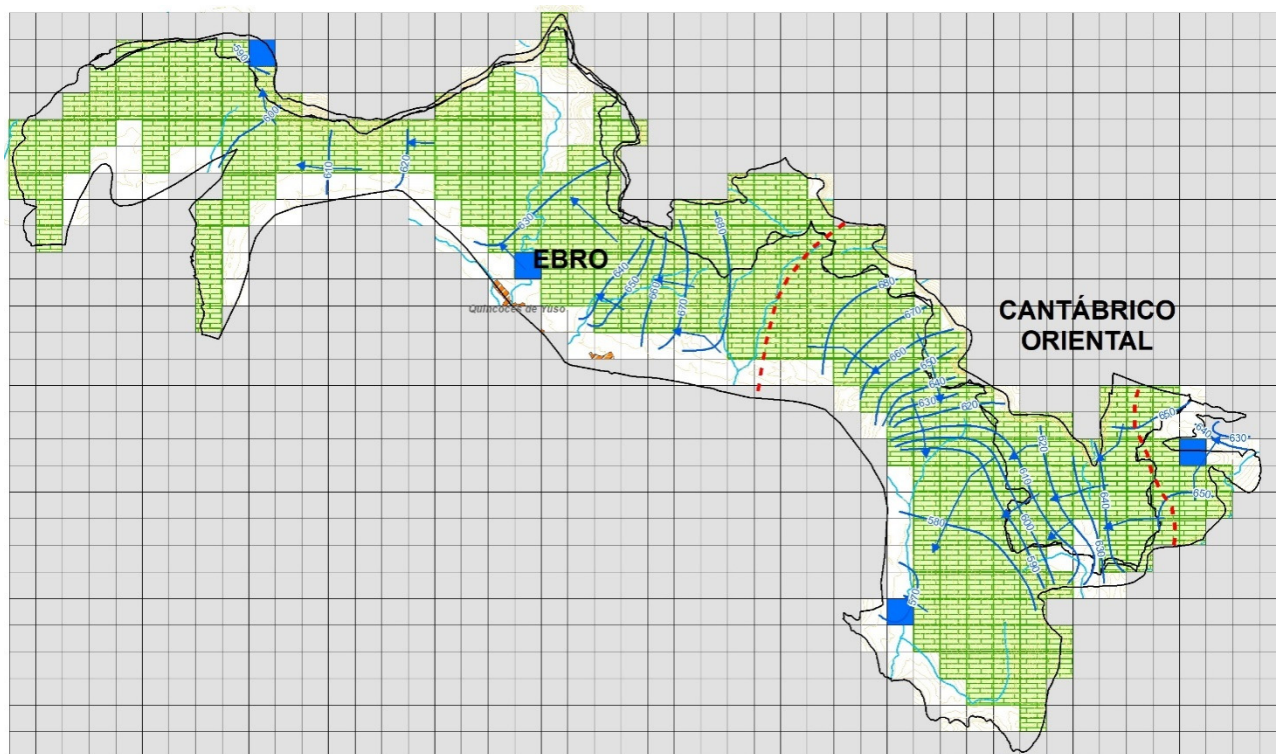


Figura 7.1. Superficie piezométrica flujo subterráneo, manantiales y ríos principales de la MASCH Calizas de la Losa-Salvada (acuífero coniaciense) en régimen natural permanente.

Como se aprecia en la Figura 7.1 en régimen natural las divisorias de agua subterránea marcadas no coinciden con la divisoria de agua superficial que es el límite de las dos Demarcaciones Hidrográficas.

La cuenca del Ebro subterránea tiene menor superficie que su componente superficial. Al oeste de la MASCH, la parte correspondiente a esta Demarcación, subterráneamente es captada y drenada hacia la cuenca del Cadagua, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

En la parte este de la MASCH, en la cuenca del Nervión, ocurre lo contrario, subterráneamente es captada por la cuenca del Ebro, drenando la cabecera del Nervión hacia la zona de Osma.

En la Figura 7.2 se muestran los recursos que se drenan en cada Cuenca, en las diferentes zonas en las que se ha dividido la MASCH en función de las divisorias superficiales y subterráneas. En color amarillo se resaltan los recursos de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental y en azul los de la demarcación Hidrográfica del Ebro. Las flechas indican las transferencias entre Demarcaciones, es decir, recursos que se drenan en otra Cuenca diferente de la que se generan, mientras que el resto (círculos) son los recursos que se generan y drenan en las misma Cuenca.

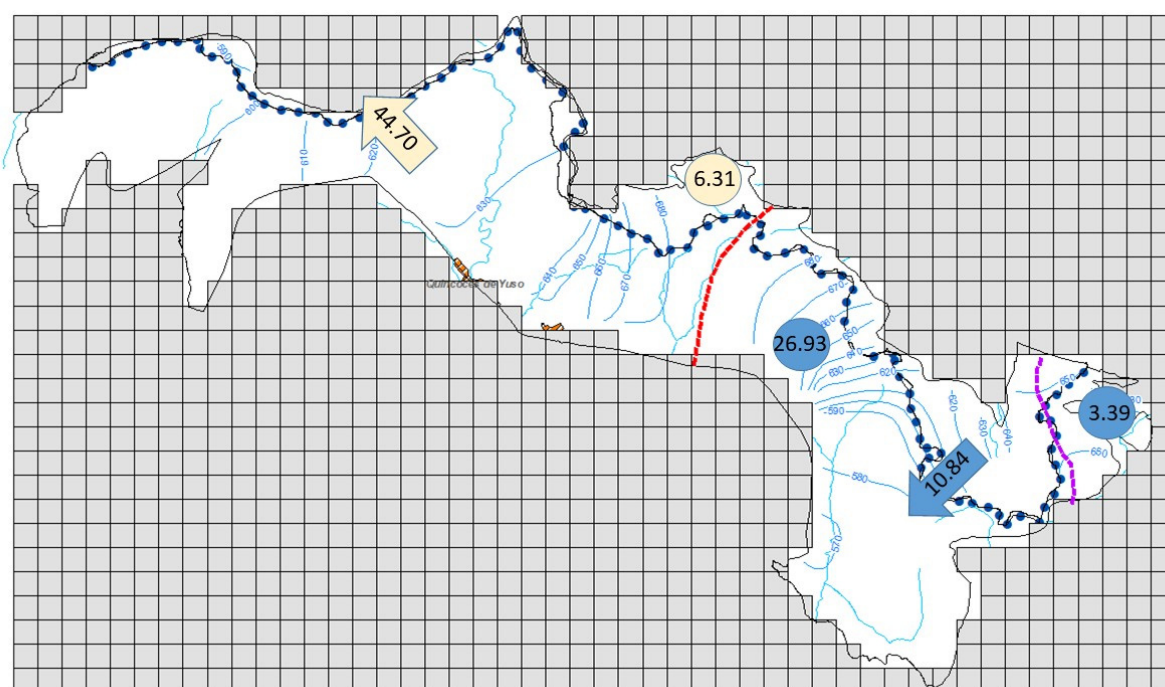


Figura 7.2. Distribución de los recursos drenados y transferidos en la MASCH.

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. Recarga y transferencias subterráneas entre cuencas (suponiendo homogéneos por superficie)

Demarcación Hidrográfica	Área superficial	%	Área subterránea	%	Recarga (hm³/año)	Transferencia entre cuencas (hm³/año)	Aportación subterránea (hm³/año)
Ebro	285,90	81,39%	156,83	44,65%	74,37	-44,70	40,52
Cantábrico oriental	65,35	19,61%	194,42	55,35%	17,79	-10,84	51,65
Total MASCH	351,25	100%	351,25	100%	92,17		92,17

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

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

- En la Masa de Agua Subterránea Compartida o con Continuidad Hidrogeológica (MASCH) denominada Calizas de la Losa-Salvada, la formación que constituye acuífero de interés es la unidad carbonatada del Cretácico superior de edad Coniaciense de Calizas de la Losa. Esta unidad se encuentra entre dos unidades margosas con baja permeabilidad, que dificulta y limita el flujo de agua subterránea, situados a muro y techo de la misma. Para la simulación del funcionamiento se han considerado como un único acuífero, aunque a la zona sureste se le ha dado una permeabilidad mayor.
- Todos los cálculos y estimaciones que se realizan en el presente informe se refieren al acuífero de las Calizas de la Losa, únicamente.
- La precipitación media sobre la superficie permeable de la masa de agua subterránea es de 980 mm/a, mientras que la precipitación media para años secos se sitúa en los 792 mm/a y en años húmedos en 1129 mm/a.
- La recarga al acuífero en régimen natural para el período 1992/1993-2014/2015 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 134,54 hm³/a obtenidos con APLIS y los 26,40 hm³/a que se obtienen con RENATA, siendo VISUAL BALAN el punto medio entre los dos métodos anteriores con 108,22 hm³/a.
- 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. No obstante, la escasez e incertidumbre de los datos, especialmente de las descargas de la MASCH (aportes a ríos o manantiales, como el nacimiento del Cadagua 2006-6-0001/3 o el manantial de Abecia 2107-4-0015, obliga a tomar estos resultados con la reserva y cautela debida.
- Los recursos generados en la MASCH son de 97,12 hm³/a, de los que 74,37 hm³/a (80,7%) se generan en la superficie perteneciente administrativamente a la Demarcación Hidrográfica del Ebro y 17,79 hm³/a en la del Cantábrico oriental (19,30%).
- De los 97,12 hm³/a que suponen los recursos totales que se generan en la MASCH Calizas de la Losa-Salvada, 40,52 hm³/a drenan a la Demarcación Hidrográfica del Ebro y 51,65 hm³/a son drenados a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico oriental, lo que supone el 43,9% y 56,1% respectivamente de los recursos totales.
- Aunque en la simulación realizada con RENATA no se producen descargas por la Cueva del Agua y solo un pequeño volumen por el río Jerea, sí que se producen puntas de caudal importantes en algunos periodos, por lo que parte de los recursos drenados por el nacimiento del Cadagua serán realmente drenados a la cuenca del Ebro, aunque no se dispone de la información que permita evaluar la cuantía de los mismos.

Con el objetivo de mejorar el conocimiento de la MASCH Calizas de la Losa-Salvada 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 Calizas de la Losa-Salvada mediante el establecimiento de estaciones de aforo que registren de forma continua el caudal total que drena a la salida de la MASCH por el nacimiento del río Cadagua y un control continuo de caudales en los principales manantiales, al menos el manantial de Abecia. Este control es especialmente necesario dado el carácter kárstico del acuífero.
- Construcción de nuevos piezómetros en la zona correspondiente a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico oriental o al noreste y oeste de la MASCH, para tener un registro de la piezometría más continuo por la masa.

REFERENCIAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente. Corine Land Cover. (2018). Programa de Coordinación de información de Medioambiente.
- Aguayo, J., Antigüedad, I., Eraso, A., García de Cortazar, A. (1987). Hidroquímica y funcionamiento hidráulico de las Calizas de Subijana (Álava).
- Andreo, B., Vías, 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.
- Antigüedad, I, Morales, T., Uriarte, J.A. (2007). Los acuíferos kársticos. Casos del País Vasco.
- CHE (1998). Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro.
- CHE (1999). Delimitación de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Ebro (Plan Hidrológico)
- CHE (2015). Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.
- CHC (2015). Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábricooriental 2015-2021.
- Custodio, E. (1998). Recarga de los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. Boletín Geológico y Minero. Vol. 109,nº4,19-40.
- DGOH-ITGE (1988). Estudio de delimitación de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e islas Baleares y síntesis de sus características.
- DGOH(1999). Estudio de las Unidades Hidrogeológicas de Villarcayo (09.03) y La Bureba (09.62)
- DPA- IGME (2012). RENATA (Recarga Natural de Acuíferos). Manual del Usuario. Convenio IGME-DPA.
- Gobierno Vasco (1996). Mapa Hidrogeológico del País Vasco. 1:100000
- Gobierno Vasco (1999). Construcción del sondeo de explotación Osma-A.
- Gobierno Vasco (1999). Construcción del sondeo de explotación Osma-B.
- Gobierno Vasco (1999). Construcción del sondeo de explotación Osma-C.
- Gobierno Vasco (1999). Construcción del sondeo de explotación Osma-D.
- IGME (1971). Estudio hidrogeológico de la Formación Calizas de Subijana
- IGME (1978). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja085 Villasana de Mena.
- IGME (1978). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja086 Landaco.
- IGME (1979). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 110 Medina de Pomar.
- IGME (1979). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 111Orduña.
- 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.

- Lerner, D., A. Issar, and I. Simmers (1990). Groundwater Recharge: A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge. Heise, Germany: International Contributions to Hydrogeology.
- MMA (2000). Plan Hidrológico Nacional. Delimitación y asignación de recursos en acuíferos compartidos.
- MOPT (1993). Delimitación y síntesis de las características de las unidades hidrogeológicas intercuencas.
- MOPTMA-MINER (1994). Libro blanco de las Aguas Subterráneas.
- Padilla, A., Delgado, J. (2012). RENATA: Programa para el cálculo de la recarga a los acuíferos a partir de los procesos que tienen lugar en el suelo. Calibración mediante modelos de flujo.
- Samper, J., García Vera, M. A. (1992). Manual de usuario del programa BALAN_8. Dpto. Ingeniería del terreno. E. T. S. de Ingenieros de Caminos. UPC. Barcelona. España
- URA (2019). Mantenimiento de la red de control de aguas subterráneas de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Informe anual.
- Vera, J.A. (2004). Geología de España.

ANEXOS

ANEXO I
DATOS MENSUALES CLIMÁTICOS UTILIZADOS

2030 Soria

P (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1990/91	44.9	60.2	29.1	14.2	60.8	53.4	125.5	27.5	31.3	14.3	3.0	62.4	526.6
1991/92	69.2	43.3	4.6	4.6	12.4	19.0	32.7	42.2	51.5	32.3	10.9	24.5	347.2
1992/93	79.3	2.5	58.5	0.0	12.2	25.2	46.4	143.5	16.6	0.7	11.6	53.6	450.1
1993/94	122.4	17.8	6.6	51.1	35.6	14.5	15.8	52.9	62.5	28.3	24.5	26.9	458.9
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	20.8	54.2	100.6	106.5	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	18.0	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	29.8	38.8	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	661.0
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	94.7	64.4	41.8	63.8	28.6	7.9	2.3	56.7	79.4	644.8
2003/02	127.7	68.5	23.4	35.3	50.5	61.4	74.1	74.6	33.2	31.6	35.4	32.6	648.3
2004/05	78.7	12.1	21.0	7.0	27.6	15.4	31.0	34.3	17.5	0.0	3.8	9.4	257.8
2005/06	98.5	66.2	34.1	12.2	60.6	51.6	20.5	52.6	76.9	26.2	5.8	67.4	572.6
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	28.3	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	85.3	57.6	45.0	116.6	66.9	21.3	3.0	37.8	734.5
2010/11	48.7	43.9	48.7	36.8	24.0	52.2	56.1	109.2	26.8	8.0	15.2	10.7	480.3
2011/12	30.2	29.7	7.2	11.8	6.2	7.2	83.4	51.2	33.6	33.0	12.6	37.4	343.5
2012/13	86.8	29.2	41.0	61.1	30.6	135.6	84.4	40.6	49.4	81.2	5.0	12.6	657.5
2013/14	56.8	15.4	63.6	66.8	79.4	22.2	50.2	24.4	50.7	53.4	23.2	32.4	538.5
2014/15	37.0	138.0	22.6	27.6	22.0	81.4	37.2	12.0	95.0	41.2	32.6	28.0	574.6
Media	62.9	48.6	46.7	41.1	34.5	38.6	55.2	65.6	41.8	32.2	28.1	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	16.8	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	7.8	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	19.9	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	18.9	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	4.5	4.8	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	19.5	21.0	15.4	11.5
2001/02	13.1	4.8	1.5	4.2	5.5	7.8	9.7	11.7	18.3	19.5	18.7	15.5	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	14.8	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	5.2	10.2	11.0	15.9	21.7	20.5	16.3	10.9
2010/11	10.4	4.8	3.8	3.3	5.5	6.4	12.8	14.9	17.4	18.9	20.8	17.9	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	5.6	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	17.5	20.5	20.5	16.3	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	654.0
1991/92	36.5	18.8	13.2	3.2	11.5	24.6	42.5	79.8	71.5	130.1	127.1	83.8	642.5
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	66.0	662.6
1994/95	45.4	29.2	14.2	11.2	17.3	26.9	44.5	75.3	98.9	134.2	112.4	61.0	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	108.3	118.1	86.9	673.3
1997/98	60.2	21.2	12.0	13.8	21.6	37.4	30.4	66.1	104.4	125.3	122.4	79.1	693.9
1998/99	42.3	20.0	9.6	9.7	12.9	25.5	39.0	80.1	98.5	132.6	122.4	82.8	675.4
1999/00	47.5	15.0	11.2	5.5	22.5	31.1	30.6	78.8	108.6	120.2	116.7	83.8	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	53.5	14.2	6.4	12.2	16.7	32.3	45.4	63.4	110.2	119.6	105.8	73.0	652.6
2002/03	48.4	24.0	15.6	8.3	7.3	31.8	38.7	69.8	126.9	134.9	138.0	79.0	722.6
2003/02	39.8	23.4	9.6	13.8	13.4	21.7	33.0	60.1	114.5	123.9	114.6	88.2	655.9
2004/05	52.1	19.1	10.5	7.6	4.1	26.0	39.7	75.3	119.0	135.3	122.8	82.3	693.8
2005/06	53.6	17.7	8.0	6.7	8.1	28.4	44.5	78.6	109.2	140.8	103.6	87.3	686.5
2006/07	56.2	29.6	8.8	13.6	18.1	22.9	45.7	71.5	94.8	122.1	110.2	80.0	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	655.7
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	46.5	58.4	92.1	139.5	123.6	83.7	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	87.6	683.0
2011/12	53.2	25.6	10.6	9.9	7.8	28.2	27.1	77.7	111.9	123.1	127.6	81.9	684.4
2012/13	48.8	19.1	11.7	12.9	9.6	22.8	36.2	49.1	88.0	132.8	118.3	85.3	634.4
2013/14	54.9	21.8	9.4	11.7	9.3	26.6	54.5	64.3	99.4	111.0	113.4	88.5	664.8
2014/15	61.8	24.7	10.8	9.6	6.6	28.4	44.2	76.2	108.8	147.8	115.4	68.9	703.2
Media	48.8	21.5	11.2	10.2	12.7	28.3	40.3	69.8	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	82.5	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	12.5	60.5	92.5	0.0	30.0	38.0	366.0

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	9.5	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	385.9
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	53.0	0.0	25.5	74.5	58.1	51.5	14.5	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	58.7	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	85.4	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	43.5	24.8	37.6	16.4	50.0	65.1	5.1	105.0	485.7
2006/07	39.4	52.3	8.6	17.0	53.7	43.2	169.6	85.2	40.3	3.2	25.9	11.6	550.0
2007/08	38.6	3.8	43.2	18.3	32.9	21.4	86.2	171.4	30.7	18.4	7.9	37.2	510.0
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	56.5	60.4	56.4	81.8	48.5	24.9	6.8	45.0	590.2
2010/11	42.1	43.2	35.3	25.2	16.3	78.4	35.4	64.7	35.4	7.1	1.7	13.6	398.4
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	577.7
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	526.4
2014/15	33.8	134.7	27.4	14.9	24.8	107.0	22.2	15.2	73.3	41.5	22.8	21.5	539.1
Media	54.3	39.2	32.3	32.0	30.0	35.8	53.6	57.4	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	3.5	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	12.8
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	18.6	12.4
1999/00	13.0	4.8	6.9	5.2	9.0	9.6	8.9	15.3	19.9	20.7	21.3	17.5	12.7
2000/01	12.6	7.2	6.4	5.5	6.6	11.1	11.3	15.9	21.7	21.6	23.5	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	6.2	4.0	4.0	10.3	11.5	15.5	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	6.6	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	24.5	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	14.5	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

2011/12	15.2	9.8	5.9	5.4	3.3	9.7	9.4	15.9	21.3	22.1	24.5	18.9	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	660.7
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	687.8
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	68.8	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	67.4	25.5	15.5	17.1	19.7	41.0	41.0	73.5	112.3	134.5	129.9	76.3	753.5
1998/99	41.4	17.1	9.9	10.2	15.3	23.1	42.9	87.3	103.8	154.3	126.6	88.5	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	56.9	13.0	6.5	12.4	19.2	35.3	50.8	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	68.6	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	749.5
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	29.1	34.9	92.6	131.5	154.0	144.4	85.5	769.5
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	742.5
2010/11	48.5	20.9	12.9	11.4	15.2	21.3	57.6	87.0	108.9	121.8	140.3	97.8	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	88.6	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	715.0
2013/14	61.5	23.2	10.9	15.5	14.4	30.6	58.8	70.6	109.5	118.2	118.7	95.9	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