

**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**

Cuencas Mediterráneas Andaluzas-Segura

Informe nº 25 (SALTADOR-LAS NORIAS)

31. Saltador Las Norias

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

PRESENTACIÓN

Pág.

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO	1
2. ANTECEDENTES	3
3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	5
3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	5
3.2. GEOMETRÍA, ESTRUCTURAS Y LÍMITES	7
3.3. FORMACIONES HIDROGEOLÓGICAS	9
3.4. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y PIEZOMETRÍA.....	15
3.5. RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO	29
3.6. USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA	29
4. CLIMATOLOGÍA	31
4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	31
4.2. ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL	33
4.2.1. <i>Análisis espacial</i>	33
4.2.2. <i>Análisis temporal</i>	33
5. RECARGA A LOS ACUÍFEROS	39
5.1. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL MÉTODO APLIS.....	39
5.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE VISUAL BALAN	45
5.3. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA.....	48
5.3.1. <i>Metodología de cálculo y entrada de datos</i>	49
5.3.2. <i>Calibración</i>	57
6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	62
7. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL	63
8. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN INFLUENCIADO	65
9. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	67

Anexo I. Datos climáticos mensuales utilizados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema general de situación de las MASCH Saltador-Las Norias y adyacentes	1
Figura 2.1. Isopiezas de la Cubeta de El Saltador y su cono de descenso (IGME, 1989)	4
Figura 3.1. Mapa geológico simplificado de las Cordilleras Béticas (Tomado de Sanz de Galdeano et al. (2007)).....	5
Figura 3.2. Esquema general del Mediterráneo occidental. Mapa esquemático de la estructura y geología del sureste de las Cordilleras Béticas, incluyendo corte esquemático (Revista Soc. Geol. España, 2003, 16(3-4))	6
Figura 3.3. Esquema morfoestructural de la parte oriental de la cuenca de Huércal-Overa. García-Meléndez, E., Ferrer-Juliá, M., Goy. J.L., Zazo, C. (2002)	8
Figura 3.4. Mapa de isohipsas del Plioceno en la Cubeta de El Saltador. Modificado de IGME (1982)	9
Figura 3.5. Mapa Hidrogeológico de la MASCH Salvador-Las Norias	13
Figura 3.6. Cortes hidrogeológicos de la MASCH Saltador-Las Norias.....	14
Figura 3.7. Corte esquemático de la Cubeta de El Saltador a la altura de San Francisco	15
Figura 3.8. Evolución de la piezometría en la Cubeta de El Saltador entre 1969 y 1990. ITGE (1998)	17
Figura 3.9. Evolución piezométrica en el sector central de la cubeta en el periodo 1962-2012.	18
Figura 3.10. Situación de todos los piezómetros de las redes de control del IGME y la Red Oficial de Control de las Demarcaciones Hidrográficas de las Cuencas Internas Andaluzas y del Segura	19
Figura 3.11. Evolución de niveles en el piezómetro 06.01.001 Pedregales.	20
Figura 3.12. Evolución de niveles en el piezómetro 06.01.003 Los Olivos.....	20
Figura 3.13. Evolución de niveles en los piezómetros 06.01.002 y 06.01.102 San Francisco	21
Figura 3.14. Evolución de niveles en el piezómetro 07.44.001.	22
Figura 3.15. Localización de los piezómetros de la BBDD del Agua del IGME dentro de la Cubeta de El Saltador.	23
Figura 3.16. Piezometría de los puntos de la BBDD de Aguas del IGME.	23
Figura 3.17. Localización de los piezómetros más alejados de la cubeta.	24
Figura 3.18. Piezometría de los puntos más cercanos a la zona de mayor explotación.	25
Figura 3.19. Localización de los piezómetros que han acusado más la explotación.	26
Figura 3.20. Piezometría de los puntos situados algo más alejados de la zona de mayor extracción.	27
Figura 3.21. Localización de los puntos situados algo más alejados de la zona mayor explotación.	28

Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas disponibles	31
Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos	36
Figura 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen	36
Figura 4.4. Hietograma anual de la precipitación media caída en la MASb	37
Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos	37
Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio.....	38
Figura 4.7. Desviaciones de la precipitación anual respecto a la media acumuladas.....	38
Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) y Suelo (S) para el método APLIS.....	43
Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS).....	45
Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la MASCH Saltador - Las Norias (1999/00-2014/15).....	47
Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA.....	49
Figura 5.5. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.....	50
Figura 5.6. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA.....	51
Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA.....	52
Figura 5.8. Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.....	53
Figura 5.9. Sectores de riego aplicados en el código RENATA.	54
Figura 5.10. Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo	55
Figura 5.11. Condiciones en los límites del modelo de flujo.....	56
Figura 5.12. Evolución de los niveles en los piezómetros de control	59
Figura 5.13. Piezometría representada en Renata para el régimen permanente.....	61
Figura 5.14. Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo	61
Figura 7.1. Superficie piezométrica y flujo subterráneo de la MASCH Saltador-Las Norias (acuífero detrítico) en régimen natural, generada con RENATA.	64
Figura 7.2. Mapa piezométrico de la MASb El Saltador (PHCMA, Apéndice 3).....	64
Figura 8.1. Superficie piezométrica y flujo subterráneo de la MASCH Saltador-Las Norias (acuífero detrítico) en régimen influenciado.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Resumen de los balances realizados en la MASCH	4
Tabla 2.2. Balances realizados dentro del PH de las Demarcaciones Hidrográficas de la MASCH (2015/2021).....	4
Tabla 3.1. Explotaciones asignadas a cada Demarcación en los Planes Hidrológicos.....	30
Tabla 4.1. Relación de estaciones climáticas utilizadas para realizar el estudio climático.....	31
Tabla 4.2. Valores característicos de las estaciones meteorológicas	32
Tabla 4.3. Valores característicos de las series anuales de precipitación para el período 1999/00-2014/15	33
Tabla 4.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos acontecidos de octubre de 1999 a septiembre de 2015	34
Tabla 5.1. Puntuaciones a asignar para cada parámetro de la metodología APLIS, Parámetro Altitud (m) Puntuación.....	40
Tabla 5.2. Porcentaje y clases de recarga metodología APLIS.....	44
Tabla 5.3. Parámetros aplicados para evaluar la recarga mediante el método VISUAL BALAN ...	45
Tabla 5.4. Características de los sectores climáticos (1999-2015)	51
Tabla 5.5. Sectores de suelo: parámetros utilizados	53
Tabla 5.6. Áreas establecidas con diferente recarga.....	54
Tabla 5.7. Resumen parámetros hidráulicos	57
Tabla 5.8. Recarga en cada una de las áreas (1999-2015)	58
Tabla 5.9. Precipitación media, recarga media por precipitación y tasa de recarga en los sectores de suelo que se han denominado detrítico permeable y poco permeable (1999-2015).....	60
Tabla 5.10. Recarga del acuífero detrítico por Demarcaciones Hidrográficas (1992-2015).....	60
Tabla 6.1. Valor de la recarga de la MASCH denominada Saltador-Las Norias (acuífero detrítico) mediante la utilización de los métodos APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1999/2000-2014/15)	62
Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen natural estacionario de la MASCH de Saltador-Las Norias (acuífero detrítico) por Demarcaciones Hidrográficas	64
Tabla 8.1. Balance hídrico en régimen influenciado de la MASCH de Saltador-Las Norias (acuífero detrítico) por Demarcaciones Hidrográficas.....	65
Tabla 8.2. Distribución de recursos subterráneos por cuencas	66

Glosario de Acrónimos

BBDD	Base de Datos
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CLC	Corine Land Cover
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
DGA	Dirección General del Agua
DHCMA	Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas
DHS	Demarcación Hidrográfica del Segura
DPA	Diputación Provincial de Alicante
ESC	Esorrentia
ESDAC	Centro Europeo de Datos de Suelo
ETP	Evapotranspiración potencial
ETR	Evapotranspiración real
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INF	Infiltración
IRNASA	Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca
IRYDA	Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario
LBAS	Libro Blanco de las Aguas Subterráneas
LLU	Lluvia útil
MASb	Masa de Agua Subterránea
MASCH	Masa de Agua subterránea con continuidad hidrogeológica
MDE	Modelo Digital de Elevación
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
m s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transporte
PHN	Plan Hidrológico Nacional
PIAS	Plan nacional de Investigación de Aguas Subterráneas
SGOP	Servicio Geológico de Obras Públicas
SIG	Sistema de Información Geográfica
s.s.	Sensu stricto

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 Cubeta de El Saltador-Las Norias (integrada por la MASb 060.001 Cubeta de El Saltador de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (DHCMA) y parte de las MASb 070.060 Las Norias de la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS)). 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.

La MASCH se encuentra prácticamente rodeada de relieves que la enmarcan. En el límite norte se encuentran las estribaciones de la Sierra de las Estancias, con cotas dentro de la masa de 877 m s.n.m, alcanzándose los 1246 m s.n.m. en el Cabezo de Jara, fuera ya de los límites de la MASCH. En el extremo noreste, aunque en su totalidad fuera de los límites de ésta, se encuentra la Sierra de Enmedio, que alcanza su cota máxima en el Medro con 855 m s.n.m. A lo largo de la mitad sur del límite E, entre San Francisco y Las Norias, se encuentra una alineación de pequeñas elevaciones que constituyen las denominadas Lomas de García, con cotas de 350-390 m s.n.m. Al sur se sitúa la Sierra de Almagro que alcanza su cota máxima en El Cucharón, con 710 m s.n.m.

La morfología de la MASCH es la de una cubeta limitada por relieves en todo su perímetro, excepto en el extremo nororiental, en la zona de Las Norias, donde se prolonga hacia la cuenca del Segura y el extremo suroccidental, en Huércal-Overa, que se prolonga hacia el SO, su salida natural hacia el río Almanzora.

La parte más deprimida y plana de la MASCH ocupa el cuadrante suroriental, centrado en el entorno de San Francisco, con cotas de 280-350 m s.n.m., que se elevan suavemente hacia el oeste, norte y noreste, a 350-480 m s.n.m., correspondientes al sector de la depresión ocupada por los materiales de relleno Pliocuaternarios. El resto de la masa, que ocupa el tercio oriental, presenta mayores pendientes hacia las estribaciones de las sierras circundantes, con cotas de 480-700 m s.n.m. Este sector está ocupado fundamentalmente por los afloramientos de los materiales Miocenos que rellenan el fondo de la depresión.

2. ANTECEDENTES

La cubeta de El Saltador está constituida por un acuífero detrítico de edad Pliocena. Este acuífero, que se encontraba prácticamente sin explotación antes de 1965 cuando las técnicas de construcción de sondeos y bombeo aún no favorecían dicha explotación, pasó, a principios de la década de los 70, a estar sometido a una intensa sobreexplotación por el creciente incremento de la demanda de agua para riego en la zona.

A partir de 1972, con el “Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Sur – Almería” y el “Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas” (PIAS) llevados a cabo por el IGME, se definieron los principales acuíferos, sus recursos y reservas, la demanda de agua y el grado de explotación. Además, se delimitaron las áreas consideradas sobreexplotadas (con descensos de más de 40m en algunos sondeos desde 1961 a 1975) y la posibilidad de incrementar los recursos disponibles. Entre los años 1972 y 1973 se prohibieron nuevas captaciones en la zona, así como la reprofundización o la modificación de los sistemas de elevación de las ya existentes.

Posteriormente, en 1982, el IGME, realiza el “Estudio hidrogeológico de la Cubeta de El Saltador” en el que se establece que la descarga del acuífero se produce únicamente por bombeo (90% en la zona de San Francisco), generando un cono de depresión de unos 23 km² y que no existe flujo hacia el exterior de la cubeta.

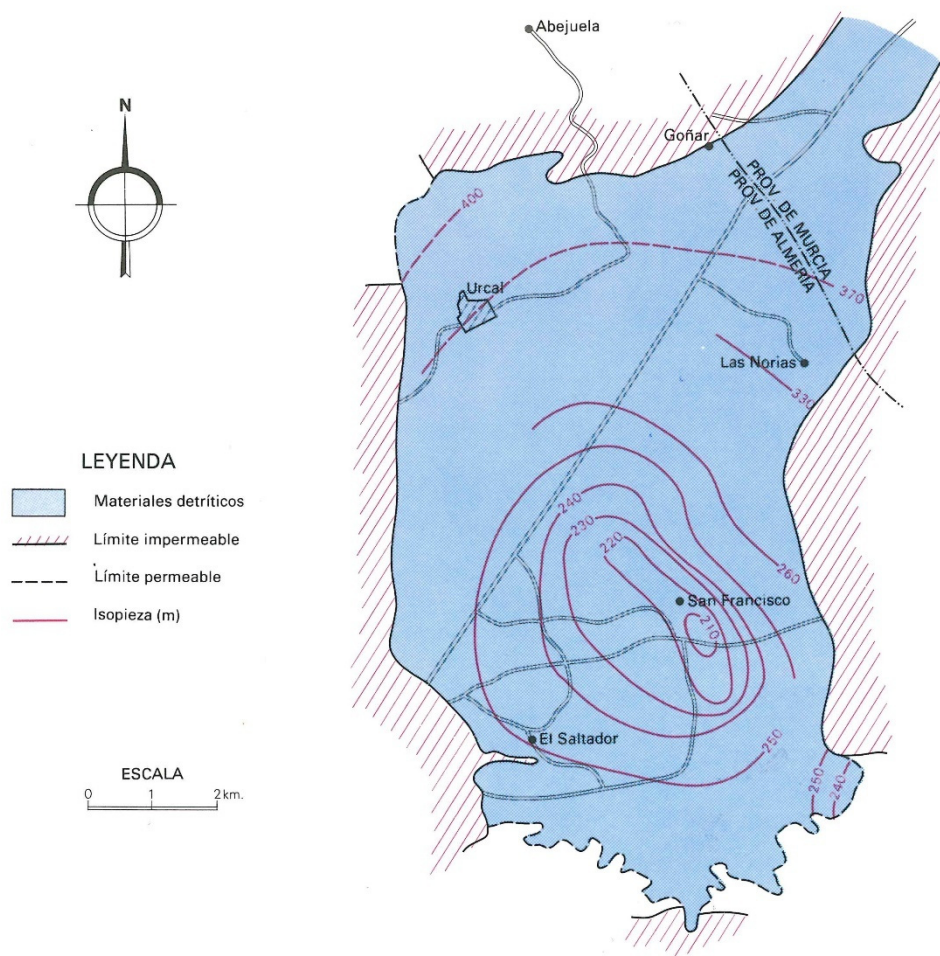


Figura 2.1. Isopiezas de la Cubeta de El Saltador y su cono de descenso (IGME, 1989)

En general, en todos los estudios de los que se tiene constancia a lo largo de los años, los balances hídricos que se realizan resultan negativos para el acuífero, ya que la explotación de éste sigue siendo muy superior a la recarga generada. En la Tabla 2.1 se muestran los datos de los bombeos y la recarga calculada en los distintos trabajos consultados.

Tabla 2.1. Resumen de los balances realizados en la MASCH

	Bombeos (hm ³ /año)	Infiltración (hm ³ /año)	Retornos riego (hm ³ /año)
PIAS (1975)	5,5	3,5-4,2	
IGME (1982) (6,5 de media 1972-1981))	9	1,7-1,8	0,3-1,0
IGME (1989)	6	2	1
ITGE (1998)	9	1-2	1-2

En la tabla que se muestra a continuación (Tabla 2.2) se comparan los últimos balances realizados en el marco de los Planes Hidrológicos de las Demarcaciones en las que se encuentra la MASCH. En ellos se muestra que en la actualidad el balance sigue siendo negativo para el acuífero.

Tabla 2.2. Balances realizados dentro del PH de las Demarcaciones Hidrográficas de la MASCH (2015/2021)

	Bombeos (hm ³ /año)	Infiltración (hm ³ /año)	Retornos riego (hm ³ /año)	Recarga ríos (hm ³ /año)	Aportación lateral (hm ³ /año)
PH CMA	6,32	0,80	0,60	1,00	0,60*
PH DHS (sólo MASb Norias)	0,07	0,10	0,10	0,00	0,60**
PH DHS (toda la MASCH)	-	0,90	0,70	1,00	0,00

*Procedente de la parte del acuífero situado en le DHS

**Destino CMA

3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

3.1. Contexto geológico

La cubeta detrítica de El Saltador está incluida en el ámbito de las Cordilleras Béticas y, dentro de estas últimas, en su franja más meridional conocida como Bético s.s. Las Cordilleras Béticas, formadas durante la orogenia alpina, se elevaron fundamentalmente durante el Mioceno inferior y medio. Sus estructuras, tanto los pliegues como las fallas asociadas a aquellos, tienen una dirección principal ENE-OSO y se extienden desde Gibraltar hasta las islas Baleares. En la Figura 3.1 se muestra un esquema del Mapa Geológico simplificado de las Cordilleras Béticas en la que se ha marcado la situación de la MASCH Saltador-Las Norias.

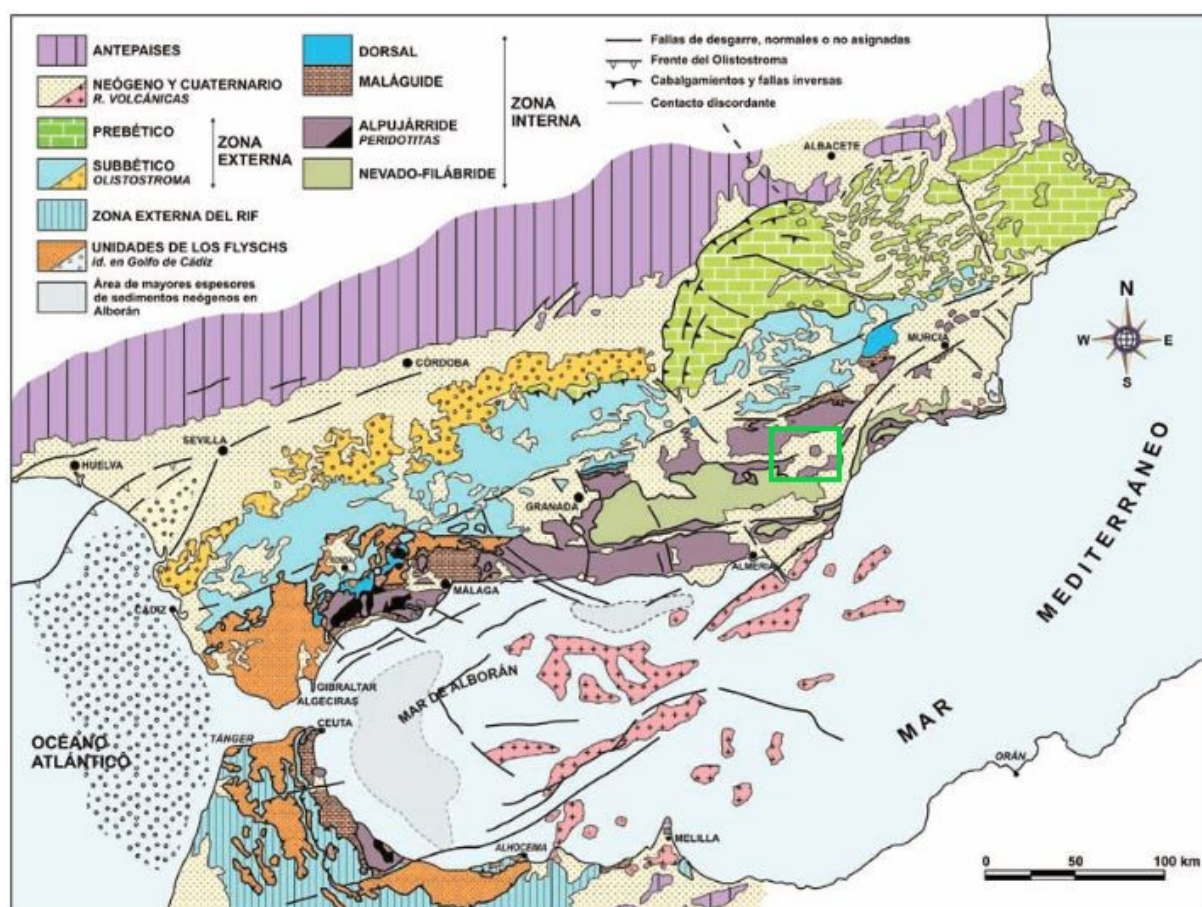


Figura 3.1. Mapa geológico simplificado de las Cordilleras Béticas (Tomado de Sanz de Galdeano et al. (2007))

Con posterioridad a las etapas principales de compresión, las Béticas sufrieron una etapa de distensión que se desarrolló fundamentalmente durante todo el Mioceno superior y la mayor parte del Plioceno, en la que parte de las estructuras de la etapa anterior y otras nuevas, propias de esta etapa distensiva, actúan como fallas normales, creando una serie de depresiones (Depresiones Béticas o Cuencas Intramontañosas) rellenas por sedimentos recientes, intercomunicadas entre sí, que aíslan estructuras anteriores constituidas por formaciones más antiguas. Las direcciones de las Depresiones Béticas formadas en esta etapa distensiva no mantienen las direcciones ENE-OSO de los procesos compresivos anteriores.

La cuenca neógeno-cuaternaria de la Cubeta de El Saltador, correspondiente al sector oriental de la Cuenca de Huércal-Overa, pertenece al gran dominio morfoestructural de las Cordilleras Béticas, y se extiende desde Almería hasta Alicante, formando parte de la Zona Interna.

En la Figura 3.2 se muestra el Mapa esquemático de la estructura y geología del sureste de las Cordilleras Béticas y un corte esquemático de éstas, en el que se ha marcado la posición de la MASCH (en verde).

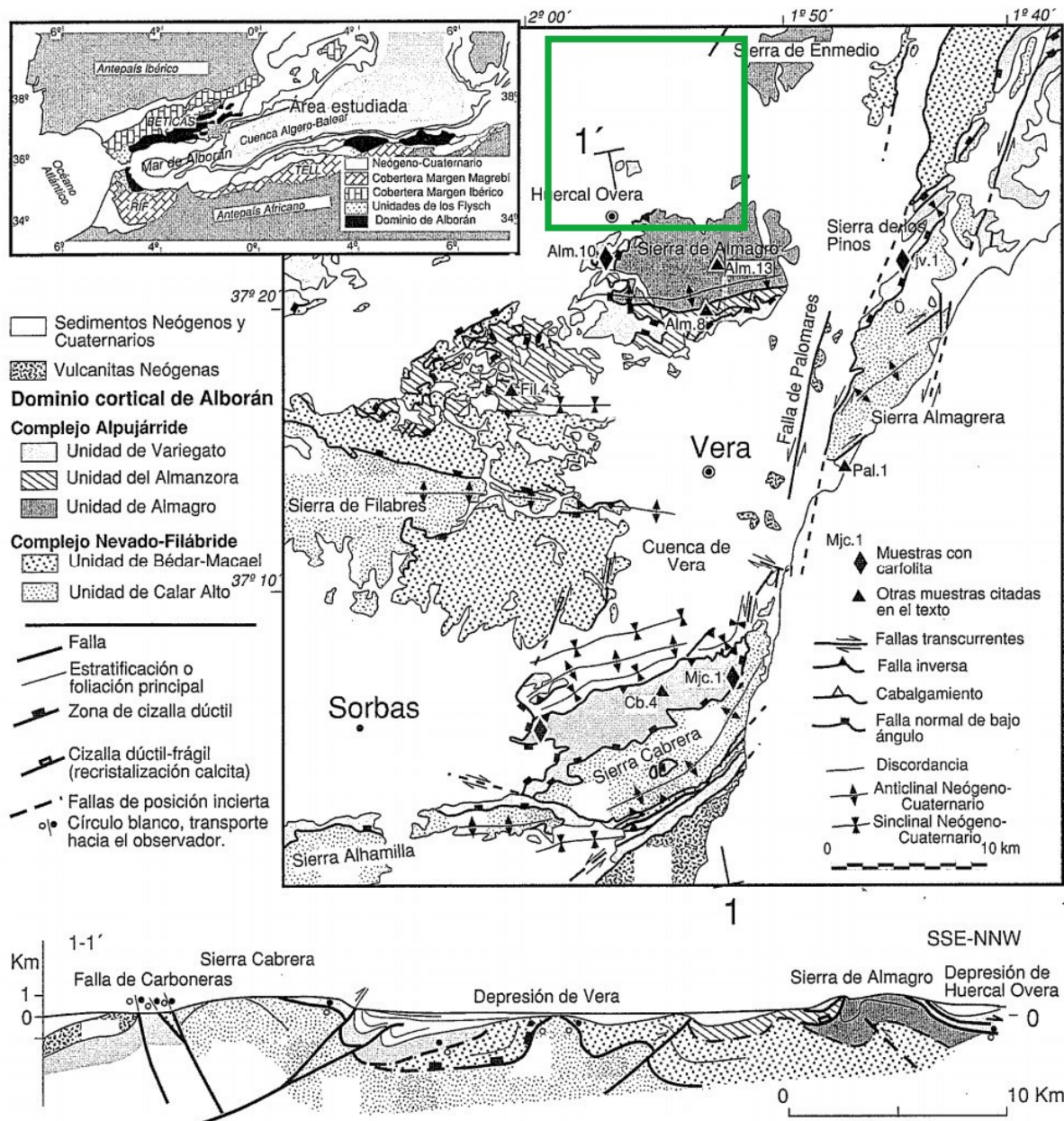


Figura 3.2. Esquema general del Mediterráneo occidental. Mapa esquemático de la estructura y geología del sureste de las Cordilleras Béticas, incluyendo corte esquemático (Revista Soc. Geol. España, 2003, 16(3-4))

Además de los materiales triásicos de la zona interna de las Cordilleras Béticas y los depósitos miocenos de relleno de la depresión, en la zona afloran materiales de edad más reciente: pliocenos,

pliocuaternarios y cuaternarios, que se disponen sobre los triásicos y miocenos anteriores, rellenando la cubeta.

3.2. Geometría, estructuras y límites

Los estudios realizados en 1975 en el marco de los trabajos del PIAS permitieron establecer la geometría y límites del acuífero formado por los materiales detríticos que rellenan la cuenca neógeno-cuaternaria, centrados principalmente en el sector de la Cubeta de El Saltador, aunque los límites de la MASCH se extienden hacia el O. Estos trabajos, que incluyeron la ejecución de sondeos y campañas de prospección geofísica, suministraron importante información sobre la geometría de la cubeta y los espesores y características de los materiales que la rellenan.

Como se ha indicado anteriormente, la etapa distensiva desarrollada durante el Mioceno superior y la mayor parte del Plioceno propicia la formación de las denominadas Depresiones Béticas o Cuencas Intramontañosas, que fueron rellenándose con sedimentos marinos del Mioceno superior que, debido a la fuerte subsidencia simultánea a la sedimentación, alcanzaron grandes espesores, quedando finalmente colmatadas y aisladas del mar abierto. La reanudación posterior de los procesos de subsidencia dio lugar a su vez a la formación de cubetas, como la de El Saltador, en las zonas deprimidas, que fueron rellenadas de sedimentos continentales de origen aluvial durante el Plioceno superior y Cuaternario que alcanzaron igualmente grandes espesores.

La morfología de la cubeta y gran parte del relleno de la misma están condicionados por la actividad de la falla de desgarre sinistral de Lorca-Alhama, que en este sector cambia su orientación general a una más próxima a E-O, de forma que, la interacción de esta falla con las fracturas E-O que formaron la depresión, modificó la geometría original, superponiéndose una estructura en pull-apart que dio lugar a la formación de una serie de deformaciones en el relleno depositado en la cuenca, que originó varios relieves en sus márgenes. En la Figura 3.3 se muestra un esquema morfoestructural de esta parte de la cuenca.

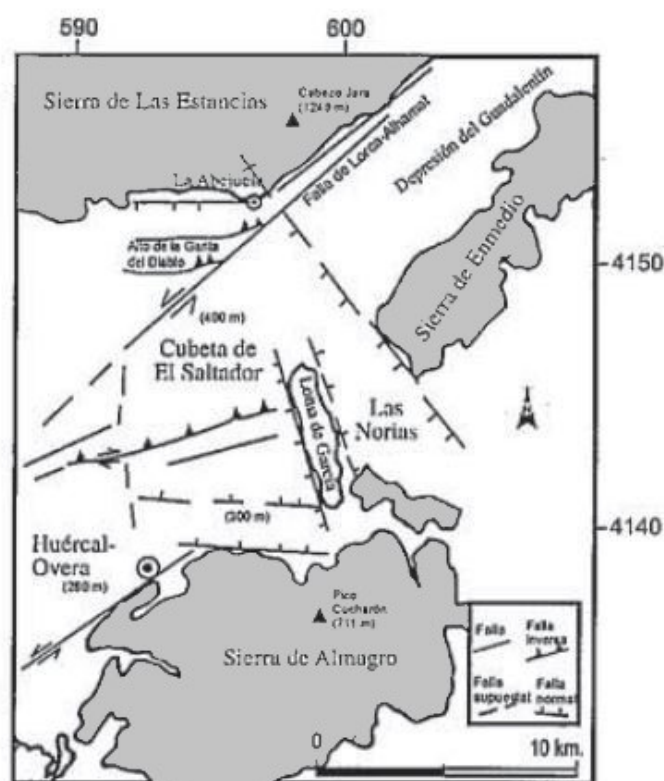


Figura 3.3. Esquema morfoestructural de la parte oriental de la cuenca de Huércal-Overa. García-Meléndez, E., Ferrer-Juliá, M., Goy, J.L., Zazo, C. (2002)

En definitiva, la cubeta del El Saltador constituye una pequeña cubeta rellena de depósitos continentales, individualizada en el interior de una cuenca intramontañosa mucho más extensa, que es la Depresión de Almería-Murcia, con sedimentos fundamentalmente marinos.

La cubeta, que presenta una forma alargada de dirección N-S de aproximadamente 11 km de longitud y en torno a 6 km de anchura, está limitada por los siguientes elementos estructurales:

- al norte la Sierra de Las Estancias y la estructura tectónica del Alto de la Garita del Diablo, formada por el acople de las fallas E-O del borde de la cuenca con la Falla de Lorca-Alhama,
- al sur la Sierra de Almagro,
- al este la alineación de las Lomas de García, relieve definido por fallas normales de orientación aproximada N-S, constituido por materiales Pliocuaternarios de origen continental,
- al noreste la fractura NO-SE que limita el horst de la Sierra de Enmedio y
- al oeste por la fractura N-S que se deduce del cambio geomorfológico existente.

En el Mapa de Isohipsas del Pliocuaternario de la cubeta representado en la Figura 3.4, se muestra la morfología del muro de la formación y la distribución y espesores de estos depósitos.

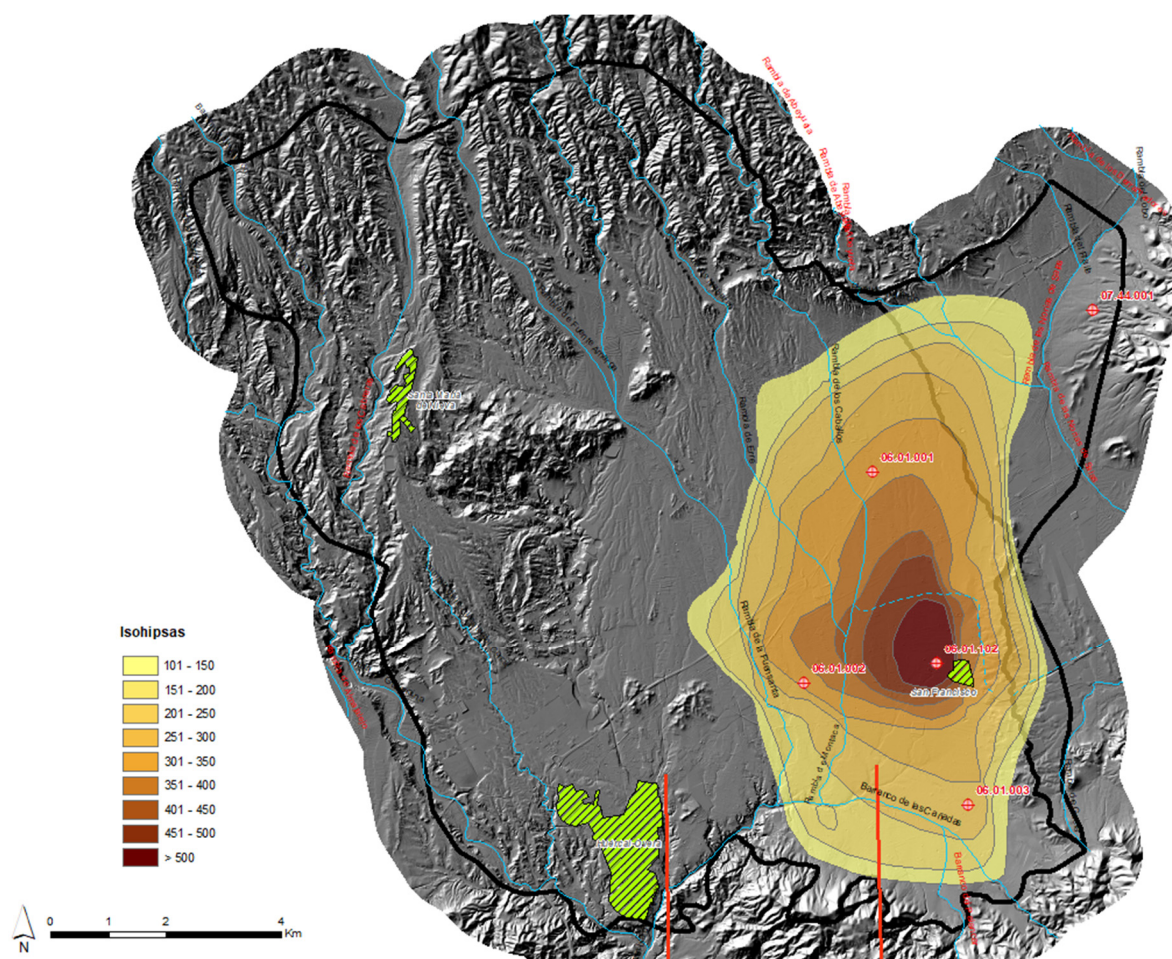


Figura 3.4. Mapa de isohipsas del Plioceno en la Cubeta de El Salvador. Modificado de IGME (1982)

Como se aprecia en el mapa, el depocentro de la cuenca pliocuaternaria se sitúa en el entorno de la localidad de San Francisco, bajo la que los materiales depositados llegan a superar los 500 m de espesor. En los cortes hidrogeológicos de la Figura 3.6 y en el corte esquemático de la Figura 3.7 se presentan diferentes perfiles de la cubeta en los que se muestran esquemáticamente la geometría, disposición y espesor de estos depósitos que constituyen el acuífero principal de la MASCH.

Fuera de este sector, el resto de la superficie de la MASCH está ocupada en gran parte por los afloramientos de los materiales del Mioceno superior depositados en el fondo de la cuenca.

Los límites establecidos de la MASCH son: al N y S el contacto con los materiales Triásicos y del Permtrías de las Sierras de Las Estancias y Almagro, excepto en el extremo oriental del límite N que queda fijado por la divisoria de aguas de las cuencas Mediterráneas Andaluzas y del Segura y en el contacto de los depósitos del Mioceno superior con las formaciones pliocuaternarias y cuaternarias, siendo el límite con la MASb del Alto-Medio Almanzora la que marca el límite O de la masa.

3.3. Formaciones hidrogeológicas

En el área de la MASCH afloran, además de las formaciones del Plioceno, Pliocuatnario y Cuaternario que rellenan la cubeta, las formaciones infrayacentes del Mioceno superior del relleno de la depresión y, en los límites de la masa, los del Trías y Permotrías de las zonas internas, fundamentalmente al norte y sur de la masa.

En el mapa Hidrogeológico representado en la Figura 3.5 y en los cortes hidrogeológicos incluidos en la Figura, se han representado las formaciones mencionadas, presentes en el ámbito de la masa y sus límites, agrupadas desde el punto de vista hidrogeológico de acuerdo con sus características (litología, permeabilidad, geometría, estructura y disposición), definiéndose las siguientes unidades cartográficas:

- Formaciones de la zona interna de las Cordilleras Béticas, del Permotrías (1) y Trías (2 a 4) de las unidades Almagro-Cucharón y Alpujárride, que constituyen los límites N y S de la MASCH.
- Formaciones del Mioceno superior, Tortoniense superior-Andaluciense inferior, agrupadas en una única unidad por su baja permeabilidad general (5), de la que se diferencian los niveles de arrecifes intercalados por mayor permeabilidad (6), aunque escasamente representados en la zona.
- Formación margosa del Andaluciense (7) de baja permeabilidad que constituyen el sustrato del acuífero.
- Formaciones detríticas continentales del Plioceno y Pliocuatnario (8) que constituyen el relleno de la cubeta y el acuífero principal de la masa.
- Formaciones recientes del cuaternario (9 y 10) que tapizan la mayor parte de la superficie de la cubeta sobre los materiales pliocuatnarios.

Formación Permotriásica de las unidades Almagro-Cucharón y Alpujárride (1)

Esta unidad, representada principalmente en el límite N de la masa, en la Sierra de Las Estancias y, en mucha menor medida, en el límite S, Sierra de Almagro, y en el extremo septentrional del límite E, Sierra de Enmedio, en todos los casos fuera de los límites de la masa. Está integrada por esquistos, cuarcitas, cuarzomicasquistos, metabasitas, anfíbolitas y filitas, con una permeabilidad estimada baja-muy baja.

Formaciones del Trias de las unidades Almagro-Cucharón y Sierra de Enmedio (2,3 y 4)

Estas formaciones afloran fundamentalmente a lo largo de todo el límite sur, en la Sierra de Almagro y en un pequeño sector del límite nororiental, en el borde de la Sierra de Enmedio, en todos los casos fuera de los límites de la masa

Triásico inferior (2)

Constituido por filitas, cuarcitas, pizarras, argilitas y yesos, en algunas cartografías se encuentran integrados en el Permotrias. La permeabilidad relativa estimada para estos materiales es baja. Los afloramientos de estos materiales se encuentran fundamentalmente a lo largo del límite sur, en la Sierra de Almagro.

Triásico medio (3)

Integrado por calizas, dolomías, mármoles, pizarras y yesos, aflora únicamente en la Sierra de Almagro, al sur de la masa, siendo la permeabilidad relativa estimada alta para el conjunto de la formación.

Triásico medio (4)

En esta unidad se incluyen las margas, arcillas, margocalizas, dolomías y localmente yesos, de baja-muy baja permeabilidad, aflorantes en la Sierra de Almagro, al sur de la masa.

Mioceno superior, Tortoniense superior-Andaluciense inferior (5)

Constituidos por conglomerados, arenas, lutitas y arcillas de origen marino deltaico, aflora al N y E de la masa, ocupando más de la mitad de su superficie. En general se trata de una serie de formaciones detríticas que en conjunto se estima que tiene una permeabilidad baja-media, debido a la mayor proporción de arcillas y lutitas presentes.

Dentro de esta formación se han diferenciado en el mapa unos pequeños afloramientos de **calizas organógenas (6)** de origen arrecifal intercaladas en los niveles inferiores de arenas, lutitas y conglomerados, que presentan una permeabilidad media-alta.

Formación margosa del Andaluciense (7)

En esta unidad se integran un conjunto de materiales de naturaleza más margosa, constituida por margas y margocalizas azuladas que alteradas adquieren tonos amarillentos, con intercalaciones de areniscas y delgados niveles interestratificados de yesos. Dentro de la formación se han identificado niveles de conglomerados intercalados en la parte basal en el entorno de Huércal-Overa y niveles de yesos masivos en forma de lentejones.

La permeabilidad estimada para el conjunto de la formación es baja.

Formaciones detríticas continentales del Plioceno y Pliocuaternalio (8)

Sobre la unidad anterior se sitúan una serie de formaciones detríticas de permeabilidad variable que rellenan la cubeta, entre las que no existen niveles con entidad y continuidad suficiente para independizar tramos permeables, por lo que en conjunto se considera como una sola formación que constituye un acuífero único de carácter libre considerado globalmente, aunque localmente puede presentar características de acuífero multicapa. Los materiales que integran la unidad son, de muro a techo, los siguientes:

- Formación del Plioceno superior de origen deltaico de unos 100m de potencia, compuesta por una alternancia de capas de varios metros de espesor de conglomerados grises bastante consolidados con pasadas de arcillas y arenas y capas de arcillas rojas con pasadas de gravas y arenas. La formación se hace más arcillosa hacia el centro de la Cubeta.
- Formación alternante del Pliocuaternalio continental integrada por conglomerados rojos y grises hacia la parte superior, con matriz arcillosa rojiza, de potencia variable entre 40 y 150 m y con intercalaciones de niveles de arcillas rojas (Formación Garita del Diablo), que hacia el sur y este se hace predominantemente arcillosa con niveles de arcilla rojiza y niveles arenosos y conglomeráticos (Formación Loma García).

Formaciones recientes del cuaternario (9 y 10)

Los materiales cuaternarios de la MASCH se han integrado en dos unidades, una de cuaternario indiferenciado que ocupa la mayor parte de la cubeta y otra formada por los glaciares que la bordean por el O y NO.

Cuaternalio indiferenciado (9)

Está constituida por bloques, cantos, gravas, arenas y arcillas ligados probablemente a depósitos de llanura de inundación, que cubren casi la totalidad de la superficie de la cubeta. La permeabilidad estimada de esta unidad es alta.

Glacis (10)

En esta unidad se han englobado los dos niveles de glacis existentes en la zona, correspondientes a los niveles de base de las redes fluviales primitiva y actual, que se extienden cubriendo en parte la cuenca neógena, en la mitad noroccidental de la masa.

Los glacis más antiguos, ligados a la red fluvial primitiva, están constituidos por conglomerados muy cementados que no superan los 5 m de espesor.

Los glacis ligados a la red fluvial actual están formados por conglomerados y arcillas de color rojizo, que se extienden sobre superficies ligeramente inclinadas en el borde O de la cubeta.

A esta unidad se le asigna, en conjunto, una permeabilidad media-alta.

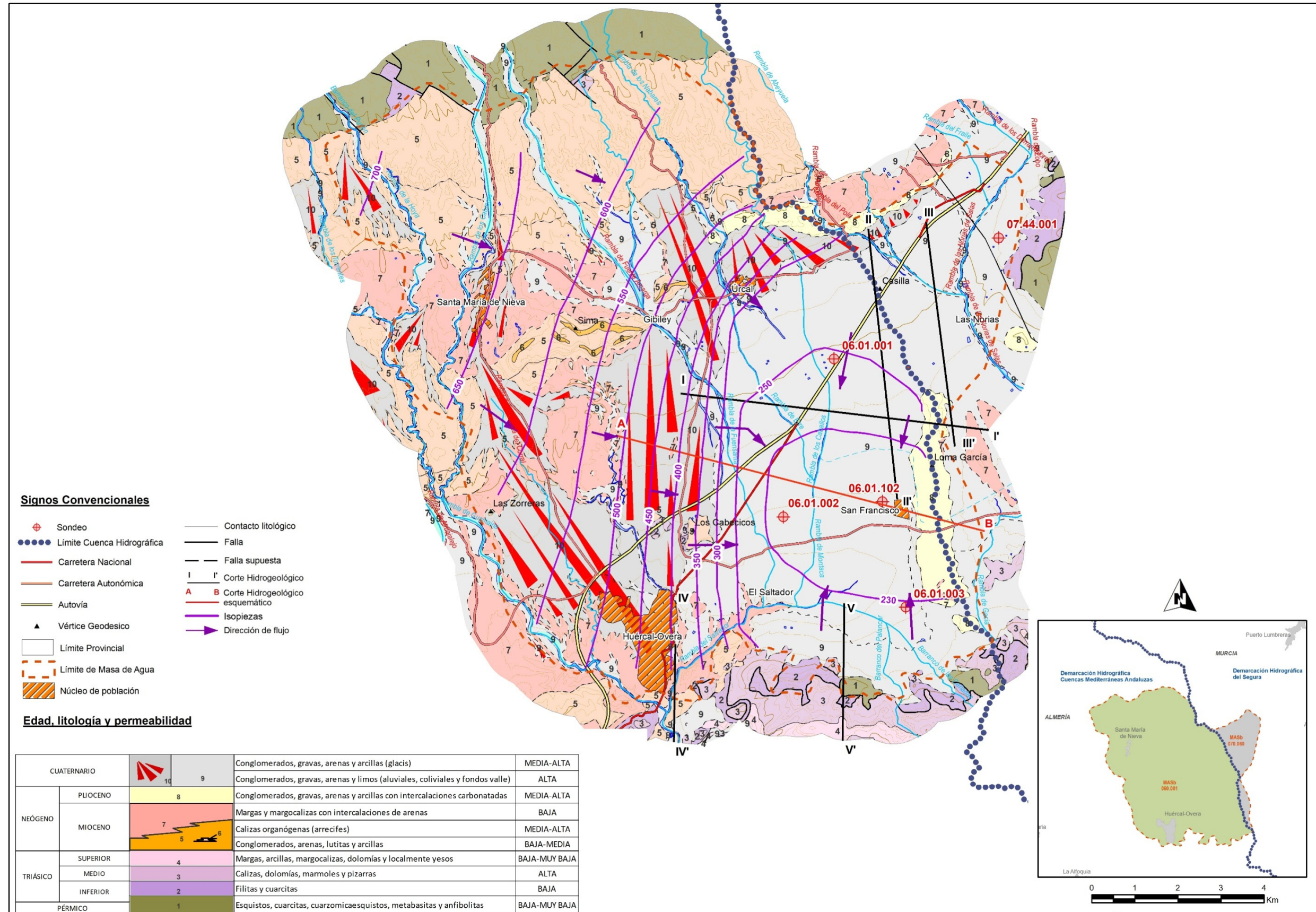
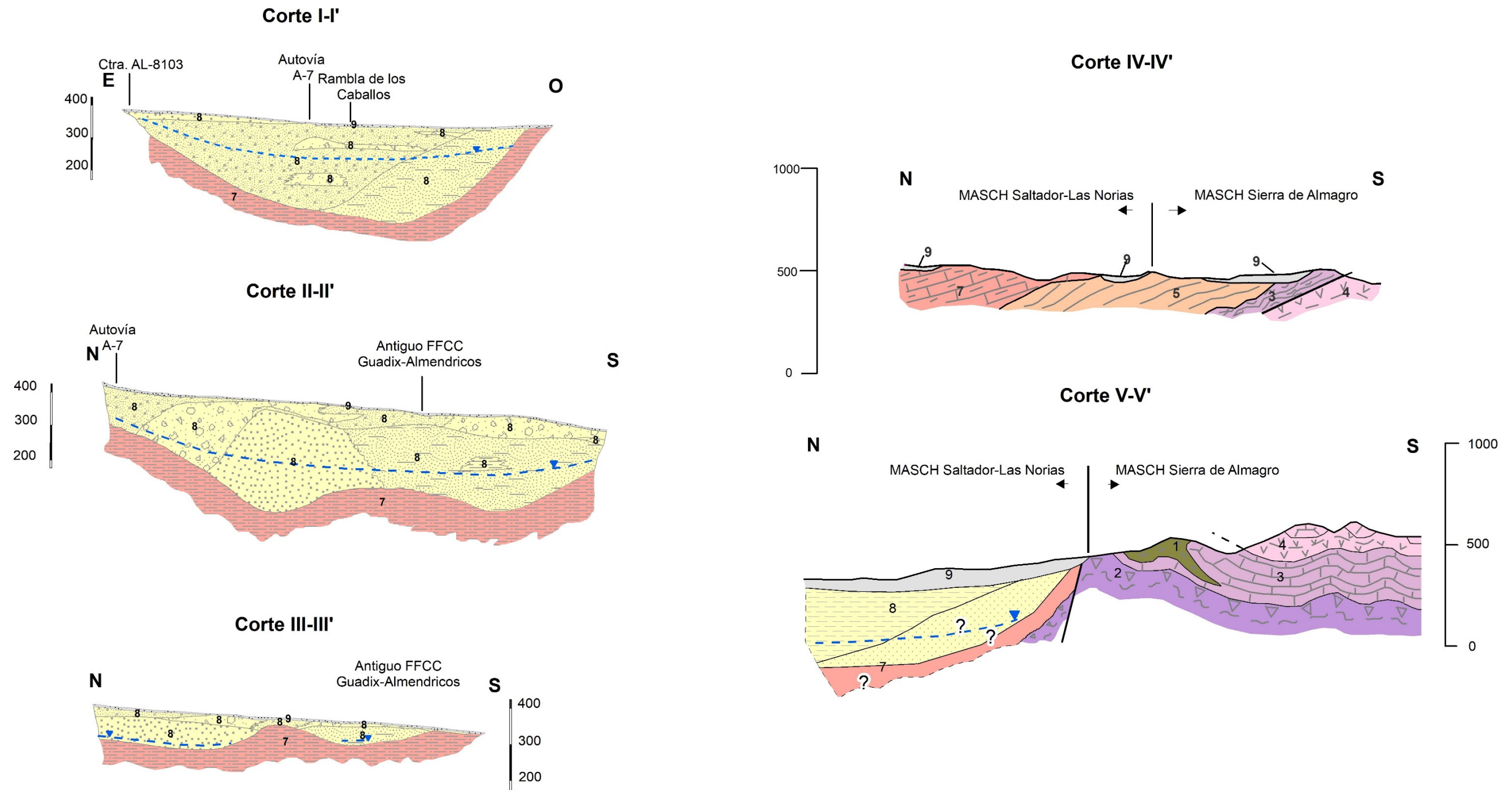


Figura 3.5. Mapa Hidrogeológico de la MASCH Salvador-Las Norias



Cortes I, II y III basados en los perfiles geofísicos realizados dentro del marco del Estudio Hidrogeológico de la Cubeta del Saltador de 1982

Cortes IV y V, modificados del MAGNA 1:50000 del IGME

Figura 3.6. Cortes hidrogeológicos de la MASCH Saltador-Las Norias

3.4. Funcionamiento hidrogeológico y piezometría

Como se ha ido indicando en capítulos anteriores, el acuífero principal de la MASCH Saltador-Las Norias está formado por los materiales pliocenos y pliocuaternarios que rellenan la cubeta (8), integrados por un conjunto de formaciones detríticas de origen deltaico y continental, constituidas fundamentalmente por conglomerados de matriz arcillosa con intercalaciones y niveles de arenas y arcillas.

En el acuífero se integran además las formaciones cuaternarias más recientes que cubren la mayor parte de la cubeta, constituidas por bloques, cantos, gravas, arenas y arcillas de los depósitos de llanura de inundación (9) y, en menor medida, por los conglomerados y arcillas de los glaciares (10).

Todas estas formaciones, consideradas a escala de la cubeta, constituyen un acuífero detrítico único de carácter libre, al no existir niveles de baja permeabilidad con entidad y continuidad suficiente para independizar tramos permeables dentro de ellas, aunque a escala local pueden darse condiciones de acuífero multicapa.

El sustrato impermeable del acuífero lo constituyen los materiales de la formación margosa del Andaluciense (7), de gran espesor, con potencias superiores a los 200 m y baja permeabilidad. En el extremo suroccidental se pueden dar localmente espesores del orden de 50 m en algunas zonas, en las que además los materiales de esta formación se sitúan directamente sobre las dolomías alpujarrides, que afloran en Los Cabecicos, 3 km al N de Huércal-Overa.

En la Figura 3.7 se muestra un corte esquemático que sintetiza la geometría y características generales del acuífero, que en las zonas más profundas de la cubeta llega a superar los 500 m de potencia, con espesores saturados máximos de 480 m, en las condiciones de régimen natural antes del inicio de la explotación intensiva a principios de los años 60 del siglo anterior, que llegó a ser inferior a 390 m en la década de los años 80, periodo de máxima explotación del acuífero. Actualmente el espesor saturado del acuífero en la zona de mayor potencia se sitúa en torno a los 400 m.

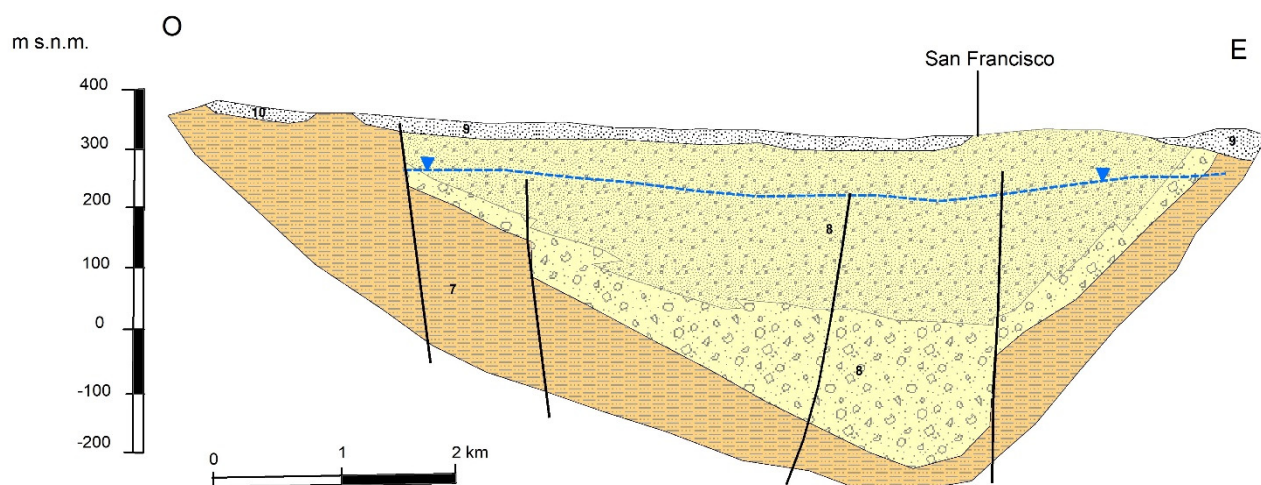


Figura 3.7. Corte esquemático de la Cubeta de El Saltador a la altura de San Francisco

El acuífero de la cubeta de El Saltador ocupa únicamente la mitad oriental de la MASCH Saltador-Las Norias, que se extiende: hacia el O, hasta el límite con la MASb del Alto-Medio Almanzora y, hacia el NO, hasta la Sierra de Las Estancias.

Los límites hidrogeológicos del acuífero de la cubeta de El Saltador están definidos en su mayor parte por los afloramientos de la formación margosa Andaluciense, sustrato del acuífero, que se extienden por los límites N, E y O, bordeándolo a lo largo de una parte importante de su perímetro.

El límite N y O se establece en el contacto con los afloramientos margosos andalucenses, que en parte se encuentran cubiertos por los delgados niveles de glaciares, por lo que el límite correspondería realmente al contacto de estos con los materiales cuaternarios. Por tanto, estos límites se consideran cerrados, excepto en algunos tramos del extremo NO, especialmente en el sector Úrcal-Gibiley, en donde las ramblas provenientes de la Sierra de Las Estancias (Erre y Fuente Amarga) han erosionado parte de los afloramientos margosos, que han sido cubiertos por depósitos cuaternarios de espesor y continuidad variable, por los que se pueden producir aportes de aguas subterráneas al acuífero, probablemente bastante limitados, por lo que en estos tramos el límite podría considerarse abierto.

El límite E se considera cerrado en su mayor parte, por el afloramiento o subafloramiento de los materiales de la formación margosa del Andaluciense en su mitad meridional y por los materiales triásicos de baja permeabilidad de la Sierra de Enmedio en el extremo septentrional. Solo en el extremo sur, en el contacto con los materiales triásicos permeables de la Sierra de Almagro, el límite es abierto. Los tramos del límite que atraviesan las ramblas de Las Norias y García, podría funcionar como límite abierto, con posibilidad de flujo a través de los depósitos cuaternarios que cubren a los de la formación margosa, erosionados en esos sectores (Figura 3.7 y Cortes I y III de la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Algo similar ocurre en el extremo nororiental, entre Las Norias y Goñar.

El límite S, establecido en el contacto con los materiales triásicos de la Sierra de Almagro, se considera abierto en los tramos en los que las formaciones pliocuaternaria y cuaternaria se ponen en contacto directo con los niveles permeables triásicos (3), produciéndose a través de este límite transferencia subterránea desde la Sierra de Almagro al acuífero pliocuaternario de la Cubeta de El Saltador (Corte V de la Figura 3.6).

Se dispone de información sobre los parámetros hidrodinámicos del acuífero obtenidos de los ensayos de bombeo y recuperación realizados en el marco del *Estudio Hidrogeológico de la Cubeta de El Saltador* (IGME, 1982). Se llevaron a cabo 10 ensayos, de los que solo 7 fueron interpretables obteniéndose valores de Transmisividad entre 24-840 m²/d, correspondiendo las más altas a los sectores de Úrcal (725 m²/d) y San Francisco (500-700 m²/d), este último coincidente con la zona de mayor espesor del acuífero y donde se concentran la mayor parte de las extracciones y los más bajos, a la zona de la localidad de El Saltador, en el suroeste de la cubeta. (40-75 m²/d).

La permeabilidad obtenida, de acuerdo con la situación de los niveles piezométricos en la época en la que se llevaron a cabo los ensayos, con espesores saturados de acuífero de 75 m en el sector de San Francisco y 35 m en el extremo suroeste, en la zona de El Saltador, fue de 40 m/d y 7 m/d respectivamente. La situación de la superficie piezométrica en los últimos años es similar a la del periodo en el que se llevaron a cabo estos ensayos.

El coeficiente de almacenamiento del acuífero obtenido fue de $1,5 \times 10^{-4}$ – 4×10^{-4} en el sector de El Saltador y de $4,7 \times 10^{-4}$ en la zona de San Francisco, valores más propios de acuíferos

semiconfinados o confinados que de un acuífero libre, lo que pone de manifiesto que, aun siendo un acuífero libre, se comporta como confinado.

Todo lo expuesto anteriormente, indica que se trata por tanto de un acuífero libre formado por materiales detríticos de relleno de una cubeta con importantes cambios laterales de facies y una marcada heterogeneidad vertical. Con valores de transmisividad baja-media variable según las zonas que, como indican los datos expuestos anteriormente, funciona ocasional y localmente como un acuífero confinado.

La geometría y profundidad de la cubeta permite la acumulación de grandes reservas de agua subterránea, estimadas por el IGME en 325-410 hm³ para el año 1981 (IGME, 1982), cuando los niveles del acuífero se encontraban ya a más de 80 m por debajo de los niveles anteriores al inicio de la explotación intensiva del acuífero.

El importante volumen de reservas de agua subterránea acumuladas en el acuífero, junto con las condiciones especialmente favorables para el desarrollo agrícola de la zona, favoreció la explotación intensa de aquel, muy por encima de sus recursos renovables, situación que se ha mantenido hasta la actualidad, aunque en los últimos años se han limitado algo las extracciones, éstas todavía continúan bastante por encima de los recursos renovables del acuífero.

Esta situación de intensa explotación mantenida durante décadas, ha llevado a la sobreexplotación del acuífero, provocando el descenso continuo de la superficie piezométrica, registrada por los numerosos piezómetros de la red de control del IGME, operativa en el periodo 1961-2003, aunque desde el año 1991 el número de puntos de control disminuyó sensiblemente, hasta que en el año 2003 dejó de medirse, siendo sustituida por la actual Red Oficial de Control de las Demarcaciones Hidrográficas de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y del Segura, que desde la implantación de la Ley de Aguas asumieron la competencia en materia de aguas subterráneas.

En la Figura 3.8 se representa la situación piezométrica en diferentes momentos entre 1969 y 1990, en donde las isopiezas muestran que en octubre de 1969 aún se producían descargas de agua subterránea hacia los manantiales y cauces de ramblas del extremo sureste de la Cubeta, la zona de descarga natural del acuífero, que ya en 1972 habían desaparecido, produciéndose un flujo de agua muy marcado hacia la zona central de la cubeta, donde se localizan las mayores extracciones, produciéndose desde entonces las descargas del acuífero únicamente por bombeos.

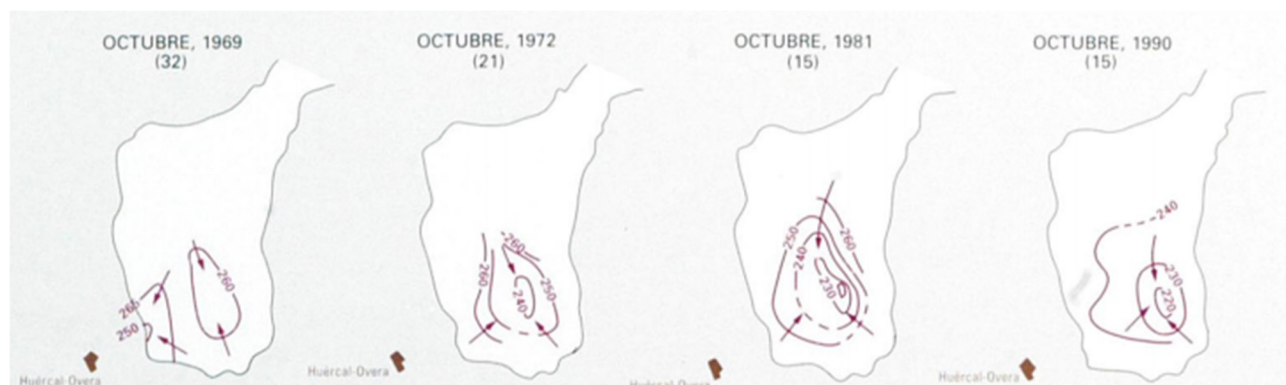


Figura 3.8. Evolución de la piezometría en la Cubeta de El Salvador entre 1969 y 1990. ITGE (1998)

En el Mapa Hidrogeológico de la Figura 3.5 y en los cortes hidrogeológicos de la Figura 3.6 se han incluido las isopiezas y los niveles de agua actuales, que reflejan una situación similar a la del año 1972 y posteriores, lo que se aprecia también en la Figura 3.9, en la que se ha representado la evolución piezométrica desde el inicio del periodo de control, en los comienzos de la explotación del acuífero hasta 2013 en el sector central de la cubeta, donde se producen las mayores extracciones, enlazando las series de medida de tres piezómetros (2440-40106, 06.01.002 y 06.01.102).

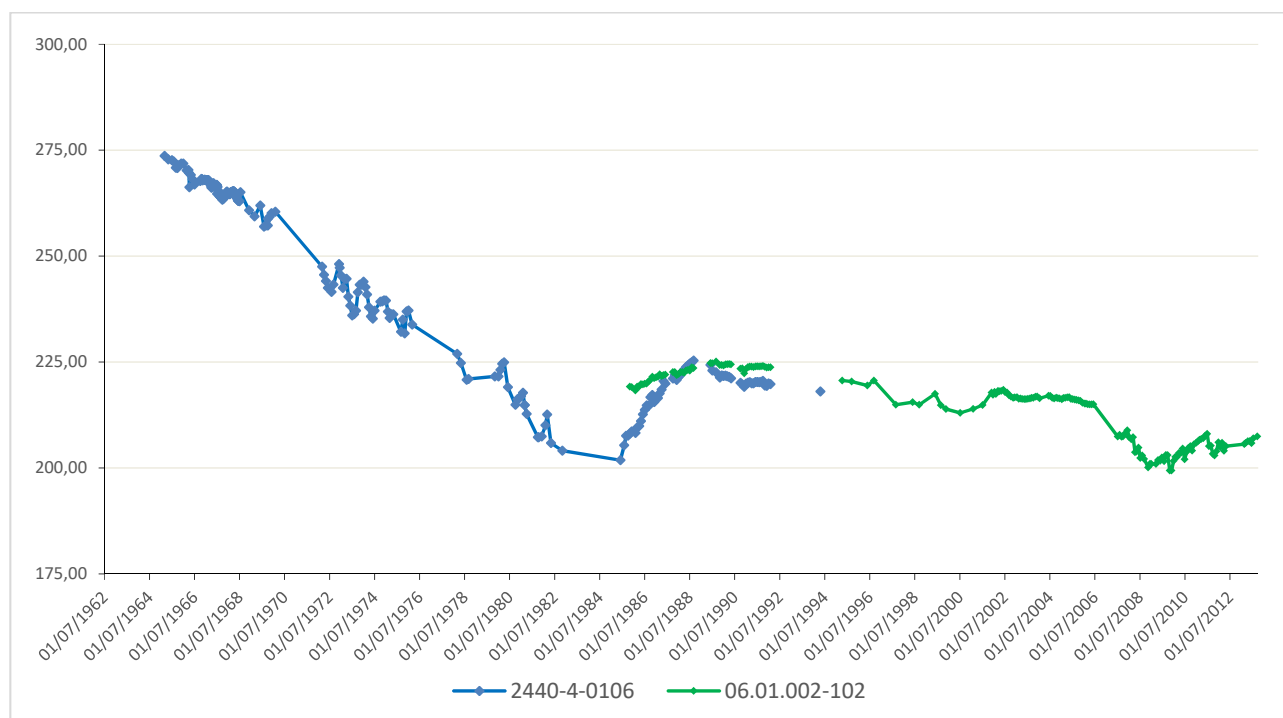


Figura 3.9. Evolución piezométrica en el sector central de la cubeta en el periodo 1962-2012.

En la Figura 3.10 se muestra la situación de todos los piezómetros que se controlan o se han controlado en el acuífero de la cubeta de El Saltador, tanto los de la red del IGME (1961-2003), como los de la actual Red Oficial de Control de las Demarcaciones Hidrográficas de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y del Segura.

La Red Oficial de Control actual solo dispone de 4 piezómetros, 3 dependientes de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, ya que el piezómetro 06.01.002 fue sustituido por el 06.01.102, y 1 de la del Segura, distribuidos regularmente a lo largo del acuífero. En el Mapa Hidrogeológico de la Figura 3.5 solo se han incluido los piezómetros de esta red actual.

Por el contrario, los piezómetros de la antigua red de control del IGME, además del mayor número de puntos de medida que la integraban, se situaban principalmente en la zona central de la cubeta, donde se concentran, aún hoy en día, las mayores extracciones de agua del acuífero, sobre todo al sur y oeste de San Francisco.

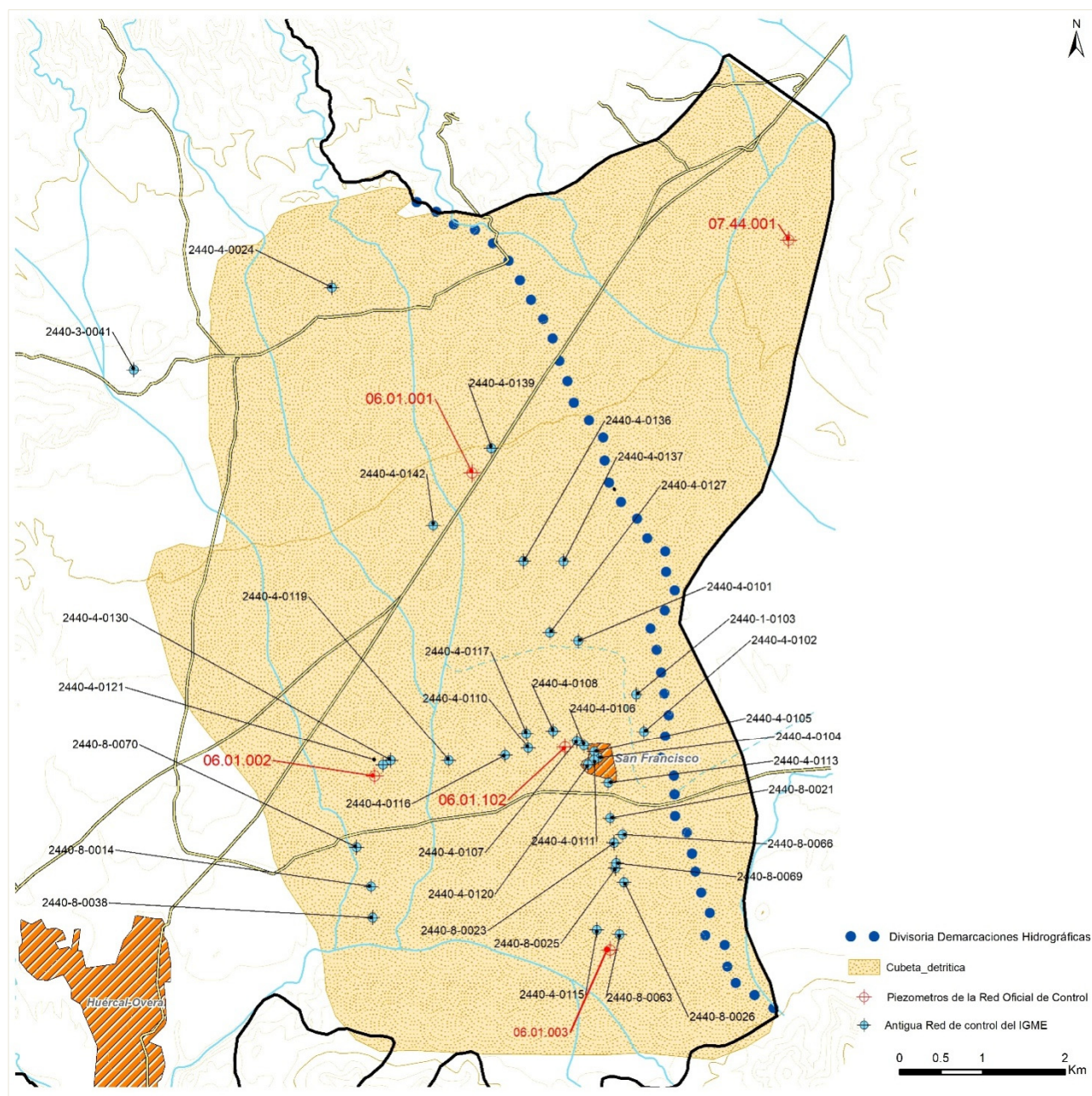


Figura 3.10. Situación de todos los piezómetros de las redes de control del IGME y la Red Oficial de Control de las Demarcaciones Hidrográficas de las Cuencas Internas Andaluzas y del Segura

Los datos de piezometría de la Red Oficial de Control son bastante recientes y no reflejan la evolución del acuífero durante el periodo de mayor explotación de éste, a excepción de los sondeos denominados San Francisco (06.01.002 y 06.01.102) de los que se dispone de una serie de medidas algo más larga, desde 1985, que si registran la recuperación que se produjo desde finales de los años 80 y principios de los 90, para volver a descender a finales de esta misma década, con valores de nuevo mínimos entre 2008 y 2009, que se van recuperando ligeramente en los últimos años.

El piezómetro Pedregales 06.01.001 (Figura 3.11) se sitúa al norte de la zona central de la cubeta, en el municipio de Huércal-Overa, dentro de la DHCMA, a 387 m s.n.m. y con una profundidad de 260m. Forma parte de la red de control desde el 2001 y desde el inicio de las medidas presenta un descenso continuado, aunque tendido, del nivel del agua, con una ligera recuperación al final del periodo representado en la figura.

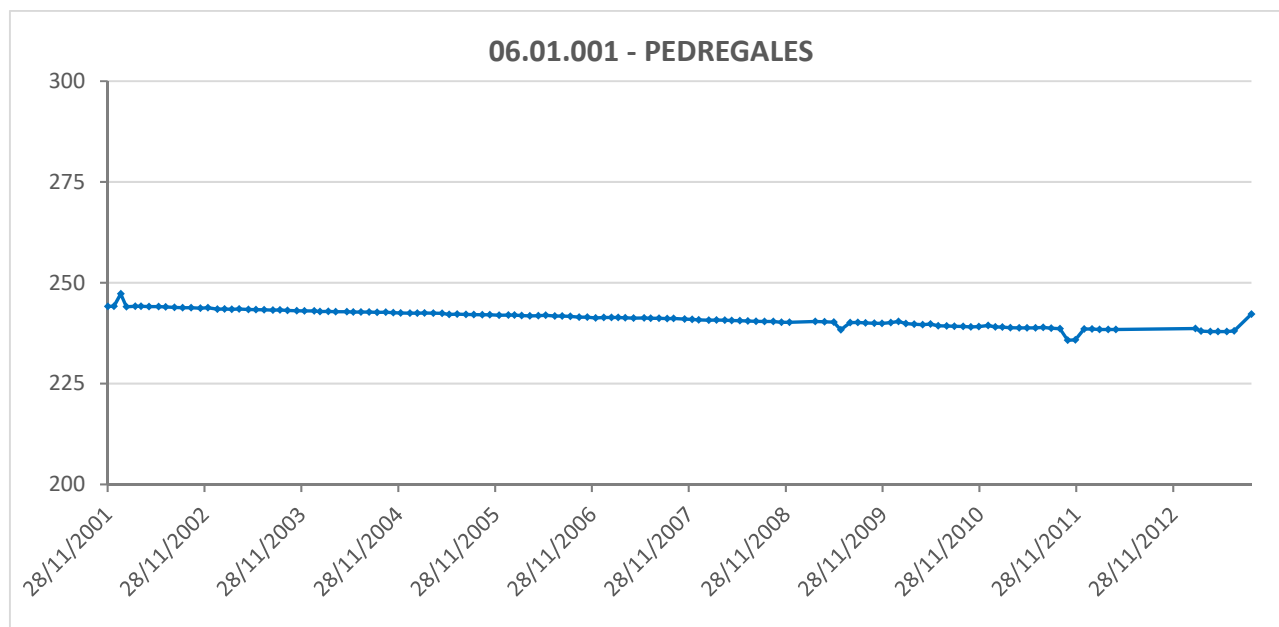


Figura 3.11. Evolución de niveles en el piezómetro 06.01.001 Pedregales.

Un comportamiento muy similar es el que presenta el piezómetro Los Olivos (06.01.003) (Figura 3.12) situado al sur de la cubeta, en el mismo municipio y Demarcación que el anterior, que muestra igualmente un descenso continuado desde 2001, cuando entra a formar parte de la red de control, con una ligera recuperación al final del periodo representado.

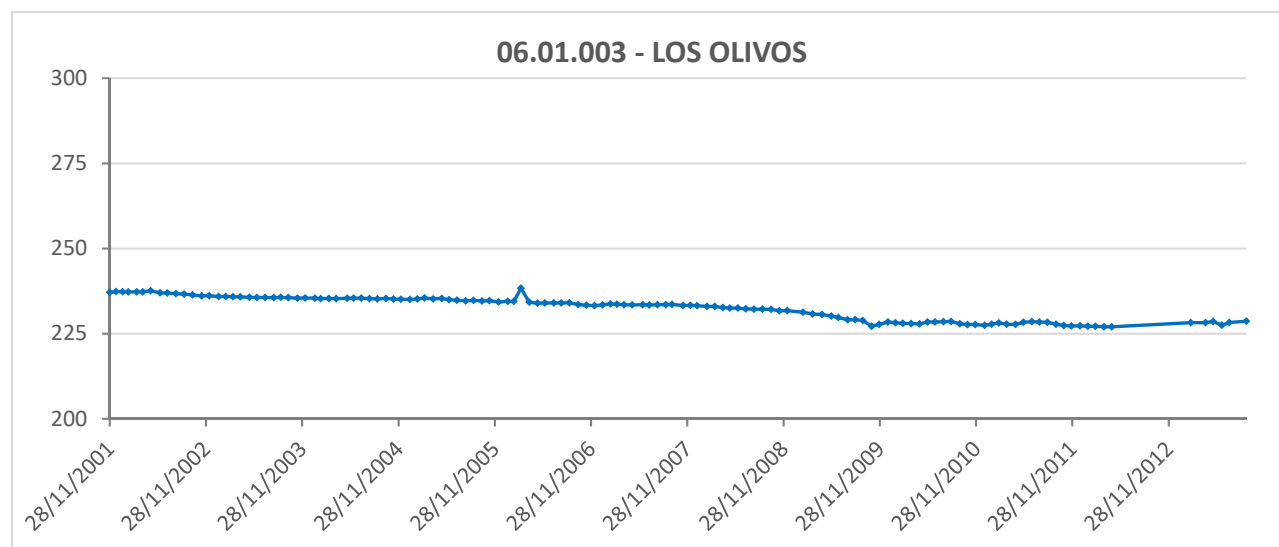


Figura 3.12. Evolución de niveles en el piezómetro 06.01.003 Los Olivos

Los piezómetros denominados San Francisco (06.01.002 y 06.01.102) se sitúan en la zona central de la cubeta, en el municipio de Huércal-Overa, dentro de la Demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Aunque no se encuentran en la misma localización, sí están próximos (2 km) y a la misma cota (315 m s.n.m), y con series de datos consecutivas, de forma que cuando deja de “funcionar” como punto de control el 06.01.002 (junio de 2006) entra a formar parte de la red el 06.01.102 (desde julio de 2007), manteniéndose de esta forma la continuidad de la serie de datos. En la Figura 3.13 se ha representado la evolución del nivel en ambos piezómetros.

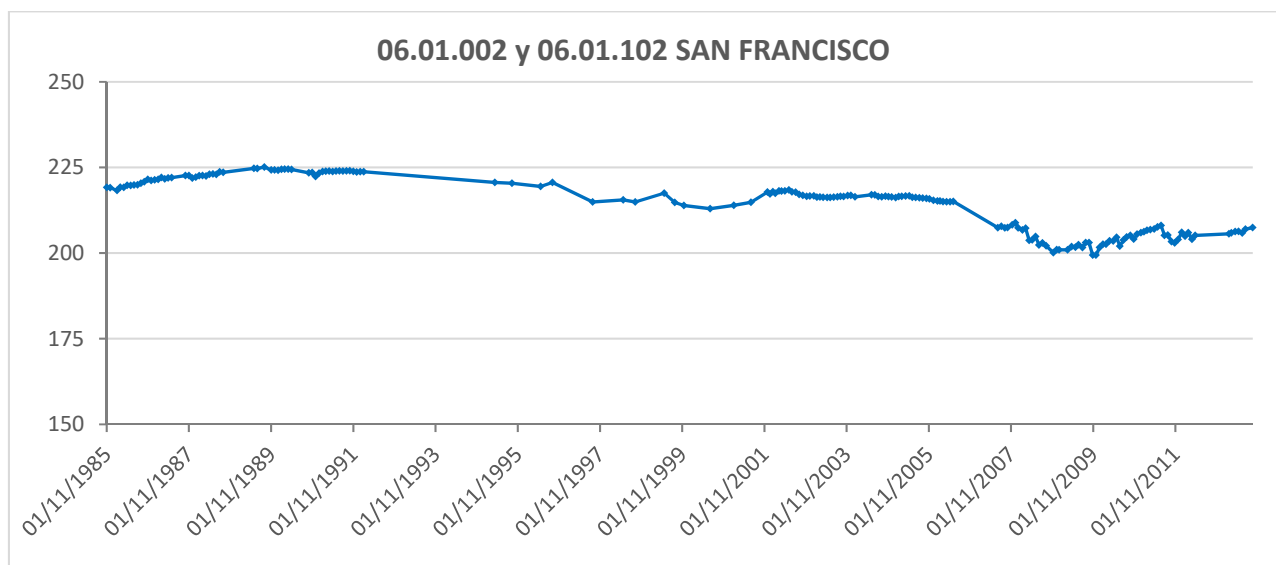


Figura 3.13. Evolución de niveles en los piezómetros 06.01.002 y 06.01.102 San Francisco

De la evolución de estos piezómetros, en concreto del 06.01.002 si se dispone de datos desde 1985, hasta la actualidad. Aunque no se recoge el periodo de mayor explotación del acuífero a lo largo de los años 70 y principios de los 80, se aprecia la recuperación de finales de los años 80 y el descenso que se sigue produciendo desde 1990 con su mínimo registrado en el año 2008.

En la Demarcación Hidrográfica del Segura, solo existe un punto de control, habilitado en 2014 y, por lo tanto, con pocas medidas, ninguna durante el periodo de máxima explotación del acuífero. Este piezómetro registra desde el inicio un ligero, pero constante, descenso del nivel de agua, con un marcado mínimo en febrero de 2019 (Figura 3.14).

Este constante, aunque ligero descenso del nivel de agua, en una zona en la que no existe explotación alguna, podría responder a la afección que provocan las extracciones que se realizan en el sector central del acuífero. Aunque, por otra parte, la diferencia de cota existente, superior a los 100 m, entre los niveles registrados en este piezómetro y el de Los Pedregales (60.01.001), situado más hacia el centro de la cubeta, al otro lado de la divisoria de aguas superficiales que limita las dos cuencas, podría reflejar la desconexión del acuífero entre los dos sectores, que se situaría probablemente entre la divisoria de cuencas y la Rambla de Las Norias, coincidiendo con la elevación del fondo de la cubeta, puesta de manifiesto por los perfiles geofísicos realizados (IGME 192), tal y como se ha representado en el corte III de la Figura 3.6. Esta desconexión se produciría únicamente en periodos con los niveles del acuífero deprimidos por la sobreexplotación, como ocurre desde los años 70 del pasado siglo.

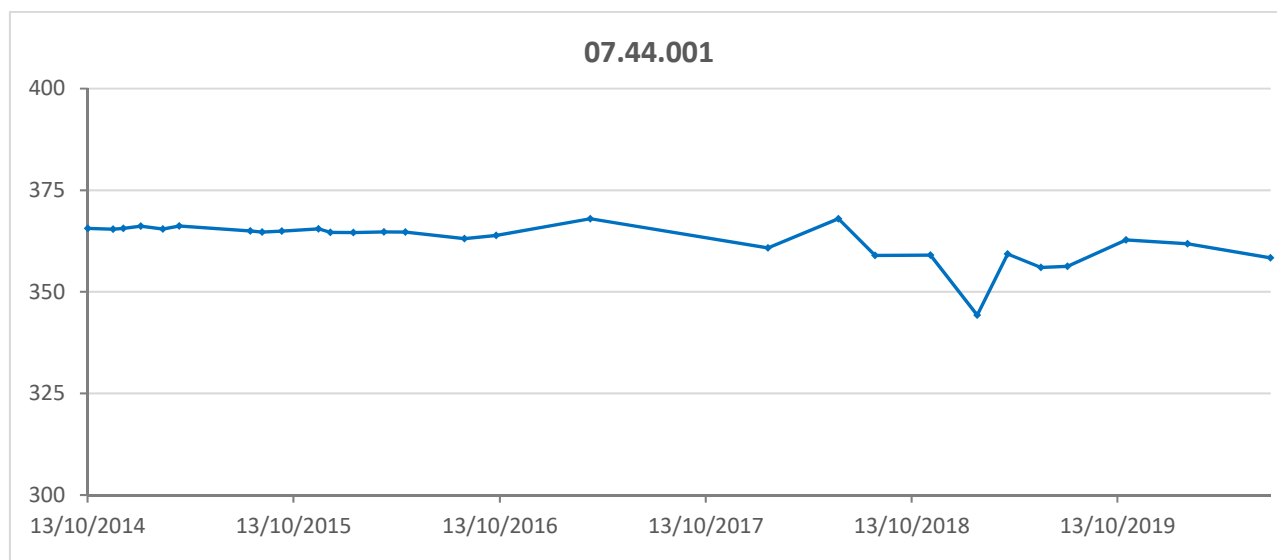


Figura 3.14. Evolución de niveles en el piezómetro 07.44.001.

Para analizar la evolución histórica de los niveles en la MASCH Saltador-Las Norias desde el inicio de la explotación del acuífero, se han recopilado las medidas registradas en los piezómetros de la red de control del IGME desde los años 60, recogidas en su BBDD de Agua. Se han recopilado los datos de un total de 35 piezómetros, con medidas a lo largo de un periodo amplio de tiempo y distribuidos por toda la superficie del acuífero. En la Figura 3.15 se muestra la ubicación de estos piezómetros, más numerosos en el centro y sur de la cubeta.

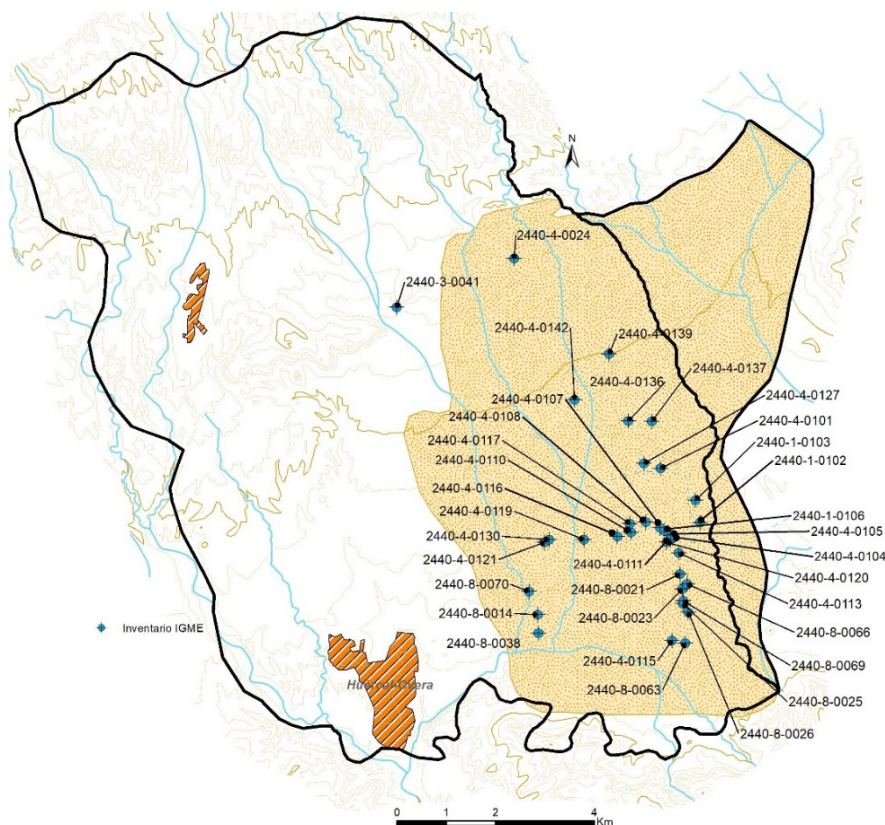


Figura 3.15. Localización de los piezómetros de la BBDD del Agua del IGME dentro de la Cubeta de El Salvador.

En la Figura 3.16 se ha representado la evolución registrada en los piezómetros de la red de control del IGME, en la que se pueden distinguir tres grupos de piezómetros en función de la evolución de los niveles del agua y de su situación en el acuífero, en relación con la zona de mayor explotación del acuífero, coincidente con la de mayor espesor y desarrollo de este.

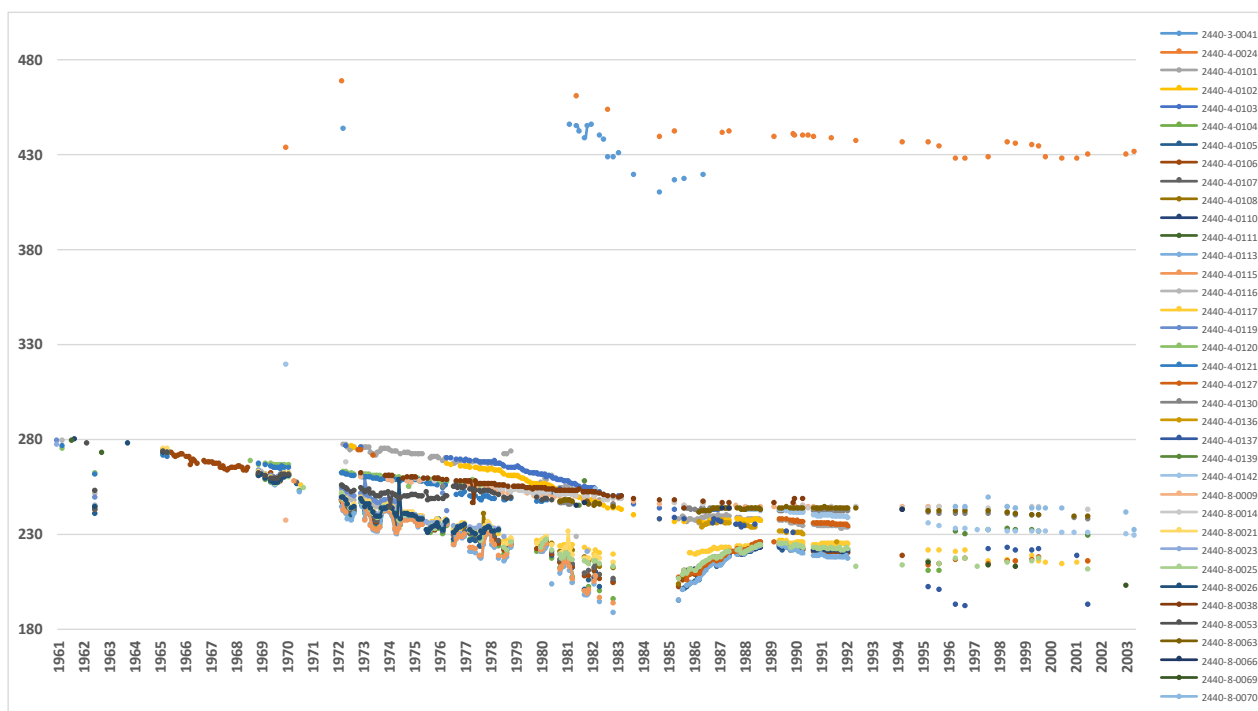


Figura 3.16. Piezometría de los puntos de la BBDD de Aguas del IGME.

En primer lugar, se observan dos piezómetros (2440-3-0041 y 2440-4-0024) en los que las cotas de los niveles de agua se sitúan bastante por encima de las del resto, alrededor de 200m, con una evolución descendente suave pero constante desde el inicio del periodo de control. Estos puntos se encuentran situados en el borde del acuífero, sobre los glaciares cuaternarios, bajo los que se encuentran probablemente los materiales de baja permeabilidad miocenos o muy próximos a ellos, y muy alejados además de la zona de explotación del acuífero, por lo que la piezometría o la evolución de esta no es representativa de la general del acuífero. En la Figura 3.17 se muestra la situación de estos puntos en la que se puede apreciar su situación marginal en la cubeta.

El resto de los piezómetros presentan una evolución descendente muy acusada de los niveles desde las cotas iniciales en torno a los 270-280 m s.n.m. hasta el final del periodo de control en 2003, que se sitúan entre 190-240 m s.n.m.

No obstante, en este segundo grupo de piezómetros se pueden observar dos diferencias notables que permiten dividirlos en dos grupos diferenciados según su evolución, un primer grupo con descensos mucho más acusados y con un mínimo muy marcado en el periodo 1982-1985 tras el que se produce una recuperación hasta el año 1989, donde continúa el descenso, ya en paralelo al resto de los piezómetros, pero con niveles que siguen siendo más bajos y, un segundo grupo de

piezómetros, que mantiene desde el inicio un descenso constante de niveles, aunque menos acusado que el del grupo anterior y sin los mínimos registrados por ellos.

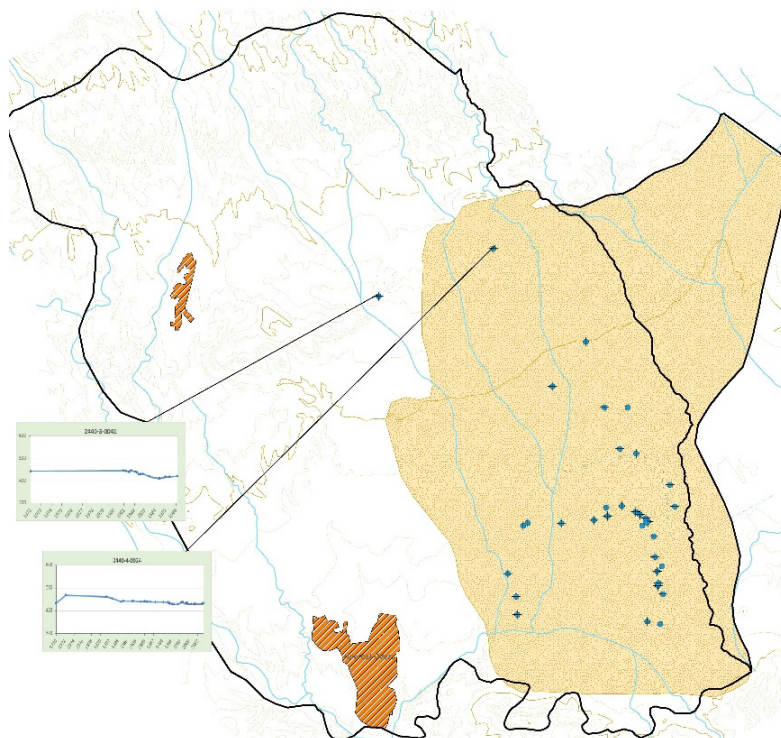


Figura 3.17. Localización de los piezómetros más alejados de la cubeta.

El primer grupo de piezómetros cuya evolución se muestra en la Figura 3.18, se sitúan en la zona de mayor explotación, en el entorno de San Francisco, en la mitad sur del acuífero, que coincide con el depocentro de la cubeta donde el acuífero alcanza su mayor espesor y desarrollo, y donde las reservas del acuífero son por tanto mayores. En la Figura 3.19 se muestra un esquema con la situación de los piezómetros de este grupo.



Figura 3.18. Piezometría de los puntos más cercanos a la zona de mayor explotación.

En este grupo, los descensos acumulados de los niveles de agua al final del periodo de control superan los 60 m, alcanzando mínimos de más de 80 m entre 1982 y 1985.

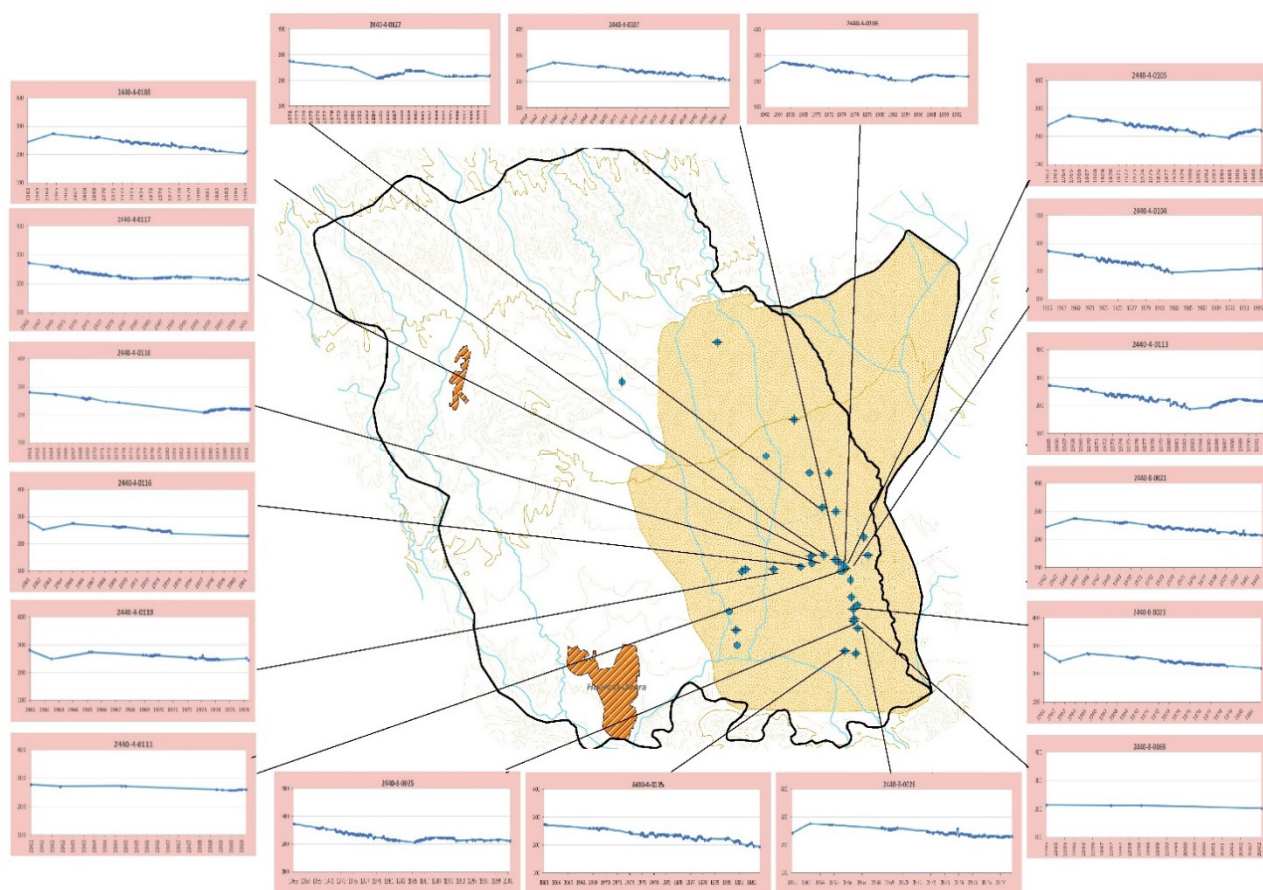


Figura 3.19. Localización de los piezómetros que han acusado más la explotación.

Los piezómetros del segundo grupo diferenciado se sitúan en general algo más alejados de la zona y de los puntos de mayor explotación, por lo que muestran una evolución descendente y constante de los niveles desde el inicio (Figura 3.20), consecuencia de la intensa explotación del acuífero, aunque con un descenso algo más suave y sin los mínimos tan acusados del grupo anterior, con descensos acumulados al final del periodo de control en 2003 de 40-50 m. En la Figura 3.21 se muestra la situación de este segundo grupo de piezómetros.

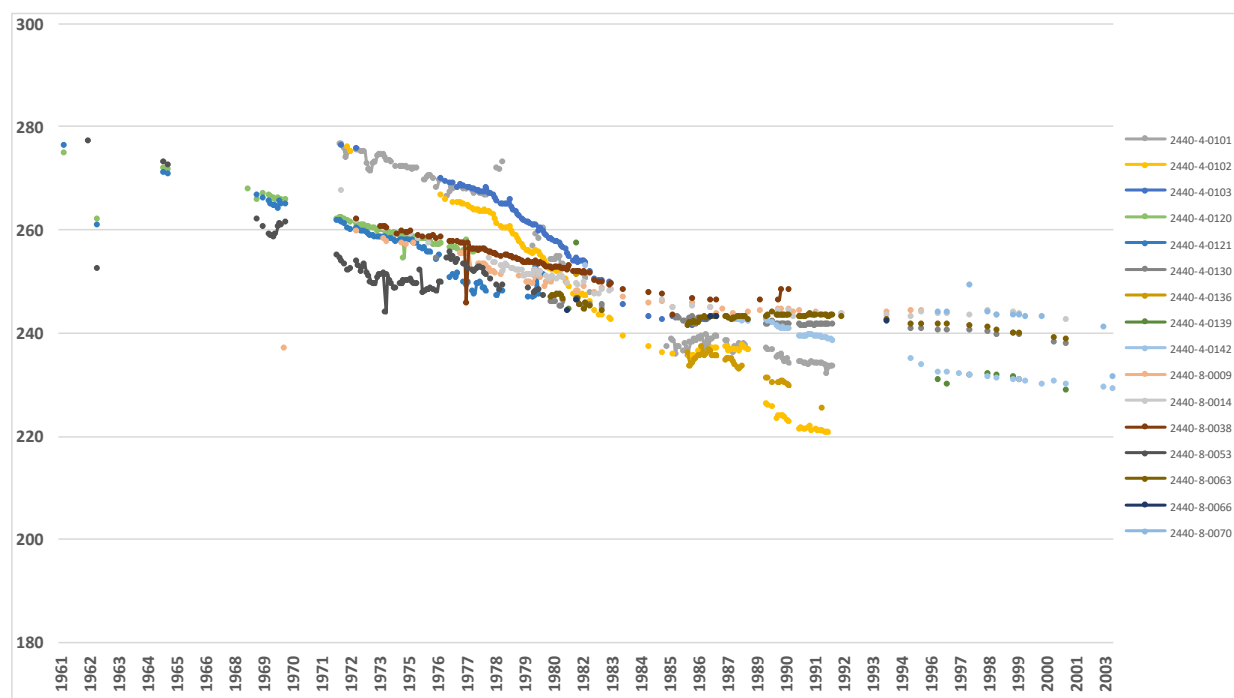


Figura 3.20. Piezometría de los puntos situados algo más alejados de la zona de mayor extracción.

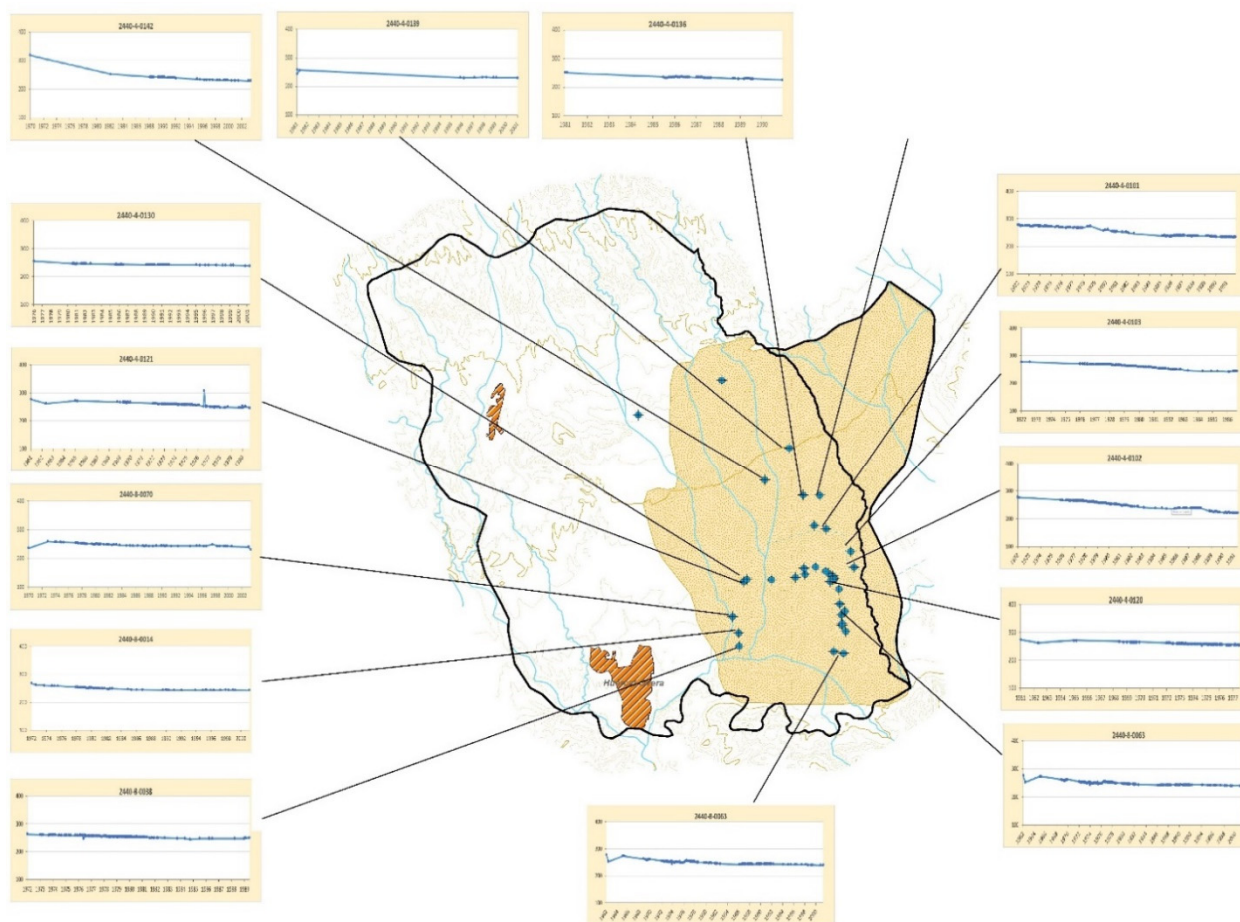


Figura 3.21. Localización de los puntos situados algo más alejados de la zona de mayor explotación.

La recarga se produce por la infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos cuaternarios y pliocuaternarios que constituyen el acuífero, así como por la infiltración de las aguas superficiales externas a la cubeta, aunque en su mayor parte generadas en el ámbito de la MASCH, aportadas por las numerosas ramblas que convergen en ella. La infiltración en el acuífero se produce, de forma subsuperficial, a través de los aluviales de las ramblas que desembocan directamente en los materiales del acuífero y, en avenidas y eventos intensos de lluvia, directamente en la cubeta a través de los cauces de las ramblas, donde la red de drenaje, bien definida fuera de la cubeta, desaparece, en parte, al entrar en ella.

Otra parte de la recarga la constituyen los retornos de riego, escasos antes del inicio de la explotación del acuífero, que con el aumento del regadío que se ha producido, se han incrementado notablemente, a los que se añaden los retornos de los aportes de agua para riego externos al sistema que se han ido sumando en los últimos años.

Además, se produce transferencia subterránea de recursos de la MASb Sierra de Almagro (ES060MSBT060-052) a través del límite sur de la MASCH, por el contacto directo de los materiales permeables de los acuíferos de ambas masas.

Antes del inicio de la explotación intensa, en la década de los 60, el acuífero funcionaba en régimen natural, con un flujo subterráneo general hacia el extremo SO, hacia la surgencia que existía en la Rambla del Saltador, en las inmediaciones de la barriada de El Saltador, el punto más bajo de la cubeta, originada por el afloramiento de los materiales de baja permeabilidad del sustrato del

acuífero. Por este punto se producía la casi totalidad de la descarga del acuífero. Solo una parte muy pequeña de los recursos se extraían en pozos de construcción manual de escasa profundidad mediante pequeños bombeos.

Durante la década de los 60, se inicia una explotación más intensa del acuífero, especialmente en la mitad meridional del mismo, que provoca un descenso continuo de la superficie piezométrica, más acusado en la zona de San Francisco, donde se concentran las mayores extracciones, originando un cambio en el flujo de agua subterránea que empieza a dirigirse hacia esa zona, haciendo desaparecer la descarga natural de la Rambla del Saltador al inicio de la década de los años 70, siendo desde entonces las extracciones por bombeo la única descarga del acuífero.

El continuo descenso de los niveles por la sobreexplotación del acuífero ha podido provocar también la desconexión, total o parcial, de la parte del acuífero correspondiente al valle de la Rambla de Las Norias, perteneciente a la cuenca del Segura, al situarse la superficie piezométrica por debajo de la cota del umbral existente entre la divisoria de cuencas y la Rambla de Las Norias, que eleva el fondo de la cubeta (corte III de la Figura 3.6).

En el Mapa Hidrogeológico de la Figura 3.5 se han representado las isopiezas obtenidas en la simulación realizada con RENATA, correspondiente a la situación actual de sobreexplotación del acuífero, marcándose de forma esquemática el flujo del agua subterránea en el acuífero. Además, en los cortes hidrogeológicos de la Figura 3.6 y en el corte esquemático de la Figura 3.7 se ha marcado la situación del nivel piezométrico.

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, no se han definido tramos con conexión río-acuífero en ningún cauce de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas ni en la Demarcación Hidrográfica del Segura.

No obstante, hay que reseñar que no existen dentro de la MASCH cauces permanentes, únicamente ramblas y barrancos con funcionamiento en momentos puntuales de tormentas fuertes y que dichas ramblas cuando circula agua por ellas funcionan como netamente perdedoras.

3.6. Usos del agua subterránea

La MASCH Saltador-Las Norias es una masa en la que la explotación del agua subterránea tiene un papel muy importante. De hecho, debido a las explotaciones exhaustivas que se vienen llevando a cabo desde muchos años atrás, por encima de la recarga media anual de la MASCH, las MASb que la componen, Cubeta de El Saltador, en la DHCMA y Las Norias, en la DHS, se encuentran declaradas sobreexplotadas.

Según el Plan Hidrológico de la DHCMA, en vigor (2015-2021), las extracciones que se realizan en la MASb Cubeta de El Saltador son de 6,32 hm³/año y el 100% de la explotación se dedica a uso agrícola.

La Demarcación Hidrográfica del Segura, en su balance realizado de los acuíferos, considera para la Cubeta detrítica de El Saltador, en su conjunto (ambas Demarcaciones), unas extracciones de

3,79 hm³/año, también para uso agrícola, aunque solo 0,07 hm³/año considera que se extraen dentro de su propia Demarcación.

Para el análisis que se ha realizado con el código RENATA, se han utilizado los 6 hm³/año como referencia, ya que la gran mayoría de las extracciones se producen en la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y esa cifra aportada por la Junta de Andalucía parece la que más se acerca a la realidad.

Tabla 3.1. Explotaciones asignadas a cada Demarcación en los Planes Hidrológicos

	Bombes MASb El Saltador (hm³/año)	Bombes MASb Las Norias (hm³/año)	Bombes Totales (hm³/año)
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	6,32	-	-
Segura	3,72	0,07	3,79

4. CLIMATOLOGÍA

4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La base principal de los datos climáticos empleados ha sido la de dos estaciones automáticas (6364X, 6367B) y una termopluviométrica (6371I), las tres con datos de precipitación y de temperatura (Figura 4.1).

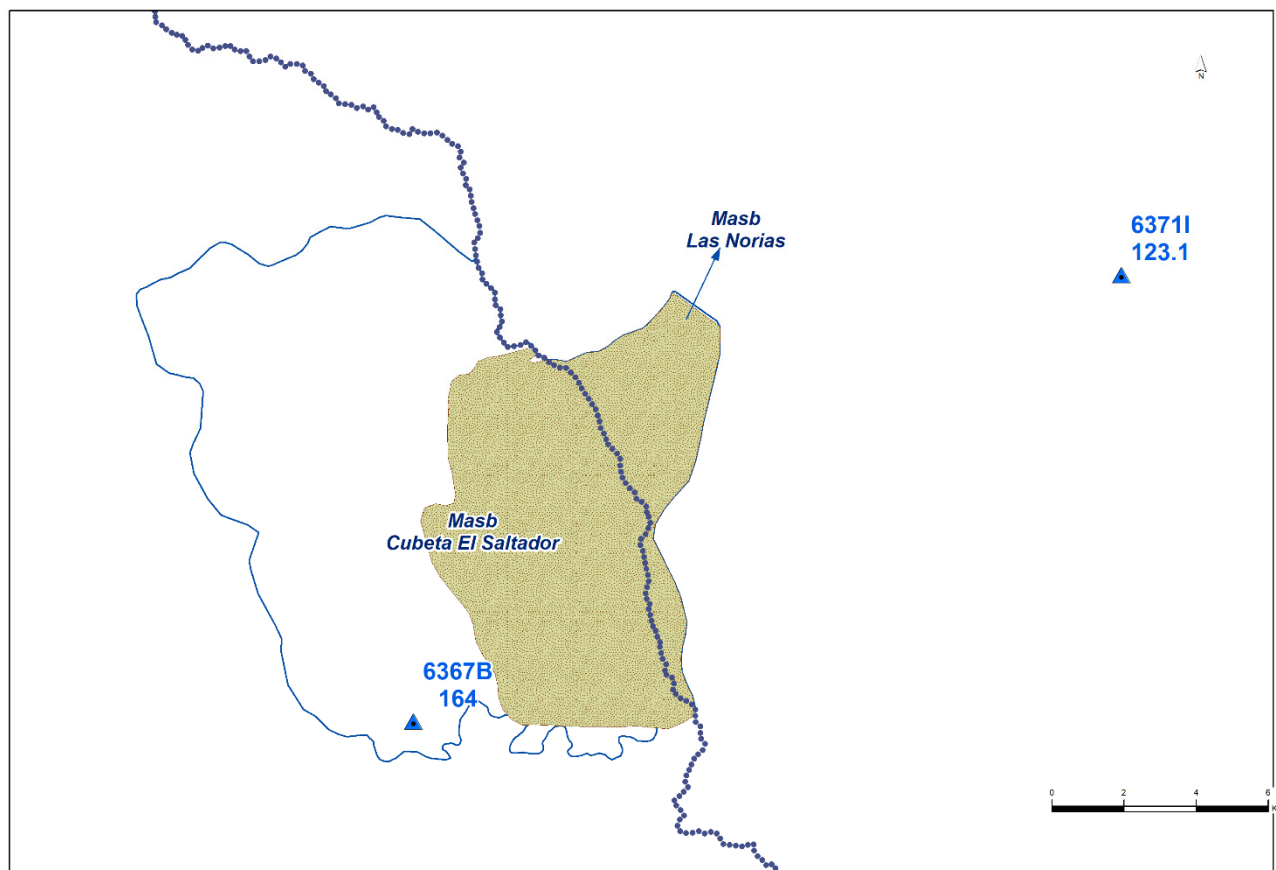


Figura 4.1. Localización de las estaciones climáticas disponibles

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

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

Código	Nombre	Cota	Tipo	Desde	Hasta
6364X	ALBOX (Almería) Automática	508	P	05-12-2008	31-12-2015
			T	05-12-2008	31-12-2015
6367B	HUERCAL-OVERA (Almería) Automática	300	P	01-01-2001	31-12-2015
			T	01-01-2001	31-12-2015
6371I	LORCA (LA ESCARIHUELA) (Murcia) Termopluviométrica	310	P	01-06-1999	31-12-2015
			T	01-06-1999	31-12-2015

Los años con datos se muestran en las siguientes gráficas.

Precipitación

Precipitación	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
6364X																				
6367B																				
6371I																				

Temperatura

Temperatura	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
6364X																				
6367B																				
6371I																				

Las estaciones 6364X y 6367B se encuentran al Oeste de la MASb, a unos 19 km y 1 km respectivamente del borde de la misma. Y la 6371I se encuentra al NO, a unos 14,5 km del borde de la MASb.

Se dispone, además, de otra estación pluviométrica, la 5057 -Moratalla (Cañada de la Cruz)- en el entorno de la MASCH La Zarza, con datos diarios desde 1955 a 2015, que se ha utilizado también para el completado de las lagunas de las series de precipitación. Esta estación se halla a unos 63 km de la MASb.

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 1999 y septiembre de 2015.

Originalmente las estaciones disponibles en los alrededores de la MASb presentaban lagunas en valores de precipitación y temperatura por lo que se ha procedido a su completado. El período de trabajo ha sido el período común de dos de las estaciones meteorológicas (6367B y 6371I), desde 1999 a 2015. La estación 6364X presenta una serie corta (2010-2015) que, junto con los datos de la 5057, se ha utilizado para el completado de las lagunas de las otras dos estaciones.

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**
6367B Huércal Overa	X: 593512 Y: 4138723 Z: 300	Automática Caracteriza el sector Este Superficie de influencia: 163.13 km ²	P media: 285.3 mm/a P max: 631.3 mm P min: 136.9 mm T media: 17.7 °C
6371I Lorca (La Escarihuela)	X: 613132 Y: 4151097 Z: 310	Termopluviométrica Caracteriza el sector Oeste Superficie de influencia: 0.67 km ²	P media: 247.4 mm/a P max: 368.3 mm P min: 61.7 mm T media: 17.3 °C

(*) Proyección ETRS89

(**) Período 1999/00-2014/15 una vez realizado el completado de las series

Por otro lado, a partir de los valores diarios de temperatura de las estaciones 6367B y 6371I se ha calculado la evapotranspiración potencial (ETP) utilizando el método de Thornthwaite.

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

4.2. ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL

4.2.1. Análisis espacial

A partir de los datos de estas estaciones se han elaborado los planos de isoyetas para la precipitación media de las series (1999/00-2014/15), para la media de los años secos y la media de los años húmedos (Figura 4.2).

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

Estación	6367B	6371I
Precipitación media (1999/00-2014/15)	285,3 mm	247,4 mm
Nº años secos	4	4
Nº años medios	10	8
Nº años húmedos	2	4
Año tipo seco	2013/14 (163 mm)	2002/03 (153 mm)
Año tipo medio	2005/06 (293 mm)	2007/08 (217 mm)
Año tipo húmedo	2011/12 (443 mm)	2003/04 (368 mm)
Media de los años secos (mm)	164,0 mm	123,1 mm
Media de los años húmedos (mm)	537,2 mm	352,4 mm

Tabla 4.3. Valores característicos de las series anuales de precipitación para el período 1999/00-2014/15

4.2.2. Análisis temporal

La precipitación global en la MASb se ha obtenido ponderando la de las dos estaciones pluviométricas consideradas en función del área de influencia calculada mediante polígonos de Thiessen (Figura 4.3). El hietograma anual resultante se muestra en la Figura 4.4 junto a la distribución normal ajustada en la Figura 4.5. En esta última se indican los valores representativos de la serie. Según la distribución ajustada el año *Tipo Medio* (el que más se acerca a la precipitación media de 285.2 mm/a) es *2005/06 con 293.3 mm*, el año Tipo Seco el 2013/14 con 163 mm (el que más se acerca a la precipitación con el 12,5% de probabilidad de ser menor) y el Tipo Húmedo el 2011/12 con 442 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 unos 5 meses, desde abril a mediados de agosto.

Para distinguir mejor los periodos húmedos de los secos de la serie se han representado las desviaciones acumuladas anualmente respecto a la media en la Figura 4.7. En esta representación los periodos secos se indican como líneas descendentes (rojo), los periodos húmedos con líneas

ascendentes (azul) y los periodos considerados medios son líneas con tendencia horizontal (verde). Los resultados permiten diferenciar los periodos que se analizan en la Tabla 4.4. En dicha tabla se identifican como años “Muy Secos” aquellos cuya precipitación es inferior a la del año “Tipo Seco” y como “Muy Húmedos” aquellos en la que es superior al año “Tipo Húmedo”.

Comienza la serie con el período 1999/00 a 2002/03 con tres años secos y uno de tipología climática media; dichos años secos tienen una precipitación media anual un 42% inferior a la media del periodo 1999-2015. El siguiente año 2003/04 es húmedo, con una precipitación un 121% superior a la media. Le sigue un periodo 2004/05 a 2010/11 (7 años) de tipología climática media. El siguiente año 2011/12 es húmedo, con una precipitación un 55% superior a la media. Los tres últimos años de la serie (201/13 a 2014/15) son de tipología climática media, seca y media, si bien todos ellos con precipitación inferior a la media de la serie.

Tabla 4.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos acontecidos de octubre de 1999 a septiembre de 2015

Periodo	Tipología climática	Duración (años)	Diferencia respecto a la media (mm)*	Porcentaje de precipitación con respecto a la media
1999/00	Seca		-104.5	37% inferior
2000/01	Seca		-148.4	52% inferior
2001/02	Media			
2002/03	Seca		-110.2	39% inferior
2003/04	Húmeda		345.1	121% superior
2004/05 a 2010/11	Media	7		
2011/12	Húmeda		157.2	55% superior
2012/13	Media			
2013/14	Seca		-122.5	43% inferior
2014/15	Media			

(*) La precipitación media de la serie ponderada para el período 1999/00 a 2014/15 es de 285.2 mm

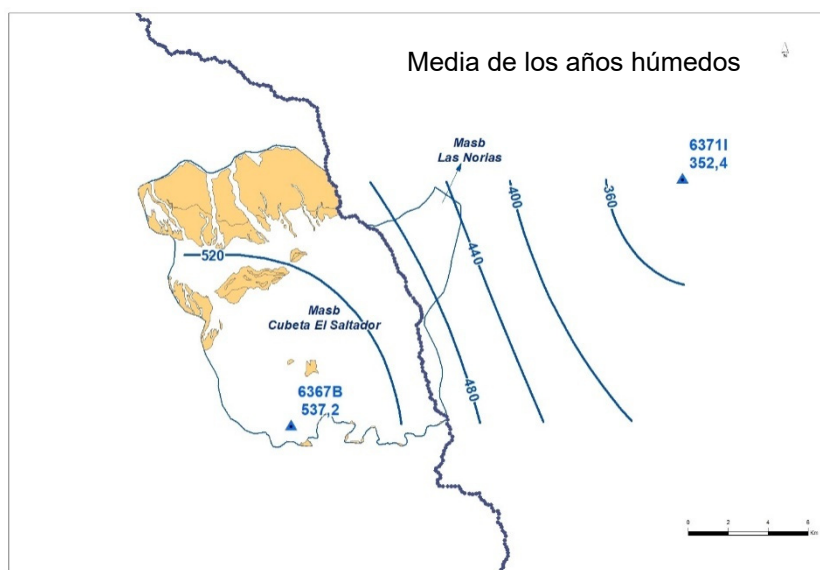
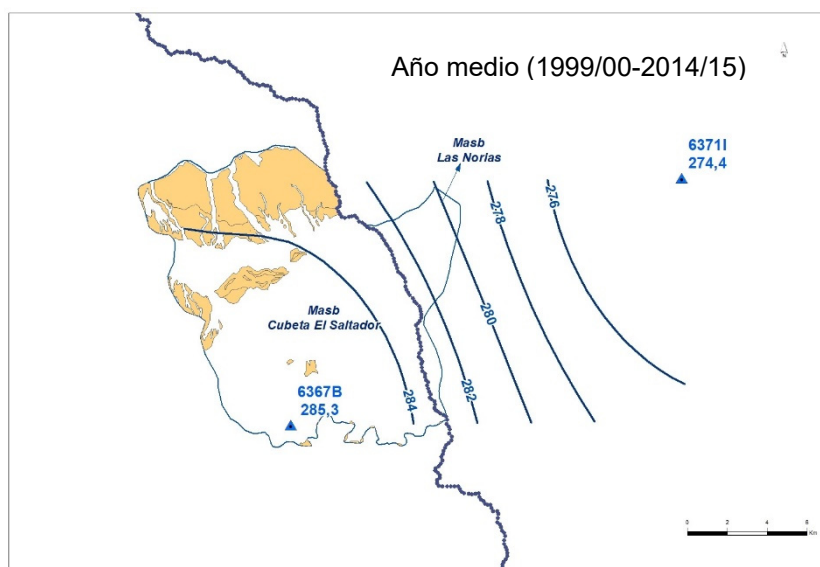
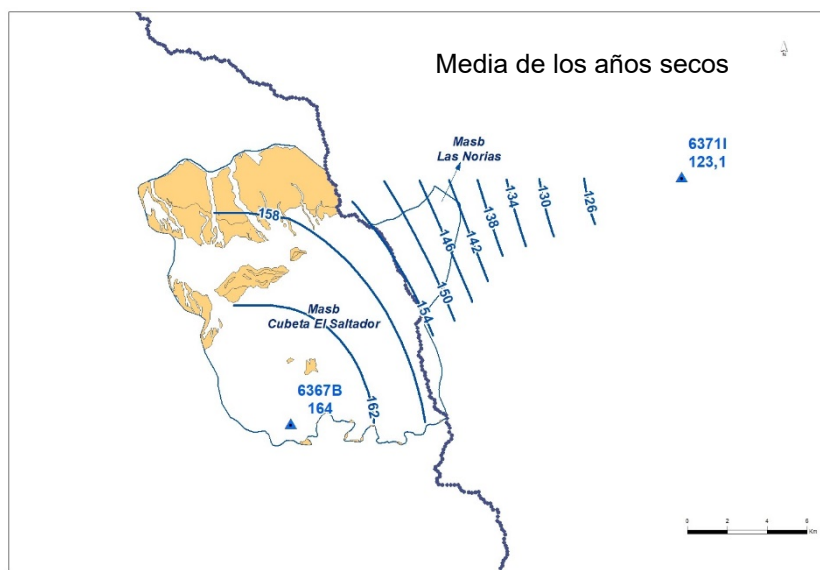


Figura 4.2. Isoyetas de la media de los años secos, de la precipitación media y de la media de los años húmedos

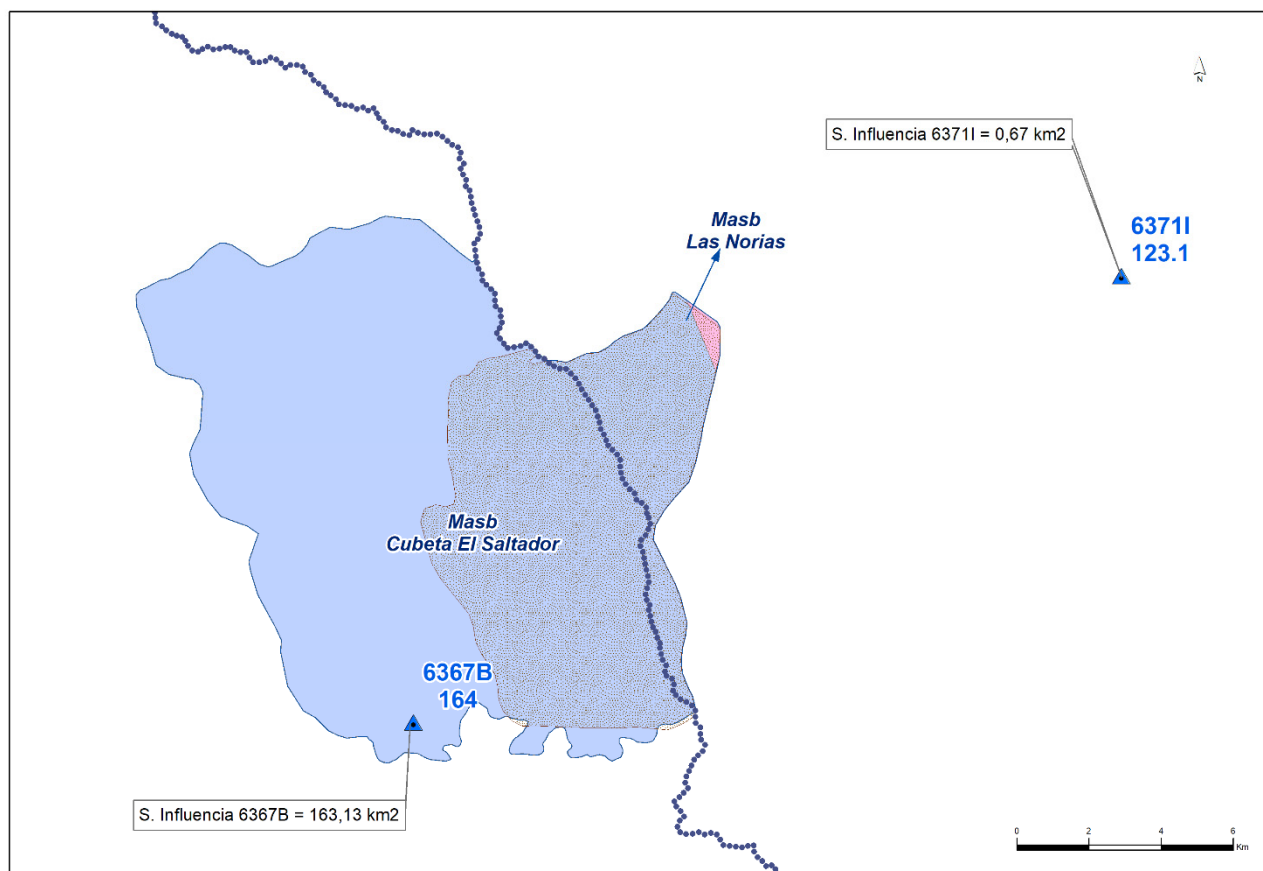


Figura 4.3. Zonas de influencia de las estaciones pluviométricas utilizadas obtenidas por polígonos de Thiessen

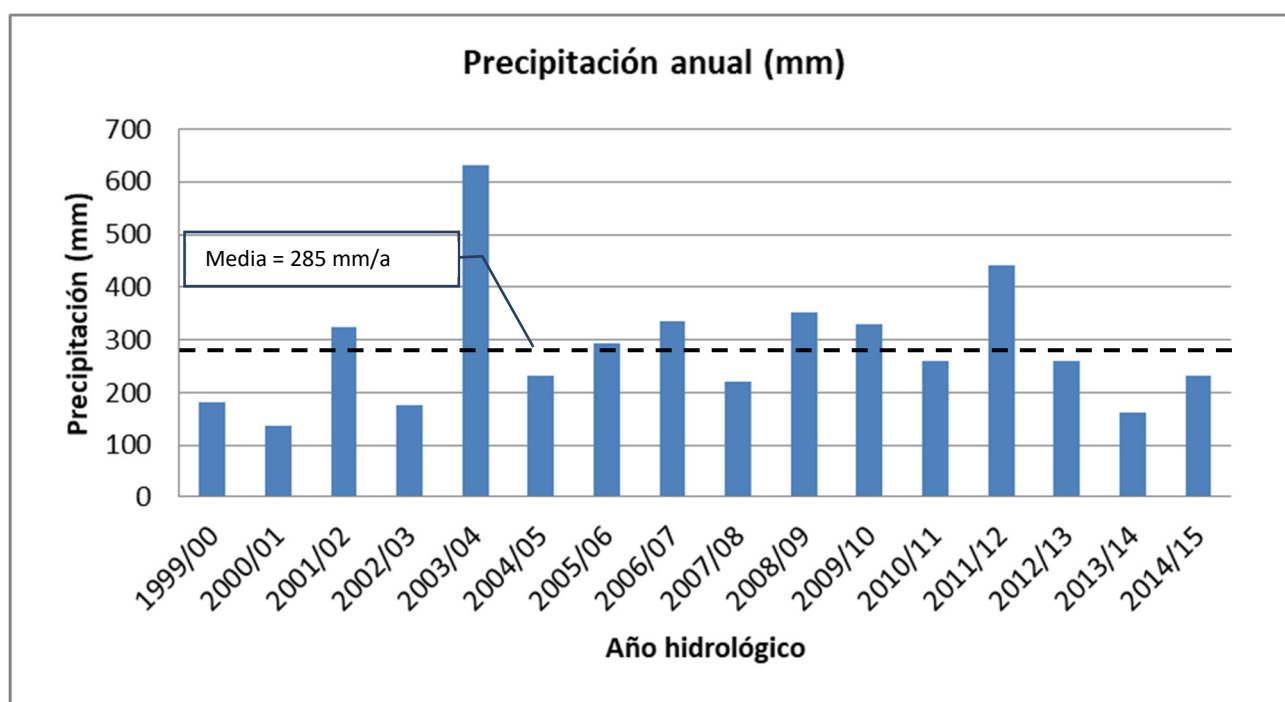


Figura 4.4. Hietograma anual de la precipitación media caída en la MASb

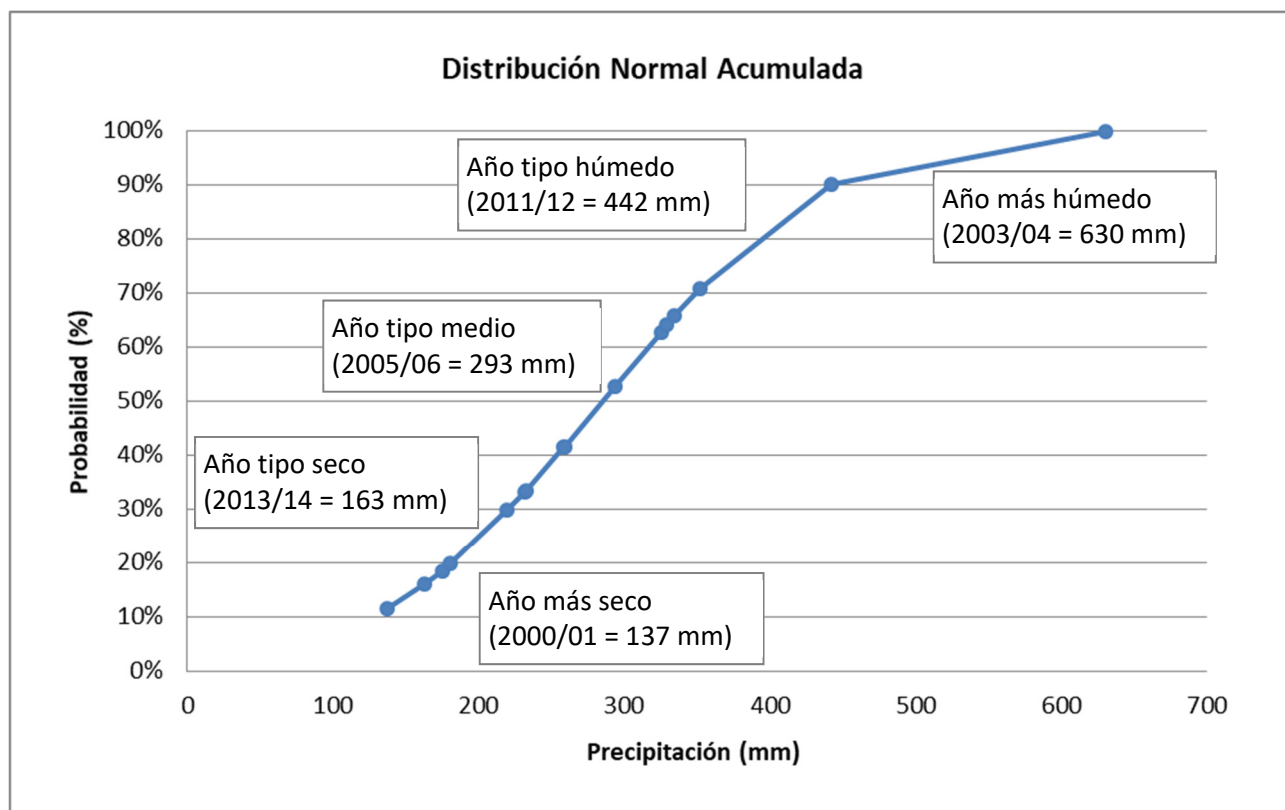


Figura 4.5. Distribución Normal ajustada indicando los años tipo significativos

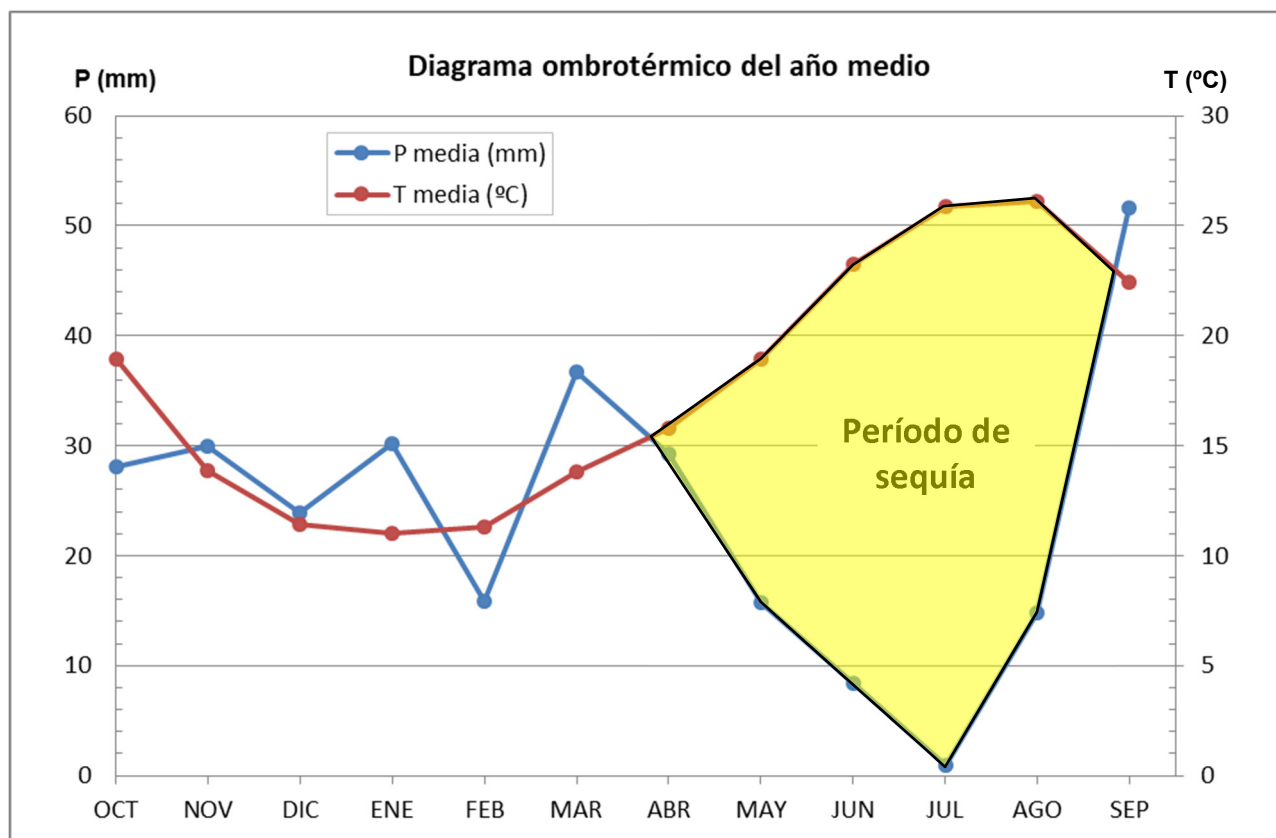


Figura 4.6. Diagrama ombrotérmico del año medio

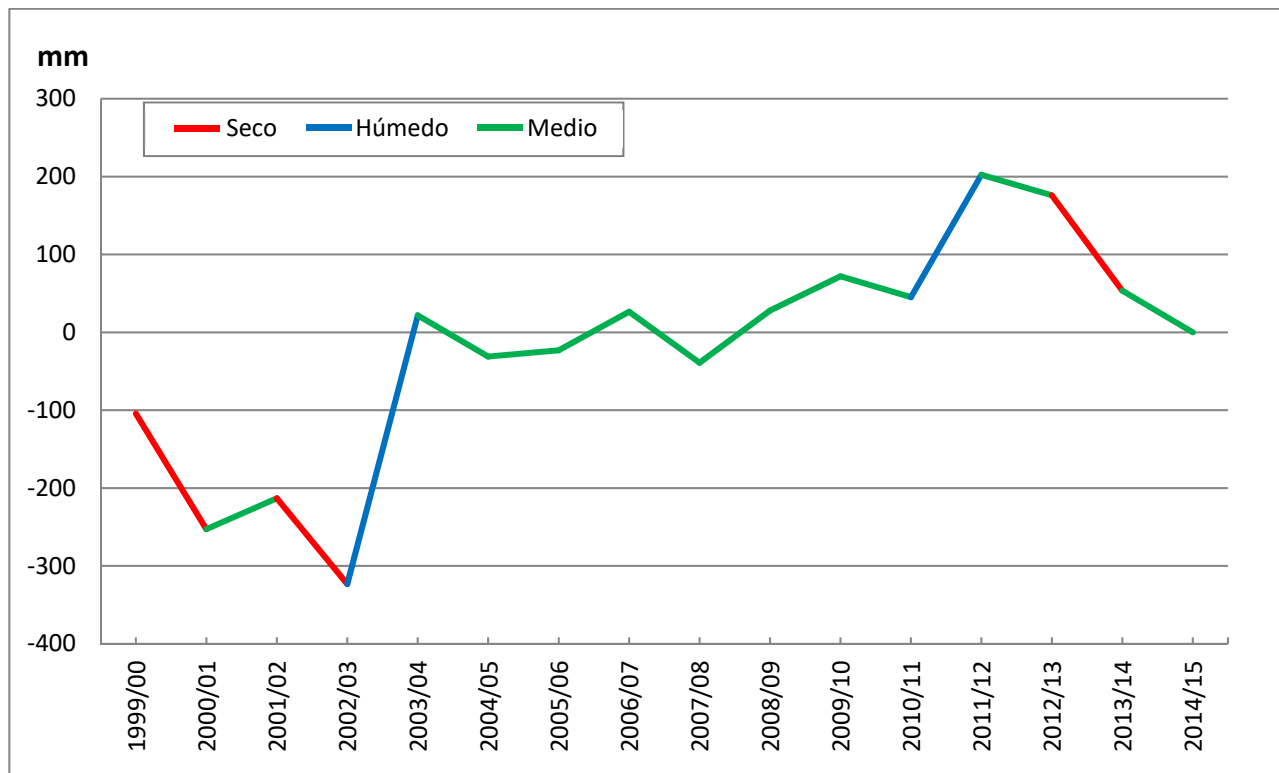


Figura 4.7. Desviaciones de la precipitación anual respecto a la media acumuladas

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 otras muchas cosas, las direcciones de flujo, por lo que resulta una herramienta útil para la identificación y delimitación de divisorias hidrogeológicas, que es uno de los objetivos del presente trabajo.

Puesto que la MASCH de “Saltador-Las Norias” está constituida por un acuífero detrítico multicapa aflorante, pero a su vez afloran otros materiales detríticos que, aunque no constituyen parte del acuífero de la cubeta, se tendrán 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 aplicada a las capas de cada variable para obtener el porcentaje de la precipitación infiltrada es la siguiente:

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

Donde:

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

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

Puesto que este método sólo es aplicable en acuíferos carbonatados, se ha utilizado el método APLIS modificado, que presenta algunas mejoras en 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
	Arenosolesálbicos y Xerosoles cálcicos	9
	Regosoles calcáreos y Fluvisoles	8
	Regosoleseútricos, dístricos y Solonchaks	7
	Cambisoles cálcicos	6
	Cambisoleseútricos	5
	Histosoleseútricos, Luvisolesórticos y cálcicos	4
	Luvisoles crómicos	3
	Planosoles	2
	Vertisoles crómicos	1

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

Parámetro Altitud (A) y Pendiente (P)

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

En la Figura 5.1 se presentan los mapas de altura y pendiente obtenidos para la zona de estudio, donde se registran altitudes comprendidas entre 213,57 y 877 m.s.n.m. con rangos de pendientes muy suaves, menores de 20% en la mayor parte de la superficie.

Parámetro Litología (L)

Este parámetro se ha obtenido a partir de reclasificación de las unidades litológicas que figuran en la Cartografía GEODE (Cartografía geológica digital continua) a escala 1:50.000 proporcionada por el IGME (Instituto Geológico y Minero de España), según los intervalos que figuran en la Tabla 5.1. Estos intervalos se han definido teniendo en cuenta las características hidrogeológicas de los afloramientos cartografiados. A las arcillas, lutitas y en general depósitos aluviales y de fondo de valle se les ha asignado un valor de 1 punto, las margas azules y a las filitas y cuarcitas tienen un valor de 2 puntos, el valor de 3 puntos se ha reservado para las areniscas y conglomerados mientras que para los depósitos de glaciares se les ha asignado un valor de 4 puntos. Para las dolomías y las calizas se les ha dado un valor de 5 puntos y por último el valor de 7 puntos se ha reservado para los arrecifes del mioceno. Su distribución espacial se recoge en la Figura 5.1.

Parámetro Estructuras de Infiltración preferencial (I)

En el área de estudio no existen zonas endorreicas que concentren la escorrentía superficial y favorezcan la infiltración preferencial. Asimismo, no se conoce la presencia de estructuras y formas exokársticas que la potencien, tales como dolinas, sumideros, simas, chimeneas, lapiazes, etc., por lo que a este parámetro se 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.

Los tipos de suelos presentes en el ámbito de estudio corresponden en su mayor parte a cambisoles calcáricos (con un valor de 6 puntos) y en menor cambisoles eútricos (5), leptosoles (10) y en menor medida por arenosoles álbicos (9).

Su distribución se recoge en la Figura 5.1.

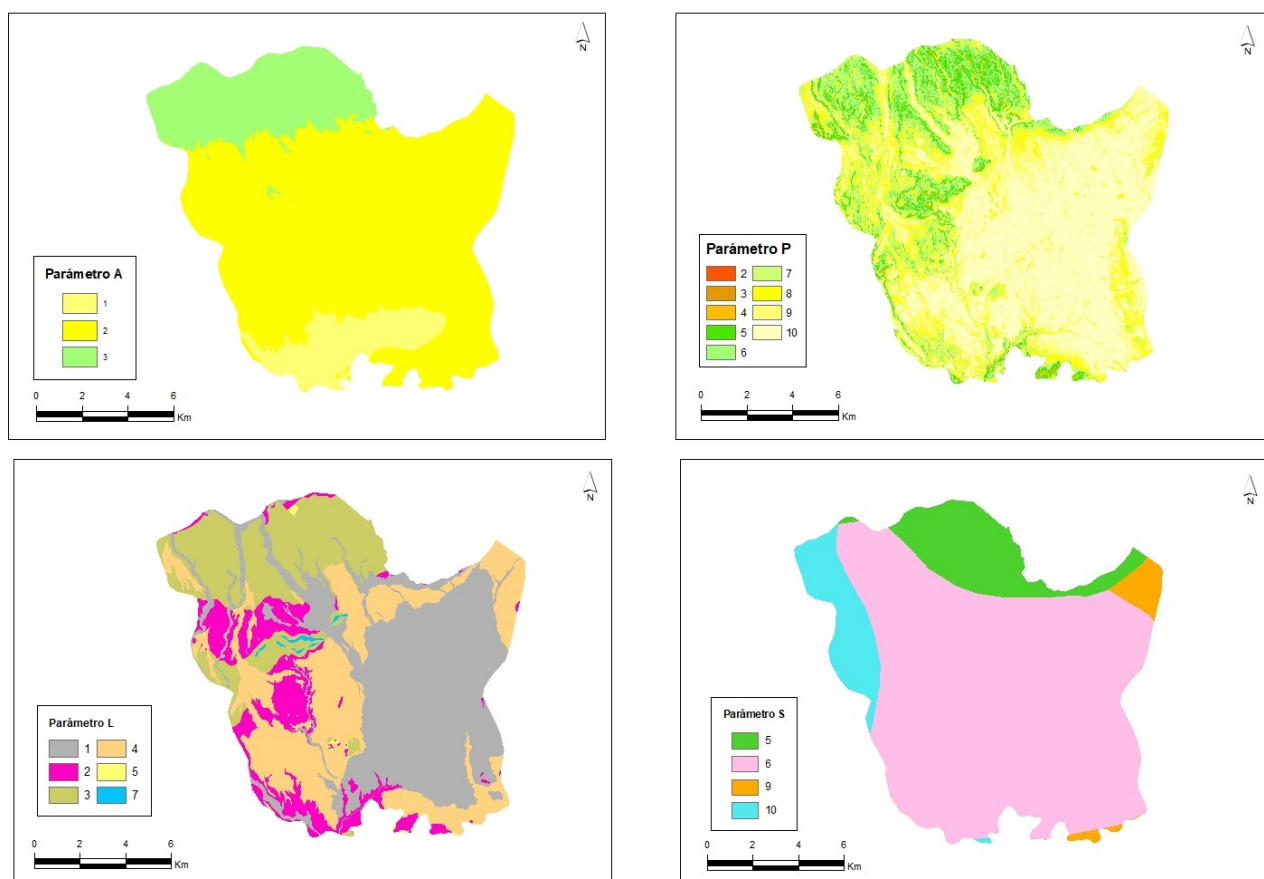


Figura 5.1. Determinación geoespacial de los parámetros Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L) y Suelo (S) para el método APLIS.

Factor de corrección (Fh): El método APLIS es representativo de la recarga de acuíferos en macizos carbonatados karstificados. Esta circunstancia complica su correcta aplicación a la MASCH Saltador - Las Norias, ya que sus características geológicas e hidrogeológicas, con un 99,4 % de afloramientos de naturaleza detrítica, no responden a las condiciones ideales requeridas por esta metodología. En consecuencia, en este tipo de afloramientos a la recarga calculada por APLIS se ha aplicado un factor de corrección (Fh) (APLIS modificado) con el fin de restar peso a los valores hallados inicialmente y permitir su aplicación al caso estudiado. Con dicho fin, se ha asignado un factor $Fh = 0,1$ a las referidas superficies (99,4%), mientras que al 0,6 % restante, correspondiente a afloramientos de naturaleza carbonatada, se le ha asignado un $Fh = 1$. De este modo, se mantiene el valor de la recarga obtenida por APLIS en los materiales carbonatados y se reduce en los materiales detríticos.

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

Tabla 5.2. Porcentaje y clases de recarga metodología APLIS

Clase de recarga	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta
Intervalos de recarga (% precipitación)	≤ 20	(20-40)	(40-60)	(60-80)	> 80

Tras aplicar el álgebra de mapas con las puntuaciones de cada parámetro, se ha obtenido la distribución espacial de la tasa de recarga en Saltador - Las Norias, 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 Saltador–Las Norias obtenida por el método APLIS es de **3%** para toda su superficie (2,9% en las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y 3,1% en la cuenca del Segura), incluyendo los materiales poco permeables. Esta recarga va desde un 1,55 a un 46,66%, comprobándose que, las zonas de mayor recarga corresponden a los afloramientos permeables del mioceno tal y como puede observarse en la Figura 5.2. Así mismo, se puede observar que los arrecifes del Tortonense 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 163,79 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 **1,3 hm³/año**, valor acorde con los estudios de recarga previos. Por cuencas se distribuye en **0,1 hm³/año** en las CMA y **1,2 hm³/año** en la DHS.

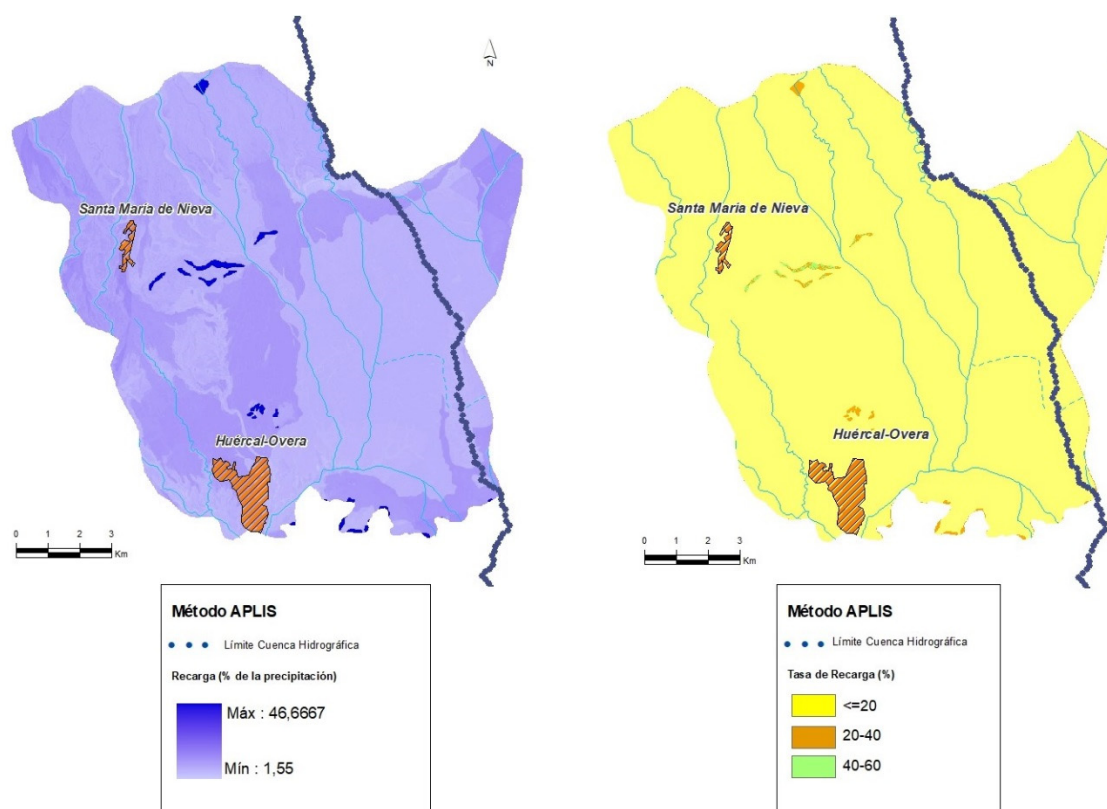


Figura 5.2. Mapa de la estimación de la tasa de recarga (método APLIS)

5.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE VISUAL BALAN

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

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

El balance lo realiza para un intervalo de cálculo diario. El programa calcula valores diarios del nivel de agua en un piezómetro representativo y 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.

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

CONCEPTOS	Valores considerados
EL SUELO EDÁFICO	
Porosidad total (tanto por uno)	0,08
Punto de marchitez (tanto por uno)	0,03
Capacidad de campo (tanto por uno)	0,06
Humedad inicial (mm)	0,03
Espesor del suelo (m)	0,4
Permeabilidad vertical (cm/s)	1.00E-04
Reserva útil resultante (mm)	12
DATOS GEOGRÁFICOS	
Latitud	37° 25' 30"
⁽¹⁾ Área (km ²)	34.08
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	65
LA ZONA NO SATURADA	Método implícito
Coeficiente de agotamiento del flujo hipodérmico (días ⁻¹)	0,007
Permeabilidad vertical (mm/día)	1000
Coeficiente de agotamiento de la recarga al acuífero (días ⁻¹)	0.6931 (1 día)
Humedad inicial (mm)	0
ZONA SATURADA: ACUÍFERO	Método de una celda.
Coeficiente de agotamiento del acuífero o descarga subterránea (días ⁻¹)	0.0039 (180 días)
Coeficiente de almacenamiento del acuífero (adimensional)	0.02
Nivel inicial en el acuífero (m)	90
Nivel de descarga del acuífero ⁽²⁾ (m)	-

(1) Superficie correspondiente a los afloramientos permeables

(2) No se producen descargas naturales

Tabla 5.4.- Recarga estimada por cuencas hidrográficas (1999/00-2014/15) en la MASCH Saltador-Las Norias mediante VISUAL BALAN

Cuenca hidrográfica	Afloramientos (km ²)	Precipitación (mm)	Infiltración lluvia (mm)	Infiltración (hm ³ /a)
El Saltador (Segura)	0.00	284.3	113.2	0.0
Las Norias (CMA)	34.08	284.3	113.2	3.86
Total acuífero	34.08	284.3	113.2	3,86

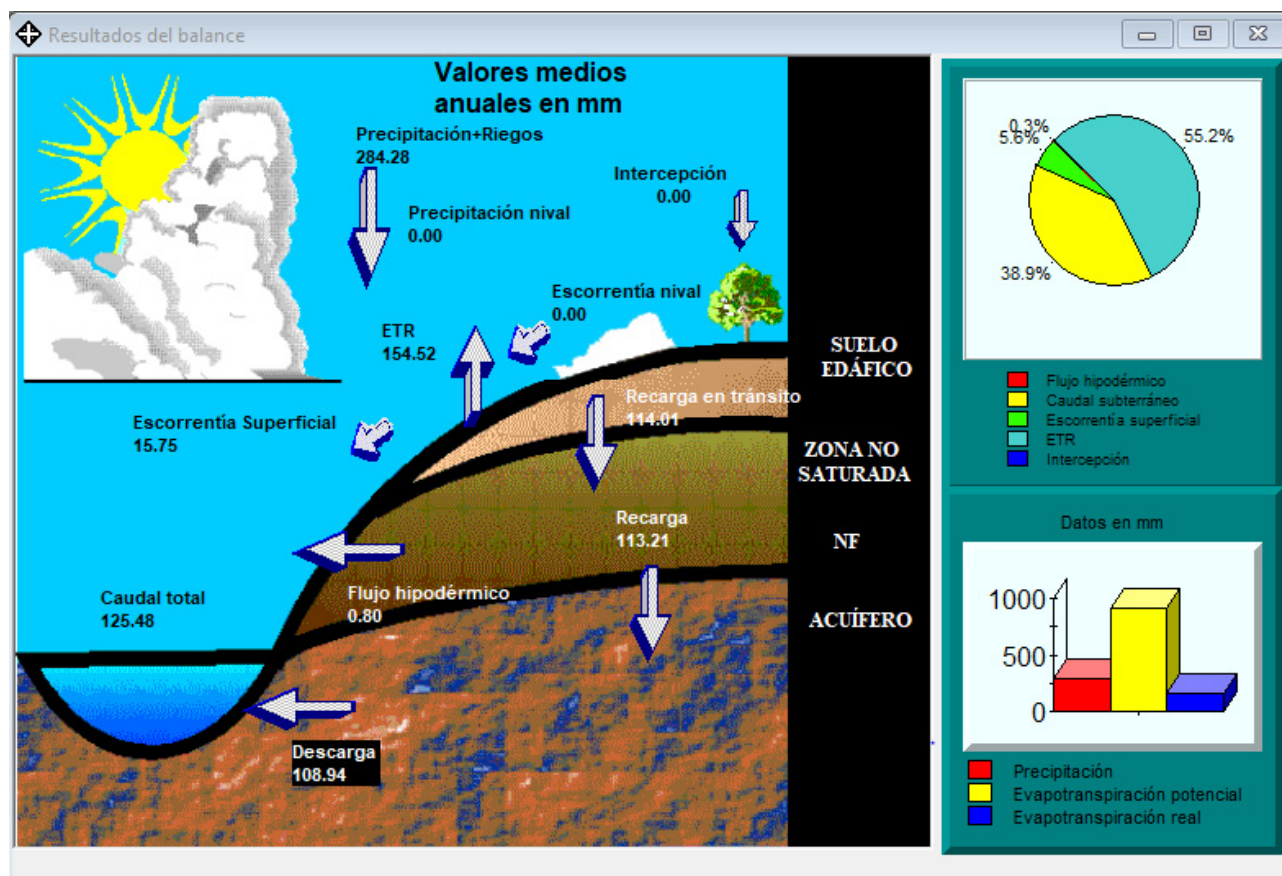


Figura 5.3. Resultados del método VISUAL BALAN (medias anuales) para la MASCH Saltador - Las Norias (1999/00-2014/15)

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.

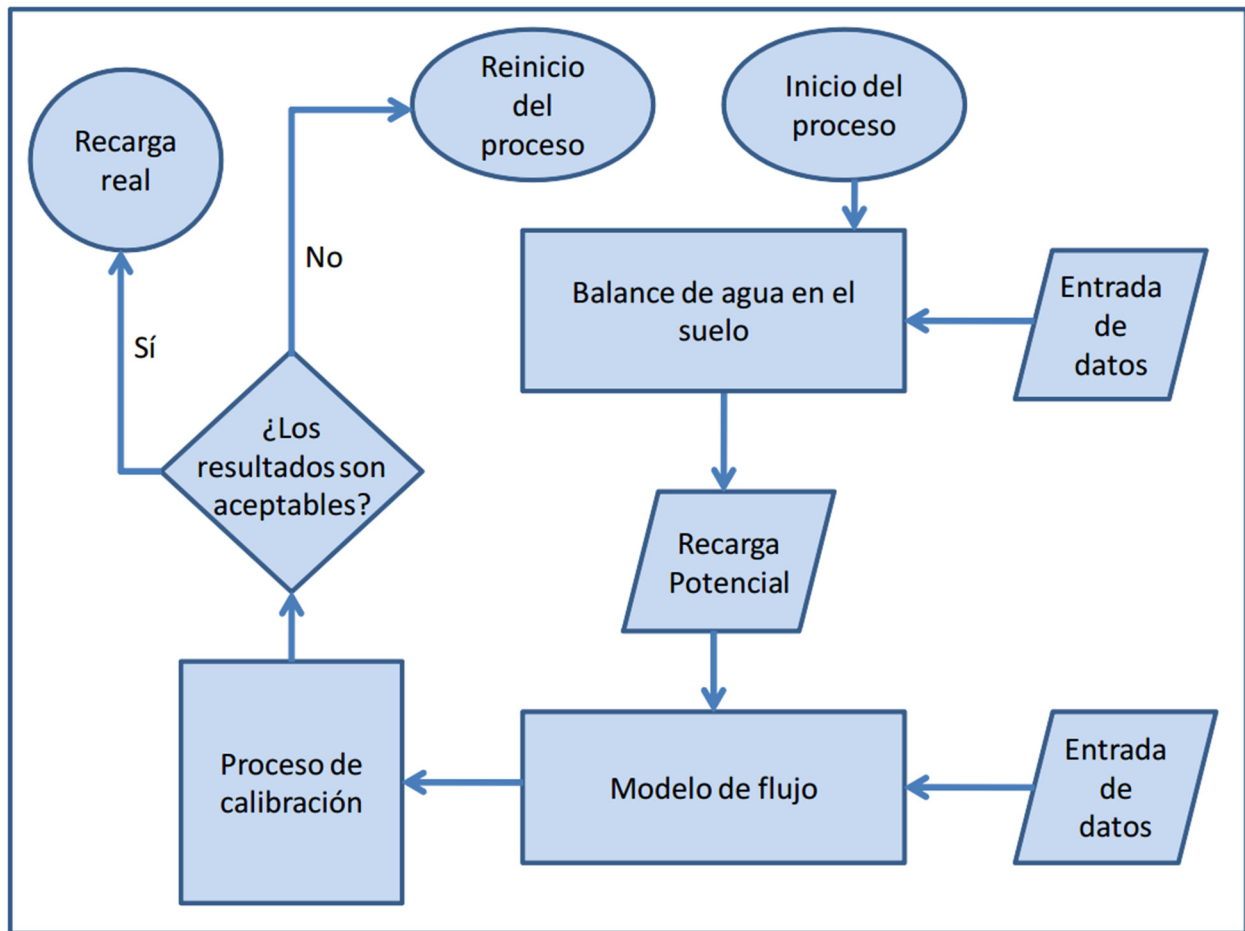


Figura 5.4. Diagrama de flujo del código RENATA

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.

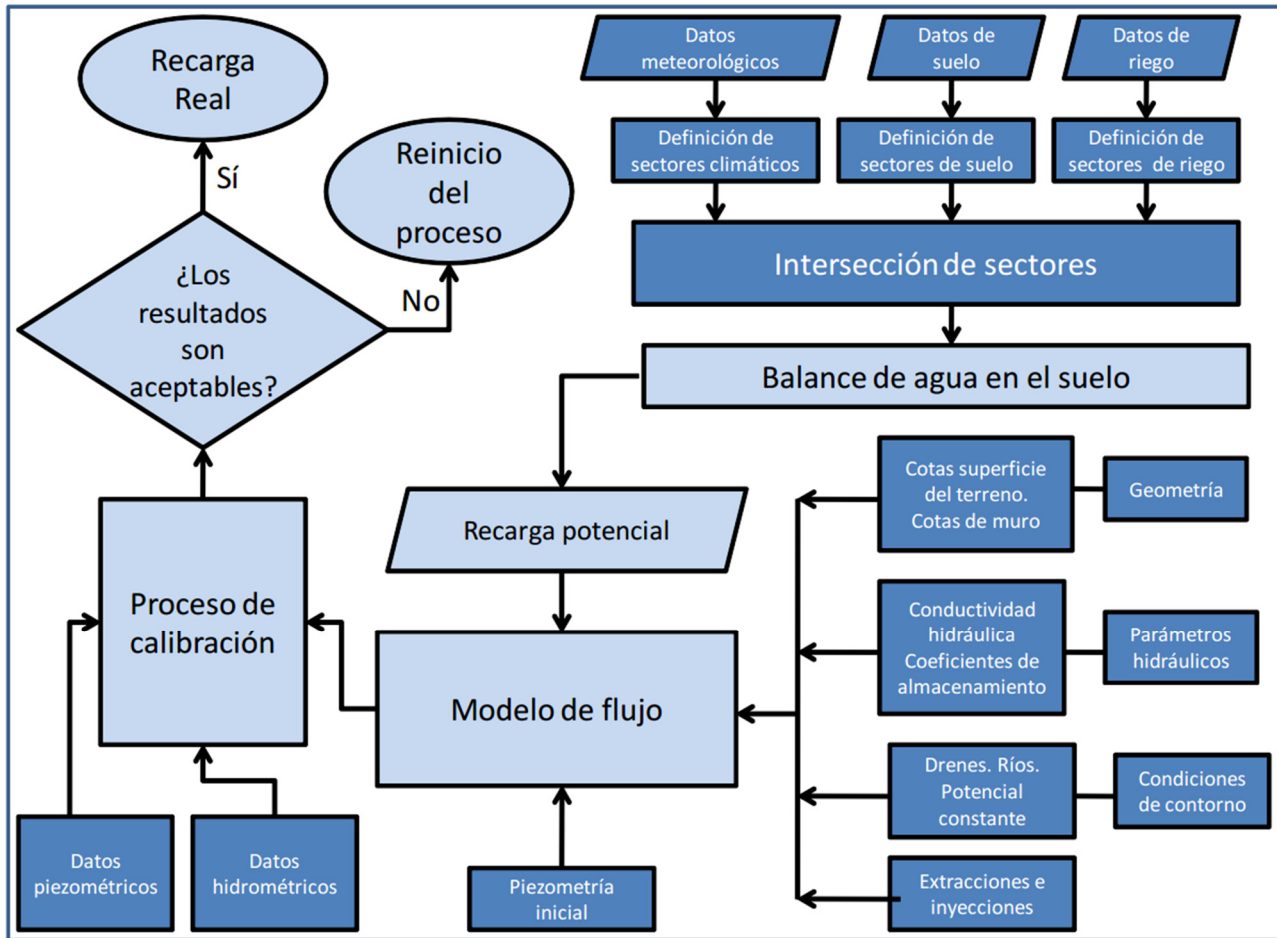


Figura 5.5. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa.

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: 585000 - 603000 e Y: 4137000 - 4153000 en la que queda enmarcada la superficie sujeta al cálculo y estimación de la recarga.

La malla definida consta de 16 filas y 18 columnas con celdas de tamaño 1x1 km, ocupando una superficie de 288 km², de los que 174 km² son de tipo activo (superficie permeable).

El cálculo de la recarga se ha realizado a nivel diario en cada una de las celdas activas del mallado para un periodo de 16 años, comprendidos entre 1999 y 2015.

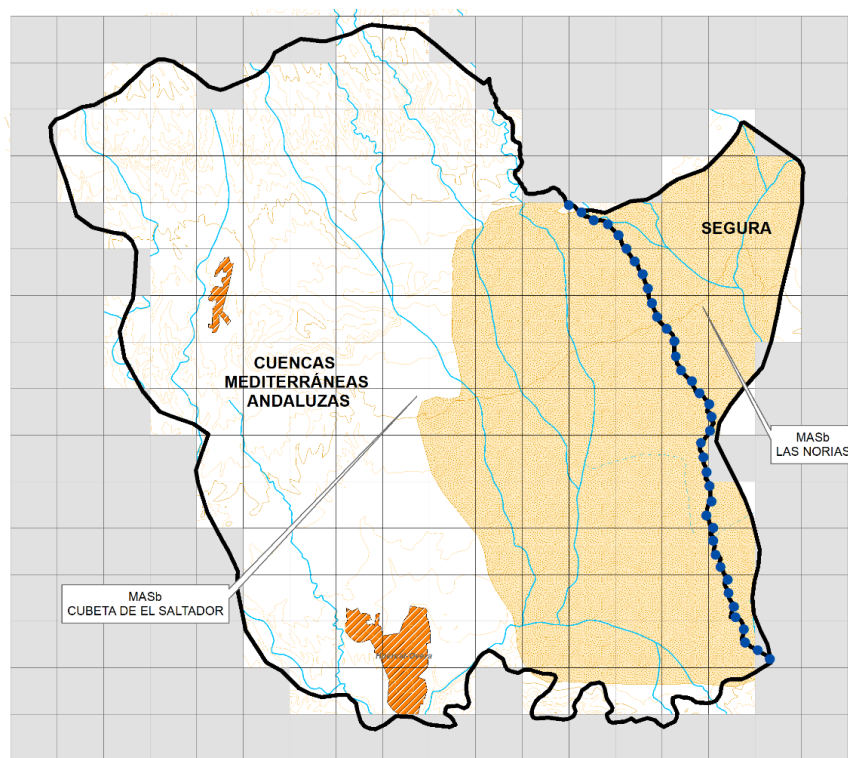


Figura 5.6. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA.

Sectores climáticos

Para la definición de los sectores climáticos se han utilizado dos estaciones pluviométricas (6367B-HUERCAL-OVERA y 6371I-LORCA-LA ESCARIHUELA). A cada una de ellas se le han asignado sus series termométricas para determinar la ETP.

Tabla 5.4. Características de los sectores climáticos (1999-2015)

Sector climático	Estación pluviométrica	Superficie (km ²)	Precipitación media (mm/a)	ETP media (mm/a)
6367B	6367B-Huercal-Overa	170	285,3	75,9
6371I	6371I-Lorca (La Escarihuela)	4	247,4	75,2

Los sectores climáticos que se han determinado por el método de los polígonos de Thiessen (ver capítulo de climatología 4. CLIMATOLOGÍA) quedan caracterizados por su correspondiente estación pluviométrica y serie de ETP. Dichos sectores se han adaptado al mallado definido para poder aplicar el código RENATA (Figura 5.7).

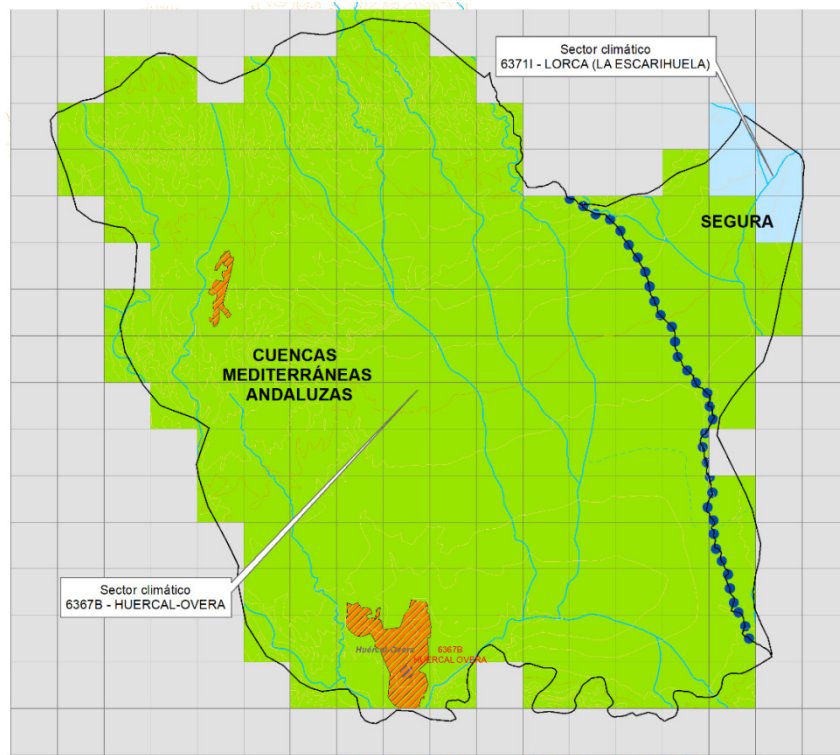


Figura 5.7. Sectores climáticos por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA

Sectores de suelo

Los sectores de suelo se han definido a partir de la cartografía del GEODE, muy sintéticamente, definiendo únicamente dos clases de afloramientos de materiales permeables: detríticos permeables (acuífero) y detríticos poco permeables (sin acuífero) (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.

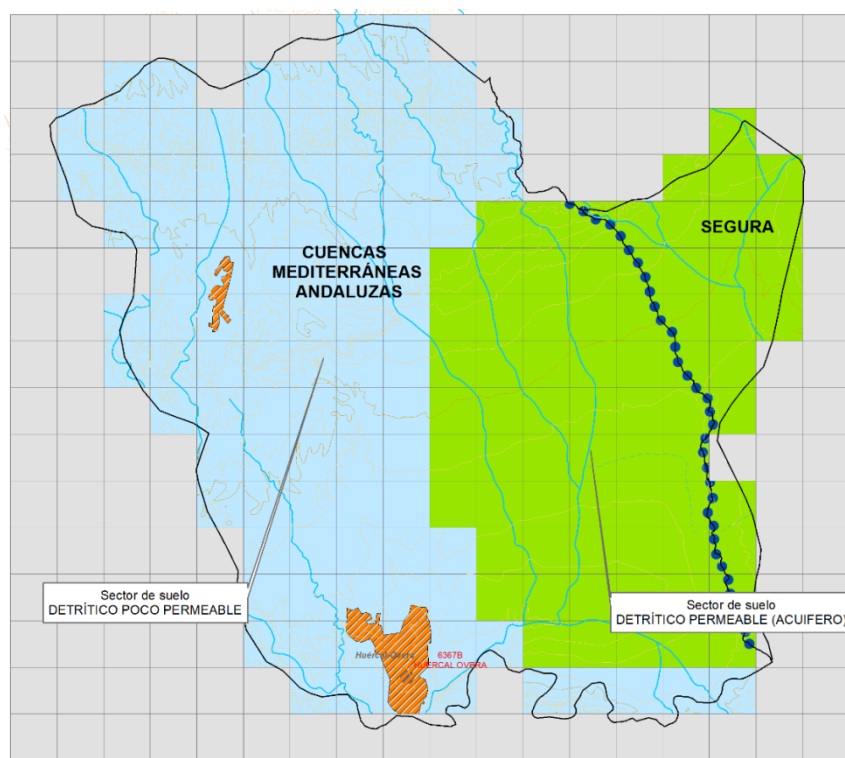


Figura 5.8. Sectores de suelo aplicados en el código RENATA.

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.

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
Detrítico permeable (Acuífero)	74	$RU_{\min}=100$
		$RU_{\max}=150$
		$P_0=58$
		$NC=47$
Detrítico poco permeable	100	$RU_{\min}=180$
		$RU_{\max}=200$
		$P_0=15$
		$NC=77$

Sectores de riego

Para el cálculo de la recarga en las masas que nos ocupan se ha asignado como sector de riego aquellas zonas en las que según el mapa de cultivos de la Junta de Andalucía se realizan regadíos

(ver Descargas Rediam). Estas zonas de regadío ocupan un total de 119,88 km² de la MASCH, aplicado en el código RENATA en 118 cuadrículas y, por lo tanto, 118 km².

A estas zonas se les ha aplicado una dotación general y un porcentaje de retorno de riegos de un 10% general para todas las zonas.

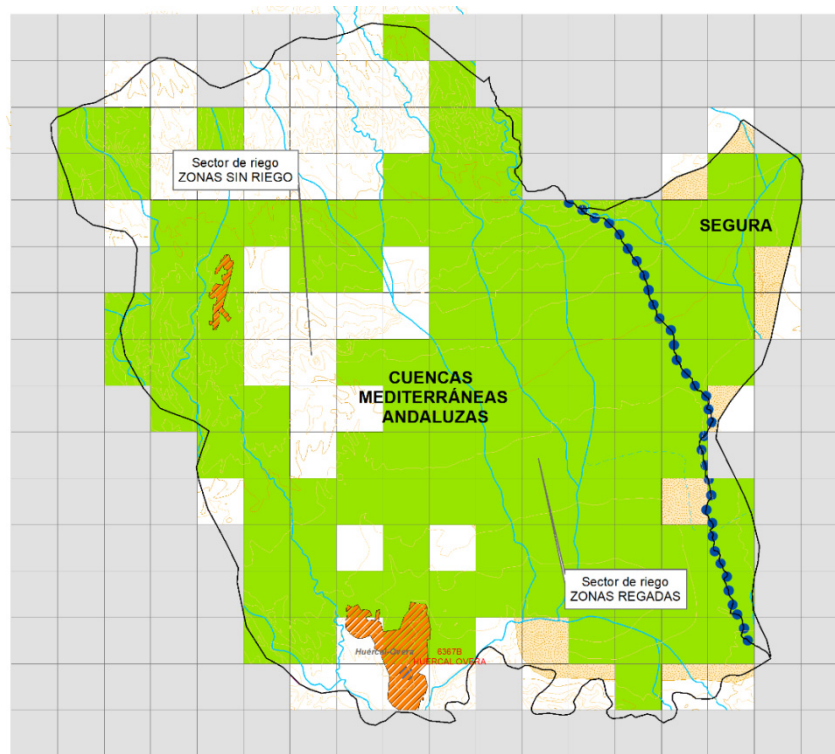


Figura 5.9. Sectores de riego aplicados en el código RENATA.

Intersección de sectores y definición de áreas de recarga

En el proceso de estudio de la MASCH se han creado un total de 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, suelo y riego.

En la Figura 5.10 se muestra su distribución espacial, así como la superficie que ocupa, los tipos de sectores climáticos y los sectores de suelo que les corresponden.

Tabla 5.6. Áreas establecidas con diferente recarga

Área	Superficie (km ²)	Sector climático	Sector de suelo	Sector de riego
1	43	6367B-Huercal-Overa	Detrítico poco permeable	No riego
2	54	6367B-Huercal-Overa	Detrítico poco permeable	Cultivo
3	1	6371I-Lorca (La Escarihuela)	Detrítico permeable (Acuífero)	No riego
4	6	6367B-Huercal-Overa	Detrítico permeable (Acuífero)	No riego

5	3	6371I-Lorca (La Escarihuela)	Detrítico permeable (Acuífero)	Cultivo
6	61	6367B-Huercal-Overa	Detrítico permeable (Acuífero)	Cultivo

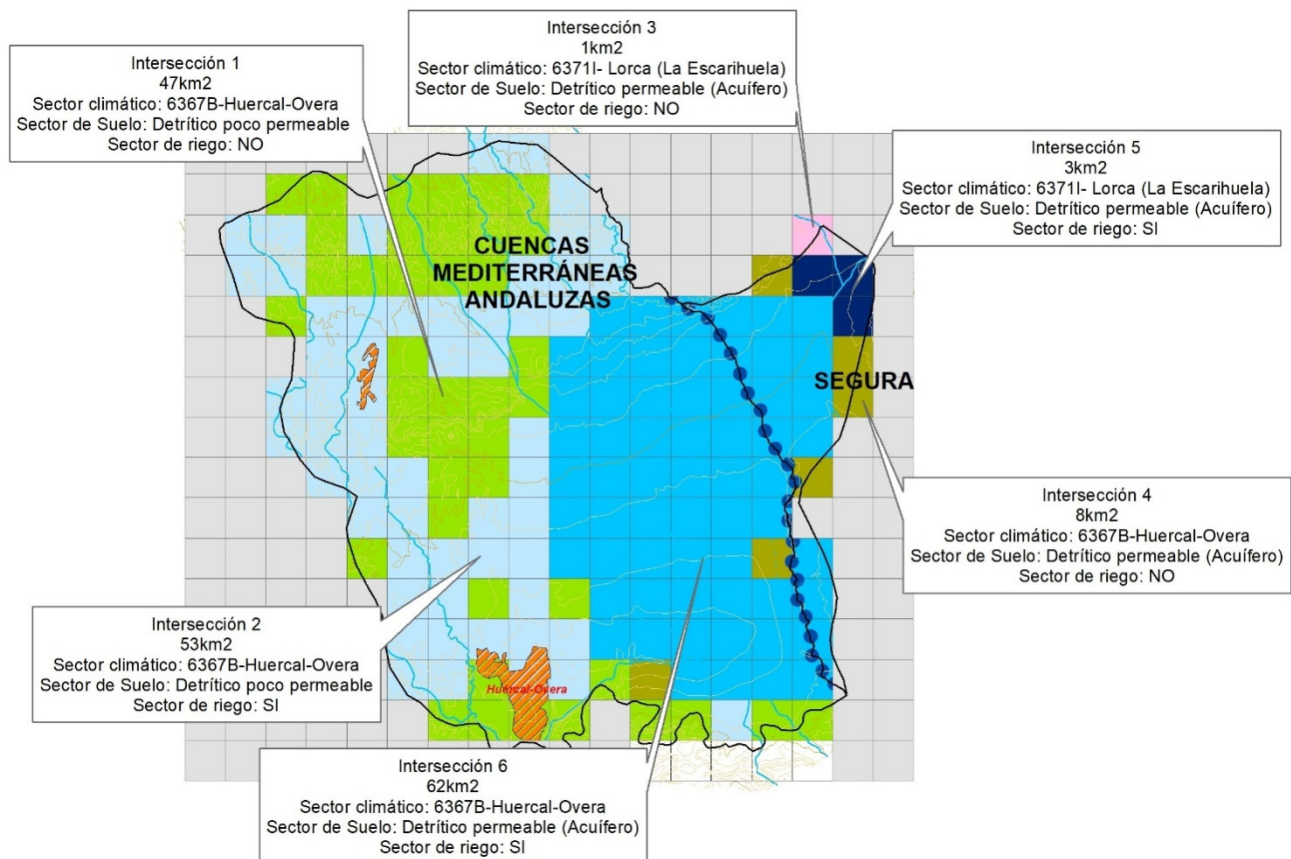


Figura 5.10. Distribución de las áreas con diferente recarga en el modelo de flujo

Condiciones de contorno

Todas las celdas exteriores a los límites de la MASCH Saltador-Las Norias se definieron, en un principio, como de flujo nulo. La condición de contorno tipo dren no se ha aplicado a los manantiales ya que no existen manantiales dentro de los límites de la MASCH.

La condición de río no se ha representado ya que no existen cauces permanentes en la masa. Las ramblas presentes en la zona, en los momentos en los que llevan agua actúan como “canalizadoras” del agua, generalmente torrencial, sin mucha capacidad de infiltración a través de ellas.

Con el fin de conseguir una representación mejor, a lo largo del proceso de ajuste se han añadido unas celdas de caudal constante al sureste de la masa, en donde los materiales de la cubeta detrítica están en contacto con los materiales permeables de la MASCH Sierra de Almagro, de la cual reciben recarga lateral.

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

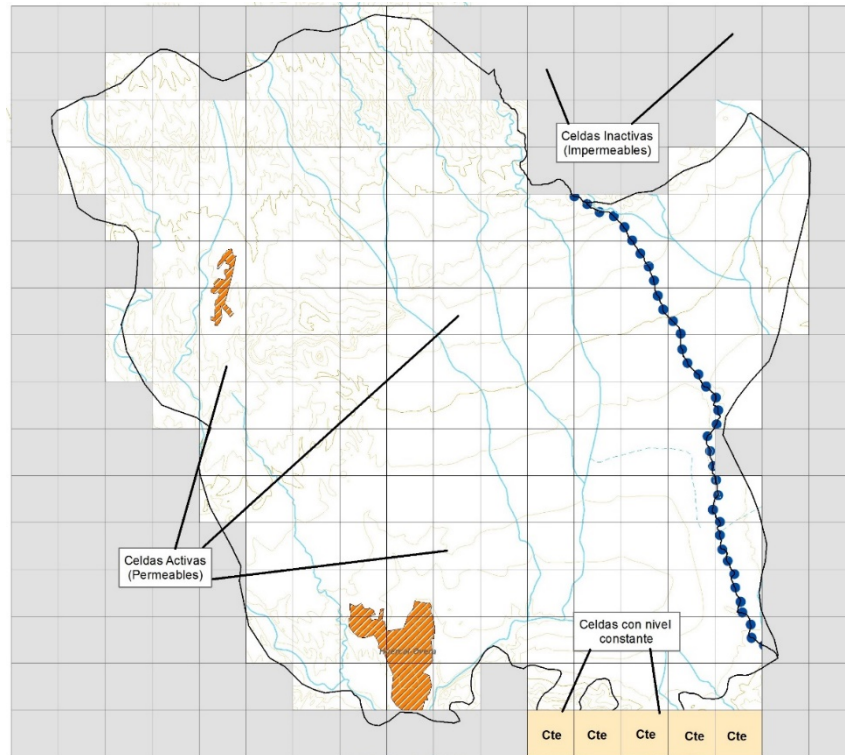


Figura 5.11. Condiciones en los límites del modelo de flujo

Geometría

Para diseñar la geometría se ha importado la topografía del modelo digital del terreno de 200 m referido a ETRS89 tomado del IGN y se ha considerado una sola capa limitada por la superficie topográfica extraída de dicho MDT y una profundidad media estimada del muro de la cubeta detrítica a cota de 100 m s.n.m.

Parámetros hidráulicos

En los datos consultados en Fichas de caracterización adicional de las MASb del Apéndice 3 del Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, se aporta una Transmisividad de 50 a 850 m²/día y un coeficiente de almacenamiento de 0,06-0,08.

En el PIAS (1977), se menciona unos ensayos de bombeos realizados por el IRYDA en el que se extraen unos valores de Transmisividad que oscilan entre 600 y 1800 m²/día aproximadamente y un coeficiente de almacenamiento estimado de 0,02.

En IGME (1993) se habla de caudales específicos de las captaciones están comprendidos entre 0,5 y 15 l/s/m que corresponden a Transmisividades entre 200 y 1000 m²/día y el coeficiente de almacenamiento debe estar comprendido entre el 3% y el 10%.

Aplicando el código RENATA y después del proceso de calibración se ha determinado en torno a 80 m²/día.

Tabla 5.7. Resumen parámetros hidráulicos

Área	PH Cuencas Mediterráneas Andaluzas (2015)	IGME (1993)	PIAS (1977)
Transmisividad (m ² /día)	50-850	600-1800	200-1000
Coeficiente de almacenamiento	0,06-0,08	0,02	0,03-0,10

Extracciones

La localización de la explotación o la extracción de las aguas subterráneas en la MASCH se encuentra dispersa por la parte de la masa que corresponde a la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, ya que, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Segura, según el Plan Hidrológico de Cuenca, no se producen extracciones.

Para la asignación de las extracciones se ha considerado que éstas fundamentalmente se realizan en los pozos realizados en la cubeta detrítica por lo que se ha considerado una amplia zona de extracción a la que se le ha asignado la explotación que según el Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas se realiza en la MASCH, unos 6hm³ al año.

Piezometría inicial

La piezometría inicial al inicio de la simulación realizada ya es una piezometría influenciada por las explotaciones, es decir, no se toma como referencia una piezometría inicial de antes de la explotación ya que no correspondería con la del inicio de la simulación que es muy posterior. Se calcula una piezometría media con los datos de los piezómetros.

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, como los retornos de los riegos. También se han ido variando las reservas de agua en los materiales detríticos permeables y menos permeables para ajustar lo más posible al comportamiento real, observado en los piezómetros.

A su vez, 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, cuatro de ellos en la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (06.01.001, 06.01.002, 06.01.003 y 06.01.102) y uno, en la Demarcación Hidrográfica del Segura (07.44.001), así como la coherencia del funcionamiento hidrológico, lugares por donde se producen los drenajes naturales y la cuantificación de éstos, así como el conocimiento que se tiene de la zona.

En la Figura 5.12 se muestra la evolución de los niveles de los piezómetros. El ajuste obtenido con la piezometría calculada en la simulación es bastante bueno en los piezómetros situados en la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, mientras que en el piezómetro de la cuenca hidrográfica del Segura no se ha podido obtener un ajuste óptimo. La imposibilidad de

calibración también puede ser debida a la falta de datos, ya que de la parte de la MASCH correspondiente a la Demarcación Hidrográfica del Segura existe un menor control al no haber explotación.

Los datos de recarga según las áreas creadas en la simulación quedan recogidos en las tablas Tabla 5.8 y Tabla 5.9, los cuales también tienen coherencia con los datos bibliográficos disponibles. En la Tabla 5.8 se presentan los valores obtenidos de recarga para cada una de las intersecciones generadas con el código RENATA con los sectores establecidos anteriormente.

Tabla 5.8. Recarga en cada una de las áreas (1999-2015)

Área	Superficie (km ²)	Sector climático	Sector del Suelo	Recarga por precipitación (hm ³ /a)	Retorno de riego (hm ³ /a)	Recarga total (hm ³ /a)
1	47	6367B-Huerca-Overa	Detrítico poco permeable	0,32	0	0,32
2	53	6367B-Huerca-Overa	Detrítico poco permeable	0,36	0,45	0,81
3	1	6371I-Lorca (La Escarihuela)	Detrítico permeable (Acuífero)	0,01	0	0,01
4	8	6367B-Huerca-Overa	Detrítico permeable (Acuífero)	0,15	0,00	0,15
5	3	6371I-Lorca (La Escarihuela)	Detrítico permeable (Acuífero)	0,02	0,03	0,05
6	62	6367B-Huerca-Overa	Detrítico permeable (Acuífero)	1,14	0,53	1,67

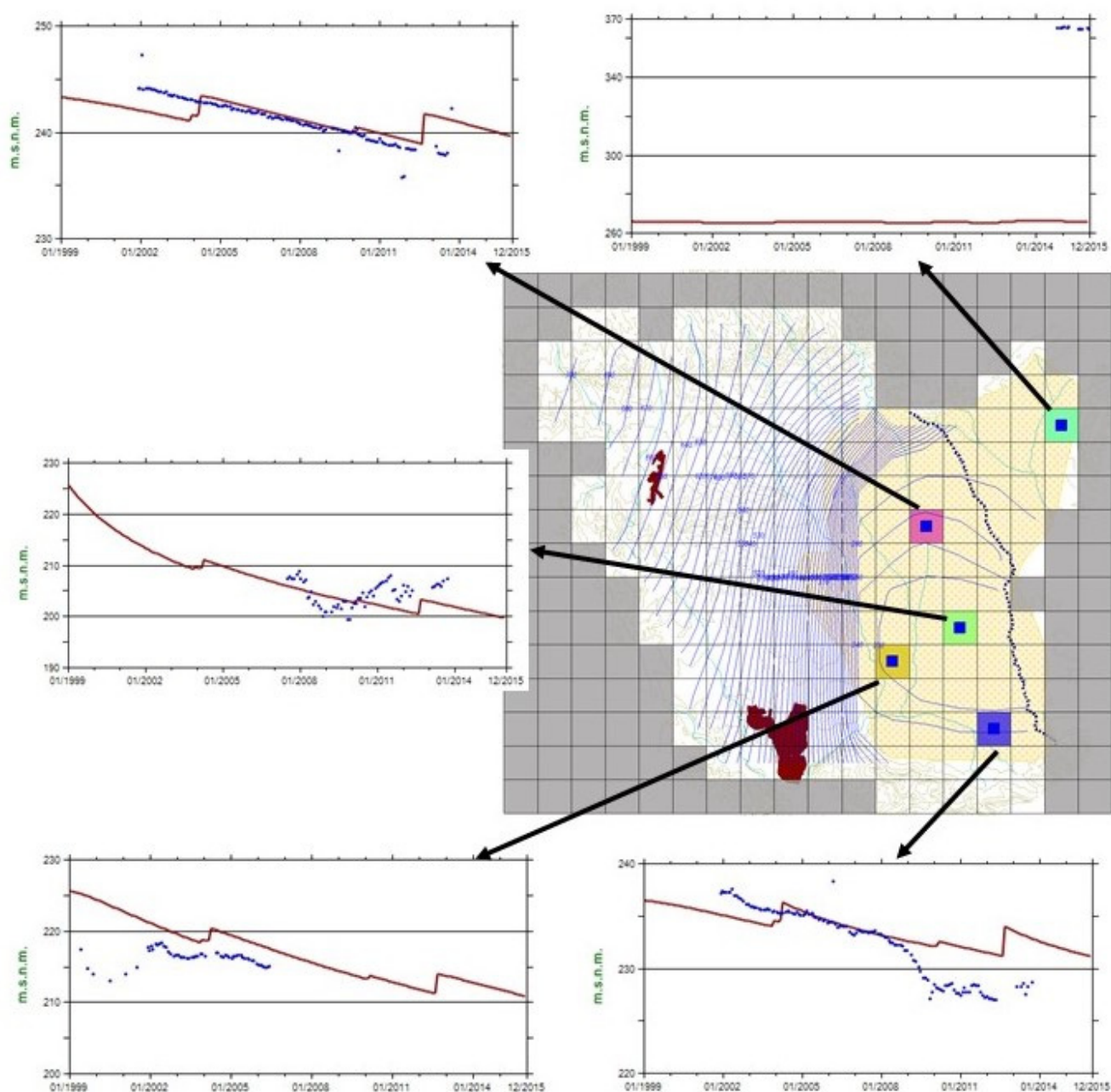


Figura 5.12. Evolución de los niveles en los piezómetros de control

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

Tabla 5.9. Precipitación media, recarga media por precipitación y tasa de recarga en los sectores de suelo que se han denominado detrítico permeable y poco permeable (1999-2015)

Área	Superficie (km ²)	Parámetros	Precipitación (P) media (hm ³ /a)	Recarga media (R) (hm ³ /a)	Tasa de recarga
Detrítico permeable (Acuífero)	74	RU _{min} =100 RU _{max} =150 P ₀ =58 NC=47	20,37	1,88	9,23%
Detrítico poco permeable	100	RU _{min} =180 RU _{max} =200 P ₀ =15 NC=77	27,72	1,13	4,08%

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

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

Demarcación Hidrográfica	Superficie (km ²)	Precipitación (hm ³ /a)	Infiltración (hm ³ /a)	Retornos riego (hm ³ /a)	Recarga total (hm ³ /a)
CMA	154	41,40	1,60	0,83	2,43
Segura	20	6,69	0,40	0,18	0,58
Total MASCH	174	48,09	2,00	1,01	3,01

En la Figura 5.13 se refleja la piezometría que aporta la simulación realizada con el código RENATA en la MASCH Saltador-Las Norias.

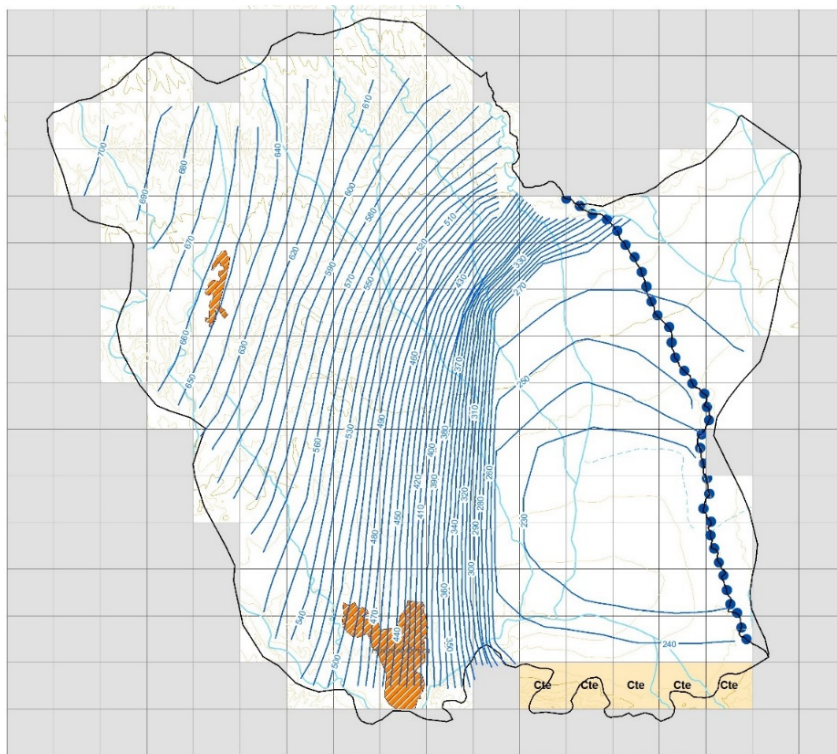


Figura 5.13. Piezometría representada en Renata para el régimen permanente

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

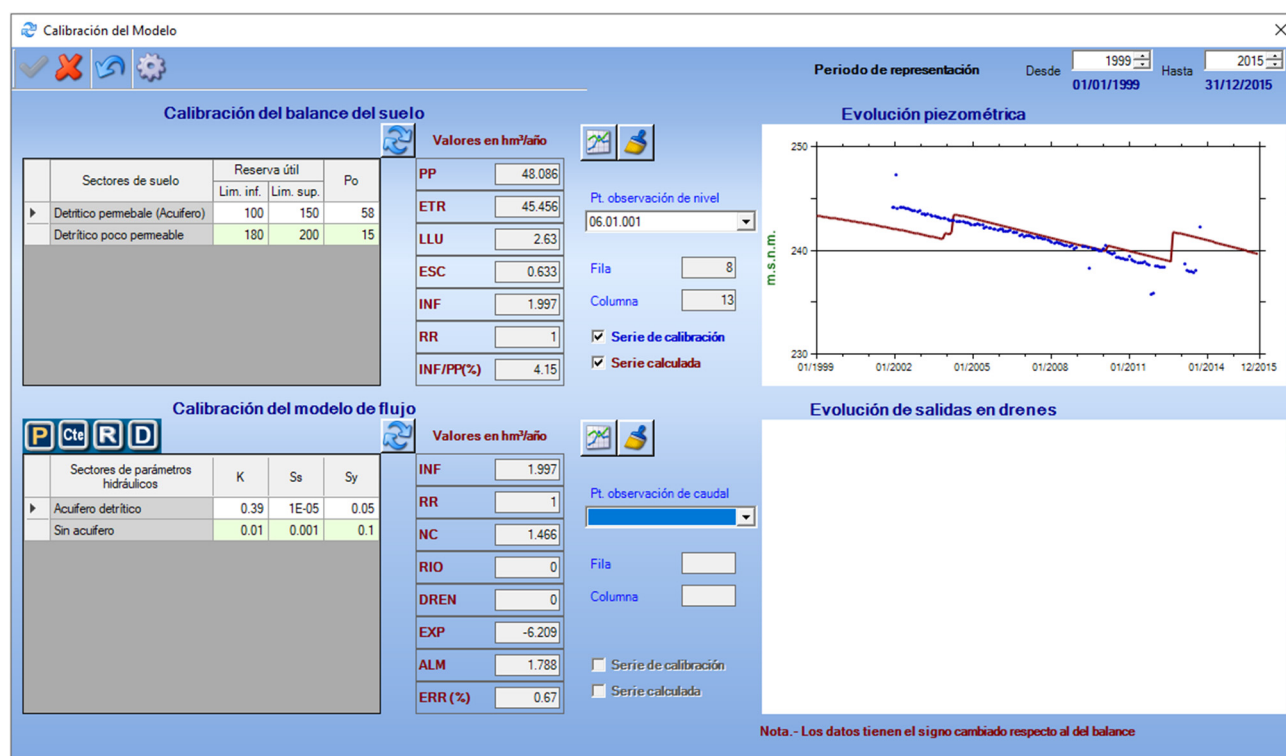


Figura 5.14. Calibración del balance del suelo y del modelo de flujo

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 Saltador-Las Norias (acuifero detrítico) mediante la utilización de los métodos APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1999/2000-2014/15)

Método	Recarga (hm ³ /a)			Tasa de recarga por precipitación
	CMA	Segura	TOTAL	
APLIS	1,20	0,10	1,30	2,70%
VISUAL BALAN	3,86	0,00	3,86	8,02%
RENATA	1,60*	0,40*	2,00*	4,14%

*No está contemplado en la recarga el retorno de riego

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

Los valores obtenidos con el código RENATA, se encuentra entre los valores de los otros dos, y por el método de estimación, sería el que mejor se ajustarían a la realidad de la MASCH (a los acuíferos que la forman y a su funcionamiento), aunque los valores obtenidos con APLIS son muy similares e igualmente aceptables. En la comparativa de éstos dos métodos no se ha tenido en cuenta la recarga por medio de los retornos de riego, ya que en APLIS no se tienen en cuenta, aunque en la zona son importantes. Es por ello, que se considera una mejor aproximación el cálculo de RENATA.

7. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN NATURAL

En régimen natural las entradas de agua al acuífero corresponden sólo a la recarga que proporciona la precipitación atmosférica, no contemplándose retornos de riego ni salidas por bombeos. Se ha supuesto que el régimen es permanente por lo que las entradas y las salidas de agua que tienen lugar en el acuífero son iguales. Dado que no hay variación del almacenamiento con el tiempo la superficie piezométrica es siempre la misma.

La descarga del acuífero, actualmente, se produce únicamente por bombeos. Sin embargo, antes de la década de los 60 y de las fuertes explotaciones se descargaba por la Rambla de El Saltador mediante una fuente, desaparecida ya en los años 70 según el informe del PIAS (1975) y de cuyo caudal no se tiene constancia.

Ya que no se tienen datos de funcionamiento en régimen natural de la Cubeta, se ha intentado reproducir las condiciones que se consideraban con anterioridad a los años 60 en el código RENATA, aunque aplicado al período de tiempo que se ha simulado para el régimen influenciado, es decir, 1999/2000-2014/2015 con los datos de precipitación y temperatura para el balance. Esta simulación aporta una infiltración de 2,00 hm³/a, de los cuales únicamente 0,16 hm³/a, se drenarían por la fuente-manantial, que, ante el desconocimiento real de su localización, se ha situado en la rambla de El Saltador en su entrada a Huércal-Overa. Además, el resto de la descarga, 1,84 hm³/a (Tabla 7.1), se drenarían lateralmente fuera de la MASCH, hacia la MASCH de Sierra de Almagro, al sur de la MASCH Saltador-Las Norias.

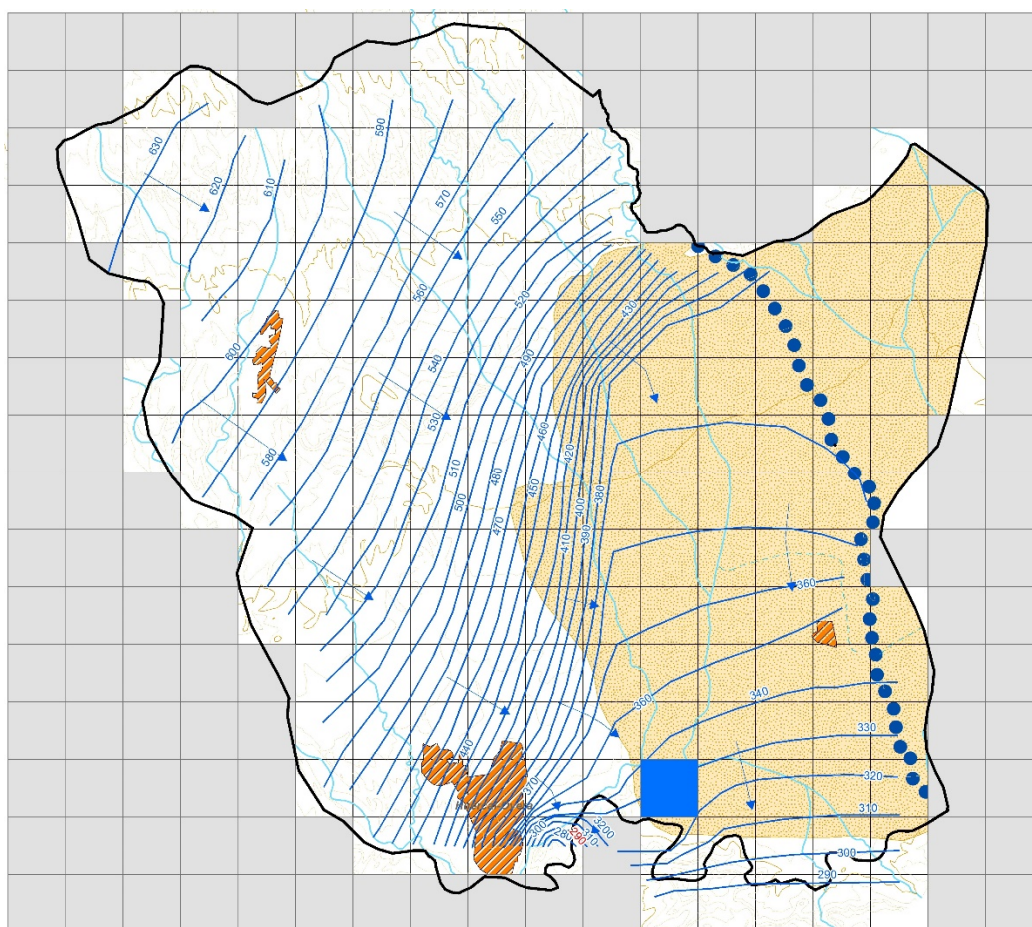


Figura 7.1. Superficie piezométrica y flujo subterráneo de la MASCH Saltador-Las Norias (acuífero detrítico) en régimen natural, generada con RENATA.

Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen natural estacionario de la MASCH de Saltador-Las Norias (acuífero detrítico) por Demarcaciones Hidrográficas

Demarcación Hidrográfica	Recarga (hm ³ /a)	%	Descarga por manantiales (hm ³ /a)	%	Descarga lateral (hm ³ /a)	%
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	1,60	79,70%	0,16	100%	1,84	100%
Segura	0,40	20,29%	0,0	0%	0,0	0%
Total MASCH	2,00	100%	0,16	100%	1,84	100%

Como se desprende de la Figura 7.1, no se aprecia divisoria subterránea que distribuya la aportación subterránea de la MASCH, únicamente divisoria de aguas superficiales entre las dos Demarcaciones Hidrográficas (Cuencas Mediterráneas Andaluzas y Segura).

En la Figura 7.2 se presenta un mapa de isopiezas del periodo 1972-1974, generado dentro del Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, en 2009, que correspondería a un estadio posterior al régimen natural, en el que ya se ha iniciado una explotación bastante fuerte y empezarían a desdibujarse las isopiezas iniciales en régimen natural, para pasar a las correspondientes al estado actual de régimen influenciado por la sobreexplotación producida.

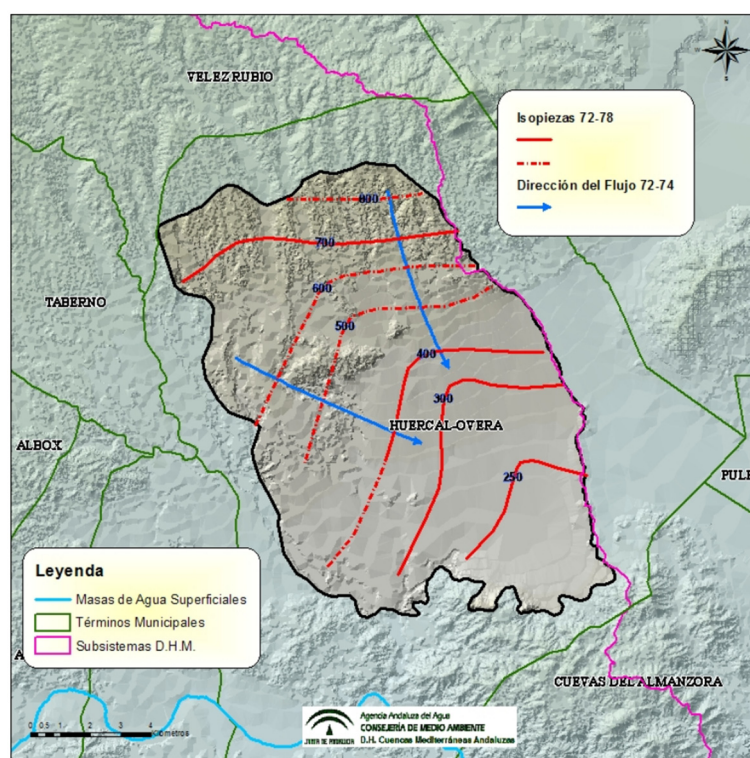


Figura 7.2. Mapa piezométrico de la MASb El Saltador (PHCMA, Apéndice 3)

8. BALANCE HÍDRICO EN RÉGIMEN INFLUENCIADO

El funcionamiento hidrogeológico de la cubeta de El Saltador, acuífero detrítico plio-cuaternario de la MASCH Saltador-Las Norias durante el periodo 1999/2000-2014/15, así como la evolución histórica de sus variables de estado, se han simulado a partir de los numerosos parámetros tenidos en cuenta, el primero, la piezometría que proporciona el régimen permanente para el estado natural (teniendo en cuenta que el punto de partida ya es influenciado), la recarga que se produce del acuífero proveniente de la infiltración y también, en un gran porcentaje, de los retornos de riego, la explotación que soporta el acuífero por la acción de los importantes bombeos que se han realizado a lo largo de los años y que se realizan actualmente en el mismo, así como la conexión existente entre las masas de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, MASb Cubeta del Saltador y Sierra de Almagro.

La recarga en régimen influenciado que proporciona el código RENATA para el acuífero detrítico de la MASCH de Saltador-Las Norias, durante el periodo 1999/2000-2014/15, es de 3,01 hm³/a. De este volumen, como se aprecia en la Tabla 8.1, en la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas se generan 2,43 hm³/a, lo que supone un 80,72 % del total generada en la MASCH, mientras que 0,58 hm³/a se producen en la Demarcación Hidrográfica del Segura, lo que suponen un 19,27 %.

Tabla 8.1. Balance hídrico en régimen influenciado de la MASCH de Saltador-Las Norias (acuífero detrítico) por Demarcaciones Hidrográficas

Demarcación Hidrográfica	Recarga (hm ³ /a)	%	Bombeos (hm ³ /a)	%
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	2,43	80,72%	6,21	100%
Segura	0,58	19,27%	0,0	0%
Total MASCH	3,01	100%	6,21	100%

En el régimen influenciado simulado no se descarga agua a través de manantiales y en cuanto a los cauces que la cruzan, se trata de ramblas estacionales que durante todo el año se encuentran secas.

Como se aprecia en la Figura 8.1 al no existir divisoria de aguas subterráneas entre las Demarcaciones implicadas en la MASCH, subterráneamente toda la MASCH pertenecería a la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.

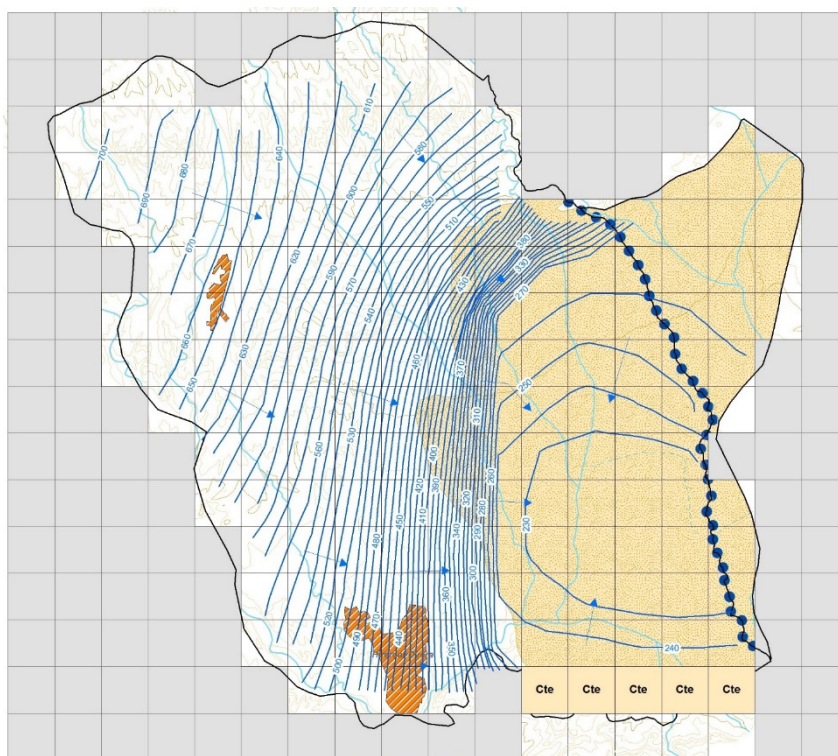


Figura 8.1. Superficie piezométrica y flujo subterráneo de la MASCH Saltador-Las Norias (acuífero detrítico) en régimen influenciado.

En función de la superficie aflorante en cada Demarcación Hidrográfica la recarga y la aportación subterránea se distribuiría según se muestra en la Tabla 8.2:

Tabla 8.2. Distribución de la recarga y de la aportación subterráneos por cuencas hidrográficas

Demarcación Hidrográfica	Área superficial	%	Área subterránea	%	Recarga (hm ³ /año)	Transferencia (hm ³ /año)	Aportación subterránea (hm ³ /año)
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	145,96	89,11%	163,79	100%	2,43	0,58	3,01
Segura	17,83	10,88%	0	0%	0,58	-0,58	0,0
Total MASCH	163,79	100%	163,79	100%	3,01	0	3,01

9. 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 Saltador-las Norias, el acuífero de interés está constituido por los materiales de las formaciones detríticas pliocenas y cuaternarias que rellenan la Cubeta de El Saltador y a él están referidos todos los cálculos y estimaciones que se realizan en el presente informe
- La precipitación media sobre la superficie permeable de la masa de agua subterránea es de 293 mm/a, mientras que la precipitación media para años secos se sitúa en los 163 mm/a y en años húmedos en 442 mm/a.
- La recarga del acuífero en régimen natural para el período 1992/1993-2014/2015 se ha estimado por tres métodos: APLIS, VISUAL BALAN y RENATA, obteniéndose valores que oscilan entre los 1,30 hm³/a obtenidos con APLIS y los 3,86 hm³/a que se obtienen con VISUAL BALAN, proporcionando el código RENATA un valor intermedio entre los dos métodos anteriores con 1,99 hm³/a.
- Se considera que los valores obtenidos con el código RENATA son los que mejor se ajustan a los resultados de la bibliografía consultada, además es el único método que ha permitido una cierta calibración con los piezómetros y transferencias con otras masas adyacentes. No obstante, dado que la distribución y régimen de los bombeos se ha realizado homogéneamente, al desconocerse la ubicación de los puntos de bombeo y su régimen real de explotación, es obligado tomar estos resultados con la reserva y cautela debidas.
- La recarga que se produce en la MASCH es de 3,01 hm³/a (2 hm³/a por precipitación y 1,01 hm³/a por retornos de riego), de los que 2,43 hm³/a (80,72%) se generan en la superficie perteneciente administrativamente a la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y 0,58 hm³/a en la del Segura (19,27%).
- Existe una transferencia de agua a favor de la MASCH El Saltador-Las Norias, por el sur de esta, desde la MASCH Sierra de Almagro, de aproximadamente 2 hm³/a.
- Toda la explotación de la MASCH El Saltador-Las Norias, estimada en 6,21 hm³/a, se realiza por bombeos en la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, al no existir explotación en la del Segura.
- La explotación duplica la recarga total, estimada en 3,01 hm³/a, por lo que se está produciendo una importante extracción de reservas del acuífero que se mantiene desde hace bastantes años, llevándolo a un estado de sobreexplotando muy acusado.

Con el objetivo de mejorar el conocimiento de la MASCH Saltador-Las Norias 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 exhaustivo de los volúmenes de agua subterránea que se extraen y su distribución en el acuífero, así como de los recursos externos al sistema que se aplican al regadío dentro de los límites del acuífero, con objeto de poder cuantificar lo más exactamente posible el balance hídrico.

-
- Ampliación de la red de control piezométrico incorporando algún punto nuevo en la zona noroeste de la cubeta a la altura de Úrcal para comprobar la respuesta de los niveles a la posible entrada de agua a través de los aluviales y cauces de las ramblas provenientes de la Sierra de las Estancias y otro al suroeste en las inmediaciones de El Saltador, en la antigua zona de descarga del acuífero.
 - Realización de un modelo matemático de flujo de mayor detalle del acuífero de la Cubeta que integre además toda la información histórica de niveles, extracciones, geometría y funcionamiento hidrogeológico con objeto de apoyar la gestión de los recursos y las medidas para la recuperación del acuífero.

REFERENCIAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente. CorineLandCover. (2018). Programa de Coordinación de información de Medioambiente.
- Booth-Rea, G., Azañón, J.M., Martínez-Martínez, J.M., Vidal, O. y García-Dueñas, V. (2003). Análisis estructural y evolución tectonometamórfica del basamento de las cuencas neógenas de Vera y Huércal-Overa, Béticas Orientales. *Revista Sociedad Geológica de España* 16 (3-4).
- CHS (2015). Caracterización de las masas de agua de la DHS. Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21.
- DPA- IGME (2012). RENATA (Recarga Natural de Acuíferos). Manual del Usuario. Convenio IGME-DPA.
- García-Meléndez, E., Ferrer-Juliá, M., Goy, J.L., Zazo, C. (2002). Reconstrucción morfoestructural mediante modelos de elevación digital en un SIG del fondo de la cuenca sedimentaria de la Cubeta del Saltador (Cordilleras Béticas Orientales). *Geogaceta*, 32.
- IGME (1974). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 974 Vélez-Rubio.
- IGME-IRYDA (1975). Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Sur (Almería). Tomos I y II. PIAS.
- IGME (1977). Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Sur (Almería). Memoria-resumen.
- IGME (1980). Mapa geológico de España (MAGNA). Hoja 996Huércal-Overa.
- IGME (1982). Estudio Hidrogeológico de la Cubeta de "El Saltador". Almería.
- IGME (1989). Las aguas subterráneas en España.
- IGME (1993) Navarro Alvargonzález, Agustín; Fernández Uría, Antonio; Doblas Domínguez, Juan Gonzalo. Las aguas subterráneas en España.
- IGME (1997). Programa de actualización del inventario hidrogeológico (P.A.I.H.). Análisis del conocimiento actual. Evaluación y programación de estudios en las cuencas intercomunitarias. DGOHCA
- IGME (2009). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 4: identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Demarcación Hidrográfica delSegura. Masa de Agua Subterránea 070.060 Las Norias.
- ITGE (1998). Atlas hidrogeológico de Andalucía.
- Junta de Andalucía. Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Ciclo de Planificación Hidrológica 2015/2021.
- 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.
- MMA (2005). Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias. Tomo IV.
- 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.
- Pulido Bosch, A. (2001). Hidrogeología del entorno almeriense.
- 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.
- Sanz de Galdeano, C. Galindo Zaldívar, J. Alfaro y Ruano, P. (2007). El relieve de la Cordillera Bética. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (15.2) 185-195. I.S.S.N.: 1132-9157.
- Vallejos Izquierdo, A., Pulido Bosch, A. y Castillo Martín, A. Consideraciones sobre la hidrogeología del Cuenca del Río Almanzora (SE peninsular) (1994). Estudios geológicos, 50: 103-117.
- Vera, J.A. (2004). Geología de España.

ANEXOS

ANEXO I
DATOS MENSUALES CLIMÁTICOS UTILIZADOS

6367B Huércal-Overa

P (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1999-00	39.3	31.7	20.6	21.1	0.0	2.6	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	180.8
2000-01	73.7	0.0	0.8	7.8	9.9	0.2	14.5	3.9	5.6	0.0	1.2	19.2	136.9
2001-02	27.4	17.2	45.6	8.8	0.6	61.0	46.5	10.6	53.7	0.0	45.2	8.5	325.1
2002-03	8.8	23.0	11.4	20.8	20.5	20.1	13.3	22.6	5.0	0.0	0.0	29.5	175.0
2003-04	105.9	72.1	78.8	0.5	10.8	105.0	121.2	17.5	3.3	2.4	113.2	0.6	631.3
2004-05	0.6	28.4	44.8	2.5	79.5	43.1	12.0	2.9	1.4	1.0	1.5	14.7	232.5
2005-06	12.8	24.2	16.0	83.2	15.1	0.7	22.5	90.9	3.1	0.0	0.0	24.8	293.3
2006-07	10.6	61.2	18.3	97.6	7.1	18.8	33.6	3.1	0.0	0.7	15.6	68.0	334.6
2007-08	38.4	15.5	5.1	2.1	20.4	1.7	7.4	54.4	12.2	5.0	1.8	55.7	219.7
2008-09	70.8	44.2	11.3	37.5	2.6	107.1	10.7	1.9	0.0	0.3	0.4	65.3	352.1
2009-10	5.9	0.0	74.8	59.9	39.2	67.6	12.9	8.0	16.1	0.0	28.8	16.0	329.3
2010-11	20.5	39.5	17.1	20.1	9.2	43.4	47.3	9.7	10.7	0.0	1.0	39.7	258.2
2011-12	5.4	43.7	12.4	15.5	5.1	27.4	5.9	1.9	4.9	0.6	1.9	318.3	443.0
2012-13	16.8	55.2	1.6	22.9	13.3	29.8	60.4	18.1	0.0	4.3	26.4	9.9	258.7
2013-14	5.0	7.2	12.9	61.7	7.7	18.3	3.5	0.4	10.9	0.1	0.0	35.4	163.1
2014-15	7.3	16.6	10.6	20.6	12.3	40.4	23.3	6.6	6.6	0.0	0.1	87.5	231.9
Media	28.1	30.0	23.9	30.2	15.8	36.7	29.2	15.8	8.3	0.9	14.8	51.6	285.3

T (°C)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1999-00	19.2	12.6	11.8	9.8	11.3	13.8	15.8	19.8	22.6	25.1	25.3	22.7	17.5
2000-01	18.0	14.1	12.5	13.4	13.4	18.0	17.7	20.1	25.7	26.7	27.7	23.9	19.3
2001-02	21.4	13.7	11.2	11.8	13.4	15.0	16.2	19.7	25.4	25.8	26.2	23.6	18.6
2002-03	20.0	16.1	14.2	12.5	10.9	14.6	15.8	18.4	24.2	27.6	28.9	22.0	18.8
2003-04	19.8	15.3	11.1	11.9	12.5	13.9	15.5	18.6	25.1	26.5	28.1	24.5	18.6
2004-05	19.3	14.7	12.5	10.4	9.8	14.0	16.5	20.5	23.8	26.9	25.4	22.0	18.0
2005-06	19.2	13.3	11.0	9.3	10.8	15.0	17.5	20.0	22.8	26.6	25.6	23.3	17.9
2006-07	20.4	15.4	11.4	11.0	13.7	13.6	14.5	18.8	22.4	24.5	25.0	21.1	17.7
2007-08	16.7	12.6	11.0	11.3	11.7	14.6	15.4	17.3	21.3	24.3	25.0	21.5	16.9
2008-09	17.7	11.2	9.1	9.7	9.7	12.1	13.7	17.7	22.9	25.4	23.8	18.9	16.0
2009-10	17.2	14.5	11.8	10.0	10.6	11.6	14.0	16.6	20.8	24.4	24.2	20.1	16.3
2010-11	15.5	11.7	10.1	10.1	11.0	11.5	15.3	19.3	22.7	25.6	26.6	22.7	16.8
2011-12	18.9	14.6	11.3	10.5	8.1	12.1	15.4	19.5	25.1	25.4	27.6	22.4	17.6
2012-13	18.5	13.8	11.7	11.6	10.6	13.7	15.0	17.5	21.1	25.2	24.9	22.8	17.2
2013-14	20.9	13.4	10.6	12.5	13.0	13.4	18.5	18.4	23.0	25.3	25.9	24.4	18.3
2014-15	20.6	15.4	11.3	10.8	10.5	14.0	15.8	20.9	23.3	28.2	27.3	22.6	18.4
Media	19.0	13.9	11.4	11.0	11.3	13.8	15.8	18.9	23.3	25.8	26.1	22.4	17.7

ETP Thornthwaite

ETP (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1999-00	71.3	30.5	25.9	18.3	23.4	41.7	56.9	97.1	123.5	152.0	144.3	104.2	889.2
2000-01	64.0	35.8	28.4	27.9	27.9	62.8	64.0	94.4	152.7	168.2	168.7	112.8	1007.7
2001-02	82.9	29.6	19.2	22.5	28.9	45.0	56.6	92.3	151.2	159.1	153.1	110.1	950.5
2002-03	73.4	43.3	32.1	26.5	20.0	43.2	54.3	80.9	138.6	177.3	179.8	96.5	966.1
2003-04	73.9	38.9	20.4	23.8	25.4	39.6	51.9	82.0	148.3	165.3	172.0	119.9	961.2
2004-05	69.8	35.6	25.5	21.1	18.8	45.0	61.3	102.2	135.5	170.4	144.9	99.1	929.2
2005-06	70.1	31.9	21.9	15.5	20.2	47.5	65.9	96.9	124.1	168.6	147.1	108.3	918.1
2006-07	78.0	40.1	22.4	24.9	36.0	42.8	52.3	90.2	122.6	145.8	142.2	92.8	890.3
2007-08	57.7	30.7	24.0	26.6	27.6	49.7	58.2	78.9	113.9	144.7	142.4	97.0	851.4
2008-09	65.6	26.0	17.6	21.8	21.6	37.2	48.5	83.8	129.3	155.3	130.7	78.9	816.3
2009-10	62.2	40.9	29.1	24.2	26.8	37.0	53.1	77.9	111.9	146.5	135.6	88.7	833.9
2010-11	54.3	30.4	24.5	20.2	23.2	31.1	54.3	92.4	125.5	157.7	158.2	104.5	876.3
2011-12	70.0	37.9	23.3	20.8	14.2	32.3	54.5	94.4	149.2	154.3	166.6	101.7	919.2
2012-13	67.8	34.6	25.3	26.1	22.7	43.7	53.4	78.5	109.4	152.5	140.6	105.9	860.5
2013-14	85.1	35.7	21.3	27.2	28.8	36.9	73.2	80.7	126.3	153.1	150.3	118.6	937.1
2014-15	79.0	39.3	21.4	20.2	19.4	42.9	54.2	104.2	128.3	184.7	164.0	102.6	960.2
Media	70.3	35.1	23.9	23.0	24.1	42.4	57.0	89.2	130.6	159.7	152.5	102.6	910.4

6371I Lorca (La Escarihuela)

P (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1999-00	34.4	27.7	18.0	18.5	0.0	2.3	28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	29.1	158.2
2000-01	64.5	0.0	0.7	7.0	8.6	0.0	12.7	3.4	4.9	0.0	1.1	16.8	119.7
2001-02	24.0	15.1	39.9	7.7	0.5	53.4	40.7	9.3	47.0	0.0	39.5	7.4	284.4
2002-03	7.7	20.1	10.0	18.2	17.9	17.6	11.6	19.8	4.4	0.0	0.0	25.8	153.0
2003-04	81.2	61.0	69.0	0.4	12.6	36.0	90.0	10.4	5.8	1.4	0.0	0.5	368.3
2004-05	0.5	30.4	27.1	2.6	52.2	34.6	13.7	1.0	0.0	0.0	0.5	27.4	190.0
2005-06	22.7	19.9	18.4	83.5	21.4	0.8	39.0	69.0	2.5	1.3	0.0	13.9	292.4
2006-07	8.0	74.4	14.0	89.0	11.7	63.6	29.5	3.2	0.0	0.6	18.8	27.2	340.0
2007-08	60.9	19.6	0.3	1.1	22.3	1.3	3.8	49.0	4.9	14.7	1.6	37.8	217.3
2008-09	55.5	49.4	7.7	19.0	3.4	123.2	31.3	4.3	1.4	0.0	0.0	82.6	377.8
2009-10	3.3	0.0	80.1	66.3	42.9	59.2	11.3	7.0	14.1	0.0	25.2	14.0	323.4
2010-11	15.5	58.5	24.3	26.9	8.1	88.8	22.4	19.3	23.0	0.0	0.0	21.5	308.3
2011-12	5.5	30.4	19.0	9.8	8.5	34.0	10.0	0.0	4.5	0.0	22.0	141.0	284.7
2012-13	21.7	56.9	0.0	6.5	5.0	32.8	110.0	14.0	0.0	0.0	33.7	7.0	287.6
2013-14	0.0	0.0	13.0	10.0	1.0	1.0	2.0	0.6	18.1	0.0	1.0	15.0	61.7
2014-15	10.0	23.8	10.8	12.2	22.0	35.7	27.2	0.0	7.5	0.0	1.1	42.2	192.5
Media	26.0	30.4	22.0	23.7	14.9	36.5	30.2	13.1	8.6	1.1	9.0	31.8	247.4

T (°C)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1999-00	19.0	11.7	10.8	8.5	10.4	13.0	15.2	19.7	22.8	25.6	25.8	22.9	17.1
2000-01	17.8	13.3	11.6	11.9	12.0	17.0	16.5	19.8	25.6	26.7	27.7	23.8	18.6
2001-02	21.2	13.1	10.5	11.2	12.9	14.5	15.8	19.4	25.3	25.8	26.3	23.7	18.3
2002-03	19.8	15.6	13.7	11.7	10.3	14.0	14.5	18.1	24.6	26.0	26.6	22.1	18.1
2003-04	17.7	13.3	10.0	10.7	10.3	11.6	13.8	17.0	23.7	24.6	26.3	23.3	16.9
2004-05	19.0	12.0	10.3	8.0	7.3	11.6	14.3	18.7	21.9	25.1	23.4	20.3	16.0
2005-06	17.0	11.5	8.3	7.2	8.5	12.8	15.6	18.7	21.0	25.5	24.1	22.6	16.1
2006-07	19.5	14.4	10.5	9.5	12.1	11.9	13.2	18.6	22.5	24.9	25.4	21.8	17.0
2007-08	16.8	12.2	10.5	10.2	10.9	14.2	16.0	18.1	22.6	25.7	26.4	22.3	17.2
2008-09	18.6	11.8	8.9	9.7	10.1	12.2	12.7	18.9	23.5	26.1	25.2	21.2	16.6
2009-10	19.5	14.8	10.7	8.6	10.4	11.2	14.5	16.7	21.3	25.5	25.3	21.5	16.7
2010-11	16.7	11.7	9.2	9.2	10.9	11.5	16.3	19.2	22.1	25.5	26.6	22.8	16.8
2011-12	18.7	14.0	10.9	10.1	7.4	12.4	15.9	20.3	26.1	26.0	28.4	22.6	17.7
2012-13	18.7	13.4	11.4	11.1	9.7	13.5	14.4	17.5	22.0	26.3	26.1	23.3	17.3
2013-14	20.9	12.5	8.8	10.8	11.7	12.7	18.5	18.8	23.9	26.5	27.6	25.6	18.2
2014-15	21.3	15.3	10.6	10.2	10.6	14.2	16.4	22.1	25.0	30.7	29.5	23.8	19.1
Media	18.9	13.1	10.4	9.9	10.3	13.0	15.2	18.8	23.4	26.0	26.3	22.7	17.3

ETP Thornthwaite

ETP (mm)	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Año
1999-00	70.7	27.5	22.6	14.8	20.5	38.3	54.2	97.1	126.2	157.6	149.6	106.5	885.6
2000-01	63.5	33.1	25.3	23.6	23.6	57.1	57.2	93.7	152.6	168.0	168.9	112.3	979.0
2001-02	82.3	28.7	18.3	20.9	27.3	43.2	54.7	90.7	150.7	158.7	154.7	110.9	941.1
2002-03	72.8	41.6	30.5	26.3	20.3	43.5	49.3	82.8	144.4	161.2	158.0	100.1	930.6
2003-04	63.1	32.6	19.0	23.6	21.3	33.6	46.9	75.5	135.8	147.0	154.7	111.1	864.1
2004-05	72.5	28.2	21.3	17.6	14.8	38.5	54.9	93.3	121.3	153.9	129.0	90.5	835.8
2005-06	62.8	29.5	17.4	12.3	15.7	40.4	58.2	90.1	111.8	157.1	133.3	105.2	833.8
2006-07	75.6	39.3	22.6	20.0	29.6	34.9	45.3	90.0	125.2	151.0	146.7	99.3	879.7
2007-08	59.1	30.0	22.8	20.9	23.0	45.4	59.6	83.5	125.2	158.7	155.4	102.2	885.8
2008-09	68.9	26.6	16.0	20.3	21.4	34.6	40.2	90.7	133.6	163.5	143.2	94.2	853.4
2009-10	74.8	40.6	22.9	18.2	25.4	33.7	54.5	77.1	114.5	157.0	146.0	97.5	862.4
2010-11	60.4	29.8	20.5	17.8	23.1	31.3	61.0	91.9	120.0	156.2	157.8	105.7	875.5
2011-12	69.1	36.0	22.3	18.7	11.8	33.0	56.5	101.1	159.2	160.9	174.3	102.7	945.4
2012-13	68.4	31.7	23.4	23.8	19.4	42.9	49.8	78.2	118.7	164.7	153.0	110.0	884.1
2013-14	85.2	32.4	15.0	19.6	22.5	32.6	72.2	83.3	135.1	166.2	168.0	129.6	961.8
2014-15	84.1	38.0	18.3	16.2	18.0	40.2	54.5	113.3	145.5	206.5	184.2	110.9	1029.7
Media	70.8	32.9	21.1	19.7	21.1	39.0	54.3	89.5	132.5	161.8	154.8	105.6	903.0