

**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 CARACTORIZACIÓN DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA
COMPARTIDAS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS**

Guadalete y Barbate-Cuencas Mediterráneas Andaluzas

Informe nº 7 (SIERRA DE LÍBAR)

7. Sierra de Líbar

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

	Pág.
PRESENTACIÓN
1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO	1
2. ANTECEDENTES	3
3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	5
3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO. FORMACIONES HIDROGEOLÓGICAS	5
3.2. GEOMETRÍA, ESTRUCTURA Y LÍMITES	5
3.3. FORMAS DE INFILTRACIÓN PREFERENCIAL	9
3.4. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL. RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO.....	10
3.5. HIDROMETRÍA Y PIEZOMETRÍA	11
3.6. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	16
3.7. USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA	20
4. CLIMATOLOGÍA	22
4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA	22
4.2. ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL	22
5. RECARGA DE ACUÍFEROS	27
5.1. RECARGA ALÓCTONA.....	27
5.2. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL MÉTODO APLIS	30
5.3. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE VISUAL BALAN.....	34
5.3.1. Objetivos y metodología	34
5.3.2. Identificación de la aportación lenta.....	34
5.3.3. Aplicación del código VISUAL BALAN.....	42
5.3. Estimación de la recarga mediante el código RENATA	¡Error! Marcador no definido.
5.3.1. Generación de la malla y establecimiento del periodo de cálculo.....	¡Error!
Marcador no definido.....	51
5.3.2. Módulo de Balance hídrico.....	51
5.3.3. Módulo de calibración. Modelo de flujo.....	55
5.4. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE EL CÓDIGO RENATA	49
5.4.1. Metodología de cálculo y entrada de datos	51
5.4.2. Calibración	57
6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	60
7. BALANCE HÍDRICO	61
8. DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS	64
9. RESUMEN Y CONCLUSIONES	56
REFERENCIAS	69
ANEXOS	
Datos climáticos mensuales utilizados	

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 3.1. Mapa hidrogeológico de la MASCH Sierra de Líbar (simplificado).....	7
Figura 3.2. Cortes hidrogeológicos de la MASCH Sierra de Libar y sectores adyacentes	8
Figura 3.3. Esquema conceptual del manantial del Charco del Moro	13
Figura 3.4. Hidrograma del manantial de la Cueva del Gato y precipitación durante el periodo 1999–2014	14
Figura 3.5. Hidrograma del manantial de Benaoján y precipitación en el periodo 1999–2014.....	14
Figura 3.6. Hidrograma del manantial del Charco del Moro y precipitación durante el año hidrológico 2016/17.....	15
Figura 3.7. Evolución temporal del nivel en el piezómetro P.06.44.001-B de Benaoján	16
Figura 3.8. Esquema hidrogeológico de la MASCH Sierra de Libar y áreas adyacentes.....	17
Figura 4.1. Distribución temporal de la precipitación media anual durante el periodo 1985/86–2014/15. En azul, años de tipo húmedo; en blanco, años de tipo medio; y en amarillo, años de tipo seco	24
Figura 4.1. Figura 4.1. Estaciones climáticas utilizadas para la determinación de la recarga a la MASCH Sierra de Crevillente.....	16
Figura 4.2. Mapas de isoyetas correspondiente al año medio del periodo 1985/86–2014/15, año seco (2004/05) y año húmedo (2009/10)	25
Figura 4.3. Gradiente pluviométrico en función de la altitud correspondiente al periodo 1985/86–2014/15	26
Figura 5.1. Isolíneas de igual escorrentía utilizado para el cálculo de la recarga alóctona mediante planimetría de los valores	28
Figura 5.2. Distribución de la tasa de recarga obtenida mediante la aplicación del método APLIS modificado en la MASCH Sierra de Libar y zonas adyacentes	32
Figura 5.3. Mapas de recarga específica obtenidos mediante el método APLIS modificado: A) para el año hidrológico más húmedo -2009/10, B) más seco -2004/05- y C) el año hidrológico medio del periodo 1985/86–2014/15	33
Figura 5.4. Hidrogramas de los manantiales de la Cueva del Gato y Benaoján	35
Figura 5.5. Diagrama de cajas de los caudales registrados en los manantiales con recarga mixta analizados	36
Figura 5.6. Curva de caudales clasificados de los manantiales de Benaoján y Cueva del Gato	36
Figura 5.7. Diagrama de cajas de los índices de recessión	37
Figura 5.8. Curvas maestras de recessión	38
Figura 5.9. Aportación total y lenta en la Cueva del Gato	39
Figura 5.10. Detalle de la aportación total y lenta en la Cueva del Gato	39
Figura 5.11. Aportación lenta anual en la Cueva del Gato	40
Figura 5.12. Aportación lenta anual en el manantial de Benaoján	41
Figura 5.13. Aportación lenta anual	41
Figura 5.14. Análisis de sensibilidad de la reserva útil frente a la recarga	43
Figura 5.15. Análisis de sensibilidad de los coeficientes de infiltración frente a la recarga	44
Figura 5.16. Valores de aportación lenta (recesión) y simulados con VISUAL BALAN.....	45
Figura 5.17. Series piezométricas disponibles	46
Figura 5.18. Ajuste a los niveles observados en P-06.44.001B	

Pág.

Figura 5.19. Representación anual de los componentes del balance	48
Figura 5.20. Diagrama de flujo del código RENATA.....	49
Figura 5.21. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa	50
Figura 5.22. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA	52
Figura 5.23. A) Sectores climáticos calculados por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA. B) Sectores del suelo sobre formaciones permeables	53
Figura 5.24. A) Distribución de la recarga (6 áreas diferentes) con dos ejemplos. B) Localización de las celdas de inyección de recarga alóctona.....	55
Figura 5.25. Condiciones en los límites del modelo de flujo	56
Figura 5.26. Parámetros hidráulicos tras el proceso de calibración y localización del piezómetro utilizado en el mismo.....	57
Figura 5.27. Evolución piezométrica e hidrométrica medida y simulada	58
Figura 7.1. Distribución de isopiezas y direcciones preferentes del flujo subterráneo en régimen permanente obtenido con RENATA en la MASCH Sierra de Líbar	63

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 2.1. Cambios en la denominación administrativa de las MASb incluidas en el presente informe	2
Tabla 3.1. Características de los principales manantiales de la sierra de Líbar	12
Tabla 3.2. A) Caudales transferidos desde la cuenca del río Guadiaro a la cuenca del Guadalete mediante el trasvase que las une. B) Valores anuales de caudal medidos en la estación La Fresneda, situada aguas abajo del inicio del túnel de trasvase.	21
Tabla 4.1. Datos de las estaciones meteorológicas consideradas en la caracterización climática de la sierra de Líbar	22
Tabla 4.2. Precipitación anual (mm) durante el periodo 1985/86 – 2014/15 en la sierra de Líbar y áreas próximas	23
Tabla 5.1. Valores de recarga alóctona estimada mediante la planimetría de índices de escorrentía obtenidos por el método de Témez (1978) para cada una de las cuencas endorreicas consideradas en el balance hidrogeológico	29
Tabla 5.2. Valores de recarga alóctona máxima estimada mediante la planimetría de índices de escorrentía obtenidos por el método de Témez (1978) en la cuenca del arroyo de La Pulga, en diferentes condiciones hidrometeorológicas.....	30
Tabla 5.3. Método APLIS. Parámetros y valores tabulados	31
Tabla 5.4. Principales estadísticos de las series de caudales de las surgencias Benaoján y Cueva del Gato	35
Tabla 5.5. Características de las recessiones analizadas	37
Tabla 5.6. Separación de la aportación anual lenta y rápida en la Cueva del Gato	40
Tabla 5.7. Separación de la aportación anual lenta y rápida en el manantial de Benaoján	40
Tabla 5.8. Aportación anual lenta en los manantiales Benaoján y Cueva del Gato	41
Tabla 5.9. Parámetros de ajuste empleados en VISUAL BALAN.....	42
Tabla 5.10. Parámetros del balance hidrometeorológico	47
Tabla 5.11. Valores de recarga autóctona estimada con VISUAL BALAN.....	47
Figura 5.12. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA	52
Tabla 5.13. Sectores de suelo: parámetros utilizados	53
Tabla 5.14. Áreas establecidas con diferente recarga.....	54
Tabla 5.15. Volúmenes de recarga alóctona que se han tenido en cuenta con el modelo RENATA para la modelización de la sierra de Líbar.....	54
Tabla 5.16. Precipitación media, recarga media por precipitación en los sectores de suelo carbonático	59
Tabla 5.17. Recarga de la MASCH Sierra de Líbar calculada con RENATA por demarcaciones hidrográficas	59
Tabla 6.1. Valor de la recarga de la MASCH Sierra de Líbar según APLIS, VISUAL BALAN y RENATA	60
Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen no influenciado de la MASCH de Sierra de Líbar	62
Tabla 8.1. Comparativa de la distribución de los recursos hídricos subterráneos renovables en régimen natural en la MASCH de Sierra de Líbar según las divisorias hidrográfica e hidrogeológica correspondientes a las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y Guadalete-Barbate. Variaciones absolutas y porcentuales	65

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 Sierra de Líbar, integrada por las MASb homónimas conectadas hidrogeológicamente 060.044 en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y 062.002 en la de Guadalete y Barbate. Los resultados obtenidos servirán como referencia técnica en la tarea de actualización de los contenidos que a este respecto debe incluir el Plan Hidrológico Nacional a partir de las propuestas de los planes hidrológicos de cuenca.

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ENCUADRE ADMINISTRATIVO

La Sierra de Libar está situada en el borde occidental de la provincia de Málaga, en el límite con la de Cádiz, en la Comarca de la Serranía de Ronda. Este relieve presenta una orientación NE-SO y se extiende desde las localidades de Montejaque, en el extremo nororiental, hasta Cortes de la Frontera, en el borde suroccidental (Figura 3.1). Otros municipios que se encuentran en el entorno son Benaoján y Jimena de Libar, ambos pertenecientes a la provincia de Málaga, y Villaluenga del Rosario, en Cádiz. La Sierra de Libar está formada en su conjunto por otros relieves de menor entidad, como son Sierra Blanquilla (al S), sierra del Palo (al E), las sierras de Benaoján y Montalate (al N), y sierra de Libar y Mojón Alto (al O). Las altitudes máximas se localizan en la cumbre de la sierra del Palo, a 1.400 m s.n.m. y el cerro de Martín Gil a 1.395 m s.n.m.

Las sierras de Libar y de Grazalema fueron declaradas Reserva de la Biosfera por la UNESCO en 1977 y Parque Natural por la Junta de Andalucía 8 años más tarde. Este macizo carbonatado constituye una de las unidades paisajísticas más emblemáticas de la región, con un modelado kárstico muy bien desarrollado, donde se pueden encontrar campos de lapiaz y de dolinas, poljes, sumideros, simas y manantiales caudalosos.

Desde el punto de vista administrativo, la sierra de Libar está dividida en dos MASb. La masa 062.002, denominada “Sierra de Libar”, pertenece a la Demarcación Hidrográfica del Guadalete y Barbate (DHGB) y su superficie, de 48,9 km², se distribuye por las provincias de Málaga y Cádiz. La segunda masa de agua, también denominada “Sierra de Libar” (060.044), está adscrita a la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (DHCMA). Su superficie es 60,6 km² se encuentra íntegramente en la provincia de Málaga (Figura 1.1). La descripción de las características hidrogeológicas y el análisis del funcionamiento de ambas MASb se efectúan de manera conjunta en el presente informe. Del mismo modo, los recursos hídricos son evaluados en su totalidad para la sierra de Libar, aunque se encuentren compartidos en dos ámbitos de planificación hidrológica. En el informe se hace referencia a las vecinas sierras de Ubrique, Caíllo y Endrinal, relieves destacados de la parte meridional de la sierra de Grazalema, pues históricamente se ha sugerido la existencia de conexión geológica e hidrogeológica entre estos macizos carbonáticos (al O) y la sierra de Libar (al E y SE), aunque administrativamente no están incluidas en las MASb las sierras de Libar, sino que forman parte de la MASb 062.004 Grazalema-Prado del Rey en la DHGB.

La sierra de Libar constituye la divisoria hidrográfica natural entre las demarcaciones hidrográficas de las cuencas Guadalete y Barbate, en la vertiente occidental (Cuenca Atlántica), y las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, en su vertiente oriental. Hacia el mar Mediterráneo discurre el principal cauce existente en la región, el río Guadiaro, cuyo caudal se alimenta en buena medida del agua drenada por los manantiales de la sierra de Libar, entre otros. No obstante, es importante destacar que parte de los recursos hídricos que circulan por el río Guadiaro son transferidos hacia la DHGB mediante el túnel de trasvase “Guadiaro-Majaceite” (Figura 1.1).

Aguas abajo de la toma de agua que alimenta al trasvase, en el cauce del río Guadiaro, en la zona conocida como garganta de las Buitreras o Angosturas del Guadiaro se encuentra el manantial del Charco del Moro (Figura 1.1). La surgencia está ubicada en un pequeño afloramiento de calizas jurásicas, alejado 5 km de las estribaciones más meridionales de la sierra de Libar, pero conectado hidrogeológicamente con ella. Este punto de descarga debería de estar incluido dentro de los límites administrativos de las dos MASb., como se expondrá a lo largo del presente informe.

2. ANTECEDENTES

El primer estudio hidrogeológico conocido acerca del área de estudio fue efectuado por el IGME (1983). En él se definió el sistema acuífero nº 36, denominado “Mesozoico calizo-dolomítico de Ronda” (Tabla 2.1, columna A), donde se incluyó la zona objeto del presente informe. Un año más tarde, este mismo organismo, con la colaboración de INGEMISA, elaboró el informe “Estudios de investigación hidrogeológica para la regulación de los recursos hídricos subterráneos de la divisoria Guadalete-Guadiaro” en el que se estimaron los recursos hídricos subterráneos disponibles en las sierras de Grazalema y Libar, con objeto de que pudieran formar parte del sistema de regulación de los embalses previstos de Guadalcacín II y Guadiaro. Para la realización del estudio se midieron caudales de descarga, se instalaron escalas limnimétricas y se recogieron muestras de agua para su análisis químicos. También se elaboró un vasto inventario, con más de 100 puntos de agua y un balance hidrológico (IGME, 1984). Los recursos hídricos medios estimados para la sierra de Libar fueron 79 hm³/año.

Tabla 2.1. Cambios en la denominación administrativa de las MASb incluidas en el presente informe

Demarcación Hidrográfica	A	B	C	D	E
	IGME (1983) Sistema Acuífero	Diputación de Málaga (1988) Unidad hidrogeológica	CHS-IGME-GHUMA (2004) Unidad hidrogeológica redefinida	Jiménez (2007) Masa de Agua Subterránea (MASb)	Planes hidrológicos del 2º ciclo Masa de Agua Subterránea (MASb)
Guadalete-Barbate	Montejaque-Cortes [05.67]	Sierra de Libar [05.67]	Sierra de Libar [050.068]	Sierra de Libar [ES063MSBT0006220020]	Masa de Agua Subterránea con Compartida o con Continuidad Hidrogeológica (MASCH)
Cuenca Mediterráneas Andaluzas	Mesozoico calizo-dolomítico de Ronda [36]	Montejaque-Cortes [06.44]	Sierra de Libar [06.44]	Sierra de Libar [060.044]	

En la misma época, Benavente y Mangin (1984) estudiaron el comportamiento hidrodinámico del sector nororiental de la sierra de Libar mediante análisis correlatorio y espectral de las series diarias de precipitación y de caudal medidas en el manantial de la Cueva del Gato. El estudio demostró que se trata de un sistema kárstico con conductos bien desarrollados en ese sector que permite un tránsito rápido del agua de infiltración.

Batlle *et al.* (1986) describieron las características geométricas y el funcionamiento hidrogeológico general del acuífero de la sierra de Libar. Estimaron unas salidas subterráneas de 86 hm³ para el año hidrológico 1983/84, lo que representaba una tasa de recarga del 41,5% de la precipitación. De la extrapolación de estos resultados a un periodo histórico de 20 años (1964/65 – 1983/84) resultarían unos recursos medios de 79 hm³/año. No obstante, estos autores también hicieron estimaciones de la tasa de recarga por otros métodos (Thornthwaite, 1948 y Kessler, 1967), de los que obtuvieron valores de 55 – 59 % y unos recursos medios de 105 – 112 hm³/año.

A partir del informe del IGME (1983), la Diputación Provincial de Málaga (DPM, 1988) elaboró el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga, uno de cuyos apartados está dedicado al acuífero de la sierra de Libar, denominado entonces “Unidad Hidrogeológica Montejaque-Cortes” (Tabla 2.1, columna B), que incluía, junto con la sierra de las Nieves, la sierra de Cañete, los relieves de la Serranía Oriental de Ronda, los materiales de la Depresión de Ronda, y otros afloramientos carbonatados de menor entidad, bajo la denominación conjunta de las “Unidades Hidrogeológicas de los acuíferos de la región de Ronda”. Años más tarde, la antigua Confederación Hidrogeográfica del Sur, con la colaboración del IGME y del Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga

(GHUMA), efectuó una redefinición de las unidades hidrogeológicas de la Cuenca Sur (IGME-CHS-GHUMA, 2004) en la que se modificaron las poligonales de aquéllas (Tabla 2.1, columna C).

La proximidad geográfica de las sierras de Libar y de Grazalema y la posible relación hidrogeológica entre ambas llevaron a la redacción de varios documentos donde se caracterizaron de manera conjunta los principales aspectos hidrogeológicos y se propusieron las bases para su explotación (DGOHCA, 1998; CHG-IGME, 2001). En el estudio elaborado por la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente (DGOHCA, 1998) se incluyó un inventario de puntos de agua, medidas de niveles piezométricos, estimación de flujos subterráneos, balance hidrogeológico y evaluación de la calidad química de las aguas. Se propuso un modelo de aprovechamiento de los recursos hídricos medios, estimados en 82,7 hm³/año en dicho estudio (tasa de recarga del 53% de la precipitación). Este valor se repartía de la siguiente manera: 32,1 hm³/año recarga directa + 33,5 hm³/año recarga alóctona + 16,6 hm³/año transferencias desde la sierra de Grazalema ± 0,5 hm³/año de cierre de balance. Para el año hidrológico 1995/96, considerado muy húmedo desde el punto de vista pluviométrico, las salidas evaluadas ascendieron a 249,1 hm³ (93,4 hm³/año recarga directa + 125,2 hm³/año recarga alóctona + 32,5 hm³/año transferencias desde la sierra de Grazalema ± 2,0 hm³/año de cierre de balance). Otras evaluaciones conjuntas de los recursos de agua de los acuíferos de las sierras de Grazalema y Libar, mediante la utilización de técnicas poco convencionales, cuantificaban en 157 hm³ los recursos medios anuales disponibles (Carral-Pérez y Ordóñez-Pérez, 1997).

Jiménez *et al.* (2002 y 2004) presentaron una propuesta de clasificación de algunos acuíferos carbonáticos del sur de España a partir del análisis de las respuestas hidrodinámicas naturales de sus manantiales, entre ellos el de la Cueva del Gato. El tratamiento de los hidrogramas de las surgencias permitió clasificar al sector drenado por dicho manantial como de tipo kárstico con un poder regulador muy bajo, aunque los agotamientos se producen de forma lenta (Jiménez *et al.*, 2002; 2004).

Además de estudios sobre caracterización hidrogeológica, se han llevado a cabo cartografías de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, mediante la aplicación de diferentes técnicas, que permitieron catalogar este macizo como muy vulnerable, especialmente en las inmediaciones de los sumideros kársticos (Longo *et al.*, 2001; Brechenmacher, 2002; Vías *et al.*, 2002; 2004; Andreo *et al.*, 2004). Los mapas de vulnerabilidad a la contaminación realizados fueron validados mediante un ensayo múltiple con trazadores artificiales (Andreo *et al.*, 2004), cuyos resultados también sirvieron para proponer una metodología integral de protección del agua subterránea en acuíferos kársticos, que comprende cartografía de vulnerabilidad intrínseca y específica, validación de mapas de vulnerabilidad, cartografía de amenazas y riesgos (Andreo *et al.*, 2006). Por otro lado, el ensayo permitió corroborar el comportamiento de tipo kárstico del acuífero de la sierra de Libar, en el cual se llegaron a registrar velocidades de flujo superiores a 100 m/h. Además, se pudieron precisar las áreas de recarga de los manantiales de Cueva del Gato, Benaoján, Las Artezuelas y Charco del Moro.

El IGME y la Diputación Provincial de Cádiz publicaron una versión actualizada del Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Cádiz, que incluyó un capítulo centrado en la parte de la sierra de Libar perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Guadalete y Barbate (Martos-Rosillo, 2005). Dos años después, el IGME y la Diputación Provincial de Málaga, con la colaboración de la Universidad de Málaga, publicaron una versión actualizada del Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga, en la que se dedicó un capítulo completo a la sierra de Libar (Jiménez, 2007), incluyendo las MASb referenciadas como 050.068 y 060.044, en cumplimiento de la terminología emanada de la Directiva Marco Europea del Agua (Tabla 1, columna D). El balance hídrico conjunto de ambas

masas de agua subterránea, presentado en este último documento, cifraba los recursos hídricos medios en 100 hm³/año (60 hm³/año por infiltración directa de agua de lluvia que cae sobre los afloramientos carbonatados y 40 hm³/año a través de los sumideros kársticos).

Jiménez (2010), en su tesis doctoral, efectuó la caracterización del funcionamiento hidrogeológico de la sierra de Libar a partir del análisis de las respuestas naturales de los dos principales manantiales (Benaoján y Cueva del Gato) y comparó los resultados obtenidos en este macizo con los alcanzados en otros acuíferos carbonáticos del sur de España, en el mismo marco temporal. Dedujo que la karstificación funcional en el sector del acuífero drenado por el manantial de Benaoján estaba algo menos desarrollada.

Recientemente, Martín-Rodríguez *et al.* (2020) han presentado trabajos de caracterización hidrogeológica del manantial del Charco del Moro, a partir del análisis de sus respuestas naturales registradas durante el año hidrológico 2016/17. Dedujeron una karstificación funcional bien desarrollada para el sector de acuífero drenado por esta surgencia, típica de los sistemas de flujo por conductos, con drenaje rápido y una baja capacidad para atenuar la señal de entrada.

Desde el punto de vista geomorfológico, han sido varios los trabajos realizados (Delannoy y Díaz del Olmo, 1986; Delannoy, 1987; 1998; Pedroche y Mendoza, 2000; García *et al.*, 2000). En todos ellos se describen y caracterizan los rasgos geomorfológicos más relevantes de la sierra y se realiza un inventario de cavidades kársticas existentes (Rodríguez-Vidal *et al.*, 1999).

3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

3.1. Contexto geológico. Formaciones hidrogeológicas

La sierra de Libar se encuentra situada en la Zona Externa de la Cordillera Bética y los materiales que en ella afloran pertenecen al dominio Subbético Interno Occidental, también denominado Penibético. La serie estratigráfica de este dominio está formada, de muro a techo, por tres conjuntos litológicos principales (Martín-Algarra, 1987): dolomías negras del Triásico Medio y arcillas con evaporitas del Trías Superior, dolomías y calizas del Jurásico, y margas y margocalizas del Cretácico-Paleógeno. Los materiales triásicos apenas afloran en la sierra de Libar, mientras que las rocas de edad Jurásico constituyen los elementos litológicos principales que conforman la orografía de esta y de las vecinas sierras de Ubrique, Caíllo y Endrinal (al O). Las margas y margocalizas del Cretácico bordean los afloramientos carbonáticos y se extienden particularmente al E y SE de la sierra de Libar, por el valle del río Guadiaro y más al E. Las margas y margocalizas también afloran en el interior de la sierra, en los poljes de los Llanos de Libar y del Pozuelo, entre otros (Figura 3.1). Además de las rocas anteriores, en la región afloran ampliamente arcillas y areniscas del Complejo de los Flyschs del Campo de Gibraltar (de edad cretácico-terciaria), las cuales se apoyan tectónicamente sobre la serie del dominio Penibético.

Las dolomías y calizas del Jurásico, que pueden superar los 500 metros de espesor, son permeables por fracturación y karstificación. El alto grado de karstificación que presentan confiere a las rocas carbonáticas una permeabilidad elevada, por lo que constituyen las formaciones acuíferas de mayor relevancia de la región y, por ende, las rocas que conforman la MASCH objeto de este informe. Las margas y margocalizas del Cretácico-Paleógeno, junto con las arcillas del Trías y las arcillas y areniscas del Flysch, son los materiales de baja permeabilidad que limitan el movimiento del agua subterránea a los acuíferos carbonáticos.

Los materiales detríticos aluviales y coluviales, que se encuentran en su mayor parte ligados a los cauces fluviales, representan otra de las formaciones permeables, aunque no son de gran entidad en la zona, ni tienen relevancia en el funcionamiento hidrogeológico de la MASCH.

Por tanto, la MASCH objeto de este informe están constituidas por:

- un sustrato arcilloso-evaporítico, de baja permeabilidad del Triásico Superior,
- una formación permeable principal de naturaleza carbonática (dolomías y calizas) del Jurásico, muy karstificada, con más de 500 metros de espesor,
- materiales margosos y margocalizos, de baja permeabilidad y del Cretácico-Terciario, a techo de la formación acuífera principal,
- arcillas y areniscas (Flysch Terciario), de baja permeabilidad, dispuestas tectónicamente (cabalgando) sobre las anteriores formaciones y
- depósitos cuaternarios de diversa naturaleza y disposición geomorfológica, que pueden constituir pequeños acuíferos con limitado interés hidrogeológico.

3.2. Geometría, estructura y límites

Los principales rasgos topográficos de la Serranía de Ronda están controlados por las alineaciones estructurales de dirección NE-SO. Los pliegues anticlinales que conforman las principales sierras se alternan con los sinclinales que constituyen las depresiones. En detalle, la estructura geológica de la sierra de Libar está formada por pliegues plurikilométricos en forma de cofre, de charnela abierta (casi plana), con dirección predominante NE-SO (Figuras 3.1 y 3.2). La estratificación tiende a ser vertical en los flancos y la estructura es más apretada en el núcleo, lo que condiciona la aparición de fallas inversas entre los flancos y la charnela (IGME, 1987; 1991; Martín-Algarra, 1987;

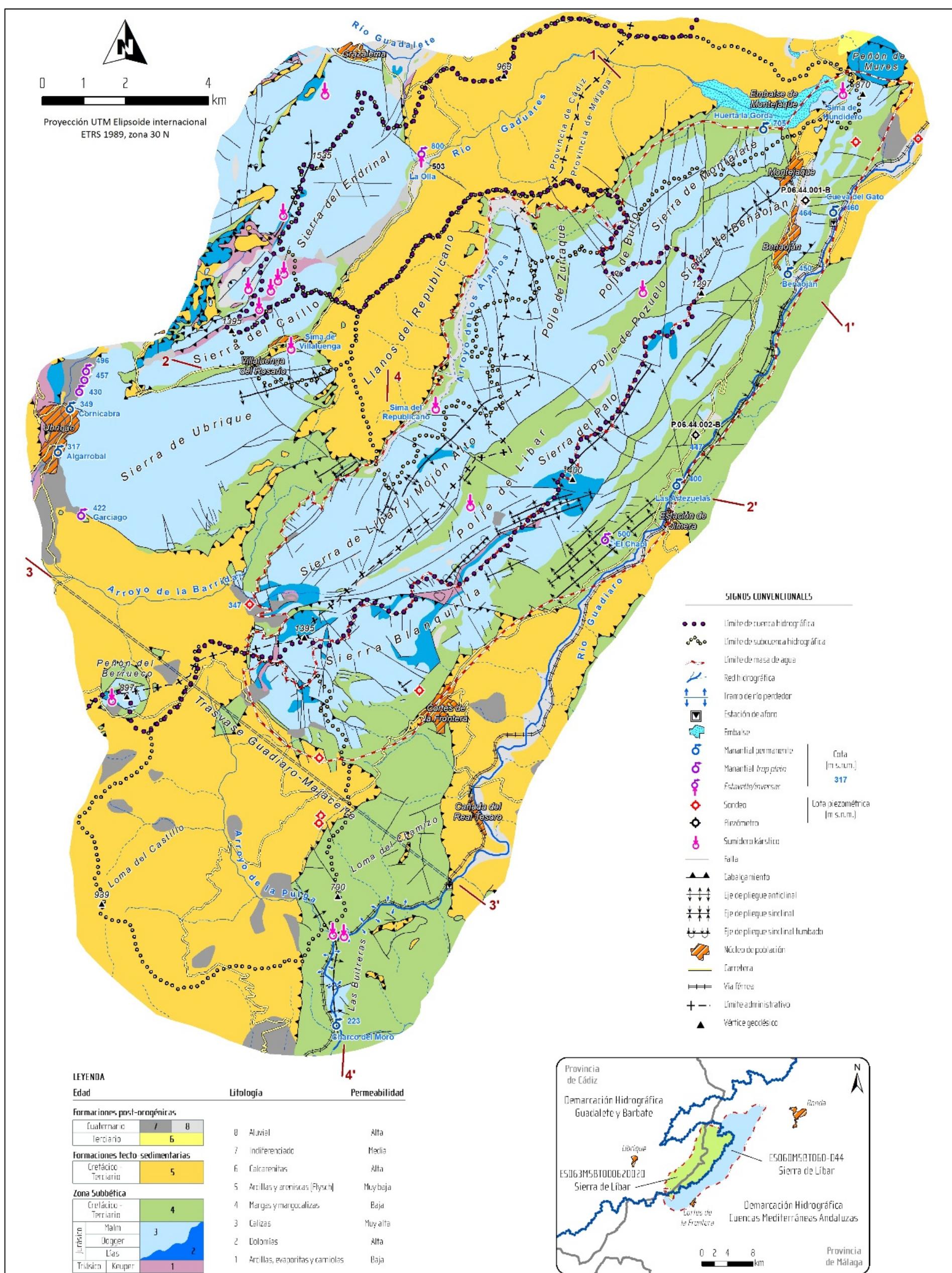
2008). En el núcleo de las estructuras anticlinales aparecen las dolomías y calizas jurásicas, que afloran en las zonas elevadas (Figura 3.2). Las margas y margocalizas cretácicas se encuentran fundamentalmente en los bordes de la sierra y sus afloramientos definen el trazado de los principales valles (Guadiaro, La Barrida), los cuales siguen, a su vez, los ejes de los pliegues sinclinales más relevantes. No obstante, los materiales cretácico-terciarios se pueden reconocer también en la parte alta de la sierra, a favor de sinclinales menores y/o pequeñas fosas tectónicas generadas por fallas normales de dirección NE-SO. Los ejes de los pliegues presentan una ligera inclinación hundiéndose hacia el NE, lo cual provoca el afloramiento de las dolomías basales del Jurásico (localmente rocas del Triásico) en la parte SO del macizo. Posteriormente la estructura plegada fue afectada por fracturas oblicuas a los pliegues (Durán y López Martínez, 1992).

Sobre los materiales del dominio Penibético o Subbético Interno Occidental se disponen tectónicamente las areniscas y arcillas de Flysch del Complejo del Campo de Gibraltar.

Hacia el O, en la sierra de Grazalema, los rasgos estructurales generales del Penibético son similares a los descritos para la sierra de Libar, aunque la presencia de cabalgamientos oblicuos a los ejes de los pliegues individualiza los afloramientos carbonáticos de las sierras de Ubrique y del Caíllo y rodean a la sierra de Endrinal, que forma un gran domo anticlinal levantado sobre los terrenos adyacentes (Martín-Algarra, 2008). Entre la sierra de Ubrique y la de Libar se encuentra el corredor de La Barrida (Figura 3.1), que corresponde a un sinclinorio relativamente apretado con una anchura mínima de 2 km, pero hacia el NE, entre la sierra de Endrinal y la de Libar, su núcleo se abre y queda ocupado por una gran extensión de materiales del Complejo del Campo de Gibraltar, por donde discurren el arroyo de Los Álamos y el río Gaduares. Bajo los materiales del Flysch deben de estar las margas y margocalizas del Cretácico-Paleógeno y debajo de ellas, a su vez, en continuidad estratigráfica, las formaciones de calizas y dolomías jurásicas infrayacentes (Fig. 3.2, corte 2-2').

Al SO de La Barrida se encuentra el Peñón del Berrueco (Figura 3.1) que es un pequeño afloramiento calizo de 1 km², aislado en superficie de la sierra de Libar y de la sierra de Ubrique por extensos afloramientos de arcillas y areniscas del Flysch que, con seguridad, ocultan accidentes tectónicos relevantes de salto en dirección con fuerte componente normal (Martín-Algarra, 2008). El Peñón del Berrueco constituye el elemento más significativo de un *horst* estructural (alto tectónico), aflorante en ventana tectónica, que se extiende hacia el SO por los relieves de Las Encinillas, Cerro Fantasía y Las Motillas, fuera del área representada en el mapa de la figura 3.1. La estructura geológica interna del Peñón del Berrueco corresponde a la del flanco oriental de un pliegue anticlinal muy fallado.

El control estructural sobre el relieve descrito para los principales macizos de la Serranía de Ronda excluye al desfiladero de Las Buitreras, caracterizado por la existencia de un domo anticlinal de dirección NNO-SSE, que hunde hacia el sur, en cuyo núcleo afloran las calizas del Jurásico (IGME, 1987), las cuales han sido erosionadas por el río Guadiaro (Figura 3.1). Todos los indicios apuntan a la existencia de continuidad estructural entre este afloramiento y las formaciones acuíferas jurásicas de la sierra de Libar, de tal modo que las calizas se extenderían entre ambos afloramientos, bajo los materiales cretácicos de baja permeabilidad del Penibético y del Flysch. La conexión hidrogeológica entre el borde occidental de la sierra de Libar y el afloramiento de Las Buitreras ha quedado demostrada mediante ensayos de trazador (Andreo *et al.*, 2004).



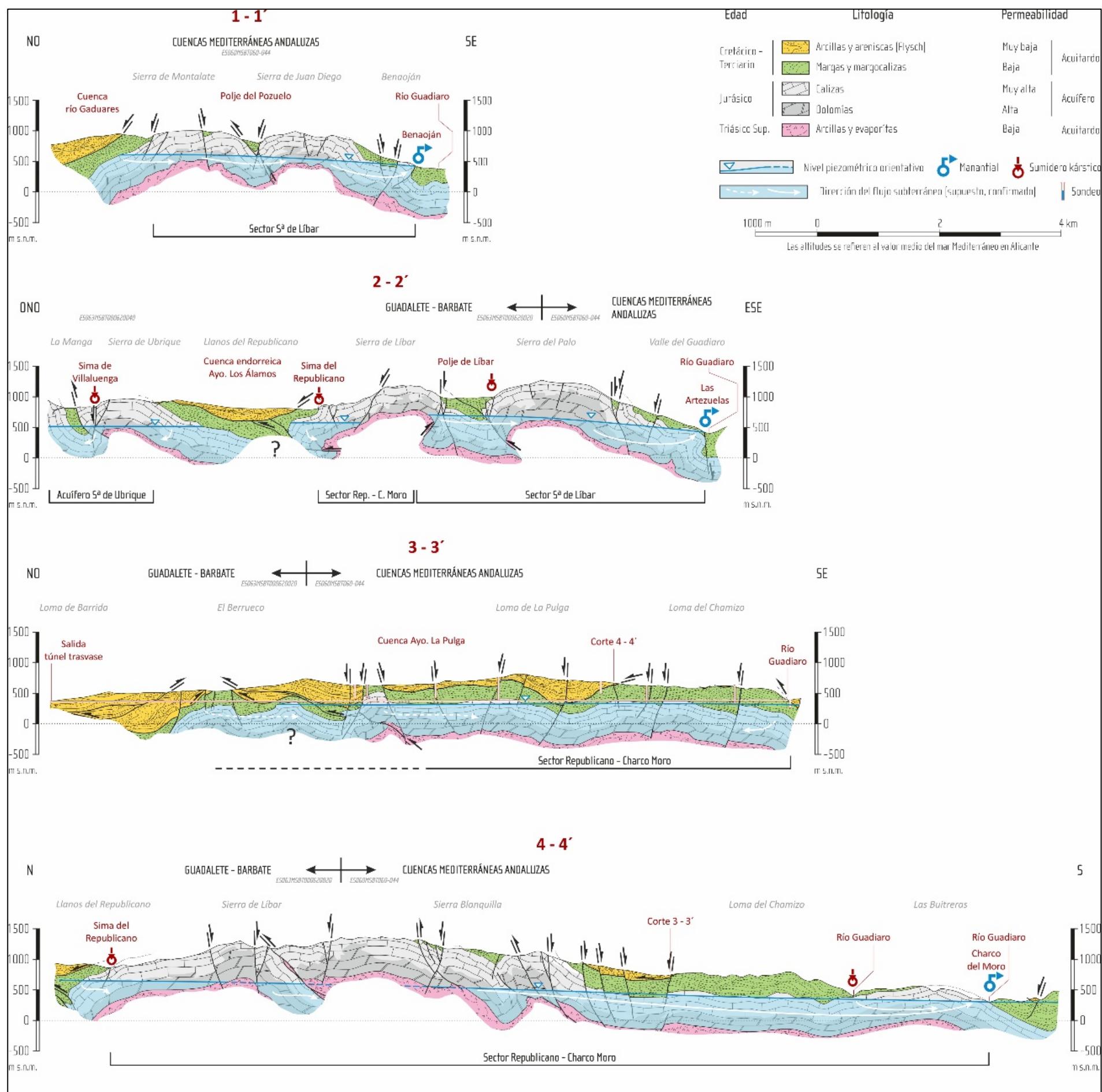


Figura 3.2. Cortes hidrogeológicos de la MASCH Sierra de Libar y sectores adyacentes. Niveles piezométricos supuestos en la actualidad. La traza de los cortes se puede ver en la figura 3.1

La MASCH Sierra de Libar se extiende por el macizo montañoso homónimo, entre el río Guadiaro (al E) y el corredor de La Barrida – río Gaduares (al O); el primero situado a cota más baja. Los materiales carbonáticos jurásicos (dolomías y calizas) que la forman, pertenecientes al dominio Penibético, constituyen una única formación acuífera de más de 500 m de espesor, permeable por fisuración y karstificación, limitada en la base por arcillas con evaporitas de edad Triásico y a techo por margas y margocalizas del Cretácico-Terciario (Figuras 3.1 y 3.2). Sobre los materiales anteriores, cabalgan las arcillas y areniscas de baja permeabilidad pertenecientes al Flysch del Campo de Gibraltar.

La estructura geológica, y por tanto la geometría de la MASCH, corresponde a dos grandes anticlinales, paralelos y orientados según la dirección NE-SO, con ligera inmersión hacia el NE, separados por un sinclinal fallado que recorre el centro de la sierra (Figura 3.2, cortes 1-1' y 2-2'). Los ejes de los anticlinales coinciden con las alineaciones montañosas, mientras que el núcleo del sinclinal lo hace con las zonas deprimidas de los poljes de Libar y del Pozuelo. Los bordes oriental y occidental de la sierra de Libar corresponden a pliegues sinclinales donde los afloramientos carbonáticos permeables están parcialmente limitados por el contacto estratigráfico concordante entre ellos y los materiales margosos y margocalizos cretácico-terciarios, aunque también localmente por el cabalgamiento generalizado de las arcillas y areniscas del Flysch sobre la serie del Penibético. La geometría anterior se complica por la presencia de pliegues menores asociados a los principales, algunos cabalgamientos y, sobre todo, por fracturas transversales y paralelas a los ejes de los pliegues.

En definitiva, la estructura geológica determina su compartimentación, inducida por los núcleos de las grandes estructuras anticlinales y las principales fallas. Esta compartimentación no impediría la conexión hidrogeológica entre los diferentes sectores de la sierra, aunque condiciona las direcciones preferentes de los flujos subterráneos. Hacia el S, bajo las formaciones poco permeables cretácico-terciarias. En continuidad hidrogeológica con la sierra de Libar, se encontrarían los materiales acuíferos jurásicos que afloran en la garganta de Las Buitreras. La presencia de importantes espesores de margas y arcillas sobre los materiales carbonáticos confinaría, al menos en parte, este sector del acuífero, como se ilustra en los cortes 3-3' y 4-4' de la figura 3.2.

3.3. Formas de infiltración preferencial

La coexistencia de litologías solubles, como es el caso de las calizas y dolomías, con una disposición subhorizontal de los estratos en las charnelas de los anticlinales, la importante fracturación y la elevada precipitación de la zona han dado lugar a un gran desarrollo del modelado kárstico (Delannoy, 1987; Delannoy y Díaz del Olmo, 1987; Durán, 1996; Gracia *et al.*, 2000). En la sierra de Libar, al igual que en los vecinos macizos de la sierra de Grazalema, es posible observar formas exokársticas de todos los tipos y tamaños, desde campos de lapiáz a poljes, pasando por dolinas. Los lapiaces y las dolinas son más frecuentes en los afloramientos de calizas, generalmente desprovistos de suelos. Los poljes de mayor entidad (Libar, Pozuelo, Zurraque, Burfo y Benaoján) se encuentran en la parte central de la sierra, siguiendo alineaciones estructurales NE-SO, y están constituidos por los materiales cretácicos que se han preservado de la erosión en las estructuras sinclinales y/o falladas (fosas o semifosas tectónicas).

También existen abundantes formas endokársticas, sobre todo en la parte alta de la sierra de Libar (Delannoy, 1987; Durán, 1996; Mayoral *et al.*, 2000; Pedroche y Mendoza, 2000; Mayoral, 2004). Se trata de cavidades de desarrollo predominantemente vertical, algunas son continuación de sumideros kársticos por los que se produce la infiltración preferente de agua, como los sumideros que drenan los poljes de Libar y del Pozuelo, localizados respectivamente a 955 y 907 m s.n.m. en

el interior del macizo montañoso. La sima del Republicano, que actúa como sumidero asociado al arroyo de Los Álamos, se ubica en el borde occidental de la sierra (Fig. 1) y su entrada se localiza a 788 m s.n.m. En el interior de las galerías que conectan con la sima se ha podido llegar a una zona inundada situada a cota absoluta de entre 517 y 585 m s.n.m. (Batlle *et al.*, 1986). En cambio, en el borde E y SE del macizo se encuentran cuevas de desarrollo horizontal relacionadas con la descarga del agua subterránea hacia el río Guadiaro, como la Cueva de la Pileta, un antiguo dren kárstico con más de 2 km de desarrollo, y el sistema Hundidero-Gato, que constituye la continuación subterránea del río Gaduares bajo el extremo NE de la sierra de Libar, desde la cota 603 m s.n.m. (sima de Hundidero) hasta 460 m s.n.m. (cueva del Gato).

Al oeste de la sierra de Libar, en las vecinas sierras de Ubrique, Caíllo y Endrinal existen también numerosos sumideros que son activos en épocas de lluvias abundantes. De entre todos destacan la sima de Villaluenga, en el municipio homónimo, y la sima de La Olla, en el extremo oriental de la sierra de Endrinal (Figura 3.1). Esta última forma endokárstica presenta un desnivel altitudinal acumulado de más de 300 metros, desde la entrada de la sima en superficie, a 805 m s.n.m., hasta el fondo de las galerías exploradas, donde los espeleólogos han encontrado un nivel de agua a cota aproximada 500 m s.n.m. En condiciones de lluvias abundantes el nivel piezométrico asciende rápidamente y de la sima de La Olla comienza a surgir agua subterránea (en lo que se conoce como *inversac*), que se incorpora al cercano cauce del río Gaduares.

El pequeño macizo calcáreo del Peñón del Berueco cuenta también con un sumidero kárstico situado a 701 m s.n.m.

3.4. Hidrología superficial. Relación río-acuífero

A continuación, se describen los cauces superficiales más relevantes existentes en el ámbito de la MASCH objeto de este informe (Figura 3.1).

El **río Guadiaro** es el principal eje de drenaje de la región, discurre por el borde oriental de la sierra de Libar con dirección NE-SO, entre las cotas 465 m s.n.m. y 220 m s.n.m. (a la salida de la garganta de Las Buitreras). Hacia el río vierten sus aguas los manantiales de la sierra de Libar, entre otros. Se trata, pues, de un río ganador en términos generales, por los importantes aportes de aguas subterráneas que recibe. Sin embargo, entre el inicio del túnel del trasvase “Guadiaro-Majaceite” (335 m s.n.m.) y la garganta de Las Buitreras (310 m s.n.m.), en un tramo de 4,5 km, el río ve disminuido su caudal; durante los períodos de estiaje, llega a perder todo su flujo por infiltración (difusa y concentrada). En dicho tramo, el río discurre por margas y margocalizas de edad cretácico-terciaria, pero con las calizas jurásicas infrayacentes situadas próximas a la superficie (Figura 3.2, corte 4-4'). Este hecho, unido a la fracturación de las rocas, favorece el desarrollo de pequeños sumideros visibles en el lecho y en los márgenes del río Guadiaro, donde se produce una infiltración neta del agua que discurre por el cauce. Aunque las observaciones y medidas de campo son escasas, se ha podido determinar que caudales del orden de 1 m³/s (en la estación de aforos situada inmediatamente aguas abajo del transvase) se infiltran completamente a lo largo de este tramo de río, pues durante los meses de estiaje no se observa flujo de agua del río en la entrada a la garganta de Las Buitreras. Previsiblemente el agua infiltrada se incorpora al flujo subterráneo y vuelve aemerger en el manantial del Charco del Moro, situado aguas abajo del desfiladero de Las Buitreras, el cual constituye la surgencia kárstica situada a cota más baja de todo el sistema.

Algo parecido a lo anteriormente descrito ocurre en el **arroyo de La Pulga**, cerca de su confluencia con el Guadiaro, donde pierde su caudal parcial o totalmente (según las condiciones hidroclimáticas) en varios sumideros con desarrollo espeleológico localizados a 318 m s.n.m. (Figura 3.1). La cuenca

hidrográfica del arroyo de La Pulga (de 36 km²) está formada por materiales de baja permeabilidad pertenecientes en su mayor parte al Complejo del Campo de Gibraltar.

El **río Gaduares** drena una cuenca endorreica de 44 km² de superficie, constituida en su mayoría por materiales arcillosos del Flysch (32 km²), aunque también incluye en su cabecera parte de los afloramientos calizos de las sierras de Endrinal y Caíllo (12 km²). El agua que fluye por este río se acumula en el embalse de Montejaque, cuya presa está en las calizas karstificadas del Jurásico de la sierra de Libar, lo que provoca la pérdida total del agua almacenada y, por tanto, recarga al acuífero. En condiciones naturales, el agua del río Gaduares se adentraba en la sierra de Libar a través de la sima del Hundidero, cuya boca está situada a 603 m s.n.m., inmediatamente aguas abajo de la presa.

El **arroyo de Los Álamos** discurre por el borde occidental de la sierra de Libar, donde drena una cuenca endorreica de 30 km², constituida en parte por materiales arcillosos del Flysch (13 km²). La escorrentía de este arroyo es otra aportación que se incorpora al flujo subterráneo de la sierra de Libar mediante su infiltración directa en la sima del Republicano, ubicada a 788 m s.n.m., en calizas.

Las dos cuencas endorreicas mencionadas no están incluidas dentro de los perímetros administrativos que definen la MASCH objeto del presente informe, aunque su relación con el funcionamiento hidrogeológico es evidente y ha sido confirmada mediante pruebas científicas.

El **arroyo de La Barrida**, afluente del río Majaceite (cuenca Atlántica), drena la escorrentía superficial generada en los terrenos de baja permeabilidad (margas y margocalizas cretácicas y arcillas y areniscas del Flysch) situados entre la sierra de Ubrique (al N y O), el Peñón del Berueco (al S) y la sierra de Libar (al E). No obstante, el cauce de este arroyo discurre sobre calizas jurásicas de la sierra de Libar en un tramo de 400 metros. La cota más baja de dicho tramo es 550 m s.n.m.

3.5. Hidrometría y piezometría

La descarga natural de los acuíferos que constituyen la MASCH Sierra de Libar se produce en su borde oriental, condicionada por el nivel de base actual que representa el río Guadiaro (Jiménez, 2010), a través de manantiales (Tabla 3.1): Cueva del Gato (460 m s.n.m.), Benaoján (450 m s.n.m.) y Las Artezuelas (410 m s.n.m.). Al S de la garganta de Las Buitreras se encuentra el manantial del Charco del Moro (223 m s.n.m.), donde la surgencia de agua se produce en el cauce del río Guadiaro. A los anteriores manantiales permanentes hay que sumar la surgencia de tipo *trop plein* del Chapí, ubicada 1.500 m al SO de la Estación de Jimera de Libar, a cota 500 m s.n.m. Se trata de una surgencia que sólo entra en funcionamiento en épocas de lluvias abundantes.

Tabla 3.1. Características de los principales manantiales de la sierra de Libar. Los valores de caudal medio de los manantiales Cueva del Gato, Benaoján y Charco del Moro han sido calculados a partir de la integral de los respectivos hidrogramas

Denominación	Tipología	Caudal (l/s)			Periodo control	Cota topográfica m s.n.m.	Coordenadas UTM	
		máx.	mín.	medio			X	Y
Huerta	Manancial	-	-	30	-	705	298416	4068975
Cueva del Gato	Manancial	17.800	0	1.497	1984/85 - 2013/14	460	300097	4066968
Benaoján	Manancial	28.049	0	2.038	1999/00 - 2015/16	450	299001	4065492
Las Artezuelas	Manancial	-	-	150	-	410	296320	4060399
El Chapí	<i>Trop Plein</i>	-	-	-	-	500	294600	4059089
Charco del Moro	Manancial	8.297	500	1.714	2016/17	223	288123	4047393
La Olla	<i>Inversac</i>	-	-	-	-	805	288500	4065950

El manancial de la Cueva del Gato está situado en la entrada a la gruta de igual denominación, por encima del cauce actual del río Guadiaro. Con un caudal medio de 1.497 l/s (obtenido a partir de caudales diarios del periodo 1984/85-2013/2014), esta surgencia constituye la salida natural del río Gaduares, tras un recorrido subterráneo de aproximadamente 3 km por el interior de la sierra, que se inicia en la sima del Hundidero. A 2 km al SO de la Cueva del Gato, muy cerca de la estación ferroviaria de Benaoján, está situado el manancial de Benaoján, el Ejío o Molino del Santo. Este manancial emerge en las calizas jurásicas, a favor de un contacto mecánico con las margas y margocalizas cretácicas, y su caudal medio es 2.038 l/s (media de datos diarios del periodo 1999/2000-2015/2016). Por su parte, el agua del manancial de Las Artezuelas (caudal medio de 150 l/s) brota a favor de fracturas que rompen las margas y margocalizas rojas del Cretácico-Terciario. El punto de surgencia permanente está situado 10-15 metros por encima del río Guadiaro. En condiciones de recarga abundante se activan otras vías de surgencia ubicadas varias decenas de metros por encima del punto de drenaje permanente.

El manancial Charco del Moro, con 1.714 l/s de caudal medio, obtenido a partir de caudales diarios durante el año seco 2016/2017 (Martín Rodríguez *et al.*, 2020), es uno de los puntos de descarga más relevantes de la región, ya que drena el agua de escorrentía del arroyo de Los Álamos que se infiltra en la sima del Republicano (confirmado por ensayos con trazadores, Andreo *et al.*, 2004) y cabe la posibilidad de que también drene parte del sector meridional de la sierra de Libar, aunque esto último no ha sido confirmado. El manancial muestra características vauclusianas pues el agua emerge en un conducto kárstico inundado y en carga, inclinado unos 45º, con al menos 120 m de desarrollo, según se ha determinado mediante espeleobuceo (Figura 3.3). La surgencia está ubicada varios metros bajo la lámina de agua del río Guadiaro y la forman tres cavidades de 3, 0,9 y 0,3 m de diámetro distribuidas lo largo de 30 m en la margen izquierda del cauce, en el extremo sur del desfiladero de Las Buitreras, donde las calizas jurásicas están bordeadas por materiales de baja permeabilidad (margas y margocalizas). El resto de surgencias relacionadas con la sierra de Libar son de pequeño caudal. Es muy probable que parte del caudal del manancial proceda de la infiltración directa en el cauce del río Guadiaro, por lo que no debería contabilizarse en su totalidad como descargas de la MASCH.

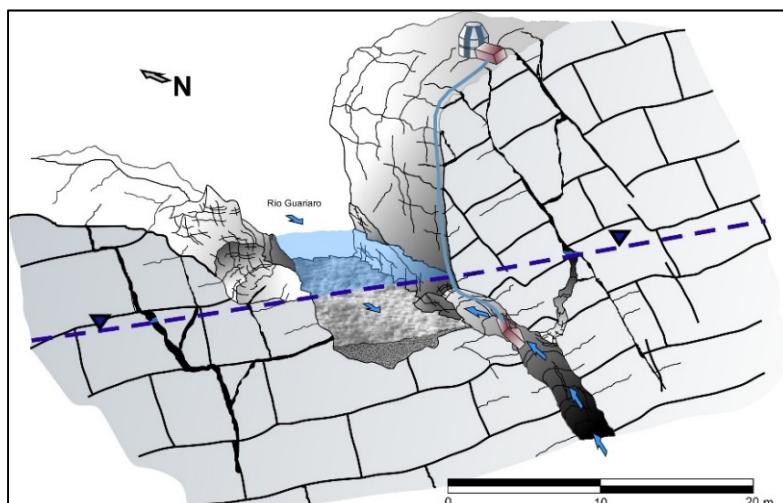


Figura 3.3. Esquema conceptual del manantial del Charco del Moro (Martín-Rodríguez et al., 2020)

En la sierra de Grazalema, los principales puntos de drenaje se concentran en el borde suroccidental de las sierras de Ubrique y del Caíllo, donde existen surgencias permanentes que descargan hacia la Demarcación Hidrográfica del Guadalete–Barbate, a cotas comprendidas entre 317 y 349 m s.n.m. En situaciones de lluvias excepcionales pueden aparecer manantiales de tipo *trop plein* a altitudes que alcanzan 496 m s.n.m. Los afloramientos de rocas carbonáticas permeables de la sierra de Endrinal no tienen asociado punto de descarga permanente conocido; tan sólo el drenaje en situaciones excepcionales y durante un breve periodo de tiempo en la sima de La Olla (*inversac*), a la cota 805 m s.n.m.

La red hidrométrica oficial está formada por tres estaciones de aforo correspondientes a los manantiales de la Cueva del Gato y Benaoján, y otra en el cauce del río Guadiaro (estación de La Fresneda), justo aguas abajo del inicio del túnel del trasvase Guadiaro – Majaceite (Figura 3.1).

Los principales manantiales de la sierra de Libar (Cueva del Gato y Benaoján) presentan hidrogramas con crecidas bruscas ante las precipitaciones (Jiménez, 2010) y proporcionales a la magnitud de estas (Figuras 3.4 y 3.5), y agotamientos rápidos (coeficiente de agotamiento del orden de 10^{-2} días $^{-1}$). Estas respuestas corroboran el importante desarrollo del drenaje kárstico que existe en el acuífero, su comportamiento poco inercial y su escaso poder regulador natural. El caudal del manantial de la Cueva del Gato varía más que en el de Benaoján debido, por un lado, a la aportación desde la presa del río Gaduares (Montejaque) y, por otro, al mayor desarrollo de la karstificación funcional en el sector que drena. Sin embargo, los caudales punta más elevados (hasta 28 m 3 /s) se han registrado en la surgencia de Benaoján (año hidrológico 2009/10).

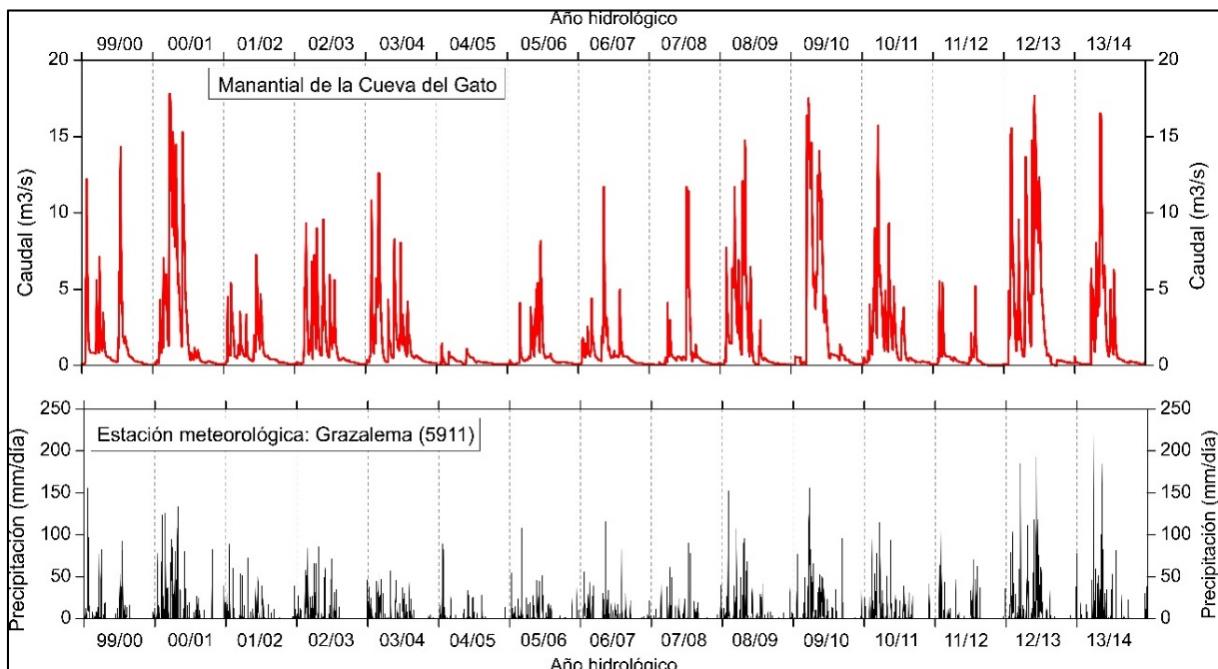


Figura 3.4. Hidrograma del manantial de la Cueva del Gato y precipitación durante el periodo 1999–2014

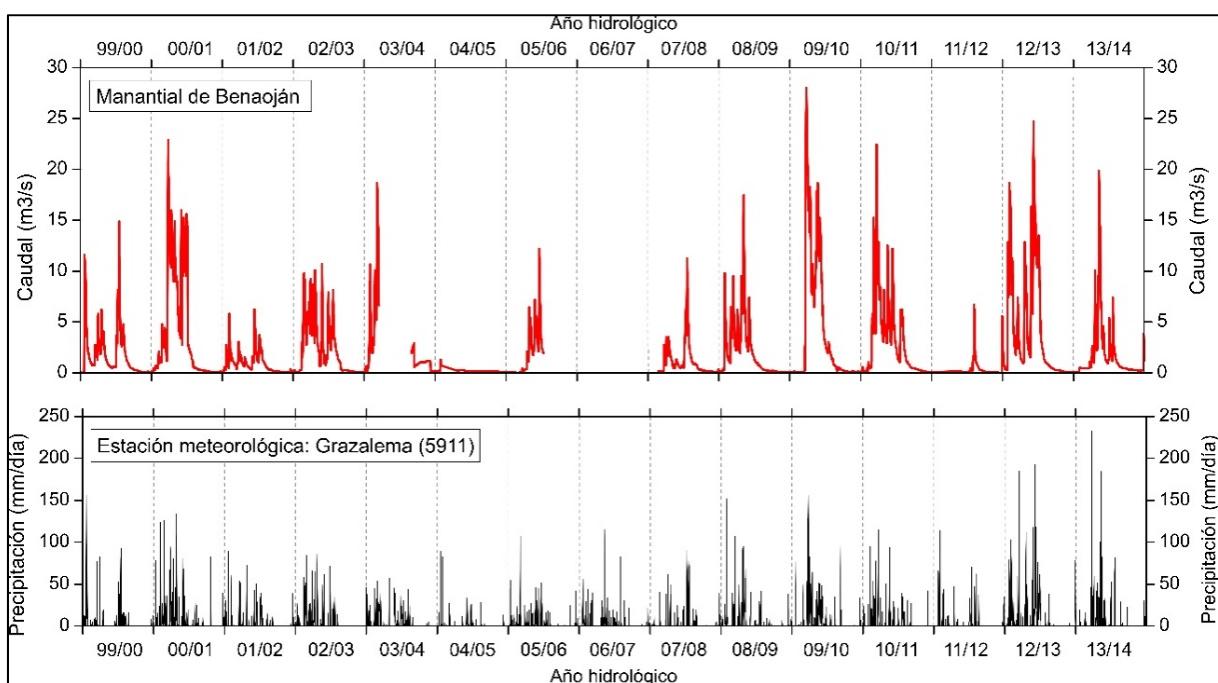


Figura 3.5. Hidrograma del manantial de Benaoján y precipitación en el periodo 1999–2014

Por su parte, los datos de caudal disponibles del manantial del Charco del Moro corresponden al año hidrológico 2016/17, considerado de tipo seco desde el punto de vista climático, (Martín-Rodríguez *et al.*, 2020), muestran variaciones relativamente rápidas en respuesta a los principales eventos de recarga, de 1,2 a 8,3 m³/s, con un retraso medio de 3 días entre el centro de gravedad de la precipitación y los picos de descarga (Figura 3.6). Refleja la existencia de una red kárstica altamente desarrollada, con flujos rápidos y corto tiempo de tránsito del agua dentro del sistema desde las áreas de recarga (en la sierra de Libar) hasta el manantial. Se constató que la velocidad de flujo es superior a 100 m/h, calculada en el ensayo de trazadores efectuado por Andreo *et al.* (2004).

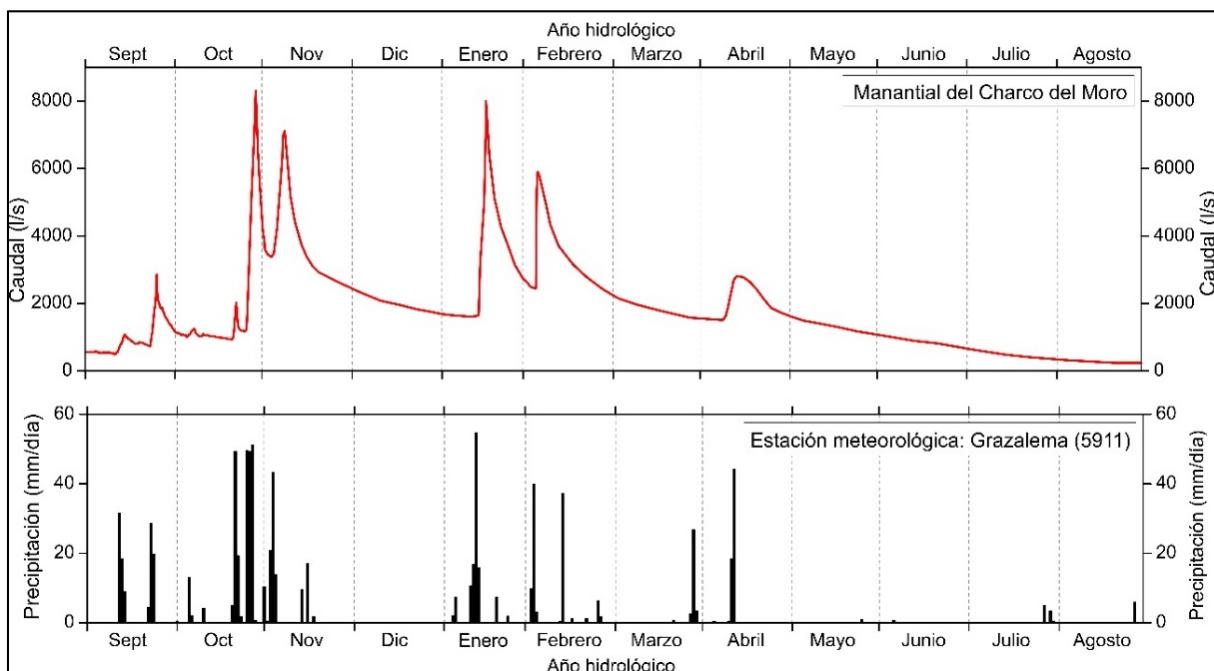


Figura 3.6. Hidrograma del manantial del Charco del Moro y precipitación durante el año hidrológico 2016/17

Los sondeos existentes en la zona son escasos. Las demandas hídricas son bajas por la reducida población de los municipios, que se abastece gran parte del año de las aguas de los manantiales, por lo que no es posible establecer una red piezométrica consistente con la información actual. Los sondeos solo se ponen en explotación en épocas estivales o de sequía. Cortes de la Frontera tiene un sondeo que es utilizado para completar las dotaciones procedentes del manantial de Las Artezuelas. Montejaque y Benaoján completan su abastecimiento en verano mediante un sondeo de 30 m de profundidad situado cerca del manantial de Benaoján, en la barriada de La Estación.

En cuanto a la red de control piezométrica, en la MASCH en la Red Oficial de la DHCMA se menciona que se controlan dos puntos uno al N del manantial de Las Artezuelas (P.06.44.002-B) y otro al NE de Benaoján (P.06.44.001-B), no obstante, las medidas de ambos puntos son exactamente iguales, por lo que creemos que puede haber un error en la información suministrada. Por lo que respecta a la MASb 062.002 en la DHGB no tiene puntos de control asignados; no obstante, se ha podido acceder a información piezométrica procedente de un sondeo de exploración construido por el SGOP en el extremo SO de la sierra de Libar, en las inmediaciones del arroyo de La Barrida (Figura 3.1). El valor de los 9 registros efectuados entre 1996 y 1997 permitió obtener una cota piezométrica media de 346,7 m s.n.m. (DGOHCA, 1998).

La figura 3.7 muestra la evolución temporal del nivel piezométrico en el punto P.06.44.001-B, entre octubre 1999 y noviembre de 2014 que creemos es el más representativo de los dos únicos puntos de control en la MASb 060.044 de la DHCMA. Muestra claramente ascensos de nivel de hasta 25 m coincidentes con los períodos de mayor precipitación. Los datos son, al igual que en los manantiales, representativos de un sistema hidrodinámico poco inercial, con rápidos aumentos y descensos del nivel piezométrico.

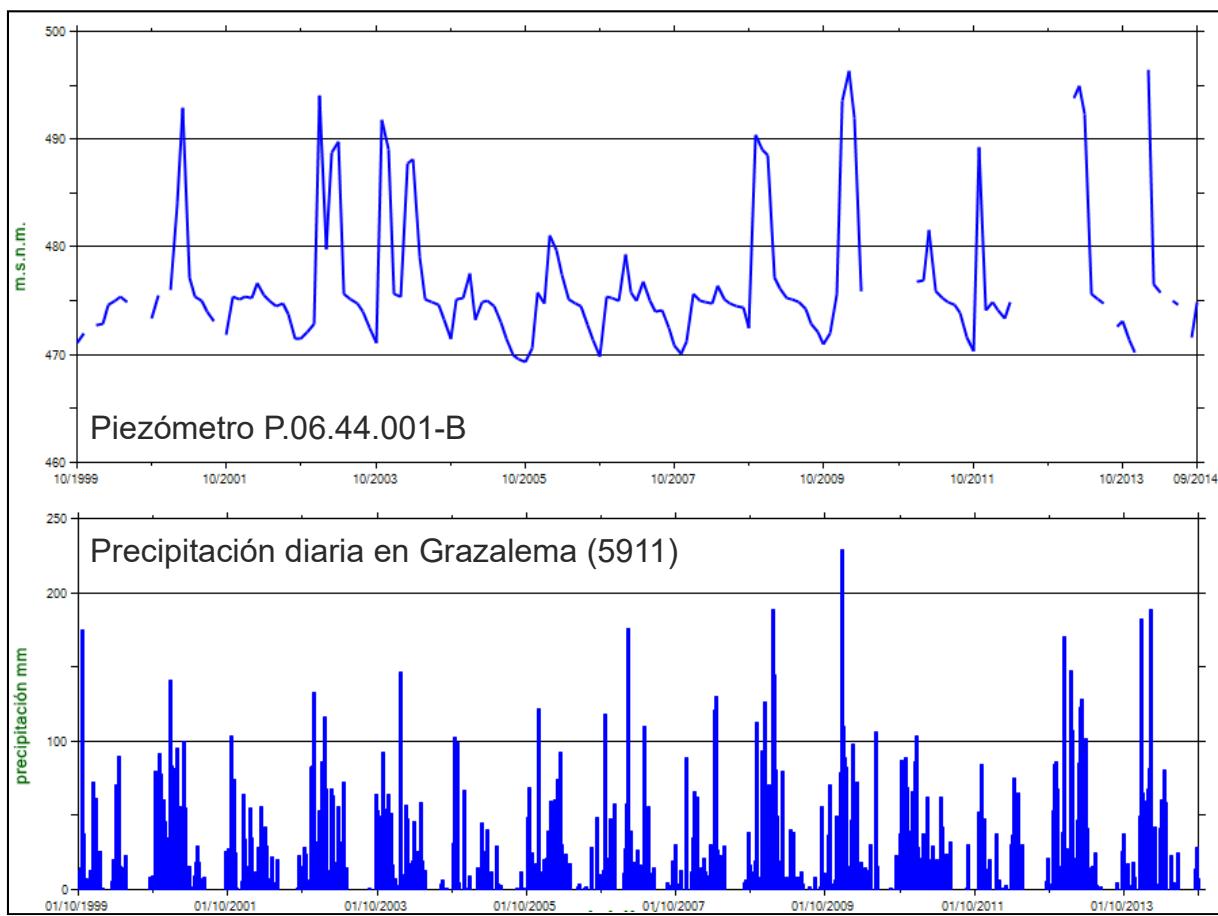


Figura 3.7. Evolución temporal del nivel en el piezómetro P.06.44.001-B de Benaoján

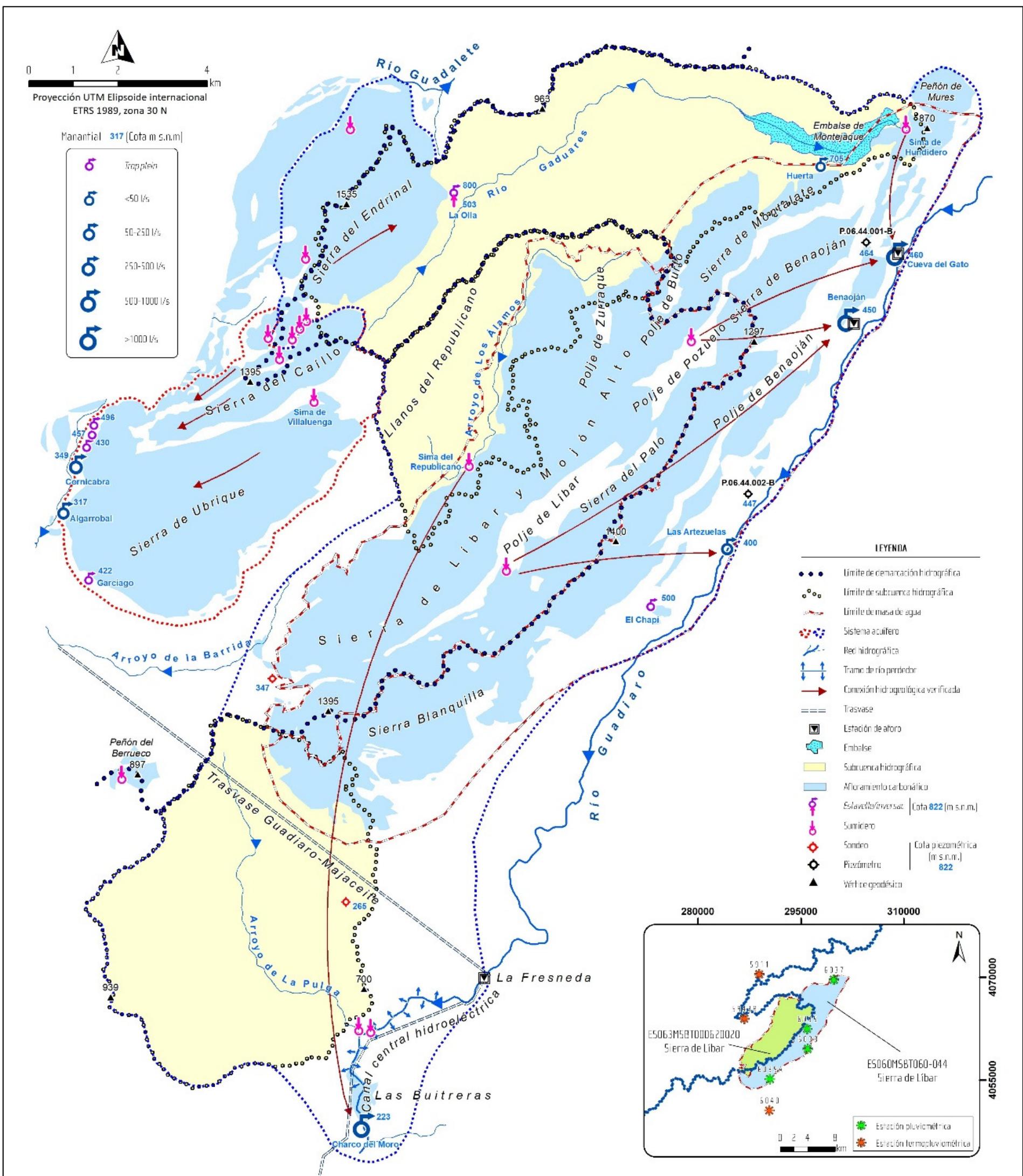
3.6. Funcionamiento hidrogeológico

Los trabajos de investigación realizados en la sierra de Libar por el Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (Andreou *et al.*, 2004; Jiménez, 2010) han permitido conocer las conexiones hidrogeológicas mostradas en la figura 3.8 y las correspondientes velocidades de flujo:

- Entre la sima del Republicano y el manantial del Charco del Moro se detectó una velocidad media de 119 m/h.
- Entre los sumideros del polje de Libar y los manantiales de Las Artezuelas y Benaoján, velocidades de 77 m/h y 43 m/h, respectivamente.
- Entre el sumidero del polje de Pozuelo y los manantiales de la Cueva del Gato y Benaoján, velocidades de 90 m/h y 53 m/h, respectivamente.

El análisis de las curvas de recesión de los manantiales de Benaoján (1999 a 2003) y Cueva del Gato (1976-2003) permitió calcular un valor del coeficiente de agotamiento de $2,9 \cdot 10^{-2}$ y $1,56 \cdot 10^{-2}$ (días^{-1}) respectivamente, valores indicativos de un acuífero kárstico (Jiménez, 2010). Los valores de duración de decadencia fueron 39 y 20 días respectivamente y la duración del agotamiento varió entre 117 días para Benaoján y 144 días para la Cueva del Gato.

No existen datos de parámetros hidráulicos determinados mediante ensayos de bombeo.



Recientes ensayos de trazadores artificiales realizados en la región han puesto de manifiesto la existencia de flujos subterráneos desde el área de recarga de la sierra del Endrinal (sierra de Grazalema) hasta la sima de La Olla, que actúa como sumidero o fuente de agua (*inversac*), situada en el borde este del macizo (Figuras 3.1 y 3.8). En condiciones de elevada recarga, la sima constituye un punto de descarga de agua subterránea con un caudal aproximado de 2 a 3 m³/s, el cual se incorpora al flujo superficial del río Gaduares y se termina infiltrando en la sima de Hundidero (sierra de Libar). Este comportamiento excepcional es de corta duración (varios días) y solo se produce durante eventos de precipitación abundante.

Cabe la posibilidad, particularmente durante los períodos de menor pluviometría (cuando no llega a superarse el umbral de surgencia del citado *inversac*), de que exista un flujo subterráneo que produzca una transferencia de recursos desde el acuífero de la sierra del Endrinal (sierra de Grazalema) hacia la sierra de Libar. La estructura geológica es coherente con esta hipótesis (Figura 3.2, corte 2-2'), pues la continuidad en profundidad de las formaciones jurásicas permeables posibilitaría la transferencia subterránea de recursos hídricos hacia el segundo acuífero, cuya cota de drenaje más baja, definida por el manantial del Charco del Moro (223 m s.n.m.), es inferior a la existente en el borde de los afloramientos penibéticos de la sierra de Ubrique (320-420 m s.n.m.). En este sentido, cabe recordar también la presencia de un nivel de agua a cota aproximada 500 m s.n.m en el fondo de las galerías exploradas de la sima de La Olla, que sería compatible con un eventual drenaje hacia la sierra de Libar. El cierre de balance hidrogeológico realizado por la DGOHCA (1998) en el conjunto de los relieves penibéticos de las sierras de Endrinal – Hondón y Ubrique llevó a evaluar en 16,6 hm³ el valor medio anual de las posibles transferencias laterales hacia la sierra de Libar. El valor ascendía a 32,5 hm³ para el año 1995/96, de carácter húmedo (véase apartado 2 de “Antecedentes”).

Por otra parte, Martín-Rodríguez *et al.* (2016) realizaron el balance hidrogeológico de los acuíferos kársticos de la sierra de Grazalema para el periodo 2012/13-2014/15 (considerado húmedo en términos hidroclimáticos, véase apartado 4). Los cálculos de las entradas se hicieron a partir del método del balance del agua en el suelo propuesto por Thornthwaite (1948) y según la ecuación de Hargreaves y Samani (1985) para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), con un valor de reserva útil de agua en el suelo de 50 mm. El control detallado de los caudales de salida se llevó a cabo mediante equipos de registro continuo y aforos periódicos. El balance obtenido resultó equilibrado en las distintas sierras del macizo montañoso de Grazalema excepto en la sierra del Endrinal, donde se estimó una infiltración de 31,2 hm³/año que no se midió en las descargas. Ello estaría en consonancia con la hipótesis de transferencia de agua subterránea hacia la sierra de Libar y, tal vez, sierra de Ubrique. No obstante, esta hipótesis no ha sido constatada por otros métodos científicos (por ejemplo, ensayos con trazadores artificiales).

Por todo lo expuesto, el funcionamiento hidrogeológico de la MASCH de la Sierra de Libar se puede concretar en los siguientes párrafos.

Constituye un sistema acuífero de naturaleza kárstica, formado por dolomías y calizas de edad jurásica, permeables debido a los procesos de fisuración y karstificación que han experimentado las rocas. La recarga se produce por infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos carbonáticos y por infiltración de agua a través de los sumideros kársticos de los poljes (Figura 3.8). Además, existe una aportación de la escorrentía superficial que se genera en las cuencas del río Gaduares y del arroyo de Los Álamos, constituidas por materiales arcillosos del Flysch, que vierten sus aguas hacia simas o sumideros kársticos ubicados en el contacto con las calizas jurásicas.

La descarga tiene lugar en el borde SE de la sierra de Libar, hacia el río Guadiaro, que es el principal eje de drenaje del sistema y donde se encuentran las cotas más bajas. El río se puede considerar

ganador con respecto al acuífero en el tramo comprendido entre el manantial de la Cueva del Gato y el de Las Artezuelas. Desde el túnel del trasvase Guadiaro-Majaceite, y a lo largo del tramo del río que hay hasta llegar a la garganta de Las Buitreras, el cauce es netamente perdedor e incluso llega a secarse en los meses de estiaje.

La posición de los principales puntos de descarga de la MASCH, junto con la información geológica disponible y los resultados de las investigaciones efectuadas por el Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga permiten constatar la existencia de tres sectores principales dentro del acuífero.

El **tercio más septentrional** de la sierra, incluido el polje del Pozuelo (Figura 3.2, corte 1-1') se drena, de forma visible, por los manantiales de la Cueva del Gato (a cota 460 m s.n.m y con caudal medio de 1.497 l/s), Benaoján (450 m s.n.m, 2.038 l/s) y Las Artezuelas (410 m s.n.m., 150 l/s). Además, el manantial de la Cueva del Gato drena el agua que se infiltran en el embalse de Montequaje, procedentes de la escorrentía que se genera en la cuenca del río Gaduares y del agua subterránea drenada por la surgencia *inversac* de La Olla (sierra del Endrinal) en situaciones de lluvias abundantes.

El **sector central**, en el que se incluye el polje de Libar, se drena por el manantial de Las Artezuelas (Figura 3.2, corte 2-2') y el de Benaoján, aunque hacia este último también fluyen parte de las aguas que se infiltran en el polje de Pozuelo.

El **área de drenaje hacia la surgencia de Charco del Moro** (223 m s.n.m, caudal medio de 1.715 l/s según datos del año hidrológico 2016/2017) es el principal punto de descarga del agua que se infiltra en la sima del Republicano (procedente de la escorrentía sobre el arroyo de Los Álamos) y eventualmente de la parte más meridional de los afloramientos carbonatados de la sierra de Libar (Figura 2, corte 4-4'). Por proximidad y por el contexto estructural, esta surgencia drenaría también el agua que se infiltra en el lecho del río Guadiaro, entre aguas abajo del trasvase y aguas arriba de la garganta de Las Buitreras, y buena parte del agua de escorrentía que se genera en el arroyo de La Pulga. El manantial está en un pequeño afloramiento de calizas jurásicas, aislado superficialmente de la sierra de Libar, pero conectado hidrogeológicamente con ella. Este hecho pone de manifiesto la existencia de sectores del sistema acuífero carbonático que están sometidos a confinamiento bajo los materiales margosos y arcillosos de baja permeabilidad que afloran entre la sierra de Libar y la garganta de Las Buitreras.

Todas las observaciones anteriormente expuestas ponen de manifiesto que no tiene sentido diferenciar dos masas de agua subterránea dentro de la sierra de Libar, atendiendo al criterio de la divisoria hidrográfica, porque desde el punto de vista hidrogeológico se trata de una única masa de agua subterránea con drenaje natural casi exclusivo hacia la DHCMA. Es más, hay argumentos sólidos que ponen de manifiesto el drenaje de la parte oriental de la sierra del Endrinal (sector central de la sierra de Grazalema) hacia la cuenca del río Gaduares y, por tanto, hacia la sima del Hundidero (sierra de Libar), en condiciones de aguas altas, cuando la sima de La Olla se vuelve surgente. Así lo demuestran los datos recogidos en varios ensayos con trazadores artificiales efectuados en la sierra de Endrinal (primavera de 2018), los cuales permitieron constatar un flujo preferente hacia el NE, hacia el borde oriental de dicha sierra. Cabe la posibilidad de que exista conexión hidrogeológica entre las sierras de Grazalema y Libar, a través de las calizas que previsiblemente deberían de estar por debajo de los materiales del Flysch aflorantes en los sectores de La Barrida y de los Llanos del Republicano, pero este aspecto no ha podido ser demostrado científicamente hasta ahora, más allá de los resultados del cierre de los balances hídricos. Con sentido SO, opuesto al anterior, fluye el agua infiltrada en la sierra del Caíllo y en la de Ubrique, cuyo drenaje se produce por los manantiales de Ubrique que alimentan al río Majaceite.

De acuerdo con los argumentos antes expuestos, las aguas subterráneas de la MASb. "Grazalema-Prado del Rey" se encontrarían compartidas entre ambas demarcaciones, aunque hidrológicamente se encuentra en la DHGB. La MASCH Sierra de Libar, que hidrológicamente se encontraría compartida entre las dos demarcaciones, sus aguas subterráneas drenan en su totalidad hacia la DHCMA.

3.7. Usos del agua

Las principales infraestructuras hidráulicas de la zona son la presa de Montejaque y el túnel del trasvase Guadiaro-Majaceite. La presa fue construida a comienzos del siglo XX y se apoya sobre calizas karstificadas de la sierra de Libar, lo que limitó desde el principio su uso como embalse. El agua que se almacena en el vaso se infiltra y se incorporan al flujo subterráneo del sistema espeleológico Hundidero-Gato y, en definitiva, al acuífero de la sierra de Libar. Este hecho provoca que el embalse tenga siempre pérdidas y que no se pueda almacenar agua.

El trasvase Guadiaro-Majaceite permite transferir agua del río Guadiaro, en la DHCMA, hasta el río Majaceite, en la DHGB. Básicamente consiste en una toma en el río Guadiaro; un túnel que une las dos cuencas, con 12.125 m de longitud, una sección útil de 4,20 m de diámetro y una pendiente del 2%; y la obra de entrega (salida del túnel) localizada en el arroyo de La Barrida (afluente del Majaceite). Este trasvase fue autorizado mediante la Ley 17/1995 de 1 de junio de transferencia de volúmenes de aguas para el abastecimiento urbano e industrial del área metropolitana de la Bahía de Cádiz. El trasvase entre cuencas se justificó por el déficit crónico de la cuenca del Guadalete y el caudal máximo autorizado es de 110 hm³/año, aunque no se pueden trasferir más de 30 m³/s de manera instantánea. Los caudales derivados están regulados primero en el embalse de Los Hurones, de 135 hm³ de capacidad, y aguas abajo en el de Guadalcacín, con 800 hm³ de capacidad. El trasvase entró en funcionamiento en el año 2000 y desde entonces la comisión de explotación de dicho trasvase, creada por el Real Decreto 1599/1999 de 15 de octubre, es la encargada de su control y seguimiento. La tabla 3.2-A muestra los caudales transferidos en cada año hidrológico desde el inicio de su explotación. El valor medio anual del agua trasvasada en los 19 años de servicio de la infraestructura hidráulica es de 32,59 hm³.

Tabla 3.2. A) Caudales transferidos desde la cuenca del río Guadiaro a la cuenca del Guadalete mediante el trasvase que las une. B) Valores anuales de caudal medidos en la estación La Fresneda, situada aguas abajo del inicio del túnel de trasvase. Datos expresados en hm³/año

Año hidrológico	2018/19	2017/18	2016/17	2015/16	2014/15	2013/14	2012/13	2011/12	2010/11	2009/10
Caudal trasvasado	6,67	35,03	9,27	17,63	0,00	0,00	44,71	2,58	3,76	109,96
A										
Año hidrológico	2008/09	2007/08	2006/07	2005/06	2004/05	2003/04	2002/03	2001/02	2000/01	Media
Caudal trasvasado	51,83	22,38	17,41	21,68	0,46	76,35	88,03	1,53	109,97	32,59
B										
Año hidrológico	2018/19	2017/18	2016/17	2015/16	2014/15	2013/14	2012/13	2011/12	2010/11	2009/10
Caudal río	-	108,68	-	-	-	92,62	285,35	52,15	135,31	158,98
Año hidrológico	2008/09	2007/08	2006/07	2005/06	2004/05	2003/04	2002/03	2001/02	2000/01	Media
Caudal río	64,70	31,94	34,92	34,40	29,51	67,76	-	-	-	91,36

Otra infraestructura hidráulica de menor entidad es el azud de derivación y el canal asociado a la central hidroeléctrica situada en El Colmenar-Estación de Gaucín, al sur del desfiladero de Las Buitreras. El trazado del canal, con una longitud aproximada de 6,5 km, discurre de manera

subterránea por la margen izquierda del río Guadiaro hasta el conocido como “puente de los Alemanes”. Desde ese punto hasta la central hidroeléctrica discurre por la margen derecha del río.

Inmediatamente aguas abajo del trasvase y del azud de derivación para la central hidroeléctrica (Figura 3.8), en la estación de aforos de La Fresneda, el caudal medio del río Guadiaro calculado a partir de los datos disponibles (12 años hidrológicos) es de 91,36 hm³/año (Tabla 3.2 B).

De las aguas subterráneas de la sierra de Libar se abastecen las localidades de Montejaque, Benaoján, Cortes de la Frontera y Jimera de Libar, al este del área representada en la figura 3.1. El abastecimiento se realiza principalmente mediante captación directa del agua en manantiales (Las Artezuelas, Benaoján y otras surgencias secundarias). No obstante, en condiciones de estiaje es necesario recurrir a sondeos para completar las dotaciones hídricas (sondeo de Cortes de la Frontera y de la Estación de Benaoján). Además, cabe añadir el valor ambiental de la MASCH, dado que el agua drenada por los manantiales constituye la principal aportación al caudal del río Guadiaro, que recorre las estribaciones orientales del Parque Natural de la Sierra de Grazalema y del Parque Natural de Los Alcornocales.

De forma indirecta, los caudales que se descargan desde la Sierra de Libar hacia el río Guadiaro, derivados en parte por el trasvase hacia la cuenca del Guadalete, son regulados al oeste por los embalses de Los Hurones y Guadalcacín, aguas abajo de la salida del túnel del trasvase. De estos embalses depende el suministro de agua para usos urbano, agrícola e industrial de toda la fachada atlántica de la provincia de Cádiz.

Se puede considerar como uso no consuntivo el agua del río Guadiaro utilizada para la generación de energía eléctrica en la central de El Colmenar, cuya toma mediante un canal de derivación se encuentra en la margen izquierda del río, justo enfrente del túnel del trasvase Guadiaro–Majaceite.

4. CLIMATOLOGÍA

En el entorno de la sierra de Libar, el régimen pluviométrico está afectado por la proximidad e influencia del Océano Atlántico y del Mar Mediterráneo, lo cual ocasiona una marcada estacionalidad en las precipitaciones (prácticamente inexistentes durante los meses estivales), y un descenso de éstas de O a E. El segundo factor es la orografía, que condiciona la circulación de las masas de aire e impone condiciones de barrera (efecto Foehn o de precipitación orográfica). La presencia de relieves elevados origina gradientes pluviométricos pronunciados en las vertientes montañosas situadas a barlovento de los frentes dominantes, mientras que en las laderas orientadas a sotavento la precipitación es menor (Castillo, 1988; Martín-Vide, 1991).

La distribución de las temperaturas en el entorno es consecuencia de tres factores fundamentales: latitud, distancia al mar y relieve. La influencia del Mar Mediterráneo y del Océano Atlántico es patente en casi toda la zona, ya que las brisas marinas húmedas suavizan las temperaturas durante todo el año. Esta atenuación desciende al adentrarse en las zonas del interior, donde es casi inexistente. Los relieves elevados (como la sierra de Libar), modifican la circulación atmosférica y crean barreras físicas que modifican la regulación de las temperaturas.

4.1. Información meteorológica

El estudio pluviométrico llevado a cabo en el ámbito de estudio se ha desarrollado a partir de la información procedente de 8 estaciones meteorológicas (Tabla 4.1) pertenecientes a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), las cuales presentan un rango de altitudes comprendido entre 276 (El Colmenar) y 1028 m s.n.m. (Cueva de la Pileta). Todas las estaciones cuentan con una periodicidad de registro diaria. La ubicación de las estaciones consideradas en este estudio está representada en la figuras 4.1, 4.2 y 4.3.

Tabla 4.1. Datos de las estaciones meteorológicas consideradas en la caracterización climática de la sierra de Libar.

Estación	Código	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Parámetro de medida	E. termo. asignada	P. media (mm)	T. media (°C)
		X	Y					
Grazalema	5911	288458	4070541	921	P,T	---	1705	15.5
Cueva Pileta	6035	295959	4062495	1028	P	5943B	1386	---
Colmenar	6040U	286002	4046701	276	P,T	---	1092	17.5
Buitreras	6040	290452	4050600	458	P	6040U	1083	---
Cortes de la Fr ^a	6039A	290514	4055163	640	P	6040U	1298	---
Jimera	6038	296013	4059564	383	P	6040U	1197	---
Montejaque	6037	299852	4069650	898	P	5911	718	---
V. del Rosario	5943B	287436	4062434	812	P,T	---	1597	14.7

4.2. Análisis espacio-temporal

Análisis temporal

El primer paso en el tratamiento de los datos pluviométricos y termométricos ha consistido en la identificación de las lagunas en el registro original, a paso de tiempo diario. El completado de series se ha realizado mediante regresión lineal (a paso de tiempo diario), entre los pares de estaciones con mayor coeficiente de determinación (R^2). Finalmente, a las series pluviométricas completadas, se les ha aplicado el método de dobles masas, para detectar y corregir errores sistemáticos y accidentales en las mismas. No se han detectado errores de este tipo en las 8 estaciones seleccionadas.

El cálculo de la precipitación media anual se ha realizado a partir de la información registrada en las 8 estaciones seleccionadas por su representatividad (distribución espacial, longitud y continuidad de la serie de datos), durante el periodo 1985/86-2014/15 (Tabla 4.2), que se ha tomado como periodo de referencia del proyecto.

Tabla 4.2. Precipitación anual (mm) durante el periodo 1985/86 – 2014/15 en la sierra de Líbar y áreas próximas. Años tipo: azul (húmedo), amarillo (seco) y blanco (año de tipo medio)

Año hidrológico	5911 Grazalema	6035 Cueva piletas	6040U Colmenar	6040 Buitreras	6039A Cortes de la Fr ^a	6038 Jimera	6037 Montejaque	5943B V. del Rosario	P. media anual (mm)
1985/86	2836	1449	1064	996	2161	1181	735	2221	1580
1986/87	1690	1270	985	889	941	1005	773	1570	1140
1987/88	1846	1410	1075	1025	1379	1233	823	1668	1307
1988/89	1144	1113	1032	861	996	998	283	1057	936
1989/90	1401	1813	1715	1471	1498	1545	535	1494	1434
1990/91	1370	1317	1106	1120	1214	1101	566	1431	1153
1991/92	926	980	859	962	951	721	449	1089	867
1992/93	978	779	790	892	832	797	428	998	812
1993/94	1191	909	846	877	792	747	506	1134	875
1994/95	798	581	552	520	534	445	291	852	571
1995/96	3031	2109	1730	1956	2126	1872	1278	2666	2096
1996/97	1885	2168	1697	1917	1582	1801	1258	1920	1779
1997/98	2308	2039	1483	1756	1538	1522	1116	2407	1771
1998/99	714	660	585	496	669	528	257	723	579
1999/00	1457	1258	880	926	1129	1024	614	1470	1095
2000/01	2533	2155	1398	1610	1828	1780	1068	2550	1865
2001/02	1268	1094	750	806	865	891	535	1168	922
2002/03	1941	1549	1115	1181	1337	1364	818	1810	1389
2003/04	1814	1524	1257	1143	1350	1275	765	1712	1355
2004/05	763	568	464	397	532	535	321	550	516
2005/06	1424	1016	867	681	1085	1000	600	1111	973
2006/07	1490	1110	916	807	1135	1047	628	1407	1067
2007/08	1426	1010	761	775	1087	1002	601	1220	985
2008/09	2205	1425	1341	987	1680	1549	930	2117	1529
2009/10	3018	2688	2082	1795	2299	2120	1272	2884	2270
2010/11	1876	1714	1323	1181	1448	1335	801	1757	1430
2011/12	999	900	692	614	760	701	421	927	752
2012/13	3165	2086	1767	1521	2411	2224	1334	2767	2159
2013/14	2195	1700	799	1395	1672	1542	925	1880	1514
2014/15	1444	1175	839	918	1100	1015	609	1349	1056
Max	3165	2688	2082	1956	2411	2224	1334	2884	2270
Med	1705	1386	1092	1083	1298	1197	718	1597	1259
Min	714	568	464	397	532	445	257	550	516
Media * 1.15	1960	1594	1256	1245	1492	1376	826	1836	1448
Media * 0.85	1449	1178	928	920	1103	1017	610	1357	1070
Años húmedos	8	9	9	8	10	9	8	9	9
Años medios	8	8	7	9	7	8	8	9	8
Años Secos	14	13	14	13	13	13	14	12	13

La precipitación media aritmética del área, durante el periodo 1985/86–2014/15, asciende a 1.259 mm. Este dato de la media aritmética se ha tenido en cuenta para la caracterización de los años tipo, pero no para la evaluación de la recarga, que se ha estimado a partir de la distribución espacial de las precipitaciones (isoyetas) o de la lluvia útil en su caso.

Se han considerado años húmedos aquellos en los que la precipitación es superior a la media más el 15% y años secos los que tienen una precipitación inferior al 85% de la media. A lo largo del periodo considerado se han detectado 9 años de tipo húmedo, 13 años secos y 8 medios (Figura 4.1). El año hidrológico más húmedo fue 2009/10, con una precipitación media de 2.270 mm y el año más seco 2004/05, con una lluvia promedio de 516 mm.

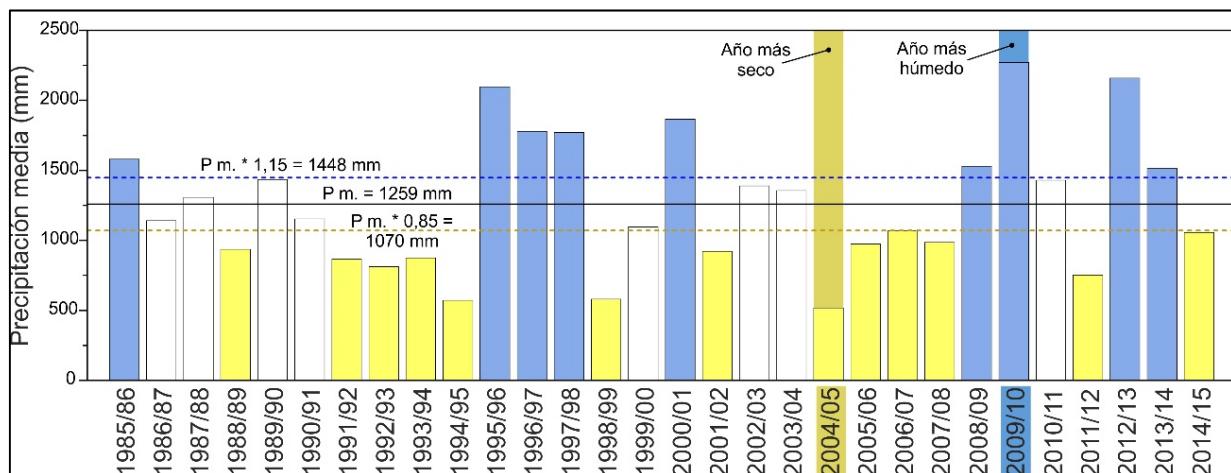


Figura 4.1. Distribución temporal de la precipitación media anual durante el periodo 1985/86–2014/15. En azul, años de tipo húmedo; en blanco, años de tipo medio; y en amarillo, años de tipo seco.

Análisis espacial

En la figura 4.2 muestra la distribución espacial (mapas de isoyetas) de las precipitaciones durante el periodo 1985/86–2014/15. Como años representativos de las distintas condiciones hidrológicas más extremas se han escogido los años 2009/10 (ejemplo de los años húmedos) y 2004/05 (característico de los años secos). La representación del año de tipo medio se ha realizado a partir de los valores medios aritméticos de las estaciones seleccionadas.

La realización de los mapas se ha llevado a cabo con la información de las estaciones, aunque se ha tenido en cuenta la influencia de la topografía a la hora de trazar las isoyetas, especialmente en las zonas con una menor cobertura meteorológica. La equidistancia entre isoyetas es de 100 mm para los mapas de los años medio y seco y 200 mm para el año húmedo.

La distribución general del trazado de las isoyetas es similar en las tres condiciones hidrológicas consideradas. La precipitación es mayor en el sector centro-occidental del área de estudio (los valores más elevados de precipitación se miden en las estaciones de Grazalema y Villaluenga del Rosario) y menor en el extremo NE. La precipitación más baja se registra en la estación de Montequaje. En general, se observa una disminución de la precipitación hacia los bordes S y E del área de estudio (zona de menor altitud). La precipitación media anual caída sobre los afloramientos carbonáticos y cuencas endorreicas durante el periodo histórico, determinada mediante planimetría de isoyetas, es de 1.386 mm. Este dato se considera más adecuado que el de la media aritmética porque tiene en cuenta la distribución espacial y altitudinal de las precipitaciones.

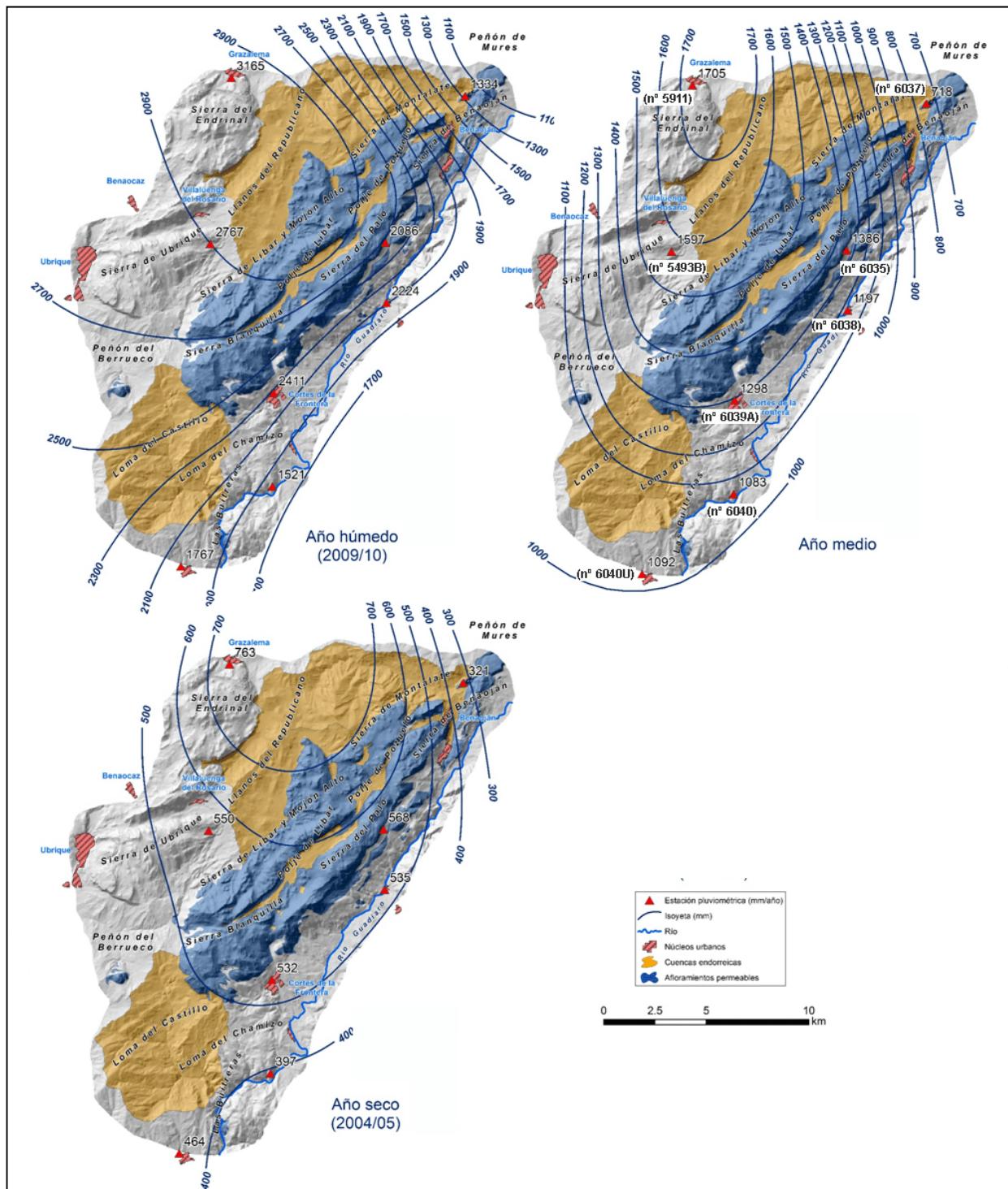


Figura 4.2. Mapas de isoyetas correspondiente al año medio del periodo 1985/86–2014/15, año seco (2004/05) y año húmedo (2009/10).

La influencia del relieve en las precipitaciones se constata en la figura 4.3. La cantidad de precipitación aumenta con la altitud de la estación pluviométrica considerada. Para establecer el gradiente pluviométrico o la relación entre la cantidad de lluvia y la cota topográfica, se ha efectuado la correlación lineal entre los datos de precipitación media anual del periodo 1985/86 – 2014/15 y la altitud de cada estación considerada. El gradiente calculado es 91 mm/100 m de altitud. En el cálculo del gradiente no se han considerado las estaciones de Montequaque y Cueva de la Pileta, situadas a

sotavento de los frentes lluviosos dominantes, en la vertiente oriental de la sierra de Libar, donde llueve menos.

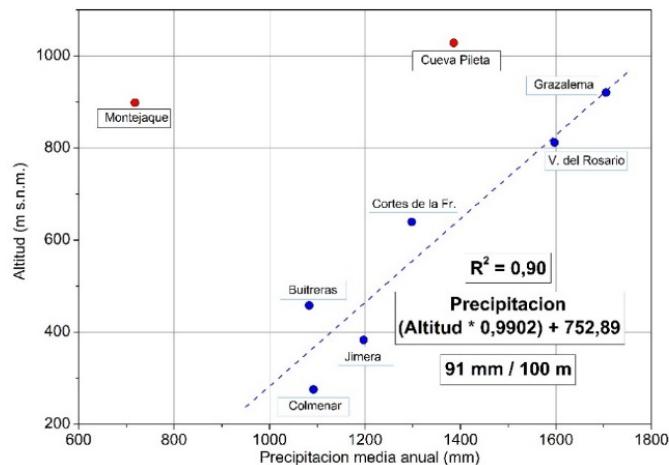


Figura 4.3. Gradiente pluviométrico en función de la altitud correspondiente al periodo 1985/86–2014/15

5. RECARGA DE ACUÍFEROS

Dadas las características hidrogeológicas de la Sierra de Libar, se ha calculado, por una parte, la **recarga alóctona**, que procede de la escorrentía generada en las cuencas endorreicas (constituidas por materiales de baja permeabilidad) y se infiltra en los sumideros kársticos. Y, por otra parte, se ha evaluado la **recarga autóctona**, por infiltración de agua de lluvia que cae directamente sobre los afloramientos permeables (calizas y dolomías). En este segundo caso se han aplicado dos tipos de metodologías principales: balance hídrico del suelo (Thornthwaite, 1948) y el método APLIS (IGME-GHUMA, 2003; Andreo *et al.*, 2008; Marín, 2009). Los cálculos del balance de agua en el suelo se han efectuado a partir de los datos diarios de precipitación y de temperatura del aire, aplicando para el cálculo de la ETP la ecuación de Hargreaves y Samani (1985) mediante el código TRASERO 2.1 (Padilla y Delgado, 2013). También se han utilizado el método RENATA (IGME-Diputación Provincial de Alicante, 2012) y el código VISUAL BALAN (Samper *et al.*, 1999).

La estimación de la recarga se ha realizado para el periodo de 30 años hidrológicos (1985/86–2014/15) establecido en el proyecto y considerando la MASCH Sierra de Libar en su conjunto, sin diferenciar las dos masas de agua subterránea que la integran administrativamente, ya que ambas constituyen un único sistema acuífero cuya descarga se produce hacia el río Guadiaro.

5.1. Recarga alóctona

La estimación de la recarga alóctona se ha realizado mediante el cálculo de la tasa de escorrentía (Témez, 1978) para cada una de las estaciones citadas en el apartado 4, a las cuales se les ha asignado un valor de umbral de escorrentía (P_o) = 5 y número de curva (N_c) = 91. Estos valores han sido establecidos según las particularidades topográficas, litológicas y de uso del suelo de las distintas cuencas endorreicas del ámbito de estudio, siguiendo la citada metodología. Así, los principales materiales que afloran en dichas cuencas y susceptibles de generar escorrentía son las arcillas y areniscas del Complejo del Campo de Gibraltar, y localmente margas y margocalizas del Cretácico-Terciario.

La superficie de las cuencas donde afloran formaciones de baja permeabilidad está ocupada en su mayoría por masas forestales con bajo desarrollo y praderas (bosque mediterráneo). No hay cultivos agrícolas. La pendiente media de estas superficies es 11,5 %, valor este determinado a partir del modelo digital de elevaciones proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional, con un tamaño de pixel de 5 x 5 m. Todas las cuencas tienen una pendiente superior al 3%.

Una vez obtenida la tasa de escorrentía para cada estación, se ha realizado la distribución espacial de dichos valores (isolíneas de escorrentía), con el objetivo de cuantificar el volumen de agua que los afloramientos de baja permeabilidad de las diferentes cuencas endorreicas aportan al cómputo total de la recarga. En la figura 5.1 se muestra el ejemplo de las isolíneas de escorrentía correspondiente al año medio del periodo considerado.

Para el cálculo de la recarga alóctona se ha diferenciado el agua aportada por las cuencas hidrográficas del río Gaduares y arroyo de Los Álamos (Tabla 5.1) de la correspondiente a las cuencas interiores de la sierra de Libar que, debido a su pequeña extensión, se han agrupado conjuntamente. Así, durante el periodo de estudio considerado (1985/86–2014/15), el valor medio anual de la infiltración concentrada que se produce en sumideros de kársticos de la sierra de Libar ha resultado ser 682 mm (38,07 hm³/a), equivalente a un 47,3% de la precipitación media anual que cae sobre la superficie de las cuencas endorreicas ocupadas por materiales de baja permeabilidad (1.444 mm). En detalle, los valores medios anuales de recarga alóctona en las distintas cuencas

endorreicas que alimentan al sistema acuífero son: 45,7 % ($21,49 \text{ hm}^3/\text{a}$) en la cuenca del río Gaduares, vertiente a Hundidero; 50,1% ($11,73 \text{ hm}^3/\text{a}$) en la cuenca del arroyo de Los Álamos, y 47,6% ($4,85 \text{ hm}^3/\text{a}$) en las cuencas internas de la sierra de Libar. Los resultados alcanzados son similares a los obtenidos por la DGOHCA (1998) para las cuencas del río Gaduares ($20,10 \text{ hm}^3/\text{a}$) y el arroyo de Los Álamos ($13,14 \text{ hm}^3/\text{a}$).

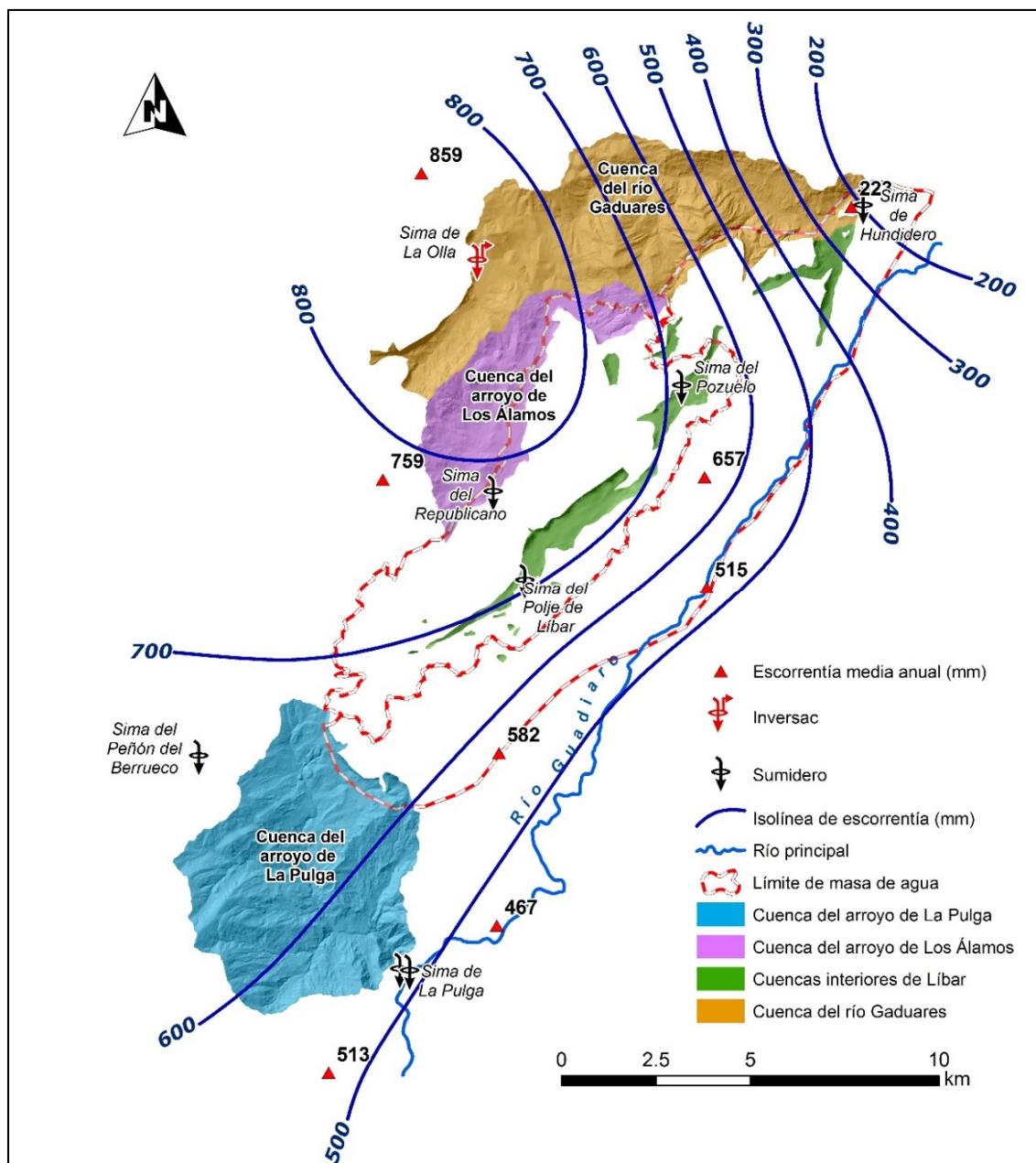


Figura 5.1. Isolineas de igual escorrentía utilizado para el cálculo de la recarga alóctona mediante planimetría de los valores.

El resultado obtenido en la evaluación de la recarga alóctona también es dependiente de las diferentes condiciones pluviométricas consideradas (Tabla 5.1). Durante el año más húmedo (2009/10) la precipitación media calculada por planimetría de la isoyetas sobre las cuencas vertientes a sumideros ha sido 2.651 mm (147,89 hm^3/a) y la tasa de escorrentía se ha cifrado en el 50,6% de la precipitación, lo que supone una aportación de 74,77 hm^3/a . Durante el año más seco (2004/2005), tanto la precipitación registrada (659 mm; 36,76 hm^3/a) como la tasa de escorrentía

(36,9%), son significativamente más reducidas, lo que representa unos volúmenes totales de agua de 13,58 hm³/a.

Tabla 5.1. Valores de recarga alóctona estimada mediante la planimetría de índices de escorrentía obtenidos por el método de Témez (1978) para cada una de las cuencas endorreicas consideradas en el balance hidrogeológico. Los valores de precipitación han sido igualmente calculados mediante planimetría de isoyetas

	Superficie (km ²)	Precipitación		Planimetría de escorrentía (Témez, Po=5 y Nc=91)			
		mm	hm ³	mm	hm ³	%	
Cuenca río Gadiuares	33,37	Año húmedo (2009/10)	2.517	83,99	1.253	41,81	49,8
		Año medio	1.408	46,98	644	21,49	45,7
		Año seco (2004/05)	679	22,66	243	8,11	35,8
Cuenca arroyo de Los Álamos	14,65	Año húmedo (2009/10)	2.992	43,83	1.587	23,25	53,0
		Año medio	1.597	23,40	801	11,73	50,1
		Año seco (2004/05)	665	9,74	262	3,84	39,4
Cuenca interiores de Líbar	7,77	Año húmedo (2009/10)	2.584	20,06	1.251	9,71	48,4
		Año medio	1.312	10,19	624	4,85	47,6
		Año seco (2004/05)	560	4,35	210	1,63	37,5
Total cuencas endorreicas	55,79	Año húmedo (2009/10)	2.651	147,89	1.340	74,77	50,6
		Año medio	1.444	80,57	682	38,07	47,3
		Año seco (2004/05)	659	36,76	243	13,58	36,9

En este estudio no se ha considerado la aportación procedente de la cuenca del arroyo de La Pulga (Figura 5.1) en el cómputo global de la recarga alóctona, por no conocerse bien su relación con la formación carbonática acuífera subyacente. Además, hay que indicar que sólo se infiltra una parte del agua de escorrentía generada en arroyo y principalmente en condiciones de agua intermedias-bajas, pues los sumideros localizados en la zona de salida de la cuenca tienen una capacidad de absorción limitada. No obstante, la presencia de estos sumideros, muy próximos a la entrada de la garganta de Las Buitreras, es coherente con la existencia de infiltración rápida del agua de escorrentía, que se incorporaría al flujo subterráneo y presumiblemente se descargaría a través de la surgencia del Charco de Moro (punto de descarga situado a cota más baja del sistema acuífero carbonático estudiado). Por este motivo, se han calculado la escorrentía que se genera en la cuenca del arroyo de La Pulga para cada una de las condiciones climáticas consideradas (Tabla. 5.2), siguiendo la misma metodología que en el resto de cuencas endorreicas del área de estudio.

Tabla 5.2. Valores de recarga alóctona máxima estimada mediante la planimetría de índices de escorrentía obtenidos por el método de Témez (1978) en la cuenca del arroyo de La Pulga, en diferentes condiciones hidrometeorológicas

Superficie (km ²)		Precipitación	Planimetría de escorrentía (Témez, Po=5 y Nc=91)		
			mm	hm ³	%
Cuenca del Arroyo de la Pulga	Año húmedo (2009/10)	2.381	82,14	1.195	41,23
	34,50 Año medio	1.124	38,78	613	21,14
	Año seco (2004/05)	446	15,39	203	6,99
					45,4

Durante el año más húmedo (2009/2010), la precipitación media calculada sobre la cuenca del arroyo de La Pulga ha sido 2.381 mm (82,14 hm³/a) y la tasa de escorrentía se ha cifrado en el 50,2%, lo que supone una aportación de 41,23 hm³/a. En el año más seco (2004/2005), tanto la precipitación (446 mm; 15,39 hm³/a) como la tasa de escorrentía (45,4%) son más reducidas, lo que equivale a una aportación de 6,99 hm³/a. Para los años hidrológicos representativos de las condiciones hidrometeorológicas medias, la precipitación calculada por planimetría de isoyetas es 1.124 mm (38,78 hm³/a) y la tasa de escorrentía es del 54,5%, lo que supone una aportación media de 21,14 hm³/año (Tabla 5.2).

5.2. 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 Infiltración preferencial y tipo de Suelo (IGME-GHUMA, 2003; Andreo *et al.*, 2008; Marín, 2009). Tratados mediante su procesado geoespacial y el álgebra de mapas con herramientas SIG, obteniéndose un mapa de distribución de la tasa recarga expresada en porcentaje de la precipitación.

Su aplicación requiere de un sistema de puntuaciones de 1 (mínima influencia en la recarga) a 10 (máxima influencia) para las variables implicadas. Los valores obedecen a criterios meramente empíricos y se tabulan en la Tabla 5.3.

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 aritmética aplicada a las capas de cada variable para obtener el porcentaje de la precipitación infiltrada es la siguiente:

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

donde:

R = tasa de recarga, A = parámetro altitud, P = parámetro pendiente, L = parámetro litología, I = parámetro infiltración, S = parámetro suelo y F_h = factor de corrección

Puesto que este método sólo es aplicable en acuíferos carbonáticos, se ha utilizado el método APLIS modificado que presenta algunas mejoras en los parámetros P e I, además de añadir un factor de corrección (F_h) relativo a la capacidad del terreno para dejar pasar el agua en la vertical. 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 corrige la sobreestimación de la recarga sobre materiales tradicionalmente considerados como poco o nada permeables.

Tabla 5.3. Método APLIS. Parámetros y valores tabulados

Parámetro	Altitud (m)	Valor
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 (%)	Valor
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	Valor
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
Parámetro	Infiltración-absorción preferencial	Valor
IInfiltración	Abundantes formas de infiltración preferencial	10
	Escaras formas de infiltración preferencial	1
Parámetro	Suelo	Valor
S Suelo	Leptosoles	10
	Arenosoles álbicos y Xerosoles cárnicos	9
	Regosoles calcáreos y Fluvisoles	8
	Regosoles eútricos, dísticos y Solonchaks	7
	Cambisoles cárnicos	6
	Cambisoles eútricos	5
	Histosoles eútricos, Luvisoles órticos y cárnicos	4
	Luvisoles crómicos	3
	Planosoles	2
	Vertisoles crómicos	1

Para la aplicación del método APLIS modificado (IGME-GHUMA, 2003; Andreo *et al.*, 2008; Marín, 2009) se ha considerado exclusivamente la superficie ocupada por los afloramientos permeables (calizas y dolomías) de la sierra de Libar. Las tasas de recarga obtenidas a partir de este método están comprendidas entre 8 y 78 % (Figura 5.2).

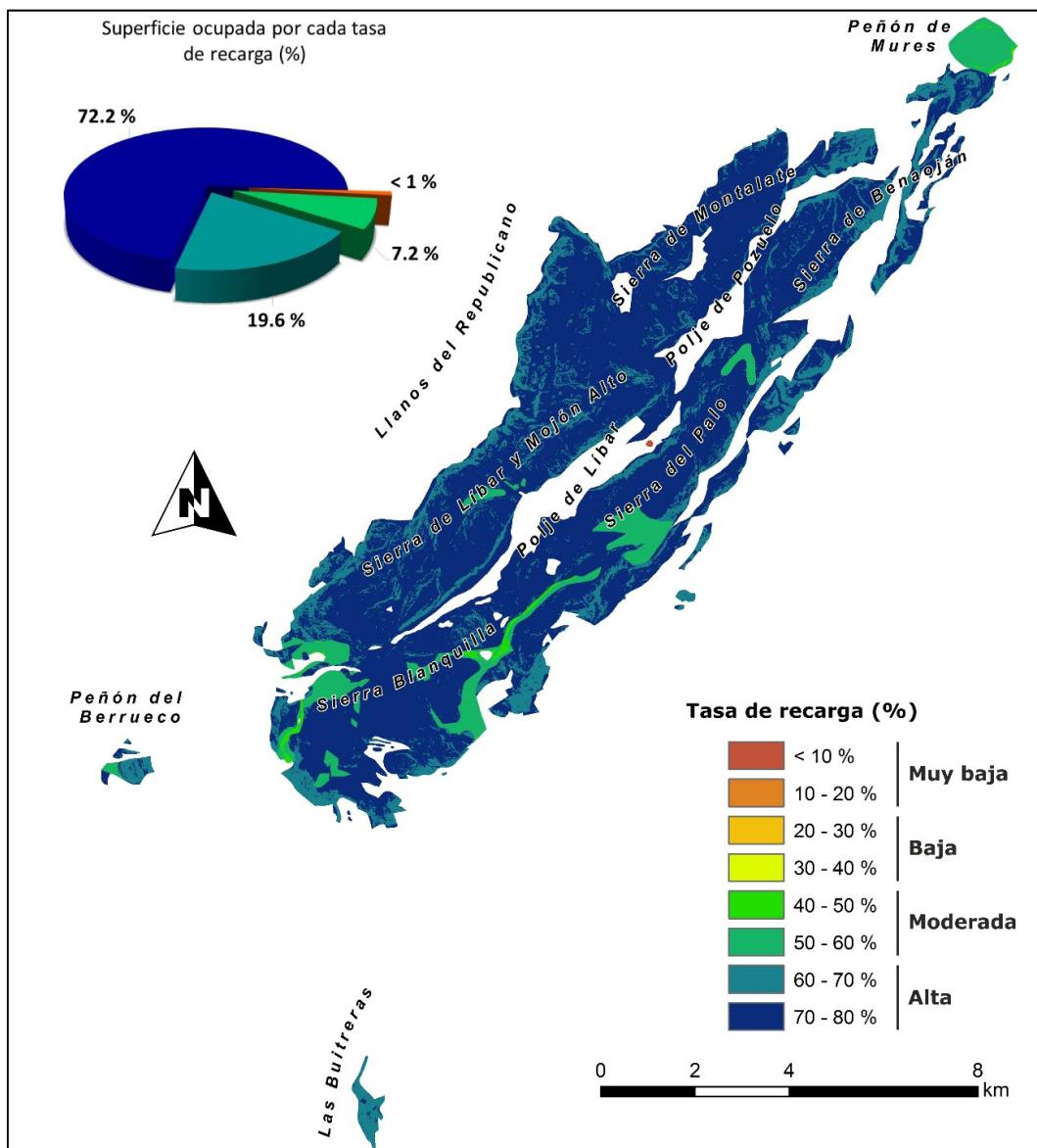


Figura 5.2. Distribución de la tasa de recarga obtenida mediante la aplicación del método APLIS modificado en la MASCH Sierra de Libar y zonas adyacentes. Las tasas de recarga comprendidas entre 8 y 50 % suponen menos del 1 % de la superficie considerada.

Se ha calculado el volumen medio anual infiltrado por unidad de superficie, lo que puede denominarse recarga específica (expresada en m^3/m^2), mediante la multiplicación de las tasas de recarga obtenidas con el método APLIS modificado por los valores de precipitación determinados a partir de la planimetría de isoyetas. En la figura 5.3 se representa la distribución espacial de los valores de recarga específica del área de estudio para los años hidrológicos 2009/10 (húmedo), 2004/05 (seco) y para el año medio correspondiente al periodo 1985/86–2014/15.

La tasa de recarga calculada con la aplicación del método APLIS modificado es del 70,6 % y los recarga calculados mediante este método en condiciones hidrometeorológicas medias ascienden a 70,16 $\text{hm}^3/\text{año}$. Para el año hidrológico más húmedo (2009/2010) se han cifrado en 136,40 $\text{hm}^3/\text{año}$ y en 29,17 $\text{hm}^3/\text{año}$ para el año más seco (2004/2005).

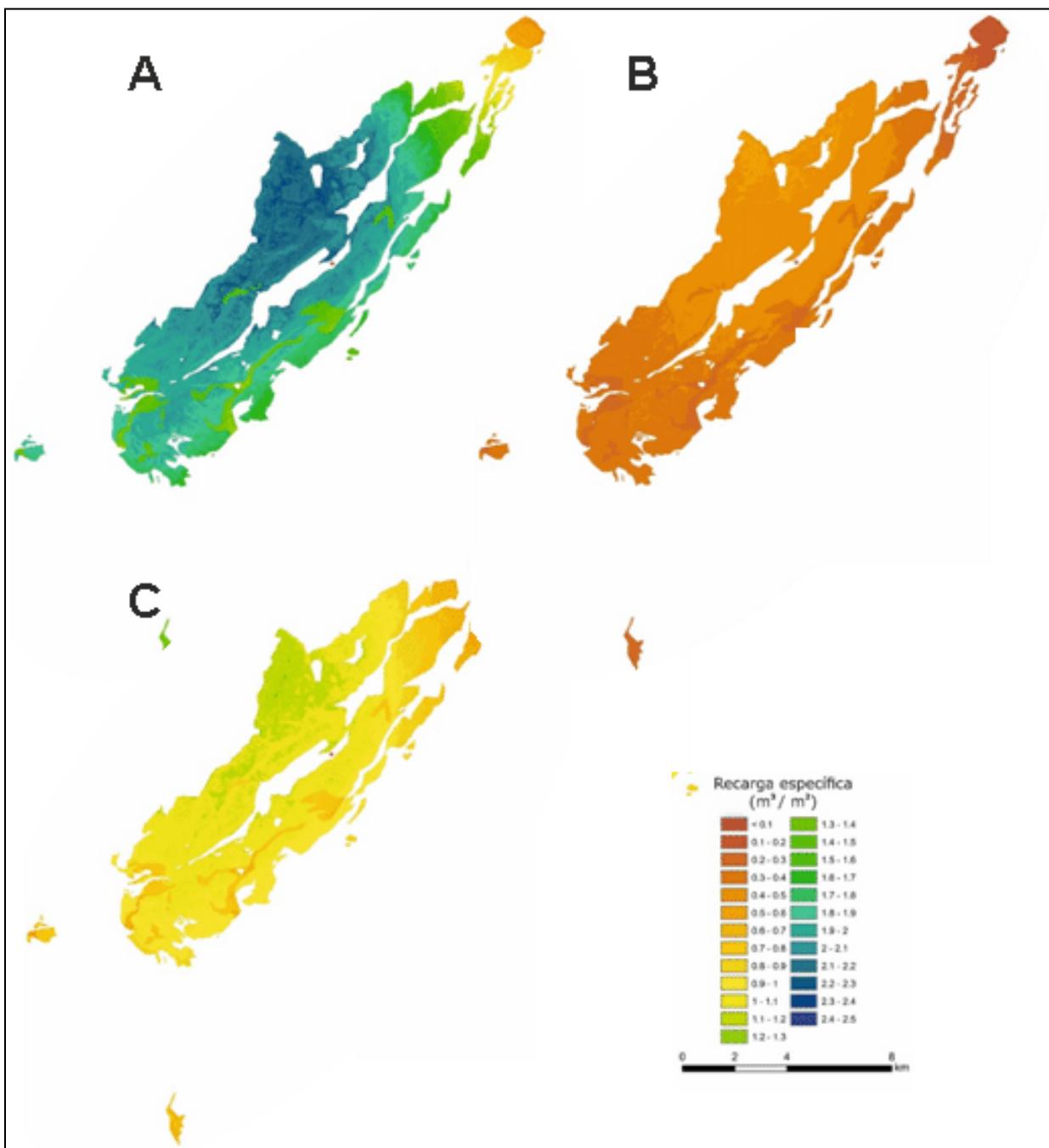


Figura 5.3. Mapas de recarga específica obtenidos mediante el método APLIS modificado para el año hidrológico más húmedo -2009/10- (A), más seco -2004/05- (B) y el año hidrológico medio del periodo 1985/86-2014/15 (C)

5.3. Estimación de la recarga mediante VISUAL BALAN

5.3.1. Objetivos y metodología

Se ha aplicado el código VISUAL BALAN con el objeto de disponer de una evaluación de la recarga en la masa de agua subterránea de la Sierra de Líbar. Se trata de un modelo de celda única que realiza un balance diario de agua en el suelo, la zona no saturada y el acuífero. Las entradas de agua al balance en este caso es la precipitación. Las salidas incluyen escorrentía superficial, evapotranspiración, flujo subterráneo (no se considera la presencia de flujos hipodérmicos relevantes en este sistema). El método de cálculo consiste en evaluar secuencialmente cada uno de estos términos: empieza por la precipitación, continúa con la escorrentía superficial, la evapotranspiración y termina con la recarga por infiltración. La simulación abarca el periodo 1985–2015.

El modelo conceptual de esta masa de agua subterránea pone de manifiesto ciertas dificultades metodológicas a la hora de afrontar su modelización. En primer lugar su carácter marcadamente kárstico, que añade una notable heterogeneidad espacial a los parámetros hidrodinámicos con lo que la respuesta hidrológica es más compleja de reproducir en un modelo agregado como BALAN.

En segundo lugar, y quizá más relevante, es el carácter binario de su área de alimentación. Una parte significativa de su recarga es alóctona; se genera en cuencas endorreicas con un sustrato de baja permeabilidad y su escorrentía se infiltra en sumideros kársticos. Este mecanismo de recarga es de compleja implementación en un modelo de balance en el suelo como el planteado y, en general, en cualquier código que suponga un comportamiento difuso (en el sentido de que cumpla la Ley de Darcy) en el acuífero.

Para abordar esta cuestión se ha planteado un primer análisis hidrodinámico de las surgencias con el objeto de identificar las aportaciones más rápidas que se puedan asimilar a la recarga alóctona, y las aportaciones más lentas que se asimilan a la recarga autóctona. Esta se genera sobre la superficie permeable del acuífero y por lo tanto es susceptible de una evaluación convencional mediante el balance hidrometeorológico en el suelo. Esto se ha realizado en dos fases: un primer análisis de recessiones para caracterizar la respuesta de las surgencias a los eventos de lluvia, y un segundo análisis de separación de componentes en el hidrograma.

Por último, y a partir de la aproximación a la respuesta lenta, se realiza un balance hidrometeorológico cuyos resultados constituyen una aproximación a la recarga autóctona del sistema.

5.3.2. Identificación de la aportación lenta

Descripción de las series de aportación mixta

De los principales puntos de descarga de la masa de agua en la que se dispone de información hidrométrica se van a considerar dos: la cueva del Gato y el manantial de Benaoján. Existe una tercera surgencia de importantes aportaciones, el manantial del Charco del Moro. No obstante, se considera que buena parte de esta surgencia procede de recarga alóctona por lo que no se va a considerar en el análisis. Existen otras aportaciones al río Guadiaro como el manantial de las Artezuelas para las que no se dispone de hidrogramas. Se trata de una surgencia de bastante menor entidad, por lo que su contribución al caudal drenado por el acuífero es poco significativa. Se identifican también otras surgencias de tipo *troppelein* de las que no se dispone de información foronómica, pero dada su naturaleza intermitente se pueden adscribir a las aportaciones rápidas.

Se dispone de información hidronómica para el manantial de la Cueva del Gato para el periodo 1985-2015 y para el manantial de Benaoján para el periodo 1999-2015 (Figura 5.4). Los

hidrogramas de ambos muestran una respuesta muy similar, tanto en las crecidas bruscas como en los rápidos agotamientos.

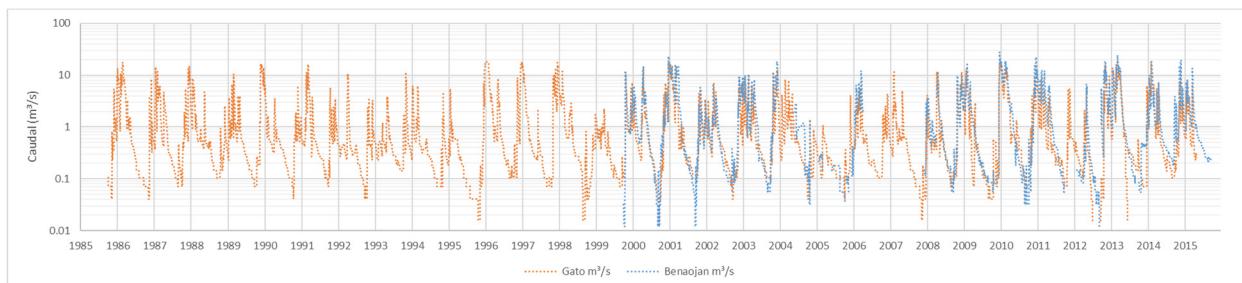


Figura 5.4. Hidrogramas de los manantiales de la Cueva del Gato y Benaoján

Tabla 5.4. Principales estadísticos de las series de caudales de las surgencias Benaoján y Cueva del Gato.

	Benaoján	Cueva del Gato
Datos	4.724	10.804
Media (m^3/s)	2,206	1,479
Desv. Est	3,66	2,83
Mediana (m^3/s)	0,617	0,422
Coef. variación	166%	191%
Mínimo (m^3/s)	0	0
Máximo (m^3/s)	28,049	17,8
Rango	28,049	17,8
Asimetría	75,7	140,9
Curtosis	113,9	256,2

Los valores centrales de caudal son algo superiores en el manantial de Benaoján, con una mediana de $0,617\text{ m}^3/\text{s}$, que los de la Cueva del Gato, con una mediana de $0,422\text{ m}^3/\text{s}$. Este exhibe un coeficiente de variación mayor, indicador de una mayor irregularidad, esto es, un comportamiento kárstico más acusado.

Los diagramas de cajas (Figura 5.5) ilustran bien la elevada dispersión (irregularidad) de ambos manantiales y el elevado caso de valores atípicos, caudales punta muy elevados.

En la figura 5.6 se muestran las curvas de caudales clasificados para ambos manantiales. Se evidencia una mayor regularidad de las aportaciones en el manantial de Benaoján. El aspecto escalonado de la parte inferior de ambas curvas revela una menor definición de los registros a caudales bajos.

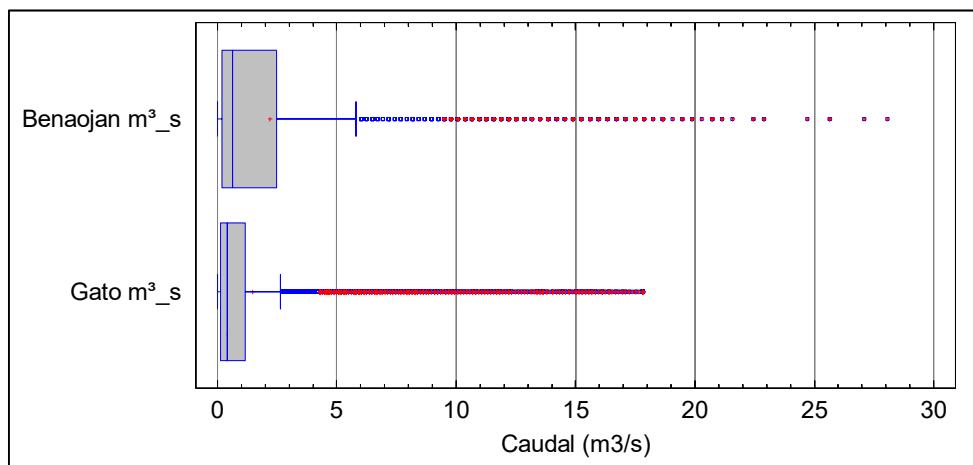


Figura 5.5. Diagrama de cajas de los caudales registrados en los manantiales con recarga mixta analizados

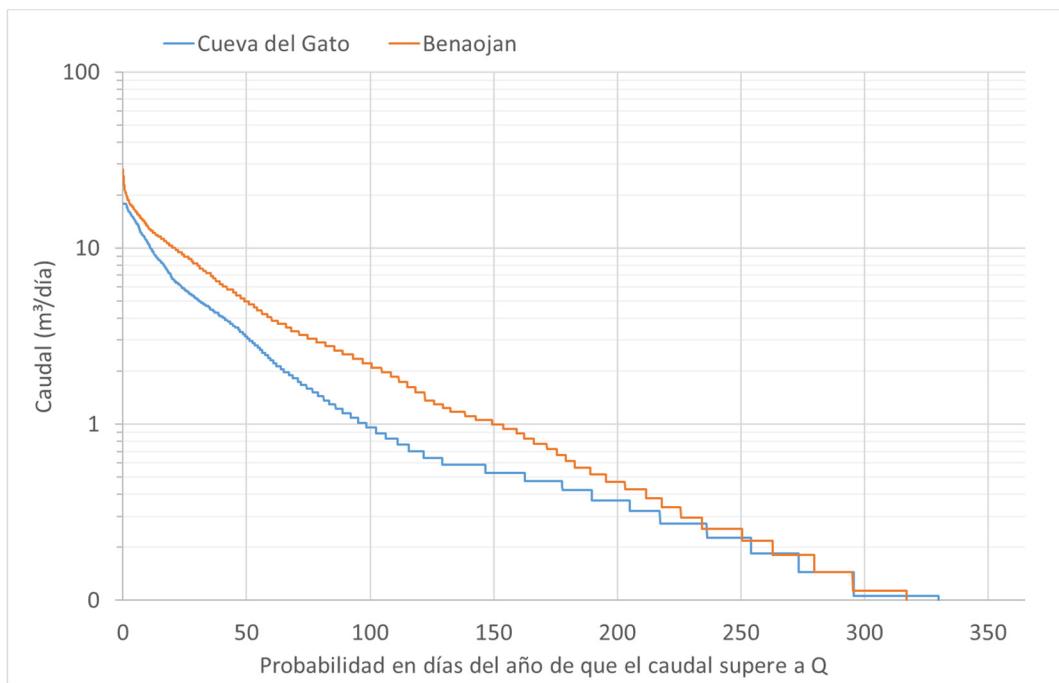


Figura 5.6. Curva de caudales clasificados de los manantiales de Benaoján y Cueva del Gato

Análisis de recessiones

elaboración de la curva de recessión maestra se ha empleado el código RECESS . El programa emplea una combinación de procedimientos automatizados e interactivos que requieren de la intervención del usuario para seleccionar los segmentos del hidrograma que representan períodos de recessión.

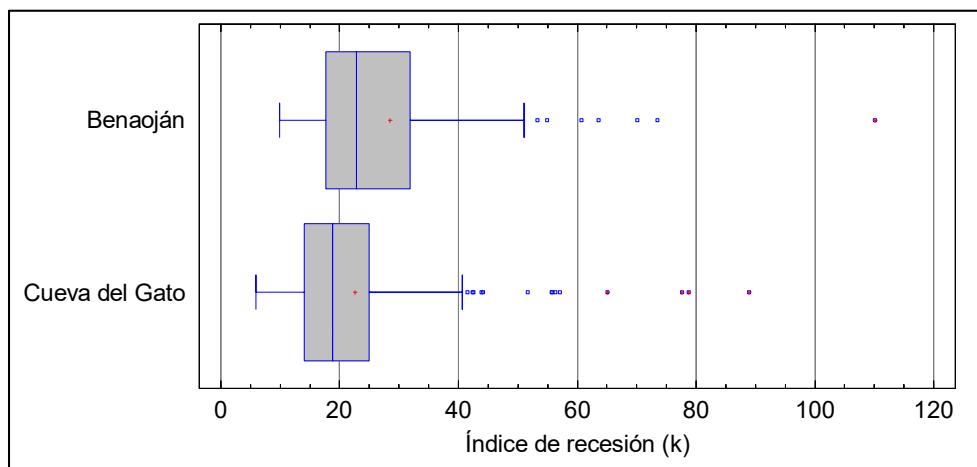
El índice de recessión (k , en días) cuantifica la rapidez de respuesta hidrológica de los manantiales. Este parámetro es el inverso del coeficiente de agotamiento por el logaritmo neperiano de 10 ($k=\alpha (d^{-1}) \times 2,3026$) que se emplea en BALAN, si bien es más intuitivo y fácil de interpretar: representa el tiempo transcurrido para un descenso de caudal de un ciclo logarítmico (por ejemplo, de 10 a 1 m^3/s).

Se han analizado 227 recessiones lineales en los dos manantiales analizados con alimentación binaria. Los segmentos de recessión seleccionados se resumen en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Características de las recessiones analizadas.

Lugar	Periodo	Recesiones analizadas	Mínimo k	Perc.25 k	Mediana k	Máximo k	Rango de Caudal (m ³ /s)
Manantial Benaoján	1999-2015	73	9,9	17,6	22,9	110,1	15,50 0,21
Cueva del Gato	1985-2015	154	5,8	14,0	18,8	88,9	12,56 0,22

La estructura de los datos de k (Figura 5.7) muestra en ambos manantiales una distribución muy sesgada hacia los valores más bajos, por lo que se va a emplear el valor de la mediana como mejor medida central de k.

**Figura 5.7. Diagrama de cajas de los índices de recesión**

La primera observación es la elevada variabilidad de los valores de k, con valores extremos entre 6 y 110 días, lo cual es un claro indicador de la complejidad de las condiciones hidrogeológicas de las cuencas de alimentación. Los valores centrales (medianas de 23 y 19 días) muestran un agotamiento muy rápido, coherente con el acusado carácter kárstico de las surgencias. Ambos manantiales muestran una distribución de los valores de k muy similar, algo más rápidos en la Cueva del Gato. Estos valores centrales de k equivalen a un coeficiente de agotamiento α de 4,3E-2 y 5,2E-2, coherentes con los estudios previos de estas surgencias.

Los valores más bajos de la distribución son los atribuibles a las descargas más rápidas. En el manantial de Benaoján, el 50% de los coeficientes de recesión analizados son inferiores a 23 días, y el percentil 25 corresponde a 18 días. En el manantial de la cueva del Gato, el 50% de los valores de k son inferiores a 19 días, siendo el percentil 25 de 14 días. Estos valores dan una idea clara de la rapidez de estos agotamientos.

A partir del análisis de las recessiones se ha elaborado la curva maestra de recesión (CMR) de ambos manantiales (Figura 5.8). La CRM representa la curva de agotamiento que sucedería si no hubiera lluvias durante un periodo que es mayor que cualquiera de los disponibles en el hidrograma real. Su longitud depende de la serie de agotamientos disponibles (periodos sin recarga por lluvia).

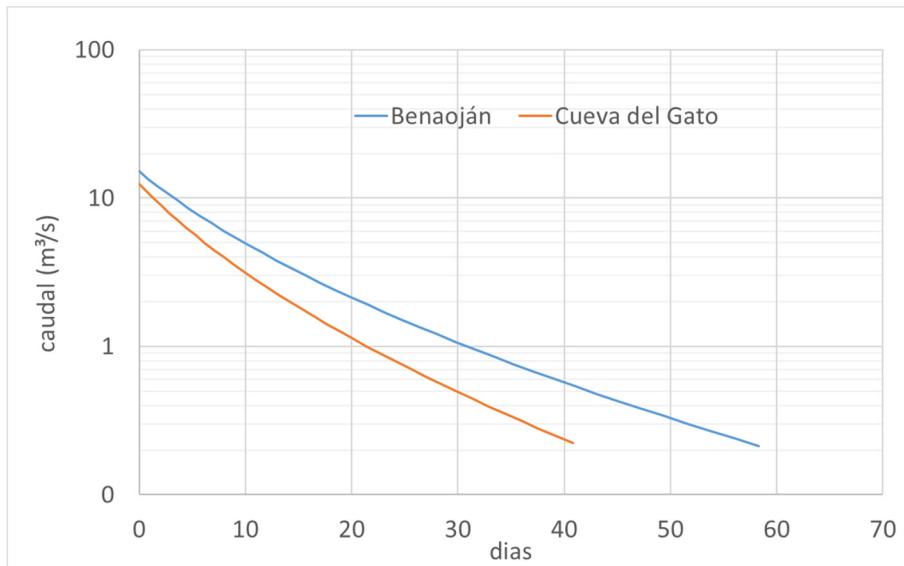


Figura 5.8. Curvas maestras de recesión.

Las CRM revelan una vez más el rápido agotamiento de ambos manantiales, algo más rápido en el caso del manantial de la Cueva del Gato.

La forma cóncava o convexa de estas curvas en una representación $\log(Q)$ vs t aporta cierta información en cuanto al comportamiento del acuífero. La forma cóncava que exhiben ambos manantiales es atribuible a la reducción del coeficiente de almacenamiento al descender el nivel freático. Esta circunstancia es coherente de un tipo de acuífero Kárstico con un endokarst más desarrollado en los niveles superiores y que pierde desarrollo y capacidad de almacenamiento en los niveles acuíferos más profundos.

Separación de los componentes del hidrograma

Para realizar la identificación de aportaciones lentas y rápidas se ha aplicado una separación de los componentes del hidrograma. Para realizar esta tarea se ha empleado el programa PART, de libre distribución, elaborado por el U.S. Geological Survey .

El objeto es identificar las aportaciones rápidas para asignarlas a la recarga alóctona (infiltración directa en sumideros) y las más lentas a la recarga autóctona (sobre las superficies permeables del acuífero).

En la figura 5.9 se representa el resultado de la separación a nivel diario de aportación total y lenta en la Cueva del Gato. En la figura 5.10 se muestra esta descomposición del hidrograma con más detalle para el periodo 2004/2005.

En la tabla 5.6 y en la figura 5.11 se muestra la separación anual de la aportación total registrada en el manantial de la Cueva del Gato en aportación lenta y rápida. Entre el 66% y el 90% de la aportación en este manantial es atribuible a la recarga autóctona, con un valor promedio de 80%.

En la tabla 5.7 y en la figura 512 se muestra la separación anual de la aportación total registrada en el manantial de Benaoján en aportación lenta y rápida. Entre el 75% y el 98% de la aportación en este manantial es atribuible a la recarga autóctona, con un valor promedio de 85%.

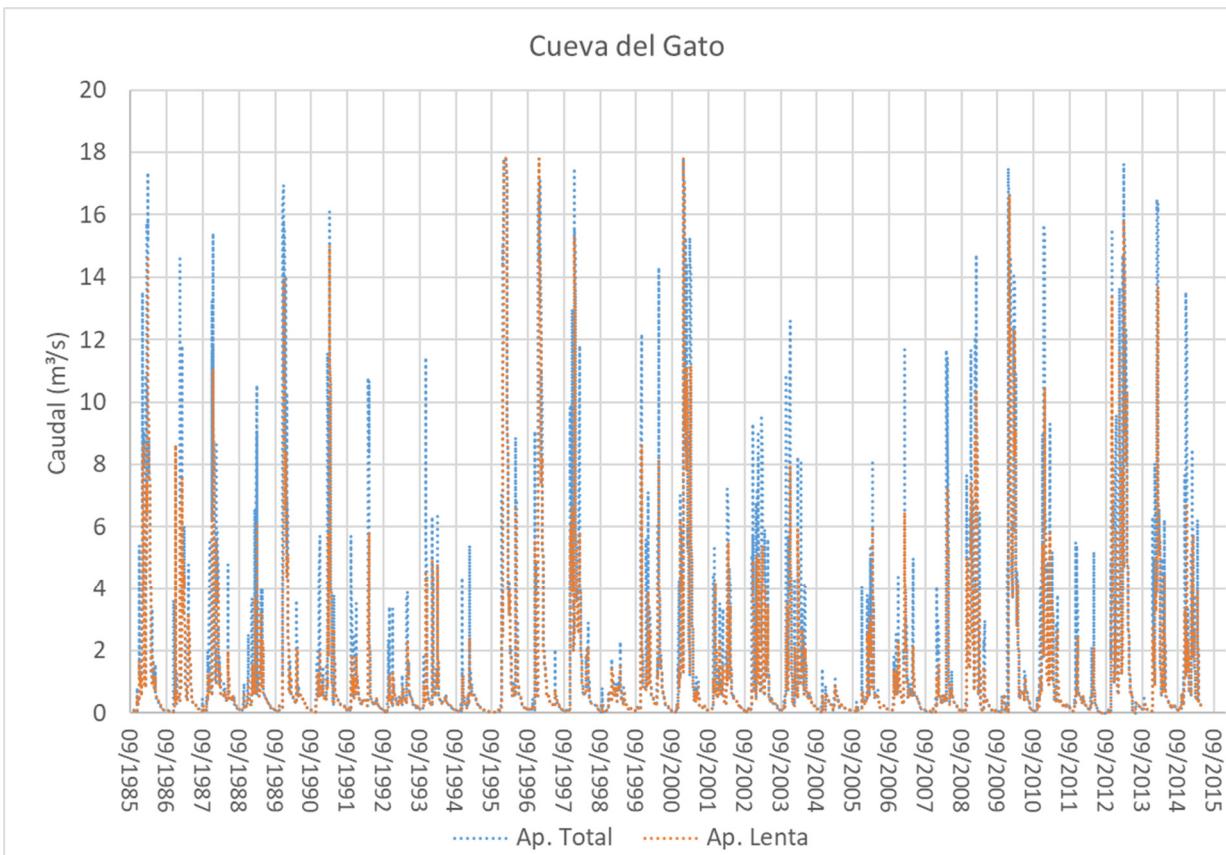


Figura 5.9. Aportación total y lenta en la Cueva del Gato

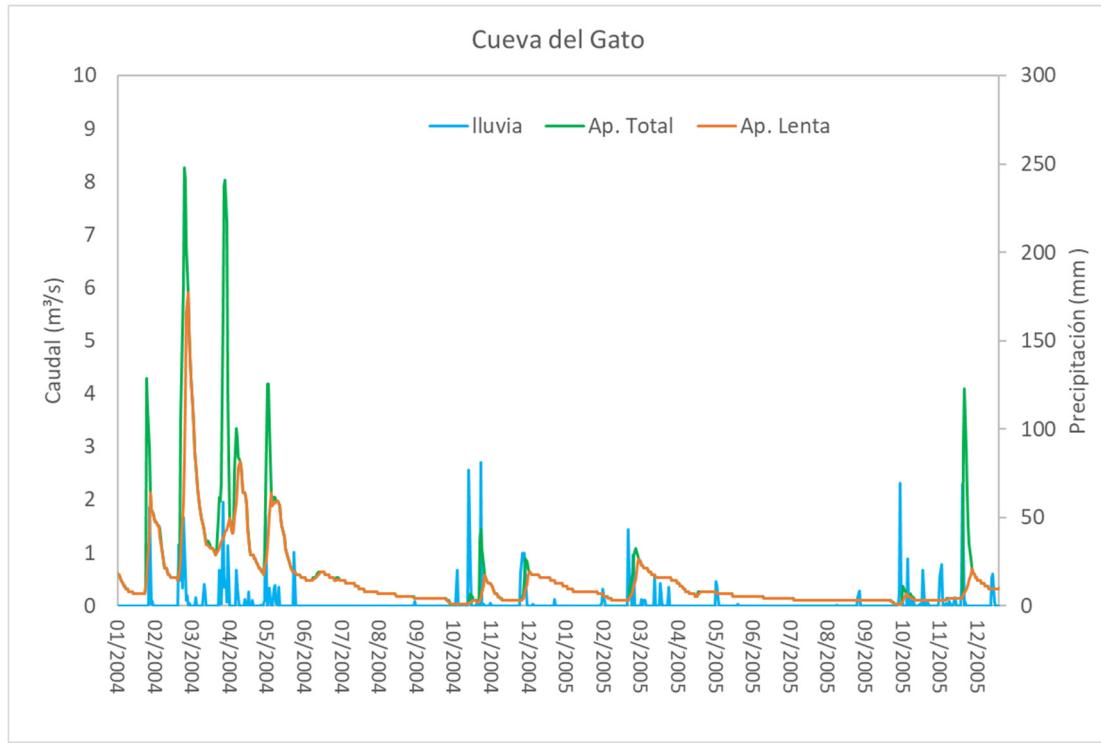
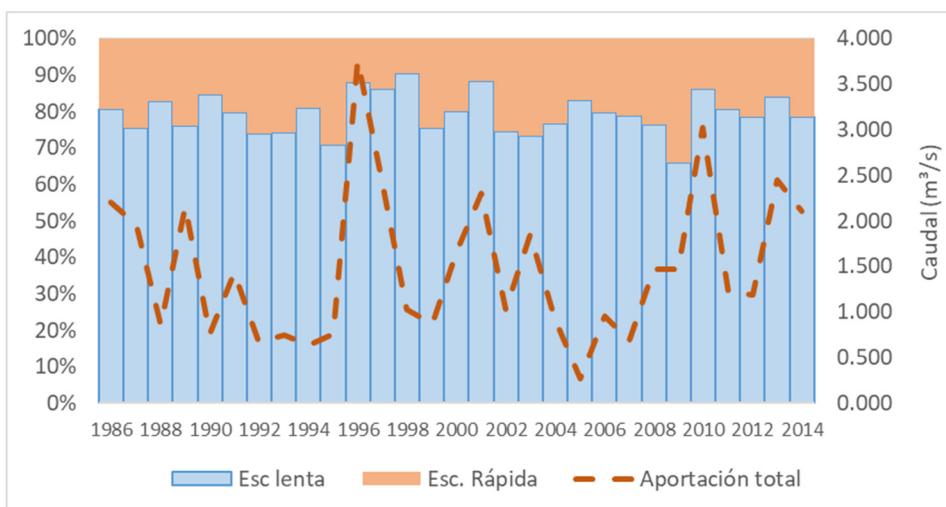


Figura 5.10. Detalle de la aportación total y lenta en la Cueva del Gato. Periodo 2004-2005

Tabla 5.6. Separación de la aportación anual lenta y rápida en la Cueva del Gato.

Año	Aportación total (m³/s)	Esc. lenta (m³/s)	Esc. rápida (m³/s)	Porcentaje ap. lenta	Año	Aportación total (m³/s)	Esc. lenta (m³/s)	Esc. rápida (m³/s)	Porcentaje ap. lenta
1986	2,203	1,780	0,423	81%	2001	2,305	2,036	0,268	88%
1987	1,962	1,480	0,482	75%	2002	1,028	0,765	0,262	74%
1988	0,855	0,707	0,148	83%	2003	1,846	1,355	0,490	73%
1989	2,158	1,639	0,518	76%	2004	0,934	0,718	0,217	77%
1990	0,756	0,640	0,115	85%	2005	0,275	0,230	0,046	84%
1991	1,430	1,142	0,288	80%	2006	0,960	0,766	0,194	80%
1992	0,671	0,498	0,174	74%	2007	0,691	0,546	0,146	79%
1993	0,742	0,551	0,192	74%	2008	1,475	1,125	0,349	76%
1994	0,640	0,518	0,123	81%	2009	1,472	0,971	0,502	66%
1995	0,756	0,535	0,221	71%	2010	3,027	2,607	0,419	86%
1996	3,763	3,308	0,455	88%	2011	1,229	0,991	0,238	81%
1997	2,424	2,087	0,338	86%	2012	1,186	0,933	0,254	79%
1998	1,031	0,932	0,099	90%	2013	2,455	2,064	0,392	84%
1999	0,872	0,657	0,215	75%	2014	2,112	1,661	0,451	79%
2000	1,662	1,329	0,333	80%					

**Tabla 5.7. Separación de la aportación anual lenta y rápida en el manantial de Benaoján.**

Año	Aportación total (m³/s)	Esc. lenta (m³/s)	Esc. rápida (m³/s)	Porcentaje ap. lenta	Año	Aportación total (m³/s)	Esc. lenta (m³/s)	Esc. rápida (m³/s)	Porcentaje ap. lenta
2000	1,982	1,615	0,367	81%	2008	1,611	1,361	0,250	84%
2001	3,171	2,804	0,368	88%	2009	2,076	1,550	0,526	75%
2002	1,339	1,079	0,261	81%	2010	4,072	3,597	0,473	88%
2003	2,588	2,064	0,524	80%	2011	2,033	1,795	0,240	88%
2004	1,206	1,182	0,025	98%	2012	1,645	1,292	0,353	79%
2005	0,144	0,139	0,007	96%	2013	2,727	2,344	0,381	86%
2006	1,014	0,851	0,162	84%	2014	2,469	1,895	0,574	77%

La aportación lenta conjunta de ambos manantiales se puede asumir que responde fundamentalmente a la recarga autóctona sobre los materiales permeables de la Sierra de Líbar (74,04 km²). Para el periodo con datos de ambos registros (2000-2015), esta aportación lenta tiene un promedio anual de 87,93 hm³, con valores extremos entre 11,62 y 195,67 hm³ (Tabla 5.8).

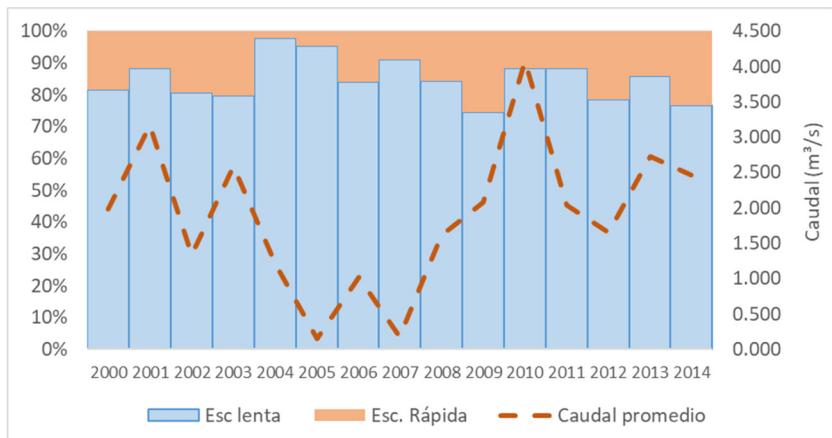


Figura 5.12. Aportación lenta anual en el manantial de Benaoján.

Tabla 5.8. Aportación anual lenta en los manantiales Benaoján y Cueva del Gato. Valores en hm³.

Año	Cueva del Gato	Benaoján	Total	Año	Cueva del Gato	Benaoján	Total
1986	56.13			2000	41.90	50.92	92.82
1987	46.66			2001	64.21	88.42	152.63
1988	22.31			2002	24.11	34.02	58.13
1989	51.70			2003	42.73	65.08	107.81
1990	20.18			2004	22.63	37.26	59.89
1991	36.01			2005	7.24	4.38	11.62
1992	15.70			2006	24.16	26.85	51.02
1993	17.39			2007	17.21	5.08	22.29
1994	16.34			2008	35.47	42.92	78.39
1995	16.89			2009	30.62	48.88	79.50
1996	104.32			2010	82.23	113.45	195.67
1997	65.82			2011	31.25	56.60	87.84
1998	29.39			2012	29.42	40.74	70.15
1999	20.72			2013	65.08	73.93	139.01
				2014	52.37	59.75	112.13

Estadísticos	Cueva del Gato	Benaoján	Total
Media (hm ³ /a)	37.59	49.89	87.93
Máximo (hm ³)	104.32	113.45	195.67
Mínimo (hm ³)	7.24	4.38	11.62
Des. Est	22.63	28.82	48.59
CV%	60%	58%	55%

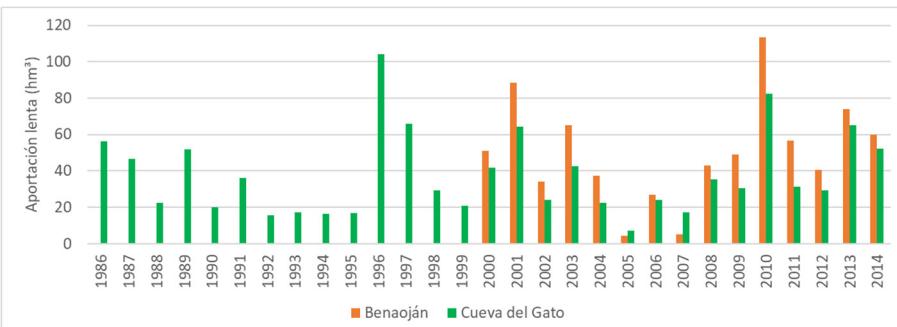


Figura 5.13. Aportación lenta anual.

5.3.3. Aplicación del código VISUAL BALAN

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. (SIERRA DE LÍBAR)

Esta masa de agua no tiene extracciones por bombeo significativas, por lo que se considera que funciona en régimen natural. Los datos de entrada al código son los meteorológicos (precipitación y temperatura diarios). Para la calibración se dispone de datos de caudal y de piezometría.

La disposición de datos de caudal permite una aproximación razonable a los términos del balance. Para ello, como ya se ha indicado, los caudales que se van a considerar de ajuste en la aplicación del código VISUAL BALAN son las aportaciones lentes evaluadas mediante el análisis de hidrogramas. Esta aproximación supone asignar la aportación más rápida a la recarga alóctona, y el resto a la recarga autóctona, que es la que se va a evaluar con VISUAL BALAN.

También se dispone de datos de piezometría. Estos se han empleado para hacer un análisis más detallado sobre los parámetros hidrodinámicos del acuífero (fundamentalmente coeficiente de almacenamiento). No es posible reproducir fielmente los datos de un piezómetro mediante un método de celda única, como es el caso de VUSUAL BALAN. Por lo tanto, en la aproximación al balance mediante datos piezométricos hay que tener en cuenta que su representatividad es más restringida y está limitada al área de influencia del piezómetro calibrado. Este análisis sirve fundamentalmente como un chequeo adicional de los valores obtenidos con en el análisis de recessiones

Para la aplicación del balance hidrometeorológico hay que introducir un conjunto de variables que caracterizan el comportamiento hidrodinámico del suelo edáfico, la zona vadosa y el acuífero (Tabla 5.9). A falta de datos reales, la estrategia de calibración consiste en realizar análisis de sensibilidad a los principales factores que afectan a la cantidad de agua: la reserva útil del suelo y los coeficientes de escorrentía. La primera depende de los parámetros de VISUAL BALAN de espesor del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez.

Tabla 5.9. Parámetros de ajuste empleados en VISUAL BALAN

Componentes	Parámetros	Ajuste
Suelo edáfico	Porosidad	VISUAL BALAN (análisis de sensibilidad a la reserva útil)
	PM (mm)	
	CC (mm)	
	Espesor del suelo (m)	
Escorrentía superficial	k suelo mm/día	VISUAL BALAN (análisis de sensibilidad a los coeficientes de infiltración)
	Inf máxima en CC (CIM_0) mm/d	
	Inf máxima en PM (CIM_1) mm/d	
Zona no saturada	Permeabilidad vertical	VISUAL BALAN
	alfa percolación	
Acuífero	alfa acuífero	Análisis de recessiones Ajuste a piezometría con VISUAL BALAN
	nivel inicial	
	nivel referencia	
	porosidad acuífero	

La serie de precipitación disponible abarca el periodo de oct-1985 a sep-2015. Dado que el código VISUAL BALAN trabaja con años naturales, se han completado los datos de enero a septiembre del 1985 y de octubre a diciembre de 2015. Para ello se han empleado datos de la misma estación.

Para la serie de precipitaciones se ha utilizado la serie rellena de la estación pluviométrica de Benaoján (Cueva de la Pileta, código 6035), con los datos termométricos de la estación código 5943B), por ser la que más se aproxima a la precipitación media (1.259 mm de precipitación media en el área, 1.386 en la estación de Cueva Pileta).

Análisis de sensibilidad

La **reserva útil del suelo** depende de los factores de espesor del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez. Este parámetro es el que más afecta a la cantidad de agua disponible para la recarga en el balance hidrometeorológico. Los resultados de este análisis (se resumen en la figura 5.14) muestran efectivamente una gran dependencia de los valores de recarga y ETR. El componente de escorrentía superficial es relativamente insensible a la reserva útil. Este componente depende más de los coeficientes de infiltración que se analizan en el epígrafe siguiente. Para este análisis previo, y dado la escasa escorrentía superficial que se genera en la sierra, se asumen unos coeficientes de infiltración altos ($CIM_0=40$ mm y $CIM_1=60$ mm)

Los valores de reserva útil compatibles según este balance con el volumen de descarga generado en los manantiales (próximo a 80 hm³/año), son bastante bajos, del orden de 1,5 mm.

La ETP anual calculada es de 772 mm, lo que para los 74,04 km² de afloramientos permeables supone una recarga anual de 57,2 hm³. La ETR aumenta su cuantía ostensiblemente con la reserva útil. Para los valores de reserva útil citados, supondría un valor en torno a 8,75 hm³/año (118 mm)

Reserva Útil mm	Escorrentía superficial hm ³ /año	ETR hm ³ /año	ETP hm ³ /año	Recarga hm ³ /año
200	19.11	35.11	57.18	47.97
180	19.21	33.66	57.18	49.39
160	19.31	32.20	57.18	50.82
140	19.42	30.75	57.18	52.23
120	19.52	29.30	57.18	53.66
100	19.61	27.80	57.18	55.14
80	19.68	26.25	57.18	56.70
60	19.69	24.63	57.18	58.36
40	19.56	22.70	57.18	60.50
20	19.29	19.11	57.18	64.43
15	19.17	17.60	57.18	65.98
12	19.07	16.47	57.18	67.25
9.0	18.96	15.01	57.18	68.85
7.5	18.89	14.14	57.18	69.79
6.0	18.83	13.15	57.18	70.86
4.5	18.73	11.99	57.18	72.13
3.0	18.52	10.57	57.18	73.77
1.5	18.06	8.75	57.18	76.07

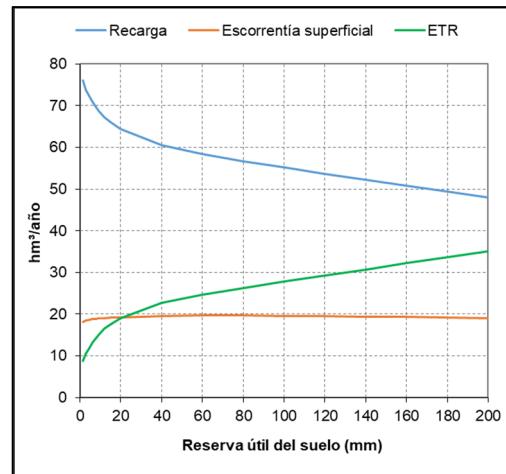


Figura 5.14. Análisis de sensibilidad de la reserva útil frente a la recarga.

Coeficientes de escorrentía. La escorrentía se evalúa con VISUAL BALAN con un método similar a la ley de Horton, de forma que la capacidad de infiltración desciende al aumentar el grado de humedad en el suelo. Los coeficientes para calcular la escorrentía son la capacidad de infiltración del suelo (mm/d) en capacidad de campo (CIM_0) y en punto de marchitez (CIM_1). Se ha realizado un segundo análisis de sensibilidad a este parámetro tomando como referencia los valores de reserva útil que mejor se ajustan a la recarga promedio. Dicho valor de reserva útil del suelo es de 1,5 mm. A mayores valores de los coeficientes de infiltración, menor es la escorrentía superficial y mayor es la recarga. Estos parámetros no afectan al término de evapotranspiración. Los valores más coherentes con la cantidad promedio de recarga generada son de 50 mm/d para CIM_0 y de 60 mm/d para CIM_1 .

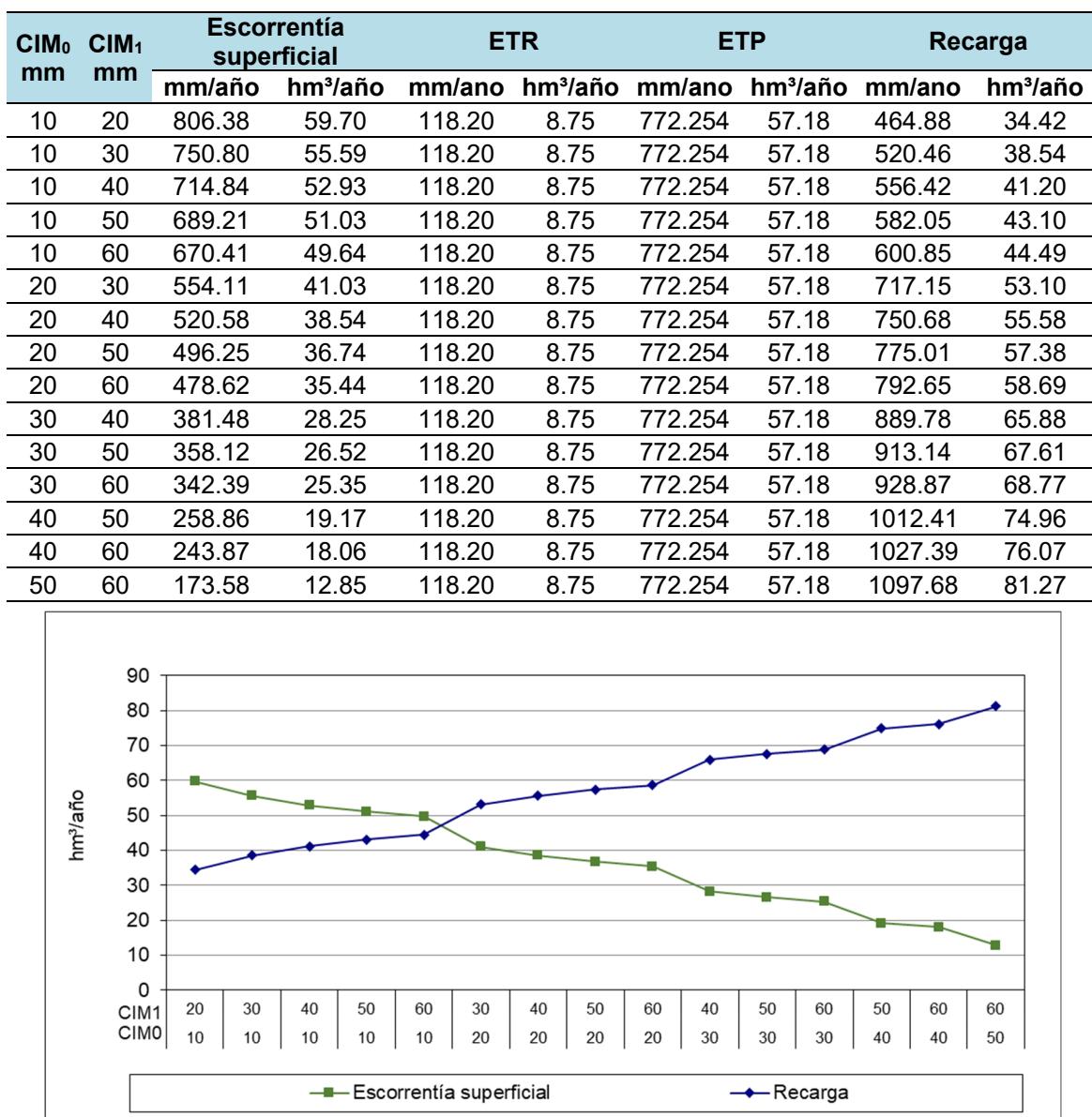


Figura 5.15. Análisis de sensibilidad de los coeficientes de infiltración frente a la recarga (Reserva útil=1,5 mm)

Calibración de caudales

Como caudales observados se han considerado las aportaciones lentas conjuntas de los manantiales de Benaoján y Cueva del Gato, descritas en la tabla 5.8. Esta serie de aportaciones conjuntas abarca el periodo oct-1999 a abr-2015.

El ajuste entre los valores diarios de descarga del acuífero calculados con VISUAL BALAN y las aportaciones lentas (Figura 5.16) es bueno, coeficiente de correlación lineal de 0.823, y describe de forma adecuada los agotamientos observados.

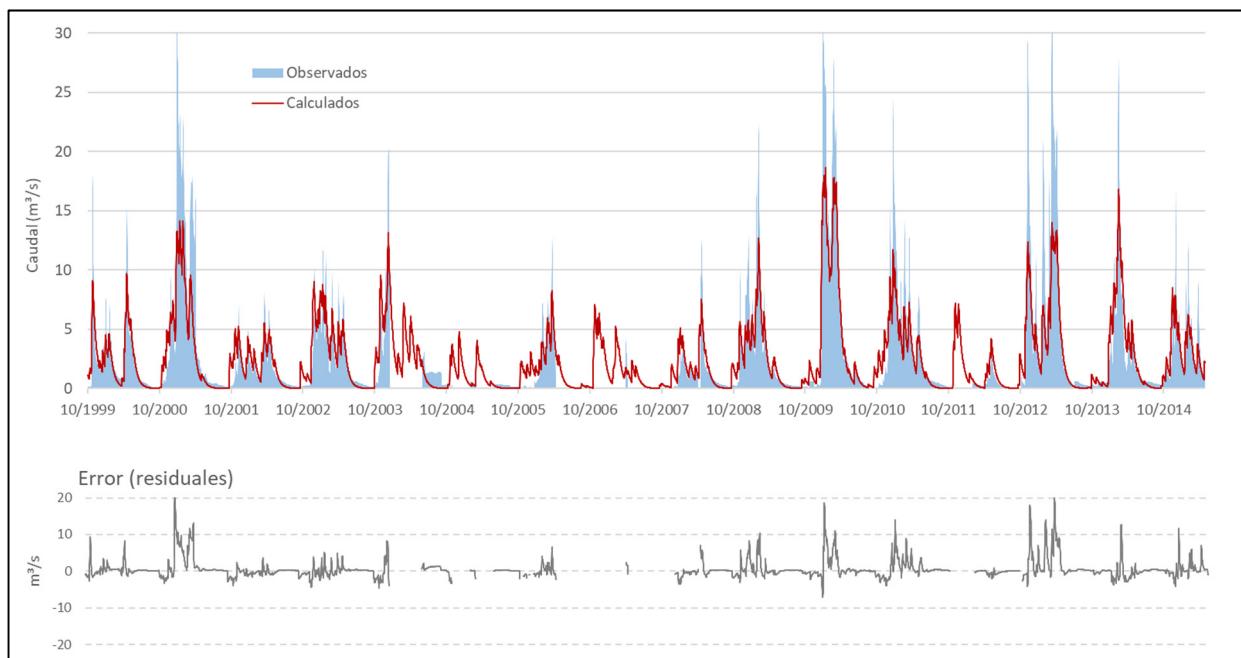


Figura 5.16. Valores de aportación lenta (recesión) y simulados con VISUAL BALAN.

Los residuales no muestran tendencia. Sí en cambio un error significativo hacia valores altos que el modelo no consigue ajustar. Hay que tener en cuenta que en VISUAL BALAN sólo se simula un único coeficiente de agotamiento, en tanto que en un sistema kárstico como el analizado existen diferentes coeficientes de agotamiento según su estado de llenado. El coeficiente de agotamiento del acuífero se ha establecido, según el análisis de recessiones realizado, a partir de la mediana del conjunto de índices de recesión obtenidos. Los estados más extremos de llenado, que operan bajo coeficientes de agotamiento mayores, no puede ser reproducidos con el modelo.

No obstante, y a efectos de evaluación del recurso, estos valores extremos representan agotamientos muy rápidos y un volumen de recursos relativamente pequeño. La mayor parte del volumen de recurso está integrado en los agotamientos más lentos para los que el modelo consigue un buen ajuste.

Calibración de niveles

Se dispone de dos puntos de observación piezométrica. En la figura 5.17 se muestra el hidrograma de ambos sondeos en cotas absolutas (m s.n.m.). Para obtener una más clara visualización de su comportamiento, se ha realizado una normalización de los datos, $z=(\text{cota} - \text{media})/\text{Des. Est.}$. Se consigue con ello, disponer de una escala única fácilmente confrontable para ambos registros.

Ambos piezómetros registran respuestas muy similares, con rangos de variación del mismo orden de magnitud. En el caso del punto P.06.44.001-B se advierte unos agotamientos ligeramente más acusados al final del periodo de estío.

A partir de estos datos se ha realizado una calibración con VISUAL BALAN a los parámetros del acuífero. Hay que tener en cuenta las limitaciones que tiene realizar ajustes a datos piezométricos con un modelo agregado como es este. En este sentido, los resultados del modelo sólo representan el área de influencia del piezómetro empleado en la calibración. Aun así, y dada la similitud en la respuesta de los dos piezómetros disponibles, los resultados obtenidos pueden alcanzar una aproximación razonable a los valores de parámetros del acuífero esperables en el ámbito de esta masa de agua subterránea.

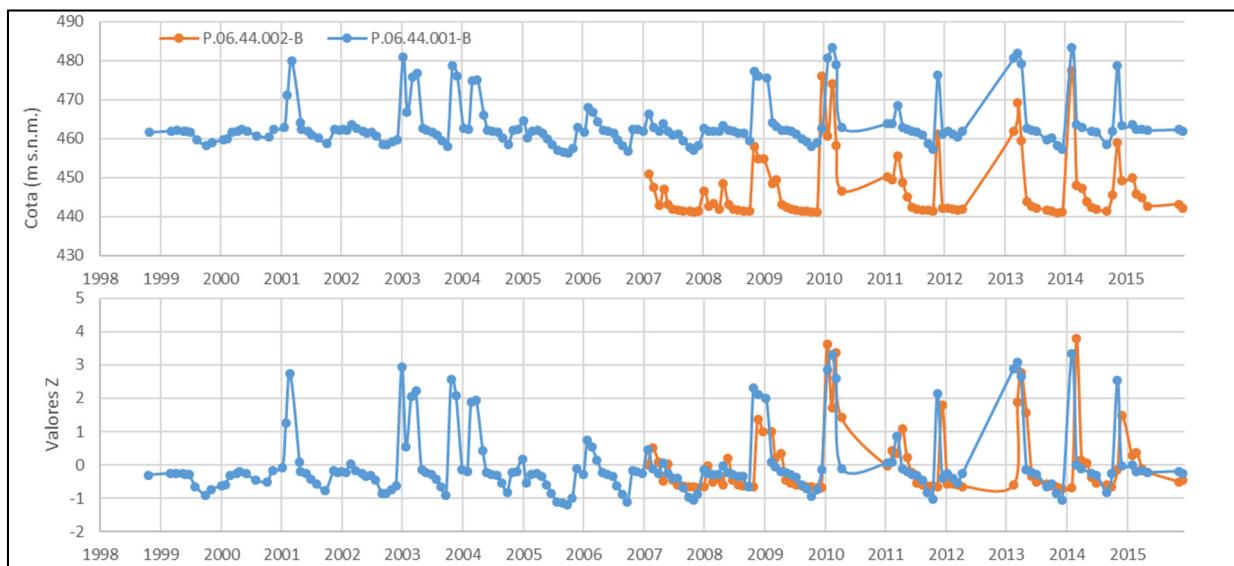


Figura 5.17. Series piezométricas disponibles (en cota y en valores normalizados).

Se han empleado los niveles observados en P.06.44.001-B, con una serie más amplia que comienza en octubre de 1998. El ajuste se ha realizado mediante el código (libre) de calibración automática PEST. Este código permite realizar un análisis de incertidumbre para las variables consideradas.

Los parámetros que determinan el comportamiento del acuífero en VISUAL BALAN son el **coeficiente de agotamiento** y la **porosidad**.

La calibración consigue una aproximación razonable a los niveles medidas (Figura 5.18), tanto en los valores centrales como en los extremos, así como en buena parte de los agotamientos registrados.

Los parámetros de mejor ajuste obtenidos son $1,22\text{E-}2 \text{ d}^{-1}$ para el coeficiente de agotamiento del acuífero y de $3,09\text{E-}2$ para la porosidad.

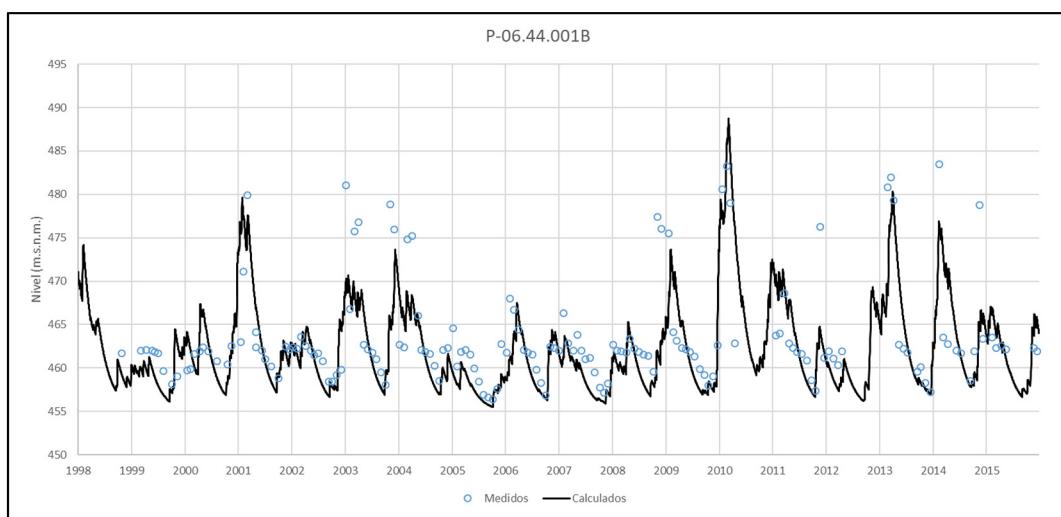


Figura 5.18. Ajuste a los niveles observados en P-06.44.001B.

Resultados. Balance y recarga

A partir de los parámetros de reserva útil del suelo y de los coeficientes de escorrentía que mejor ajuste ofrecen a la recarga autóctono promedio, se ha realizado un balance hidrometeorológico diario para la serie completa de precipitación disponible.

No se considera en esta masa la presencia de niveles acuíferos hipodérmicos (niveles permeables desconectados del nivel regional). Los parámetros finalmente ajustados se recogen en la tabla 5.10

Tabla 5.10. Parámetros del balance hidrometeorológico

Componentes	Parámetros	Valores
Suelo edáfico	Porosidad	0.3
	PM (mm)	5.0
	CC (mm)	6.5
	Reserva útil (CC-PM)	1.5
	Espesor del suelo (m)	0.05
Escorrentía superficial	k suelo mm/dia	500
	Inf máxima en CC (CIM_0)	50
	Inf máxima en PM (CIM_1)	60
Acuífero	alfa agotamiento acuífero	0.0122
	nivel inicial (m)	462
	nivel referencia (m)	462
	porosidad acuífero	0.0309

Los resultados del balance promedio anual se muestran en la tabla 5.11 y anualmente se representan en la figura 5.19. La precipitación media anual para toda la serie analizada (1985-2015) es de 1.386 mm. La ETP media anual calculada por el método de Thornthwaite es de 772 mm, en tanto que la ETR media interanual resultante en el balance es de 203 mm. Esta diferencia entre ETP y ETR genera un déficit hídrico muy acusado que tiene una fuerte componente estacional.

Tabla 5.11. Valores de recarga autóctona estimada con VISUAL BALAN

	Precipitación		Recarga		%
	mm/a	hm ³ /a	mm/a	hm ³ /a	
Media	1.390	102,89	1.008	74,64	72%
Máximo	2.611	193,32	2.004	148,38	
Mínimo	554	41,05	348	25,76	
Desvtípica	522	38,63	395	29,24	
Coef. Variación		38%		39%	

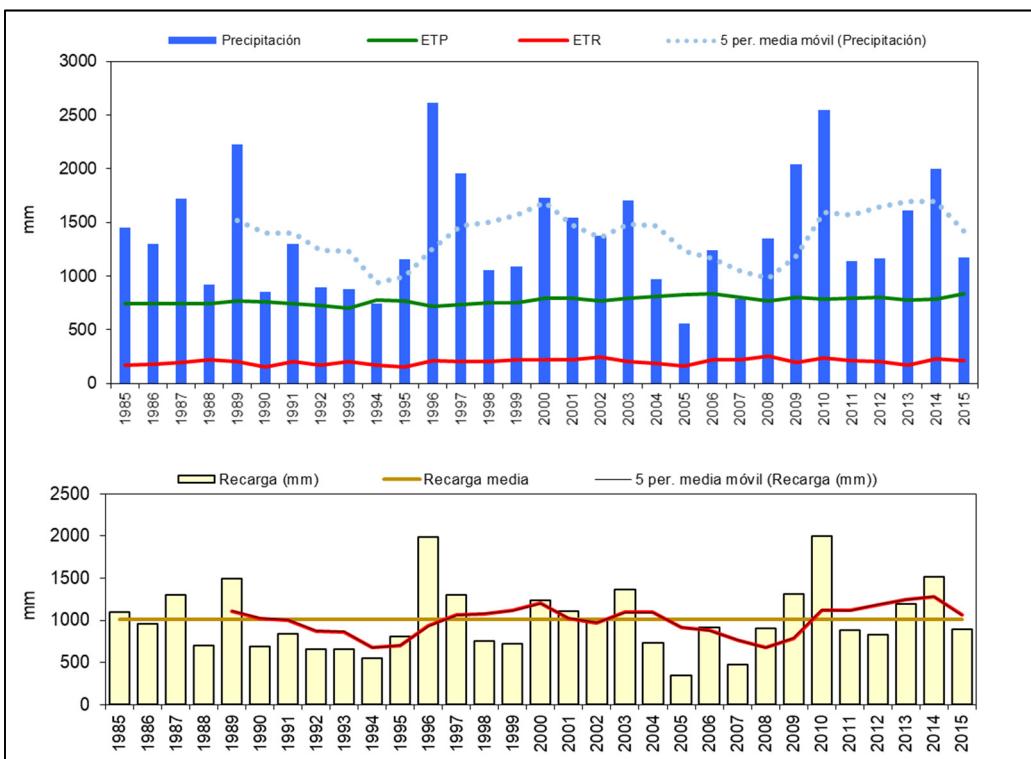


Figura 5.19. Representación anual de los componentes del balance.

5.4. 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 5.20). 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.

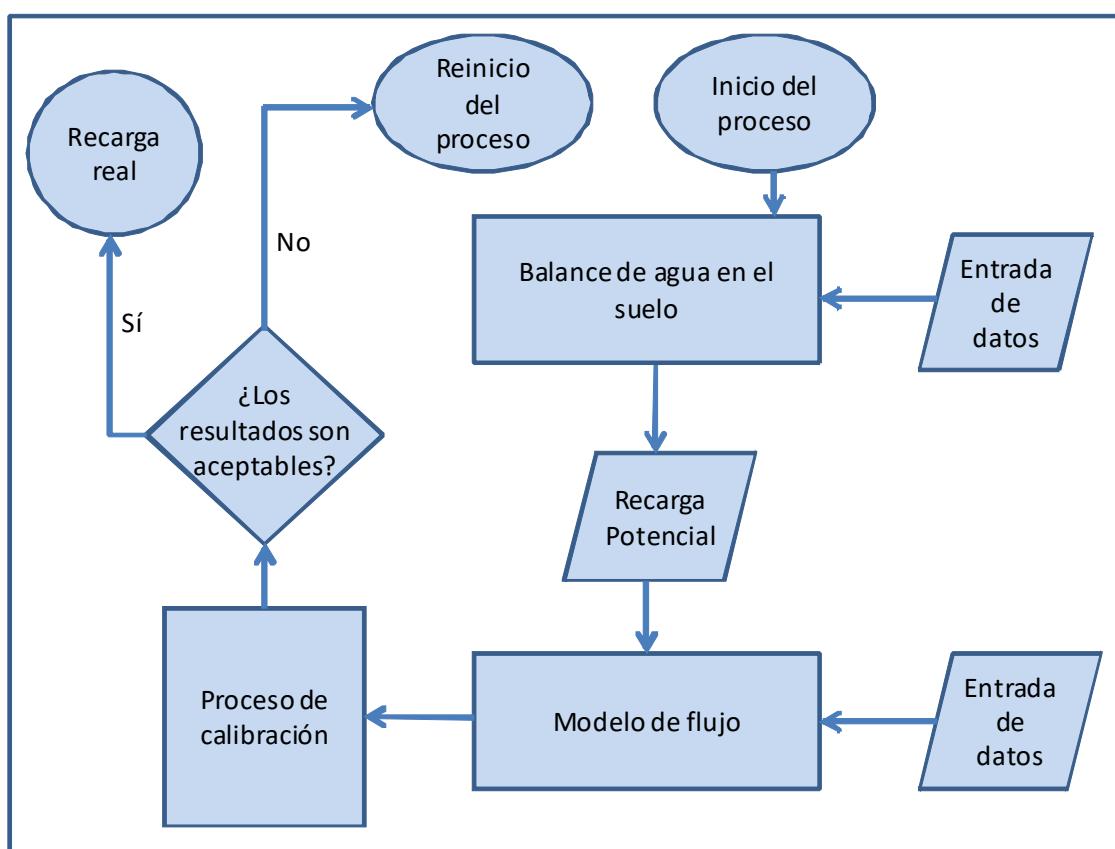


Figura 5.20. Diagrama de flujo del código RENATA

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 5.21.

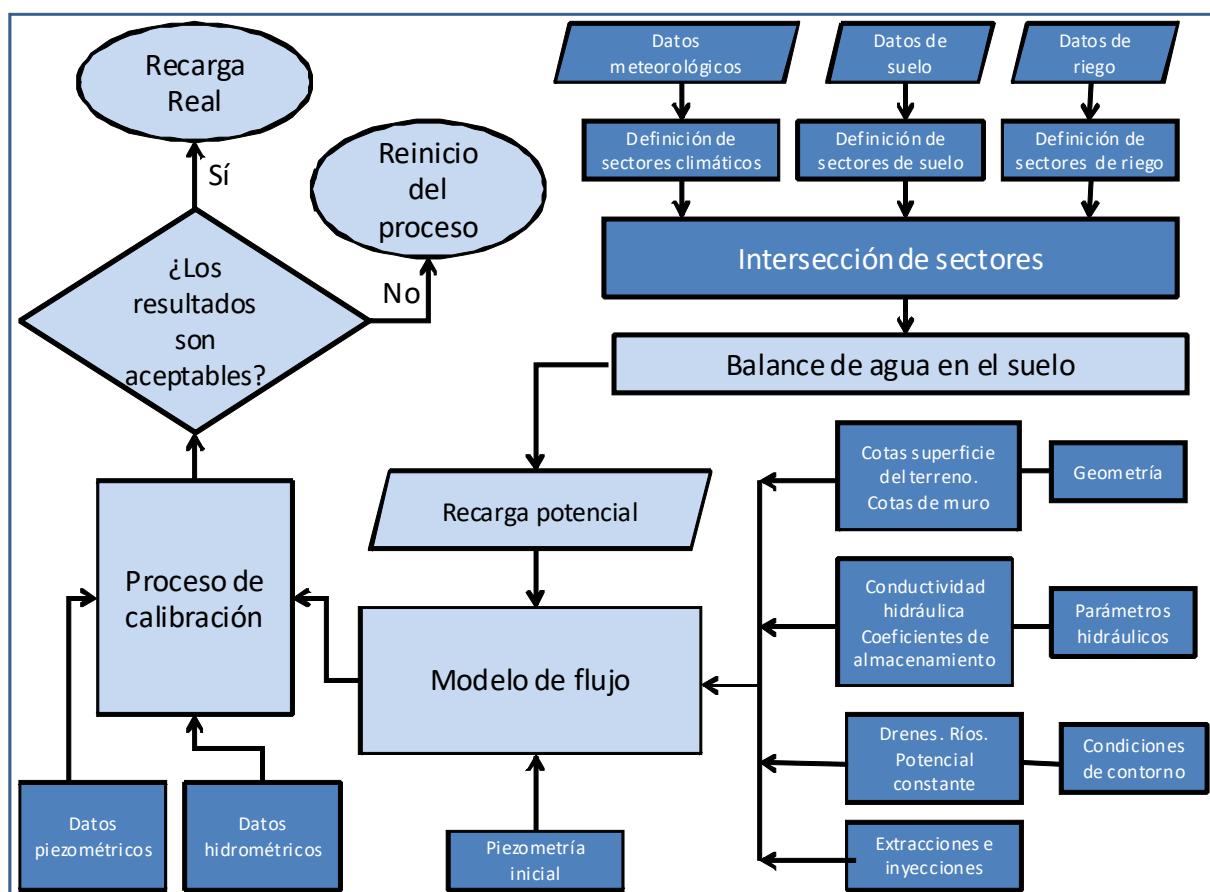


Figura 5.21. Diagrama de flujo del código RENATA detallando los datos que se tienen que aportar al programa

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 la expresión de Hargreaves y Samani (1985) aplicado a los datos de las estaciones termométrica.
- Determinación de la lluvia útil (LL_U) mediante el método del balance de agua en el suelo de Thornthwaite modificado por G. Girard (1981)
- Descomposición de la lluvia útil (LL_U) en escorrentía (ESC) e infiltración (INF) mediante el método del Soil Conservation Service de los EEUU.

5.4.1. Generación de la malla y establecimiento del periodo de cálculo

Para la aplicación del código RENATA se ha definido un mallado rectangular de coordenadas UTM X: 278651-302511 e Y: 4046829-4072448 en la que queda enmarcada la superficie sujeta al proceso de cálculo y estimación de la recarga (Figura 5.22). La malla definida consta de 50 filas y 42 columnas con celdas de tamaño aproximado de 0,57x0,51 km. Las de tipo activo ocupan una extensión de 200,54 km².

El cálculo de la recarga se ha realizado a nivel diario en cada una de las celda con superficie aflorante permeable (carbonatos) para un periodo de 30 años comprendidos entre 198/86 y 2014/15.

5.4.2 Módulo de balance hídrico

Sectores climáticos

Para la definición de los sectores climáticos (Tabla 5.12) se han utilizado 9 estaciones pluviométricas. Para el cálculo de la ETP por el método de Hargreaves y Samani se han utilizado los datos de la estación termométrica correspondiente más cercanas.

Tabla 5.12. Características de los sectores climáticos

Sector climático Est. Pluviométrica	Estación Termométrica	Superficie (km ²)	Precipitación media (mm/a)	ETP media (mm/a)
5911	5911	3,49	1.705	1.259
6035	5943B	37,55	1.386	1.188
6040U	6040U	19,79	1.092	1.472
6040	6040U	12,52	1.083	1.472
6039A	6040U	33,47	1.298	1.472
6038	6040U	10,77	1.197	1.472
6037	5911	25,62	718	1.259
5943B	5943B	29,4	1.597	1.188
6039	5943B	27,94	1.833	1.188

Los sectores climáticos que se han determinado por el método de los *polígonos de Thiessen* quedan caracterizados por su correspondiente estación pluviométrica y serie de ETP común a todos. Dichos sectores se han adaptado al mallado definido para poder aplicar el código RENATA (Figura 5.23 A).

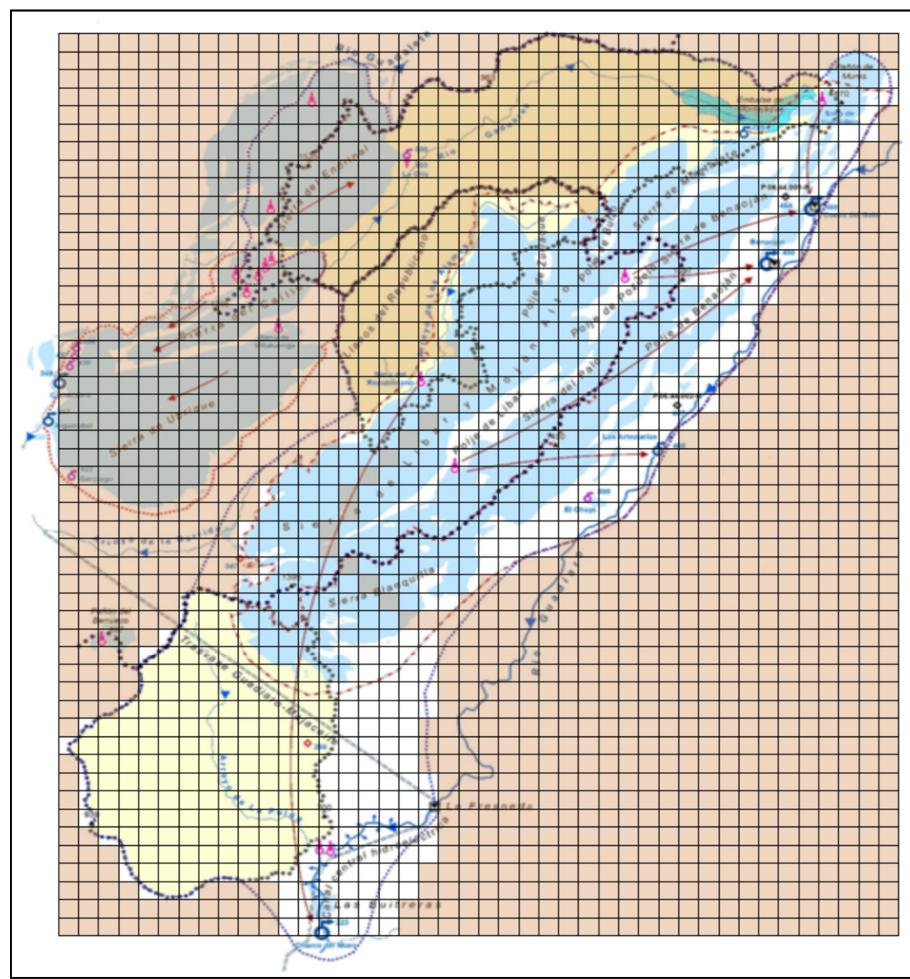


Figura 5.22. Mallado y límites del modelo para la determinación de la recarga y del funcionamiento hidráulico mediante el código RENATA

Sectores de suelo

Los sectores de suelo se han definido a partir de la cartografía geológica simplificada del IGME, en la que se ha diferenciado solo una clase de afloramientos de materiales permeables correspondiente a los carbonatos del Jurásico (Figura 5.23 B).

Para asignar un valor a los parámetros del suelo, además de criterios hidrogeológicos y de conocimiento experto de la zona, se han utilizado como referencia previa los estimados previamente en otros trabajos y en este estudio (método APLIS y VISUAL BALAN). Además, se ha tenido en cuenta que el balance hídrico sea congruente con las salidas medidas en las surgencias y con las aportaciones alóctonas calculadas en el epígrafe 5.1 de este documento. Para la determinación de la recarga con la aplicación RENATA los parámetros utilizados han sido modificados a lo largo del proceso de calibración en función de los resultados arrojados hasta alcanzar un ajuste aceptable entre las evoluciones piezométricas e hidrogramas calculados y los observadas. Los valores finalmente obtenidos se muestran en la tabla 5.13.

Tabla 5.13. Sector de suelo: parámetros utilizados

Sector de suelo	Superficie (km ²)	Parámetros
Carbonático	73,93	$RU_{\min}=10 \text{ mm}$ $RU_{\max}=25 \text{ mm}$ $P_0=60 \text{ mm}$ $NC=46$

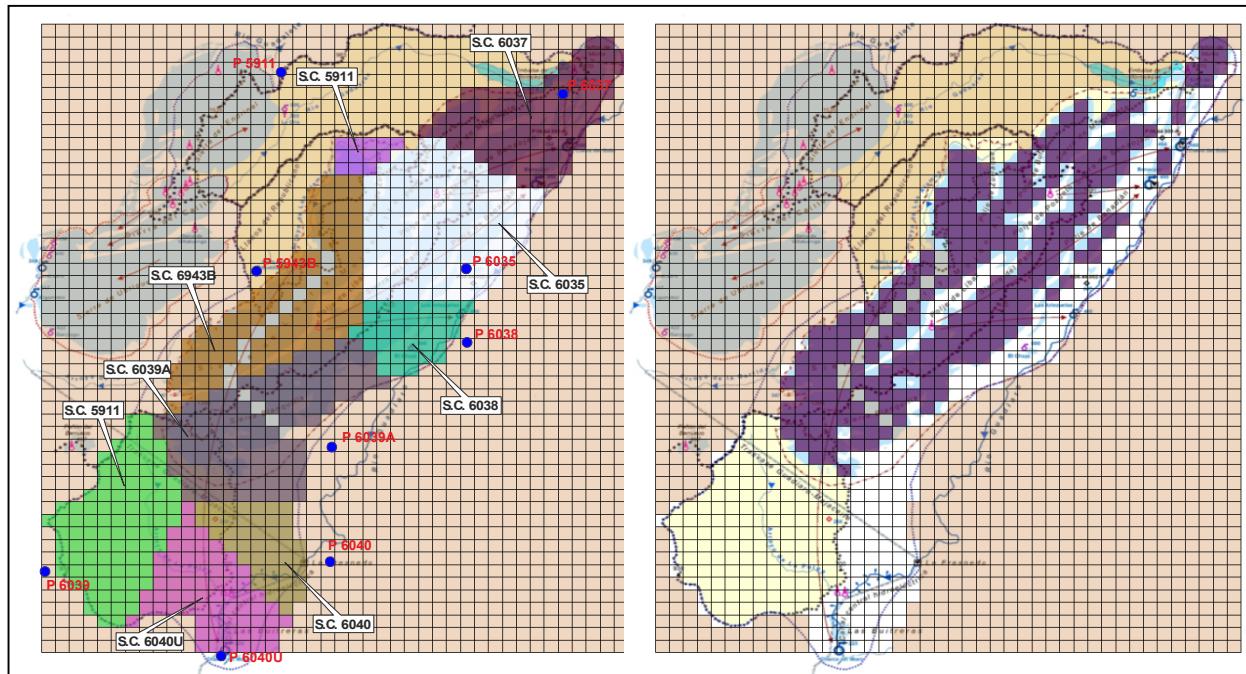


Figura 5.23. A) Sectores climáticos calculados por polígonos de Thiessen ajustados al mallado aplicado en el código RENATA. **B)** Sectores del suelo sobre formaciones permeables.

Sectores de riego

No se han definido sectores de riego en el dominio para calcular la posible recarga al acuífero procedente del retorno ya que no existen sobre afloramientos permeables que son en su totalidad calizas y dolomías.

Intersección de sectores y definición de áreas de recarga

Las intersecciones resultantes corresponden a las de los sectores de suelo permeables (carbonatos) con las climáticas, definidas por los polígonos de Thiessen. Por tanto, los sectores climáticos localizados al sur, definidos por las estaciones 6040, 6039 y 6040U, no intervienen en el cálculo de la recarga, ya que se localizan sobre afloramientos impermeables.

En total se han diferenciado 6 áreas con diferente tasa de recarga (tabla 5.14) como resultado de la intersección de los sectores diferenciados para el clima y el suelo, según se expone en la figura 5.24A. En la misma, a título de ejemplo, en dos de ellas se muestran la superficie y el número de celdas que ocupan, así como los tipos de sectores climáticos, de suelo y de riego que las han originado.

Tabla 5.14. Áreas establecidas con diferente recarga

Área	Superficie (km ²)	Sector climático
1	10,48	6037
2	19,78	6035
3	1,46	5911
4	21,25	5943B
5	4,08	6038
6	16,88	6039A
Total	73,93	

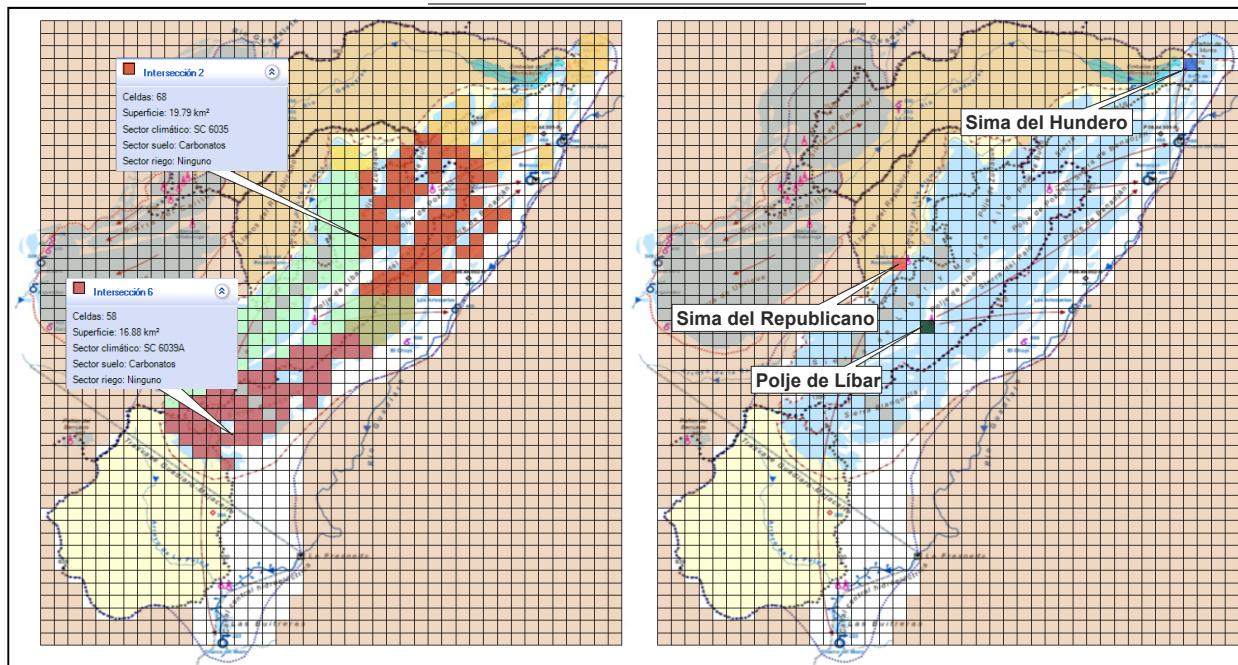


Figura 5.24. A) Distribución de la recarga (6 áreas diferentes) con dos ejemplos. **B)** Localización de las celdas de inyección de recarga alóctona.

5.4.3 Módulo de calibración. Modelo de flujo

Condiciones de contorno

Todas las celdas exteriores al acuífero se han definido como de flujo nulo, excepto un sector localizado en el límite NO que se ha establecido como de “nivel constante” a una cota de 650 m s.n.m. con el objeto de simular las transferencias subterráneas procedentes de la sierra del Endrinal y de la sierra de Ubrique. Esta hipótesis se sustenta por el descuadre en el balance entre entradas y salidas y geológicamente por su posible continuidad hidrogeológica (ver corte III de la figura 3.2 y estudio del IGME de 1984). Se desconoce si ésta probable entrada lateral se produce exclusivamente por el límite indicado en el modelo o también más a S, desde la sierra de Ubrique hacia el sector central y meridional de la sierra de Líbar. En cualquier caso, estas entradas deben salir casi en su totalidad por las surgencias localizadas en el borde oriental de la sierra de Líbar, para compensar las importantes salidas por Cueva del Gato, Benaoján y Las Artezuelas, sobre todo. Por este motivo y para no complicar el diseño del modelo, se ha localizado un solo límite de nivel constante al N de la MASCH. La mayor o menor entrada por este límite, hasta ajustar el modelo, se ha controlado mediante un área con diferente permeabilidad a la del entorno.

De acuerdo a la cartografía hidrogeológica y al presumible funcionamiento hidrogeológico, ver figura 3.1 y corte IV de la figura 3.2, en el dominio simulado se han considerado dos sectores individualizados hidráulicamente. Esta desconexión se puede intuir por las franjas del Trías Keuper que afloran en las trazas de los cabalgamientos y charnelas de los anticinales localizados en las sierras Blanquilla y de Libar y Mojón Alto. El sector meridional diferenciado sería el que drenaría hacia el Charco del moro junto con la recarga procedente de la sima del Republicano. El septentrional drenaría por los manantiales localizados en el límite O de sierra Blanquilla (Gato, Benaoján, etc.), el resto de la recarga por los sumideros de Hundidero y Polje de Líbar y la subterránea lateral procedente de El Endrinal y Ubrique.

En este sentido, se han definido como tipo “dren” los manantiales más importantes de la MASCH de la Sierra de Libar. El valor de la conductancia se ha asignado durante el proceso de calibración (Figura 5.25).

Geometría

Se ha considerado una sola capa limitada por la superficie topográfica y la cota de 10 m s.n.m., que es la profundidad media a la pudiera estar el muro de la MASCH. La topografía se ha importado del modelo digital del terreno de 200 m referido a ETRS89 tomado del IGN.

Parámetros hidráulicos

No se conocen datos de ensayos de bombeo que pudieran dar una idea de la conductividad hidráulica ni de los coeficientes de almacenamiento. Tan sólo se dispone de datos de velocidad del agua obtenida en los ensayos de trazadores (Andreo et al., 2004) que arrojaron valores muy altos. Por este motivo, la asignación espacial de los parámetros hidráulicos se ha realizado sobre la base del funcionamiento hidrogeológico esperado, cuyos valores finales se han obtenido durante el proceso de calibración. Se han distinguido tres sectores principales con diferente comportamiento hidráulico (Figura 5.26).

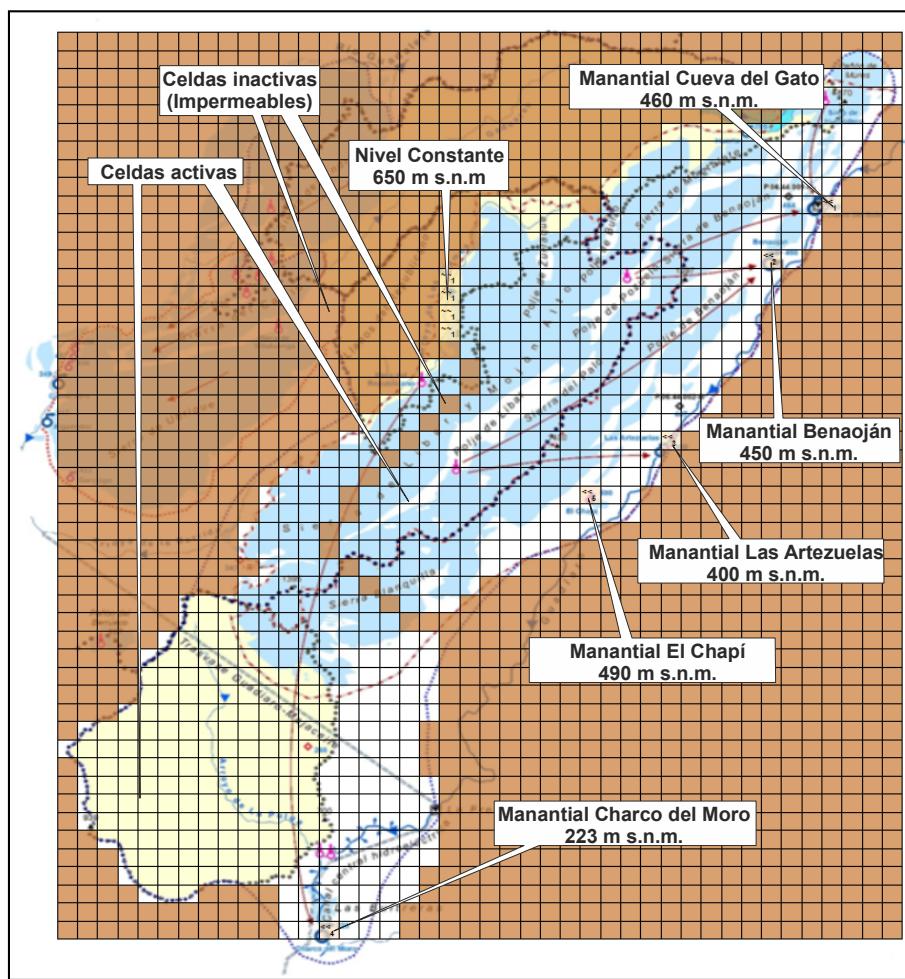


Figura 5.25. Condiciones en los límites del modelo de flujo

Un sector localizado en el extremo N, con una conductividad relativamente baja, $K=1 \text{ m/d}$, y un almacenamiento medio, $Ss=1E-5 \text{ d}^{-1}$ y $S=0,01$, valores asignados para calibrar la evolución piezométrica de sondeo P.06.44.001-B. Un sector localizado en el borde E con una conductividad muy alta, 1000 m/d , y un almacenamiento bajo, $Ss=1E-5 \text{ d}^{-1}$ y $S=0,001$, estos valores se han asignado para calibrar las descargas por los manantiales de El Gato y Benaoján. Un tercer sector que comprende la mitad E de la sierra de Libar y Mojón Alto y la continuidad en profundidad de la MASCH hasta el manantial del Charco del Moro. La conductividad hidráulica asignada tiene un valor medio, 125 m/d , y un almacenamiento pequeño $Ss=1E-6 \text{ d}^{-1}$ y $S=0,001$, valores asignados sin un criterio objetivo de calibración, puesto que no se dispone ni de ensayos de bombeo ni de hidrogramas ni de control de niveles. Por último, se ha diferenciado un pequeño sector en el límite NE del dominio, coincidente con el límite de nivel constante, cuyos parámetros hidráulicos ($K=0,25 \text{ m/d}$, $Ss=1E-5 \text{ d}^{-1}$ y $S=0,01$) se han establecido durante el proceso de calibración con el objeto de cuadrar el balance hídrico entre la recarga que se genera en la propia MASCH y las salidas conocidas que descarga con las posibles entradas laterales desde la sierra de El Endrinal y Ubrique.

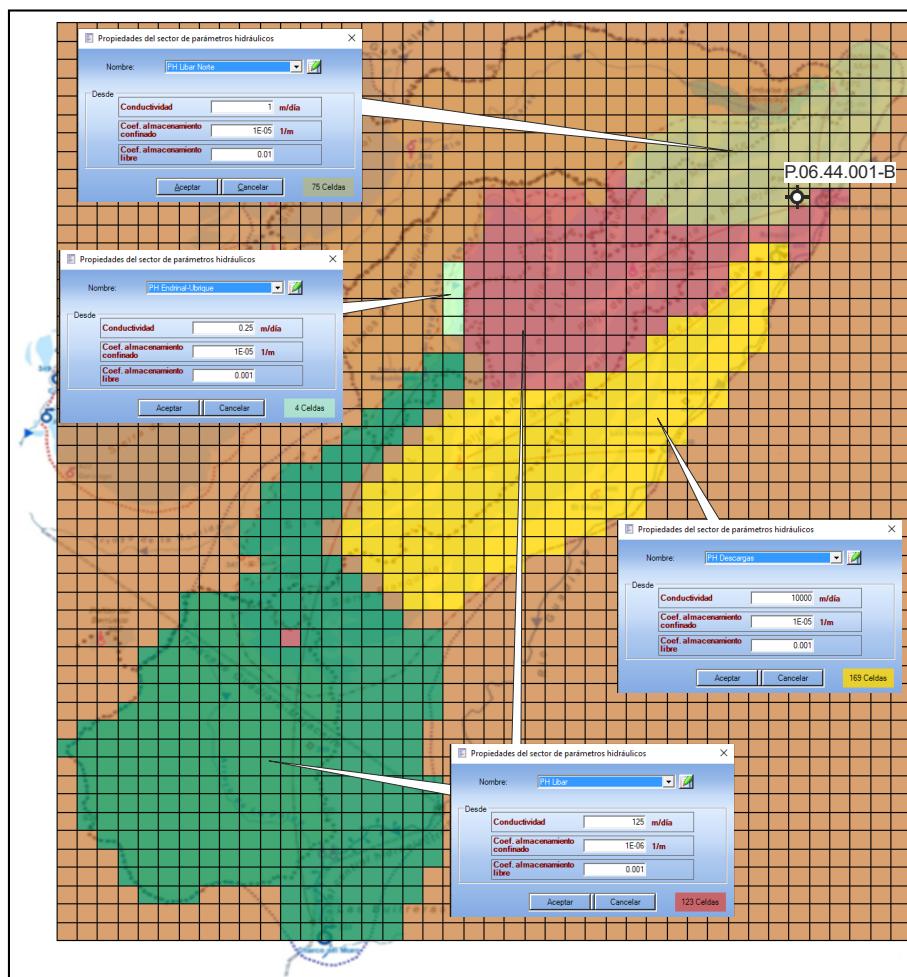


Figura 5.26. Parámetros hidráulicos tras el proceso de calibración y localización del piezómetro utilizado en el mismo.

Recarga Alóctona

La recarga alóctona procedente de los ríos que se infiltran en los principales sumideros (poljes y simas) de la MASCH se ha incluido en el modelo como entradas puntuales en las celdas en que esta recarga se produce. Su estimación en el periodo simulado se ha realizado en el marco de este estudio y sus resultados se recogen en el apartado 5.1 (Figura 5.24B). En la tabla 5.15 se muestran los volúmenes medios de recarga alóctona que se han tenido en cuenta en la modelización con RENATA.

Tabla 5.15. Volúmenes de recarga alóctona que se han tenido en cuenta con el modelo RENATA para la modelización de la sierra de Líbar. Periodo 1985/86-2014/15.

Cuenca	Sumidero	Volumen (hm ³ /a)
Río Gaduares	Hundidero	21,54
Arroyo de los Álamos	Republicano	11,58
Interiores de Líbar	Llanos de Líbar	4,84
	Total	37,96

5.4.2 Calibración

La calibración se ha realizado en régimen transitorio no alterado, puesto que no existen sondeos de explotaciones significativos que alteren el régimen natural de la MASCH. Se parte de los niveles iniciales obtenidos en régimen permanente, considerando como entradas la media de la recarga obtenida en el periodo entre 1985/86-2014/15. A lo largo del proceso de calibración en régimen transitorio se han modificado los valores de la reserva de agua en el suelo y el umbral de escorrentía. Así mismo, se han modificado los parámetros hidráulicos hasta alcanzar un funcionamiento aceptable. Para ello, se ha utilizado como criterio subjetivo la coherencia del funcionamiento hidrológico con el conocimiento del acuífero y, como criterios objetivos, el ajuste piezométrico en un sondeo representativo localizado al N de la MASCH y el de los hidrogramas disponibles de las descargas por las surgencias de Cueva del Gato y Benaoján. El ajuste finalmente alcanzado se representa en la figura 5.27.

Los resultados para el régimen transitorio se sintetizan en las tablas 5.16 y 5.17. En la primera se proporcionan los valores de la recarga por precipitación en las 6 áreas diferenciadas. La segunda presenta los resultados globales de la recarga del acuífero distribuida por demarcaciones hidrográficas.

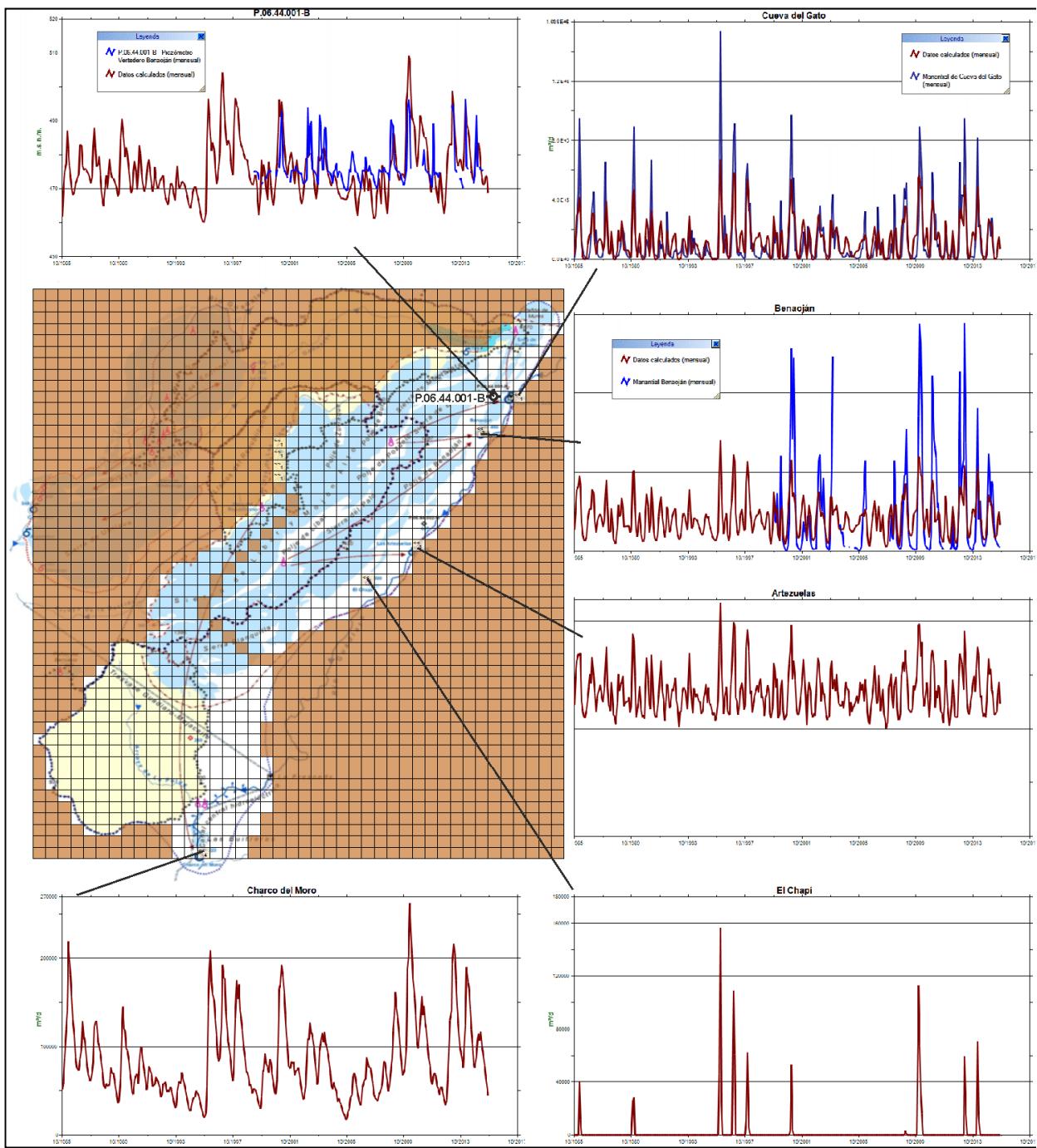


Figura 5.27. Evolución piezométrica e hidrométrica medida y simulada.

Tabla 5.16. Precipitación media, recarga media por precipitación en los sectores de suelo carbonático (periodo 1985/86-2014/15)

Área	Superficie (km ²)	Sector climático	Sector suelo	Parámetros	Precipitación media (hm ³ /a)	Recarga media (hm ³ /a)
1	10,48	6037	Carbonático	$RU_{min}=10\text{ mm}$ $RU_{max}=25\text{ mm}$ $P_0=60\text{ mm}$ $NC=46$	7,52	4,63
2	19,78	6035	Carbonático		27,43	20,68
3	1,46	5911	Carbonático		2,48	1,9
4	21,25	5943B	Carbonático		33,93	25,93
5	4,08	6038	Carbonático		4,88	3,32
6	16,88	6039A	Carbonático		21,91	15,3
Total	73,93				98,15	71,76

Tabla 5.17. Recarga de la MASCH Sierra de Líbar calculada con RENATA por demarcaciones hidrográficas (periodo 1985/86-2014/15)

Demarcación hidrográfica	Superficie (km ²) ⁽¹⁾	Superficie Permeable (km ²)	Precipitación (hm ³ /a) ⁽²⁾	Infiltración lluvia (hm ³ /a)	Tasa de Recarga
DHCMA	142,63	33,47	37,82	26,38	69,8 %
DHGB	57,93	40,46	60,33	45,38	75,2 %
Total MASCH	126,25	73,93	98,15	71,76	73,1 %

(1) Superficie total, buena parte se encuentra confinada bajo materiales impermeables

(2) Precipitación caída sobre los afloramientos permeables

6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Los tres métodos empleados para evaluar la recarga (APLIS, VISUAL BALAN Y RENATA) muestran resultados muy similares (Tabla 6.1) y su valor oscila entre 70,16 y 76,07 hm³/a.

Tabla 6.1. Valor de la recarga de la MASCH Sierra de Líbar según APLIS, VISUAL BALAN y RENATA (1985/86-2014/15)

Método	Recarga (hm³/a)			Tasa de recarga por precipitación
	DHCMA	DHGB	Total	
APLIS			70,16	70,6 % ⁽¹⁾
VISUAL BALAN⁽²⁾	27,98	48,09	76,07	81,6 % ⁽³⁾
RENATA	26,37	45,38	71,75	73,1 % ⁽⁴⁾

(1) Calculada a partir de una precipitación media obtenida por planimetrado de isoyetas sobre una superficie de afloramientos permeables de 74,04 km².

(2) Valores repartidos por demarcación según la superficie permeable aflorante que ocupa en cada una.

(3) Tasa obtenida con una precipitación media anual de la estación pluviométrica 6035 (1256 mm) y una superficie de afloramientos permeables de 74,04 km².

(4) Tasa obtenida con una precipitación media anual obtenida por polígonos de Thiessen sobre los aforamiento permeables.

En los apartados que prosiguen se utilizan los resultados proporcionados por el código RENATA. Las razones que justifican esta decisión son las siguientes:

- Esta metodología utiliza parámetros distribuidos. Tiene en cuenta las variables de entrada, precipitación y temperatura distribuidos en el tiempo y en el espacio.
- Permite la simulación del flujo subterráneo, por lo que los valores de la infiltración son ajustados y calibrados con series de niveles piezométricos y los hidrogramas de los manantiales.
- Se puede incluir en la simulación la recarga alóctona en los sumideros de la MASCH previamente calculada.
- Permite obtener, no solo la recarga en todos los meses del periodo utilizado, sino también su distribución espacial por lo que se podrá separar por demarcaciones.

7. BALANCE HÍDRICO

La MASCH sierra de Líbar no tiene influencias significativas ni de bombeos ni de retornos de riego, por lo que se puede considerar que su funcionamiento hidrogeológico siempre ha sido en régimen natural no influenciado.

El balance hídrico se ha estimado a partir de los resultados obtenidos con la aplicación RENATA mediante la simulación en régimen transitorio del periodo 1985/86-2014/15. Como niveles iniciales se han utilizado los obtenidos en régimen permanente con los valores medios de infiltración y recarga alóctona calculados en el periodo 1985/86-2014/15. La recarga alóctona por el sumidero de Hundidero, 21,84 hm³/a, procede de la DHCMA y la que se infiltra en el polje de Libar, 4,82 hm³/a, y en la sima del Republicano, 11,54 hm³/a, procede de la DHGB.

Para cuadrar los balances, calibrar los hidrogramas y en coherencia con el funcionamiento hidrogeológico propuesto, en la simulación se han considerado que todas las entradas subterráneas laterales procedentes de las sierras de El Endrinal y Ubrique se descargan por las surgencias localizada al E de la MASCH (Cueva del Gato, Benaoján, etc) que alimentan el río Guadiaro de la DHCMA.

Las recargas subterráneas laterales procedentes de las sierras de Libar y Ubrique se han asignado a sus correspondientes demarcaciones en función de la superficie de los afloramientos permeables. En la sierra del Endrinal la superficie de afloramientos permeables localizados en la DHCMA es de 8 km², suponiendo un coeficiente de infiltración similar al obtenido en la recarga por infiltración de lluvia en los carbonatos de la sierra de Líbar de 0,97 hm³/a/km², implicaría una recarga lateral desde la DHCMA de 7,76 hm³/a. Cabe suponer que el resto, 26,37 hm³/a, hasta 34,13 proceden de la DHGB, bien de la sierra de Endrinal también o bien de la sierra de Ubrique.

La recarga proporcionados por RENATA para la MASCH Sierra de Libar (periodo 1985/86-2014/15) es de 143,72 hm³/a. De este volumen, 88,11 hm³/a (61,3%) acontecen en territorio adscrito a la DHGB y 55,61 hm³/a (38,7%) en el administrado por la DHCMA. Por lo que respecta a las salidas, la totalidad del flujo subterráneo se dirige hacia la cota más bajas localizadas en el borde oriental de la MASCH. Es decir el 100% del caudal drenado por el sistema en régimen natural tiene lugar en la DHCMA (Tabla 7.1).

Lo expuesto implica que actualmente, en régimen no influenciado, la MASCH carece de divisoria hidrogeológica, ya que todo el flujo subterráneo se desplaza hacia los manantiales de su extremo oriental, localizados dentro de la Demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (figura 7.1). En consecuencia, existen dos cuencas hidrográficas (Guadalete-Barbate y Mediterráneas Andaluzas) y una única cuenca hidrogeológica (Mediterráneas Andaluzas) que ocupa todo toda la MASCH.

Tabla 7.1. Balance hídrico en régimen no influenciado de la MASCH de Sierra de Líbar.
Valores medios para el periodo 1985/86-2014/15 en hm³/a.

		DHCMA	DHGB	Total MASCH
ENTRADAS	Recarga Lluvia	26,37	45,38	71,75
	Recarga Alóctona	21,48 ⁽¹⁾	16,36 ⁽²⁾	37,84
	Entradas laterales	7,76	26,37	34,13
	Total	55,61	88,11	143,72
	%	38,7	61,3	100
	Manantial Cueva del Gato	46,59	--	46,59
	Manantial Benaoján	60,01	--	60,01
SALIDAS	Manantial Las Artezuelas	4,86	--	4,86
	Manantial El Chapí	1,05	--	1,05
	Manantial Charco del Moro	31,21	--	31,21
	Total	143,72	--	143,72
	%	100	0	100

(1) Infiltración en Hundidero

(2) Infiltración en el polje de Líbar (4,82 hm³/a) y en la sima del Republicano (11,54 hm³/a)

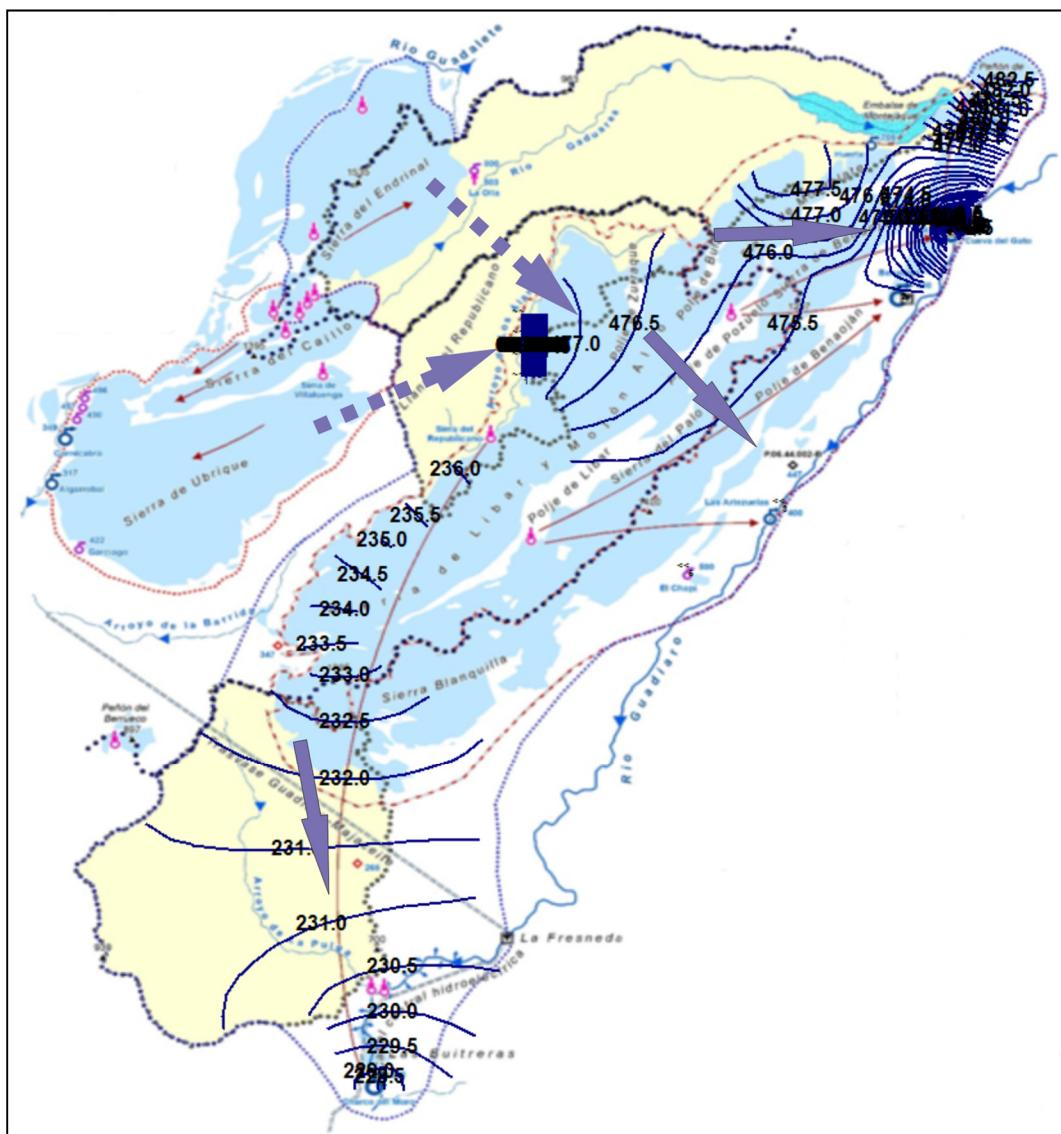


Figura 7.1. Distribución de isopiezas y direcciones preferentes del flujo subterráneo en régimen permanente obtenido con RENATA en la MASCH Sierra de Líbar. Distribución supuesta porque no hay red de control para confirmarla.

8. BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO SEGÚN DIVISORIA HIDROGRÁFICA E HIDROGEOLÓGICA

Desde un punto de vista estrictamente normativo la evaluación de los recursos hídricos subterráneos de una masa de agua subterránea, independientemente de que aquella presente continuidad hidrogeológica o no con otra localizada en un ámbito de planificación diferente, responde a la directriz aportada en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH, 2008), apartado 1.2-55, donde se establece que los recursos disponibles de una masa de agua subterránea se determinarán a partir del *valor medio interanual de la tasa de recarga total de la masa de agua subterránea, menos el flujo interanual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica para el agua superficial asociada, para evitar cualquier disminución significativa en el estado ecológico de tales aguas, y cualquier daño significativo a los ecosistemas terrestres asociados.*

Estimar la tasa de recarga de un acuífero -especialmente la que procede de la precipitación- es una operación incierta e imprecisa, que depende de multitud de factores, como se viene exponiendo en diversos documentos técnico-científicos desde hace muchos años (Lerner et al., 1990; Custodio et al., 1997; Healy, 2010). Prueba de ello son los diferentes resultados que han proporcionado las distintas metodologías que se han aplicado en el presente estudio, aunque, evidentemente, siempre ofrecerán una mayor confianza y certidumbre aquellas estimaciones que pueden someterse a una calibración mediante contraste con los datos reales tomados y medidos en campo o laboratorio. Este es el caso de metodologías como los códigos VISUAL BALAN y RENATA.

Por otro lado, en el apartado 1.2-55 de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH, 2008), también se hace alusión a las restricciones ambientales asociadas a las aguas subterráneas. A este respecto, en el texto refundido de la Ley de Aguas, en su apartado 5.2.4.1 “Estado cuantitativo”, se dispone que *las restricciones ambientales, asociadas a las aguas subterráneas, corresponden a los flujos medioambientales requeridos para cumplir con el régimen de caudales ecológicos y para prevenir los efectos negativos causados por la intrusión marina. En el régimen de caudales ecológicos se incluye tanto los caudales necesarios para mantener el caudal base en las masas superficiales categoría ríos como los requerimientos hídricos necesarios para la conservación de los lagos y zonas húmedas. En lo que se refiere a la intrusión marina considera los volúmenes mínimos necesarios para evitar el avance de la cuña salina.*

En la tabla 8.1 se muestra el balance hídrico subterráneo según divisoria hidrográfica e hidrogeológica en régimen natural para el periodo 1985/86 a 2014/15 en la MASCH Sierra de Líbar. En dicha tabla se indican los valores absolutos y porcentuales según se considere una u otra divisoria. De la observación de aquella se desprende que la recarga es del 38,7% del total en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y del 61,3 % en la del Guadalete-Barbate cuando se toma como referencia la divisoria hidrográfica. Como la MASCH carece de divisoria hidrogeológica, dentro del territorio que actualmente la conforma, todo el flujo subterráneo se dirige hacia la DHCMA, por lo que no hay drenaje hacia la DHGB.

Tabla 8.1. Balance hídrico subterráneo según divisoria hidrográfica e hidrogeológica en régimen natural para el periodo 1985/86 a 2014/15 en la MASCH Sierra de Líbar.. Variaciones absolutas y porcentuales.

Distribución de la recarga ^(a) según	(1) Cuenca Mediterráneas Andaluzas hm ³ /a) ⁽¹⁾	(2) Cuenca Guadalete-Barbate (hm ³ /a) ⁽¹⁾	(3) Total acuífero (hm ³ /a)
Divisoria hidrográfica	55,61 (38,7%)	88,11 (61,3%)	143,72
Divisoria^(b) hidrogeológica	143,72 (100,0%)	0,00 (0,0%)	

(a) De acuerdo con el apartado 1.2-55 de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH, 2008), recurso hídrico subterráneo es asimilable a recarga.

(b) la masa carece de divisoria hidrogeológica dentro de su territorio

9. RESUMEN Y CONCLUSIONES

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

- Existen masas de agua subterránea, colindantes entre dos o más demarcaciones hidrográficas, cuya realidad física respecto de su conexión hídrica y funcionamiento hidrogeológico escapa a sus límites administrativos, por lo que resulta necesario afrontar su estudio y su gestión desde la óptica de su realidad hidrogeológica. Este es el caso de las masas de agua subterránea que se contemplan en el presente informe, donde no tiene sentido estimar los recursos de agua subterránea de manera independiente, unilateral y separadamente. **A dichas masas se las ha agrupado bajo la denominación de “masas de agua subterránea que presentan continuidad hidrogeológica” (MASCH).**
- La masa de agua subterránea con continuidad hidrogeológica denominada **Sierra de Líbar está integrada por las MASb homónimas 060.044 y 062.002 pertenecientes respectivamente a las demarcaciones de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (DHCMA) y del Guadalete y Barbate (DHGB).**
- **La formación hidrogeológica** corresponde a los materiales del Jurásico inferior, constituidos por unos 450 m de **calizas y dolomías masivas del Jurásico**.
- **La precipitación media** sobre la superficie permeable de la MASCH es muy alta, se ha contabilizado una **media de 1.327 mm/a** para el periodo 1985/86-2014/15 con diferencias interanuales y variaciones a nivel diario importantes (2.270 mm a 516 mm y desviación típica de 617 mm).
- **La recarga de la MASCH (1985/86-2014/15)** se ha determinado por tres métodos: APLIS, VISUAL BALAN y RENATA, en todos ellos se han obtenido resultados muy parecidos. Con los dos primeros la recarga ha sido de 70,16 hm³/a y 76,01 hm³/a, respectivamente, y con **RENATA 71,75 hm³/a**. Aunque son muy parecidos, se ha considerado este último resultado como más representativo, ya que se ha obtenido mediante calibración con criterios objetivos. Además, permite incluirlo en la aplicación espacialmente distribuido y temporalmente discretizado junto al resto de las entradas a la MASCH para simular su funcionamiento hidrogeológico.
- **La MASCH de Sierra de Líbar no ha sufrido alteración antrópica significativa**, por lo que los resultados que se recogen en este documento corresponden a un régimen no influenciado. Los **recursos renovables de la MASCH se estiman en 143,72 hm³/a** (periodo 1985/86-2014/15), de los que **55,61 hm³/a (38,7%) se generan en la DHCMA y 88,11 hm³/a (61,3%) en la DHGB**. Según su procedencia, estos recursos se distribuyen por demarcaciones:

	Recarga de agua de lluvia (hm³/a)	Recarga alóctona a través sumideros (hm³/a)	Transferencias laterales subterráneas⁽¹⁾ (hm³/a)	Total recarga (hm³/a)
DHCMA	26,37	21,48	7,76	55,61 (38,7%)
DHGB	45,38	16,36	26,37	88,11 (61,3%)
Total	71,75	37,84	34,13	143,72

(1) Proceden de las MASb colindantes (sierras del Endrinal y Ubrique).

- **Todas las recargas** generadas en la propia MASCH de Sierra de Líbar, tanto alóctonas como autóctonas, así como las transferencias **laterales de agua** procedentes de las sierras del Endrinal y Ubrique (MASb 062.004 Sierra de Grazalema-Prado del Rey) **se drenan por surgencias localizadas en el límite oriental de la MASCH de Sierra de Líbar que se encuentran situadas íntegramente en la DHCMA.**
- Dado que se trata de una MASCH que presenta un estado prácticamente prístino y virgen, **se recomienda analizar la viabilidad de estudiar su declaración como Reserva Natural Subterránea, al amparo del Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el RDPh y el RPh. En materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.** La MASCH de Sierra de Libar constituye un extraordinario exponente de la morfología y funcionamiento kárstico de entre todos los acuíferos, que afloran en **la Zona Externa de la Cordillera Bética** en materiales pertenecientes al dominio Subbético Interno Occidental, también denominado Penibético.

REFERENCIAS

- Andreo, B.; Vadillo, I.; Carrasco, F.; Neukum, C.; Jiménez, P.; Goldscheider, N.; Hötzl, H.; Vías, J.M. y Pérez I. (2004): Precisiones sobre el funcionamiento hidrodinámico y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero kárstico de la Sierra de Libar (provincias de Málaga y Cádiz, Sur de España) a partir de un ensayo de trazadores. Revista de la Sociedad Geológica de España, 17 (3-4): 143-146.
- Andreo, B.; Goldscheider, N.; Vadillo I.; Vías, J.M.; Neukum, C, Sinreich, M.; Jiménez, P.; Brechenmacher, J.; Carrasco, F.; Hötzl, H.; Perles, M. J. y Zwahlen, F. (2006a): Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Libar (Southern Spain). Science of the Total Environment, 357(1-3): 54-73.
- Andreo, B., Vías J.M., Durán, J.J., Jiménez, P., López-Geta, J.A. y Carrasco, F. (2008): Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: application to pilot sites in southern Spain. Hydrogeology Journal, 16: 911-925.
- Batlle, A., Mantecón, R. y Martín-Machuca, M. (1986). Las aguas subterráneas en la provincia de Cádiz. En: II Simposio del Agua en Andalucía (Pulido Bosch, A.), Vol. II. Universidad de Granada, 179 - 190.
- Benavente, J. y Mangin, A. (1984): Aplicación del análisis de series de tiempo al sistema espeleológico Hundidero-Gato. I Congreso Español de Geología. Comunicaciones, 3: 541-553.
- Brechenmacher, J. (2002): Application of the PI method for Groundwater vulnerability mapping in the karst aquifer of Sierra de Libar (Andalusia, Spain). Processing and analysis with GIS. Diplom Thesis in Geoecology, Universidad de Karlsruhe (Alemania), 109 páginas.
- Carral-Pérez, A. y Ordóñez-Pérez, C.M. (1997). Sistema de búsqueda, reconocimiento y valoración de los recursos y reservas de las aguas subterráneas mediante resonancia magnética nuclear. Principios físicos. Aplicación práctica. Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil. Revista de Obras Públicas, nº 3.370: 29-47.
- Castillo, J.M. (1988). La abstracción climática, la realidad meteorológica y la aproximación geográfica: el clima de Andalucía desde la perspectiva del análisis regional con los tipos de tiempo. Universidad de Granada. Tesis doctoral. Inédita
- CHG-IGME (2001). Norma de explotación de la U.H. 05.64 Sierra de Grazalema. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir e Instituto Geológico y Minero de España. 22 pág.
- CHS-IGME-GHUMA (2004): Redefinición de las unidades hidrogeológicas de la Cuenca Sur. Instituto Geológico y Minero de España; Confederación Hidrográfica del Sur; Universidad de Málaga, Madrid (España). 219 páginas.
- Delannoy, J.J. (1987): Reconocimiento biofísico de Espacios Naturales de Andalucía. Junta de Andalucía - Casa de Velázquez (Eds.), Madrid. 50 páginas.
- Delannoy, J.J. (1998). Contribución al conocimiento de los macizos kársticos de las serranías de Grazalema y de Ronda. En: Karst en Andalucía (J.J. Durán y J. López, Eds.). Instituto Tecnológico Geo-Minero de España, 93-129.
- Delannoy, J. y Díaz del Olmo, F. (1986): La Serranía de Grazalema (Málaga-Cádiz). Karstologia Mémoires, 1: 55-70.

- DGOHCA (1998): Las unidades hidrogeológicas de las Sierras de Libar (00.06) y Grazalema (05.64). Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Ministerio de Medio Ambiente. 52 pag.
- DPM (1988): Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. Diputación Provincial de Málaga, 151 pp.
- Durán, J.J. (1996): Los sistemas kársticos de la provincia de Málaga y su evolución: contribución al conocimiento paleoclimático del Cuaternario en el Mediterráneo Occidental. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid (España). 409 pág.
- Durán, J.J. y López Martínez, J. (1992): Application of geological, hydrochemical and isotopic methods for hydrogeological investigation of selected Spanish karst regions. International Contributions to Hydrogeology, 13: 43-60.
- Gracia, F.J.; Benavente, J. y Anfuso, G. (2000): Implicaciones endokársticas de la evolución geomorfológica de los poljes de Zurraque y Burfo (Sierra de Libar, Málaga). En A. Santiago, A. Martínez y J. Mayoral (Eds.) Actas del Primer Congreso Andaluz de Espeleología. Ronda, Excmo. Ayuntamiento de Ronda, 341-351.
- Hargreaves, G.H y Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1, 96–99.
- IGME (1983): Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España (Sector occidental). Sistemas acuíferos nº 35-Mioceno Detritico de Ronda y nº 36- Mesozoico calizo dolomítico de la Serranía de Ronda. Informe técnico nº 4, inédito.
- IGME (1984). Estudios de investigación hidrogeológica para la regulación de los recursos hídricos subterráneos de la divisoria Guadalete-Guadiaro. Informe técnico. 216 pág.
- IGME (1987): Mapa geológico de España 1:50.000. Hoja 1.064 Cortes de la Frontera. Madrid (España).
- IGME (1991): Mapa geológico de España 1:50.000. Hoja 1.050 Ubrique. Madrid (España).
- IGME, COPT y CTI (1998): Atlas hidrogeológico de Andalucía. Instituto Geológico y Minero de España. Consejería de Obras Públicas y Transportes y Consejería de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía, 216 pp.
- IGME (2002): Norma de explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.64 (Sierra de Grazalema). Inst. Geol. y Min. de España. Informe no publicado. Granada.
- IGME-GHUMA (2003): Estudios metodológicos para la estimación de la recarga en diferentes tipos de acuíferos carbonatados: aplicación a la Cordillera Bética. Instituto Geológico y Minero de España. Informe inédito. 3 tomos
- IGME - Diputación Provincial de Alicante (2012): RENATA: Recarga Natural a los acuíferos.
- ITGE (1994): Aspectos hidrogeológicos del entorno geográfico del trasvase Guadiaro-Majaceite. Informe inédito.
- Jiménez, P. (2007): Sierra de Libar (M.A.S. 050.068 y 060.044). En: Diputación de Málaga-IGME-UMA, Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga, Vol II: 31-36.
- Jiménez, P. (2010): Caracterización hidrogeológica de acuíferos carbonáticos del sur de España a partir de sus respuestas naturales. Tesis doctoral, Instituto del Agua, Universidad de Granada (España). 412 páginas.

- Jiménez, P., Andreo, B., Carrasco, F., Durán, J.J. y López-Geta, J.A. (2002): Caracterización de acuíferos carbonáticos del sur de España a partir de su respuesta hidrodinámica. En: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (Eds.), Karst and Environment, 105-113.
- Jiménez, P., Andreo, B., Carrasco, F., Durán, J.J. y López-Geta, J.A. (2004): Análisis de la respuesta hidrodinámica de acuíferos carbonáticos de la Cordillera Bética occidental (Sur de España). Boletín Geológico y Minero, 115(2): 187-197.
- Kessler, H. (1967): Water balance investigations in the Karstic regions of Hungary. Symposium on Hydrology of Fractured Rocks, Dubrovnik (Yugoslavia), AIHS-UNESCO, 1: 91-105.
- Longo A.; Andreo B.; Carrasco, F.; Cucchi, F.; Vías, J. y Jiménez, P. (2001): Comparison of two contamination vulnerability maps obtained by the SINTACS method in two carbonate aquifers (S Spain). En: Jacques Mudry y François Zwhalen (Eds.), 7th Conference on limestone hydrology and fissured media, Besançon (Francia), Sci. Tech. Envir. Mém. H.S. nº13: 233-236.
- Marín, A.I. (2009): Los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la evaluación de recursos hídricos y a la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos carbonatados. Caso de la Alta Cadena (provincia de Málaga). Tesis de licenciatura, Universidad de Málaga (España). 131 páginas.
- Martín-Algarra, A. (1987): Evolución geológica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las externas de la Cordillera Bética. Tesis Doctoral. Universidad de Granada (España). 1171 páginas.
- Martín Algarra, A. (2008): El Subbético en las provincias de Málaga y Cádiz. En: Vera, J.A. y Molina, J.M. (coord.), Proyecto Andalucía, Tomo XXVI, Geología II, 49-110. Publicaciones Comunitarias, Grupo Hércules, Sevilla-A Coruña (España). 376 páginas.
- Martín-Rodríguez, J.F., Sánchez-García, D. Mudarra, M., Andreo, B., López-Rodríguez, M. y Navas-Gutiérrez, M.D. (2016): Evaluación de recursos hídricos y balance hidrogeológico en acuíferos kársticos de montaña. Caso de la sierra de Grazalema (Cádiz, España). En: Las aguas subterráneas y la planificación hidrológica. Congreso hispano-luso. CD book. (Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español-, L. Martínez Cortina, P. Martínez Santos – Editores-), pp 163-170. ISBN: 978-84-938046-5-7.
- Martín-Rodríguez, J.F., Mudarra, M., Andreo, B., de la Torre, B., Gil-Márquez, J.M., Martín-Arias, J., Nieto-López, J.M., Prieto-Mera, J. y Rodríguez-Ruiz, M.D. (2020): Monitoring and preliminary analysis of the natural responses recorded in a poorly accessible streambed spring located at a fluviokarstic gorge in Southern Spain. En: Eurokarst 2018, Besançon, Advances in the Hydrogeology of Karst and Carbonate Reservoirs. (C. Bertrand, S. Denimal, M. Steinmann, Renard, P. – Eds.-), 101-108. Advances in Karst Science Series. Springer Nature Switzerland AG. ISBN: 978-3-030-14014-4. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14015-1_12.
- Martín-Vide, J. (1991). Rasgos singulares de la pluviometría gaditana. Cuadernos de Geografía 2:11-20.
- Martos-Rosillo, S. (2005): Sierra de Libar. En: Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 191 - 196. Instituto Geológico y Minero de España y Diputación Provincial de Cádiz. 205 págs. ISBN: 84-7840-602-6.
- Mayoral, J. (2004): Investigaciones espeleológicas en Montejaque y Benaoján (Málaga). Excmo. Ayuntamiento de Montejaque (España). 153 páginas

- Mayoral, J.; Huisa, J.A. y Castejón, J. (2000): Prospecciones y exploraciones espeleológicas en la zona de Montequero y Benaoján (Málaga). En A. Santiago, A. Martínez y J. Mayoral (Eds.) Actas del Primer Congreso Andaluz de Espeleología. Ronda (España), 307-322.
- Padilla, A. y Delgado, J. (2013): Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas. Programa TRASERO 2.0. Departamento de ciclo hídrico, Diputación Provincial de Alicante, 87 p.
- Pedroche, A. y Mendoza, D. (2000): Investigaciones espeleológicas en el sector nordeste del polje del Republicano. En A. Santiago, A. Martínez y J. Mayoral (Eds.) Actas del Primer Congreso Andaluz de Espeleología. Ronda (España), 299-305.
- Rodríguez-Vidal, J., Álvarez, G., Cáceres, L.M., Martínez-Aguirre, A. y Alcaraz, J.M. (1999). Morfogénesis y fases de karstificación cuaternarias en la Sierra del Endrinal (Grazalema, Cádiz). Cuaternario y Geomorfología, 13(1-2):7-17.
- Samper, J., Huguet, Ll., Ares, J. y García Vera, M.A. (1999). Manual del usuario del programa VISUAL BALAN v.1.0: Código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga. Publicación Técnica de ENRESA nº 5/99, Madrid. 205 pp
- Témez, J. (1978): Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España.
- Thornthwaite, C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38(1): 55-94.
- Vías, J.M.; Andreo, B.; Perles, M.J.; Carrasco, F.; Vadillo, I. y Jiménez, P. (2002): Preliminary proposal of a method for contamination vulnerability mapping in carbonate aquifers. En: F. Carrasco, J.J. Durán y B. Andreo (Eds.) Karst and Environment, 75-83.
- Vías, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I. y Jiménez, P. (2004): The COP method. F. Zwahlen (Ed.) Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate aquifers, Final Report of COST Action 620. European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development; Brussels, Luxemburg, 163-172.

**ANEXO
DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES UTILIZADOS**

Est: 1911 Grazalema														
X	288458													
Y	4070541													
Z	921													
PP	mm	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	0.0	527.5	383.2	558.0	942.2	151.7	170.7	68.9	0.0	0.0	0.0	34.0	2836.2	
86-87	72.7	185.9	110.3	506.1	382.2	19.7	184.2	13.5	0.0	21.4	133.0	60.7	1689.7	
87-88	194.1	137.7	533.5	403.5	88.5	18.0	124.0	173.5	105.5	63.9	0.0	3.5	1845.7	
88-89	186.4	140.3	2.6	158.1	322.5	50.1	215.4	30.4	0.0	0.0	21.9	16.6	1144.3	
89-90	88.5	479.7	435.8	140.6	0.0	22.2	203.3	20.9	1.1	0.9	0.0	7.5	1400.5	
90-91	228.5	171.0	87.2	21.4	273.5	327.5	137.7	6.5	14.4	6.5	1.6	94.6	1370.4	
91-92	219.6	109.2	40.9	5.6	77.9	71.5	190.6	43.9	99.6	0.2	10.1	56.6	925.7	
92-93	298.0	27.4	150.1	46.0	21.7	73.9	210.8	125.5	5.7	0.0	0.0	19.0	978.1	
93-94	287.7	276.0	12.0	194.0	211.9	1.5	104.6	89.4	3.5	0.9	0.7	8.3	1190.5	
94-95	144.8	152.9	49.6	180.2	78.4	44.5	48.4	0.4	18.1	0.4	44.4	36.3	798.4	
95-96	0.2	183.5	1093.0	906.4	255.4	87.4	63.9	306.2	3.0	0.2	8.6	123.6	3031.4	
96-97	70.7	366.5	854.0	324.1	0.0	0.0	56.5	59.1	96.6	0.8	10.2	46.4	1884.9	
97-98	85.5	717.2	627.4	127.4	216.6	26.0	176.3	109.6	3.5	0.0	0.0	218.6	2308.1	
98-99	34.1	11.7	133.6	51.7	87.0	131.7	62.3	69.4	2.7	4.8	7.2	118.3	714.5	
99-00	536.4	32.2	231.1	68.1	0.0	30.7	447.0	72.4	0.1	0.0	0.0	39.2	1457.2	
00-01	158.1	456.7	599.7	613.5	125.1	371.4	21.6	95.6	12.6	0.2	0.0	78.6	2533.1	
01-02	184.3	115.2	164.5	143.9	50.5	255.5	207.0	49.6	20.2	0.0	0.1	77.3	1268.1	
02-03	99.6	510.9	237.9	397.8	257.9	181.2	168.1	22.0	0.5	0.0	0.7	64.2	1940.8	
03-04	460.4	253.3	249.6	169.5	211.5	152.6	121.3	182.0	0.0	0.2	13.0	0.5	1813.9	
04-05	282.9	19.1	138.8	0.1	102.7	123.2	13.0	58.0	0.0	0.0	0.8	24.0	762.6	
05-06	186.2	87.9	208.0	178.8	242.9	307.9	81.8	26.4	8.9	2.6	28.2	64.1	1423.7	
06-07	262.0	141.3	127.8	112.7	425.7	80.1	72.5	197.9	29.6	0.0	4.2	36.0	1489.8	
07-08	49.6	97.2	76.4	268.8	79.8	76.5	566.4	123.6	0.0	0.2	0.0	87.9	1426.4	
08-09	275.3	207.9	276.1	708.3	253.8	156.8	171.0	22.6	20.1	1.6	8.3	102.9	2204.7	
09-10	137.3	89.4	1180.4	440.7	631.9	251.4	50.7	55.0	136.9	0.0	1.8	42.2	3017.7	
10-11	226.7	327.0	492.3	166.2	189.5	101.4	225.6	61.4	37.0	0.0	0.6	48.4	1876.1	
11-12	135.6	269.9	48.4	69.0	1.8	7.2	269.5	126.3	0.0	0.0	0.0	71.3	999.0	
12-13	249.6	437.8	365.4	536.1	267.7	1023.5	105.9	76.4	3.3	0.0	4.5	94.5	3164.7	
13-14	28.2	26.6	351.7	468.4	785.9	134.9	241.5	37.0	25.5	0.0	0.0	95.1	2194.8	
14-15	98.3	496.9	78.2	296.0	109.0	117.5	90.0	3.5	55.4	0.0	3.0	96.5	1444.3	
Media	176.0	235.2	311.3	275.4	223.1	146.6	160.1	77.6	23.5	3.5	10.1	62.2	1704.5	

ANEXO. DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES UTILIZADOS

Est:	6035 Cueva Pileta												
X	295959												
Y	4062495												
Z	1028												
PP	mm												
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	0.0	266.1	223.0	222.5	430.0	123.5	127.4	30.5	0.0	0.0	0.0	26.0	1449.0
86-87	63.7	220.0	53.8	427.5	239.0	23.1	90.5	6.5	0.5	8.5	98.2	39.0	1270.3
87-88	216.9	143.2	428.5	261.2	75.1	8.0	71.7	105.0	66.2	23.0	0.0	11.0	1409.8
88-89	147.3	150.2	0.1	199.2	311.5	40.8	190.0	42.5	0.0	0.2	0.1	31.5	1113.4
89-90	145.0	758.5	505.5	146.1	0.0	34.5	217.9	3.2	0.0	1.0	0.1	1.2	1813.0
90-91	172.5	196.5	83.7	11.1	275.2	346.7	123.0	2.0	25.0	0.0	4.0	77.0	1316.7
91-92	295.3	109.0	30.7	13.3	73.0	95.0	188.0	16.4	120.0	0.0	0.0	39.0	979.7
92-93	236.0	22.3	88.3	53.0	37.0	60.1	139.5	106.8	21.0	0.0	0.5	14.0	778.5
93-94	244.6	204.0	0.0	143.7	149.0	0.0	73.5	78.5	0.0	0.0	0.0	16.0	909.3
94-95	124.0	118.0	44.0	138.5	52.5	26.0	28.0	0.0	18.5	0.0	2.0	29.5	581.0
95-96	0.0	144.2	719.9	700.9	171.6	69.4	37.0	185.6	0.0	0.4	4.2	75.7	2108.9
96-97	77.2	297.5	991.5	417.7	0.0	0.0	57.0	100.9	97.3	4.5	2.8	121.6	2168.0
97-98	51.7	500.8	599.0	147.7	267.5	30.5	92.4	170.2	1.5	0.0	0.0	177.9	2039.2
98-99	14.9	3.5	146.6	51.1	76.6	117.9	75.0	42.6	5.8	9.0	5.0	112.2	660.2
99-00	391.9	39.5	160.4	92.2	0.0	32.9	423.8	85.7	0.0	0.0	0.0	31.9	1258.3
00-01	161.1	275.7	628.5	484.0	87.3	339.8	17.0	51.1	3.6	0.0	0.0	107.2	2155.3
01-02	191.7	126.8	137.9	94.7	18.1	203.8	160.6	38.2	9.8	0.0	0.0	112.9	1094.5
02-03	63.8	397.2	272.6	249.3	180.5	149.0	174.7	12.2	0.0	0.0	0.0	50.0	1549.3
03-04	410.8	200.7	274.5	60.3	200.9	147.2	80.2	147.2	0.0	0.0	0.0	2.6	1524.4
04-05	202.3	20.1	111.1	0.0	82.5	98.7	12.7	27.2	0.0	0.0	0.7	13.0	568.3
05-06	144.7	57.4	117.5	157.3	180.6	231.1	62.6	8.3	8.0	1.4	27.6	19.3	1015.8
06-07	292.4	184.1	67.1	63.0	195.6	51.3	43.6	158.6	6.2	0.0	0.0	47.9	1109.8
07-08	33.6	67.9	115.5	137.1	73.1	52.0	351.1	76.4	0.0	0.0	0.0	103.4	1010.1
08-09	267.6	148.7	143.3	335.1	223.6	110.1	96.8	15.5	15.0	0.0	3.7	65.3	1424.7
09-10	70.6	53.7	1049.9	393.3	628.5	252.3	51.5	33.8	71.0	0.0	21.7	61.5	2687.8
10-11	184.5	227.7	619.0	116.1	153.4	165.5	168.4	36.3	33.0	0.0	1.9	8.7	1714.5
11-12	141.2	295.2	22.6	41.7	5.4	3.2	158.3	91.0	0.0	0.0	0.0	141.1	899.7
12-13	258.0	341.7	122.3	265.5	206.5	726.6	95.1	8.4	0.6	0.0	2.0	59.4	2086.1
13-14	32.8	24.2	187.7	381.1	639.5	109.8	196.5	30.1	20.7	0.0	0.0	77.4	1699.8
14-15	80.0	404.3	63.6	240.8	88.7	95.6	73.2	2.8	45.1	0.0	2.4	78.5	1175.2
Media	157.2	200.0	266.9	201.5	170.7	124.8	122.6	57.1	19.0	1.6	5.9	58.4	1385.7

ANEXO. DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES UTILIZADOS

Est:	6040U Colmenar												
X	286002												
Y	4046701												
Z	276												
PP	mm												
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	0.0	263.5	153.0	151.0	263.5	110.7	87.0	5.0	0.0	0.0	0.0	30.0	1063.7
86-87	98.9	177.0	43.5	338.5	211.0	10.0	68.5	16.5	0.0	6.0	4.0	11.1	985.0
87-88	145.5	93.0	364.5	219.5	57.0	7.5	48.0	76.0	49.2	15.0	0.0	0.0	1075.2
88-89	45.0	157.5	0.0	275.0	323.2	40.5	112.7	47.5	7.5	0.0	0.0	23.0	1031.9
89-90	162.9	765.8	459.5	105.5	0.0	26.9	189.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1715.1
90-91	129.6	168.0	148.0	21.0	213.0	250.0	119.0	0.0	2.0	0.0	0.0	55.0	1105.6
91-92	254.5	97.0	42.0	29.0	64.5	73.5	123.0	10.0	138.0	0.0	0.0	27.0	858.5
92-93	224.0	17.0	103.5	51.0	77.0	85.5	144.0	63.0	17.5	0.0	0.0	7.0	789.5
93-94	253.5	171.5	4.0	141.0	154.0	0.0	55.5	49.0	0.0	0.0	0.0	17.0	845.5
94-95	98.5	118.0	69.0	115.6	50.3	36.5	22.0	0.0	15.0	0.0	4.0	23.3	552.1
95-96	0.0	101.0	521.5	670.8	69.7	98.5	57.5	179.5	0.0	0.0	0.0	31.5	1730.0
96-97	91.5	201.5	788.0	328.4	0.0	0.0	54.0	51.9	55.0	0.0	0.0	127.1	1697.4
97-98	67.5	370.5	336.0	159.0	243.2	23.8	42.5	107.5	0.0	0.0	0.0	132.6	1482.6
98-99	7.3	7.0	149.2	53.9	43.5	152.0	47.3	48.7	8.0	1.0	0.0	66.7	584.6
99-00	255.8	10.2	83.7	84.0	0.0	19.0	334.7	81.6	0.0	0.0	0.0	11.2	880.2
00-01	60.7	147.7	506.1	247.8	68.9	214.0	0.0	59.5	0.0	0.0	0.0	93.0	1397.7
01-02	90.0	176.0	68.9	56.0	24.0	165.0	83.5	29.5	3.6	0.0	0.0	53.0	749.5
02-03	70.1	254.5	191.5	122.6	151.0	127.2	148.7	5.0	0.0	0.0	0.0	44.3	1114.9
03-04	375.8	141.4	241.7	27.1	179.5	92.5	64.7	134.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1256.7
04-05	188.3	18.7	60.1	0.0	75.5	79.7	17.0	21.9	0.0	0.0	0.0	3.0	464.2
05-06	129.0	60.5	78.7	195.5	118.3	174.5	65.0	4.3	10.0	0.0	18.0	13.5	867.3
06-07	204.3	151.9	51.7	100.3	119.6	28.9	46.6	101.9	3.6	0.0	0.0	107.2	916.0
07-08	27.8	31.9	148.0	90.4	100.5	48.3	189.6	42.2	0.0	0.0	0.0	81.9	760.6
08-09	141.1	208.9	122.1	454.3	162.8	100.6	109.7	14.5	0.0	0.0	0.0	27.5	1341.4
09-10	50.9	57.0	707.2	304.4	468.1	223.5	101.3	36.3	40.0	0.0	40.1	53.5	2082.3
10-11	88.6	150.2	448.1	119.5	110.0	171.5	186.2	32.6	1.4	0.0	1.2	13.4	1322.7
11-12	104.3	254.0	11.7	34.7	1.7	13.6	100.0	63.8	0.0	0.0	0.0	108.5	692.3
12-13	279.7	335.2	79.7	182.2	202.8	524.6	90.3	17.5	0.0	0.0	0.0	55.4	1767.4
13-14	22.3	6.8	114.7	148.5	173.7	80.1	150.5	12.4	41.4	0.0	0.0	48.5	798.9
14-15	53.1	359.5	81.3	81.3	40.6	174.0	32.4	6.1	5.0	0.0	0.0	6.0	839.3
Media	124.0	169.1	205.9	163.6	125.6	105.1	96.3	44.1	13.2	0.7	2.2	42.4	1092.3

ANEXO. DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES UTILIZADOS

Est:	6040 Buitreras												
X	290452												
Y	4050600												
Z	458												
PP	mm												
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	0.0	226.1	154.3	148.5	297.5	82.7	55.5	9.0	0.0	0.0	0.0	22.7	996.3
86-87	81.0	132.0	32.0	275.0	167.5	9.0	54.5	8.6	0.0	5.0	98.0	26.5	889.1
87-88	165.5	114.5	342.0	167.5	52.5	6.5	58.0	66.5	51.8	0.0	0.0	0.0	1024.8
88-89	112.0	134.7	0.0	216.0	177.8	12.0	144.5	38.1	0.0	0.0	2.0	24.1	861.2
89-90	188.0	525.0	392.5	106.5	0.0	38.0	213.3	2.0	0.0	0.6	0.0	4.8	1470.6
90-91	151.0	153.9	127.4	12.5	173.0	283.3	132.0	0.0	19.5	0.0	0.0	67.5	1120.1
91-92	244.0	96.0	26.4	42.0	74.7	119.5	202.0	16.0	137.0	0.0	0.0	4.5	962.1
92-93	273.0	17.4	122.5	51.0	66.0	118.4	132.1	102.6	0.0	0.0	0.0	9.0	892.0
93-94	244.3	179.5	6.5	130.0	171.5	1.0	81.5	53.0	0.0	0.0	0.0	10.0	877.3
94-95	75.0	144.0	25.5	116.0	44.0	56.0	29.0	0.0	28.0	0.0	0.0	2.0	519.5
95-96	0.0	179.5	596.5	719.0	114.0	63.5	52.5	183.0	0.0	0.0	0.0	48.0	1956.0
96-97	83.0	218.0	826.6	371.0	0.0	0.0	68.5	69.5	60.0	0.0	0.0	220.5	1917.1
97-98	53.5	474.0	479.0	117.0	284.0	19.0	50.0	141.0	0.0	0.0	0.0	139.0	1756.5
98-99	0.0	0.0	156.0	32.9	55.3	83.7	39.6	44.1	1.7	3.1	4.6	75.2	496.2
99-00	341.0	20.5	146.9	43.3	0.0	19.5	284.2	46.0	0.1	0.0	0.0	24.9	926.3
00-01	100.5	290.3	381.2	390.0	79.5	236.1	13.7	60.8	8.0	0.1	0.0	50.0	1610.3
01-02	117.2	73.2	104.6	91.5	32.1	162.4	131.6	31.5	12.8	0.0	0.1	49.1	806.1
02-03	63.3	324.8	151.2	252.9	116.5	93.5	131.7	8.6	0.0	0.0	0.0	38.6	1181.1
03-04	319.3	106.0	218.6	32.1	167.5	115.6	65.4	110.4	0.0	0.0	8.3	0.3	1143.5
04-05	166.6	28.6	50.2	0.0	58.7	51.9	27.7	13.7	0.0	0.0	0.0	0.0	397.4
05-06	119.5	56.0	66.9	144.6	99.2	141.0	16.5	0.0	18.7	0.0	18.8	0.0	681.2
06-07	184.2	138.2	22.3	94.1	121.7	38.6	31.8	97.7	0.0	0.0	0.0	78.3	806.9
07-08	41.0	42.1	129.7	74.9	66.5	50.2	220.9	68.8	0.0	0.0	0.0	81.3	775.4
08-09	340.5	109.3	76.2	176.0	139.3	54.3	45.1	10.4	0.0	0.0	0.0	36.0	987.1
09-10	34.8	61.4	660.4	289.7	388.4	154.7	60.4	30.2	30.5	0.0	36.7	47.7	1794.9
10-11	80.7	131.0	407.9	85.0	87.6	165.4	158.7	64.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1181.1
11-12	99.8	217.6	0.0	27.3	0.0	2.5	87.6	57.9	0.0	0.0	0.0	121.0	613.7
12-13	255.3	267.2	68.2	181.1	167.1	403.4	65.0	48.6	2.1	0.0	2.9	60.1	1520.9
13-14	17.9	16.9	223.6	297.8	499.6	85.8	153.5	23.5	16.2	0.0	0.0	60.5	1395.2
14-15	62.5	315.9	49.7	188.2	69.3	74.7	57.2	2.2	35.2	0.0	1.9	61.3	918.1
Media	133.8	159.8	201.5	162.4	125.7	91.4	95.5	47.0	14.1	0.3	5.8	45.4	1082.6

Est: 6039A Cortes de la Frontera														
X	290514													
Y	4055136													
Z	640													
PP	mm	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86		0.0	401.9	292.0	425.1	717.9	115.6	130.1	52.5	0.0	0.0	0.0	25.9	2160.9
86-87		55.4	141.6	84.0	330.5	208.0	13.0	69.0	3.0	0.0	0.0	2.0	34.0	940.6
87-88		157.0	142.0	467.5	228.0	63.0	13.7	94.5	132.2	59.8	18.2	0.0	2.7	1378.6
88-89		142.0	106.9	2.0	216.0	221.0	26.5	159.0	51.5	0.0	0.0	16.7	54.0	995.6
89-90		193.0	676.5	362.0	8.0	0.0	38.5	209.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1498.0
90-91		194.0	193.5	58.5	26.0	250.5	294.0	130.0	5.0	0.0	0.0	1.2	61.5	1214.2
91-92		272.8	83.2	38.5	53.5	64.0	86.0	167.0	19.5	125.0	0.0	7.7	34.0	951.2
92-93		140.5	58.5	118.0	42.5	51.5	102.5	153.5	99.0	43.0	0.0	0.0	23.0	832.0
93-94		211.0	142.0	11.0	107.0	164.5	0.0	83.5	58.5	0.0	0.0	0.0	14.0	791.5
94-95		73.0	125.0	56.0	103.5	48.5	54.5	29.0	0.0	24.5	3.5	2.5	13.5	533.5
95-96		0.0	132.0	655.5	738.5	165.0	114.0	44.0	183.0	0.0	0.0	21.0	72.5	2125.5
96-97		87.0	190.0	795.5	342.0	0.0	0.0	48.0	70.0	6.0	0.6	7.8	35.4	1582.2
97-98		63.5	455.0	416.5	109.5	209.0	18.0	27.5	138.0	5.0	0.0	0.0	96.0	1538.0
98-99		17.0	8.0	139.0	68.5	73.0	136.5	77.5	36.5	9.0	8.5	5.5	90.0	669.0
99-00		334.0	39.0	170.0	98.0	0.0	45.0	289.0	124.0	0.0	0.0	0.0	29.9	1128.9
00-01		150.5	225.0	618.0	325.5	91.5	259.0	16.5	72.8	9.6	0.2	0.0	59.9	1828.4
01-02		120.5	142.0	112.0	63.0	10.5	157.5	119.5	33.5	8.5	0.0	0.0	98.0	865.0
02-03		75.9	357.5	201.0	189.5	186.5	117.0	159.5	17.0	0.0	0.0	0.0	33.0	1336.9
03-04		340.5	149.5	257.5	65.0	176.0	143.5	69.0	138.7	0.0	0.2	9.9	0.0	1349.7
04-05		182.0	14.6	105.7	0.1	76.0	81.0	9.1	44.2	0.0	0.0	0.6	18.3	531.6
05-06		141.9	67.0	158.5	136.2	185.1	234.6	62.3	20.1	6.8	2.0	21.5	48.8	1084.7
06-07		199.6	107.7	97.4	85.9	324.3	61.0	55.2	150.8	22.6	0.0	3.2	27.4	1135.1
07-08		37.8	74.1	58.2	204.8	60.8	58.3	431.5	94.2	0.0	0.2	0.0	67.0	1086.8
08-09		209.7	158.4	210.4	539.6	193.4	119.5	130.3	17.2	15.3	1.2	6.3	78.4	1679.7
09-10		104.6	68.1	899.3	335.8	481.4	191.5	38.6	41.9	104.3	0.0	1.4	32.2	2299.2
10-11		172.7	249.1	375.1	145.2	144.4	77.3	171.9	46.8	28.2	0.0	0.5	36.9	1448.0
11-12		103.3	205.6	36.9	52.6	0.4	5.5	205.3	96.2	0.0	0.0	0.0	54.3	760.1
12-13		190.2	333.6	278.4	408.4	204.0	779.8	80.7	58.2	2.5	0.0	3.4	72.0	2411.2
13-14		21.5	20.3	268.0	356.9	598.8	102.8	184.0	28.2	19.4	0.0	0.0	72.5	1672.2
14-15		74.9	378.6	59.6	225.5	83.0	89.5	68.6	2.7	42.2	0.0	2.3	73.5	1100.4
Media		135.5	181.5	246.7	201.0	168.4	117.9	117.1	61.5	17.7	1.1	3.8	45.3	1297.6

ANEXO. DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES UTILIZADOS

Est:	6038 Jimena												
X	296013												
Y	4059564												
Z	383												
PP mm													
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	12.2	234.8	176.8	216.6	290.5	106.6	112.0	7.2	2.1	0.0	0.0	21.9	1180.7
86-87	66.6	130.6	77.5	326.2	195.8	10.3	52.8	9.5	0.0	8.4	92.0	35.7	1005.4
87-88	179.3	138.6	416.9	183.3	59.6	14.4	70.6	96.3	58.0	10.4	0.0	6.1	1233.5
88-89	143.0	149.9	0.0	194.6	270.0	22.7	151.4	21.4	0.0	0.0	15.4	29.6	997.9
89-90	159.5	602.5	425.7	111.4	0.0	39.8	199.8	0.0	0.0	0.6	0.0	5.3	1544.6
90-91	148.1	158.2	74.0	8.2	221.9	297.0	96.8	3.1	13.5	0.0	2.1	77.9	1100.8
91-92	257.2	90.1	28.8	17.4	83.4	83.7	0.0	18.2	125.7	0.0	7.1	9.0	720.6
92-93	222.6	19.3	84.9	46.7	54.9	98.6	140.7	94.4	17.4	0.0	4.2	12.9	796.6
93-94	195.3	151.4	4.3	114.4	138.0	0.0	70.2	61.4	0.0	0.0	0.0	12.2	747.2
94-95	101.0	100.2	22.3	132.4	40.5	13.4	26.6	0.0	0.0	0.0	6.3	2.1	444.8
95-96	0.0	138.5	567.9	620.4	161.0	75.7	41.9	177.1	2.1	0.0	0.0	87.3	1871.9
96-97	79.4	204.7	805.9	329.9	0.0	0.0	61.5	94.6	62.6	4.1	1.1	157.1	1800.9
97-98	39.6	386.3	420.0	134.7	192.0	2.2	60.4	131.0	2.5	0.0	0.0	153.6	1522.3
98-99	10.5	2.3	139.0	36.3	61.1	92.5	43.8	48.8	1.9	3.4	5.1	83.1	527.8
99-00	376.9	22.6	162.4	47.9	0.0	21.6	314.1	50.9	0.1	0.0	0.0	27.5	1023.9
00-01	111.1	320.9	421.4	431.1	87.9	261.0	15.2	67.2	8.9	0.1	0.0	55.2	1779.9
01-02	129.5	80.9	115.6	101.1	35.5	179.5	145.5	34.9	14.2	0.0	0.1	54.3	891.0
02-03	70.0	359.0	167.2	279.5	181.2	127.3	118.1	15.5	0.4	0.0	0.5	45.1	1363.7
03-04	323.5	178.0	175.4	119.1	148.6	107.2	85.2	127.9	0.0	0.1	9.1	0.4	1274.5
04-05	198.8	13.4	97.5	0.1	72.2	86.6	8.4	40.8	0.0	0.0	0.6	16.9	535.1
05-06	130.8	61.8	146.2	125.6	170.7	216.3	57.5	18.5	6.3	1.8	19.8	45.0	1000.4
06-07	184.1	99.3	89.8	79.2	299.1	56.3	50.9	139.1	20.8	0.0	3.0	25.3	1046.8
07-08	34.9	68.3	53.7	188.9	56.1	53.8	398.0	86.8	0.0	0.1	0.0	61.8	1002.3
08-09	193.4	146.1	194.0	497.7	178.3	110.2	120.2	15.9	14.1	1.1	5.8	72.3	1549.1
09-10	96.5	62.8	829.4	309.7	444.0	176.6	35.6	38.6	96.2	0.0	1.3	29.7	2120.4
10-11	159.3	229.8	345.9	134.0	133.2	71.2	158.5	43.1	26.0	0.0	0.4	34.0	1335.4
11-12	95.3	189.6	34.0	48.5	0.4	5.1	189.4	88.7	0.0	0.0	0.0	50.1	701.0
12-13	175.4	307.6	256.8	376.7	188.1	719.2	74.4	53.7	2.3	0.0	3.2	66.4	2223.7
13-14	19.8	18.7	247.1	329.1	552.2	94.8	169.7	26.0	17.9	0.0	0.0	66.8	1542.2
14-15	69.1	349.2	54.9	208.0	76.6	82.6	63.2	2.5	38.9	0.0	2.1	67.8	1014.8
Media	132.8	167.2	221.2	191.6	146.4	107.5	104.4	53.8	17.7	1.0	6.0	47.1	1196.6

Est:	6037 Montejaque													
X	299852													
Y	4069650													
Z	898													
PP	mm	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86		0.0	125.5	131.3	80.1	173.7	128.2	89.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	735.4
86-87		33.8	122.4	12.1	245.2	77.8	0.0	102.0	20.3	2.1	0.0	105.4	51.6	772.7
87-88		81.8	105.3	285.6	194.4	46.6	3.4	55.2	33.6	17.1	0.0	0.0	0.0	823.0
88-89		25.5	33.3	0.0	34.1	58.1	7.3	90.8	14.0	0.0	0.0	9.2	10.5	282.9
89-90		42.4	187.4	152.2	44.1	0.0	3.5	102.1	0.0	0.0	0.4	0.0	3.2	535.2
90-91		107.3	80.1	25.2	0.0	80.5	129.3	54.6	0.0	24.7	0.0	10.3	53.5	565.5
91-92		143.6	29.0	36.7	0.0	36.8	53.0	73.4	7.3	58.5	0.0	0.0	10.6	448.9
92-93		67.3	11.6	33.1	24.8	27.5	36.1	86.9	106.9	26.3	0.0	0.0	8.0	428.5
93-94		141.3	117.2	0.0	68.7	70.5	0.0	51.1	42.8	0.0	0.0	0.0	14.8	506.4
94-95		48.7	65.5	17.8	39.7	37.5	19.0	30.1	0.0	25.0	0.0	0.0	7.3	290.6
95-96		0.0	82.4	424.1	467.3	48.2	36.7	16.3	151.3	0.0	0.0	0.0	52.1	1278.4
96-97		50.0	221.0	521.3	245.2	0.0	0.0	55.8	51.5	33.0	9.4	0.0	70.4	1257.6
97-98		30.0	288.4	325.5	110.8	115.2	20.8	42.7	90.3	0.0	0.0	0.0	92.2	1115.9
98-99		0.0	0.0	31.7	21.8	36.7	55.5	26.3	29.3	1.1	2.0	3.0	49.9	257.3
99-00		226.2	13.6	97.4	28.7	0.0	12.9	188.5	30.5	0.0	0.0	0.0	16.5	614.4
00-01		66.7	192.6	252.9	258.7	52.8	156.6	9.1	40.3	5.3	0.1	0.0	33.1	1068.1
01-02		77.7	48.6	69.4	60.7	21.3	107.7	87.3	20.9	8.5	0.0	0.0	32.6	534.7
02-03		42.0	215.4	100.3	167.7	108.7	76.4	70.9	9.3	0.2	0.0	0.3	27.1	818.4
03-04		194.1	106.8	105.2	71.5	89.2	64.3	51.1	76.7	0.0	0.1	5.5	0.2	764.9
04-05		119.3	8.1	58.5	0.0	43.3	51.9	5.1	24.5	0.0	0.0	0.3	10.1	321.1
05-06		78.5	37.1	87.7	75.4	102.4	129.8	34.5	11.1	3.8	1.1	11.9	27.0	600.3
06-07		110.5	59.6	53.9	47.5	179.5	33.8	30.6	83.4	12.5	0.0	1.8	15.2	628.2
07-08		20.9	41.0	32.2	113.3	33.6	32.3	238.8	52.1	0.0	0.1	0.0	37.1	601.5
08-09		116.1	87.7	116.4	298.7	107.0	66.1	72.1	9.5	8.5	0.7	3.5	43.4	929.6
09-10		57.9	37.7	497.7	185.8	266.4	106.0	21.4	23.2	57.7	0.0	0.8	17.8	1272.5
10-11		95.6	137.9	207.6	80.4	79.9	42.8	95.1	25.9	15.6	0.0	0.3	20.4	801.4
11-12		57.2	113.8	20.4	29.1	0.2	3.0	113.6	53.3	0.0	0.0	0.0	30.1	420.7
12-13		105.2	184.6	154.1	226.1	112.9	431.6	44.7	32.2	1.4	0.0	1.9	39.8	1334.4
13-14		11.9	11.2	148.3	197.5	331.4	56.9	101.8	15.6	10.8	0.0	0.0	40.1	925.5
14-15		41.4	209.5	33.0	124.8	46.0	49.5	38.0	1.5	23.4	0.0	1.3	40.7	609.0
Media		73.1	99.1	134.4	118.1	79.5	63.8	69.3	35.2	11.2	0.5	5.2	28.8	718.1

ANEXO. DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES UTILIZADOS

Est:	5943B Villanueva del Rosario												
X	287436												
Y	4062434												
Z	812												
PP	mm												
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	1.9	386.0	331.4	268.9	883.5	106.1	146.7	64.6	0.0	0.0	0.0	31.9	2221.0
86-87	76.9	174.0	103.4	437.6	355.7	31.5	172.7	16.0	0.0	20.1	124.7	56.9	1569.5
87-88	182.0	129.1	500.2	378.3	83.0	16.9	116.3	162.7	73.6	22.4	0.0	3.3	1667.9
88-89	174.8	131.6	2.4	162.6	263.2	54.6	184.2	28.3	0.0	0.0	0.0	55.4	1057.1
89-90	99.5	550.7	453.7	144.4	0.0	26.6	192.1	19.6	1.0	0.8	0.0	5.8	1494.2
90-91	224.6	205.8	124.6	19.9	208.5	378.7	133.7	1.5	23.0	21.8	0.0	88.5	1430.6
91-92	292.1	153.1	34.0	15.5	83.5	102.7	192.3	37.2	130.0	0.0	4.3	44.0	1088.7
92-93	299.8	31.0	145.3	45.4	34.1	98.7	202.5	119.5	4.0	0.0	0.0	17.3	997.6
93-94	239.0	266.3	31.0	191.4	211.0	2.0	90.5	83.0	1.5	0.0	0.0	18.0	1133.7
94-95	141.0	171.0	37.5	195.0	64.0	153.5	37.0	2.0	20.5	0.0	6.0	24.0	851.5
95-96	61.0	157.0	865.0	741.0	260.0	94.0	79.0	303.0	0.0	0.2	9.0	97.0	2666.2
96-97	86.0	329.0	816.0	317.0	0.0	0.0	90.0	75.0	103.0	0.0	15.0	89.0	1920.0
97-98	86.0	733.0	602.0	151.0	249.0	29.0	184.0	187.0	4.0	0.0	0.0	182.0	2407.0
98-99	22.0	15.0	135.0	53.0	79.0	165.0	67.0	60.0	4.0	11.0	4.0	108.0	723.0
99-00	411.0	41.0	392.0	66.0	0.0	35.0	397.0	77.0	0.0	0.0	0.0	51.0	1470.0
00-01	213.0	410.0	647.0	574.0	107.0	394.0	18.0	69.0	8.0	0.0	0.0	110.0	2550.0
01-02	172.0	132.0	154.0	98.0	40.0	234.0	174.0	61.0	11.0	0.0	0.0	92.0	1168.0
02-03	121.0	462.0	287.0	290.0	219.0	144.0	195.0	31.0	0.5	0.0	0.7	60.2	1810.3
03-04	431.7	237.5	234.0	166.0	181.0	155.0	110.0	188.0	0.0	0.0	9.0	0.0	1712.3
04-05	226.0	28.0	10.4	0.0	84.0	105.0	21.0	42.0	0.0	0.0	0.2	33.0	549.6
05-06	149.0	64.0	177.0	152.0	188.0	207.0	84.0	25.0	11.0	0.0	24.0	30.0	1111.0
06-07	236.0	173.0	94.0	142.5	314.5	112.5	62.0	207.5	17.0	0.0	2.0	46.0	1407.0
07-08	64.0	78.0	97.0	168.5	75.0	75.0	406.0	139.5	0.0	8.0	0.0	108.5	1219.5
08-09	342.0	167.5	306.3	524.0	237.8	150.0	153.0	24.0	11.5	1.5	35.5	163.5	2116.6
09-10	117.5	92.5	1026.0	458.5	635.5	258.5	53.0	56.0	129.0	4.0	7.5	46.0	2884.0
10-11	212.0	334.0	468.0	151.0	161.0	124.0	175.2	57.6	43.0	0.0	0.6	31.0	1757.3
11-12	126.0	227.0	63.0	54.5	0.5	13.0	236.5	118.4	0.0	0.0	0.0	88.5	927.4
12-13	242.0	400.0	342.6	502.7	259.0	746.5	102.0	56.0	3.1	0.0	4.2	108.5	2766.6
13-14	31.0	24.9	231.0	439.2	736.9	62.0	201.0	32.5	15.0	0.0	0.0	106.0	1879.5
14-15	93.0	498.5	56.0	307.0	116.0	116.5	74.0	1.0	33.5	0.0	2.8	50.5	1348.8
Media	172.5	226.8	292.2	240.5	204.3	139.7	145.0	78.2	21.6	3.0	8.3	64.9	1596.9

Est: 5911 Grazalema													
X	288458												
Y	4070541												
Z	921												
TT °C Temperatura media máximas													
TT	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	23.3	13.7	10.4	8.4	9.3	13.8	12.3	24.1	27.2	32.8	32.3	26.8	19.5
86-87	20.3	13.6	9.3	9.2	11.3	17.1	18.6	21.3	27.2	29.4	29.9	28.0	19.6
87-88	16.6	12.5	10.9	8.9	11.0	16.9	17.0	18.5	20.6	30.6	31.6	28.2	18.6
88-89	20.1	14.8	12.9	11.0	11.0	16.4	14.2	21.5	26.8	32.6	31.4	26.3	19.9
89-90	22.4	15.1	13.1	11.0	17.6	16.6	15.7	21.7	26.7	31.7	31.7	27.9	20.9
90-91	18.5	15.1	10.9	10.9	9.8	13.2	15.8	20.4	26.7	31.6	32.7	27.5	19.4
91-92	17.3	14.6	13.0	10.8	13.5	16.3	19.2	22.1	19.9	30.6	31.3	27.4	19.7
92-93	17.1	17.3	11.8	12.6	11.8	15.6	15.5	18.3	25.0	31.4	29.7	23.2	19.1
93-94	16.1	13.5	13.0	11.4	12.4	18.4	17.3	21.0	28.2	33.9	32.4	25.2	20.2
94-95	20.4	17.4	13.1	12.3	14.9	16.5	19.0	24.5	25.0	31.0	31.2	24.2	20.8
95-96	23.5	17.3	12.7	11.1	10.7	14.2	18.4	19.6	27.8	29.7	28.4	22.7	19.7
96-97	21.2	15.4	11.4	11.3	16.8	19.9	20.2	20.5	23.3	28.1	28.6	26.2	20.2
97-98	22.2	14.2	11.9	11.8	15.0	19.8	14.6	18.5	27.6	31.8	31.2	25.1	20.3
98-99	20.8	16.4	12.5	12.4	12.7	15.0	19.4	22.9	28.2	31.3	31.1	24.5	20.6
99-00	19.6	13.7	11.2	10.8	17.7	17.6	14.0	21.8	28.4	30.9	30.9	26.6	20.3
00-01	19.9	13.5	12.9	11.1	13.5	17.4	19.6	20.7	29.9	29.9	31.4	25.3	20.4
01-02	21.8	13.9	12.7	12.4	16.7	15.9	18.2	21.9	28.1	31.5	29.7	23.9	20.6
02-03	20.9	15.4	12.8	10.5	11.7	16.8	17.3	24.2	29.7	32.2	32.6	27.2	20.9
03-04	17.6	14.9	11.7	13.3	14.0	15.2	17.0	18.0	30.5	32.5	31.2	28.7	20.4
04-05	20.8	16.2	11.1	13.3	11.4	15.3	19.7	25.0	30.4	32.3	32.5	26.7	21.2
05-06	21.8	14.3	11.3	9.7	11.5	16.2	19.6	24.9	27.1	32.8	31.5	27.3	20.7
06-07	22.1	16.8	11.6	13.5	12.9	15.2	16.3	21.5	25.6	32.2	30.2	25.8	20.3
07-08	22.4	16.7	12.8	13.6	14.0	16.7	18.2	18.6	28.1	31.6	31.9	24.6	20.8
08-09	19.5	13.3	10.3	9.2	12.7	16.9	16.7	23.4	28.6	33.3	32.4	24.7	20.1
09-10	24.9	17.6	12.6	10.8	11.9	14.6	19.3	21.5	26.2	33.2	33.3	27.2	21.1
10-11	20.2	13.9	13.2	12.4	14.0	14.1	20.7	23.0	28.5	31.4	32.3	27.0	20.9
11-12	23.3	15.4	13.0	13.8	12.8	17.5	15.1	25.2	30.5	32.2	33.9	27.5	21.7
12-13	21.4	14.8	13.2	12.0	11.6	12.3	18.4	20.4	26.7	31.9	33.2	26.8	20.2
13-14	23.4	16.3	12.6	12.0	11.3	15.6	20.8	22.6	26.6	30.3	31.7	25.6	20.7
14-15	24.2	15.3	12.5	12.6	10.4	17.9	19.7	27.2	28.0	35.6	31.8	25.9	21.7
Media	20.8	15.1	12.1	11.5	12.9	16.2	17.6	21.8	27.1	31.7	31.5	26.1	20.4

Est: 5911 Grazalema													
X	288458												
Y	4070541												
Z	921												
TT °C Temperatura media mínimas													
TT	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	13.4	8.0	5.9	3.4	4.8	8.5	6.1	14.9	14.8	19.6	18.2	16.3	11.2
86-87	12.3	7.0	4.5	3.9	5.3	7.6	10.0	11.3	15.9	18.1	18.6	18.6	11.1
87-88	10.4	7.0	7.5	5.1	4.2	7.1	8.5	9.8	11.4	8.2	9.9	7.3	8.0
88-89	11.0	8.7	4.5	4.0	3.7	7.0	5.7	11.7	15.9	20.8	19.5	15.5	10.7
89-90	13.6	9.0	8.0	3.6	7.0	8.1	6.4	11.8	14.9	20.4	20.3	17.4	11.7
90-91	10.9	7.0	4.0	2.8	2.4	5.8	6.9	10.3	14.9	19.8	19.7	17.1	10.1
91-92	9.2	6.4	5.8	2.7	4.8	6.7	8.8	12.6	11.1	19.4	19.2	16.2	10.2
92-93	9.3	7.9	5.5	3.2	4.3	6.5	6.8	8.9	14.1	19.0	16.4	11.1	9.4
93-94	8.7	6.7	4.5	3.2	3.7	7.9	6.7	10.5	16.2	21.3	19.7	13.7	10.2
94-95	12.1	9.2	5.2	3.9	5.9	6.6	8.5	13.2	14.5	18.9	19.4	13.4	10.9
95-96	14.0	10.4	7.4	6.2	3.2	5.9	8.8	10.5	16.6	18.5	16.5	13.0	10.9
96-97	11.3	7.5	6.6	5.4	6.7	10.0	10.2	10.6	12.6	15.6	17.6	16.6	10.9
97-98	13.2	8.5	5.6	4.5	7.0	8.5	6.4	9.6	15.9	19.2	19.6	16.2	11.2
98-99	10.1	7.5	4.1	3.3	2.5	5.9	8.5	11.6	15.3	19.1	18.2	13.7	10.0
99-00	12.1	5.3	4.4	2.2	6.7	7.4	6.1	11.5	16.2	18.0	19.1	15.9	10.4
00-01	10.2	6.0	6.4	5.1	5.3	7.7	8.5	10.5	17.7	17.6	18.7	15.3	10.8
01-02	12.9	6.1	5.6	4.2	5.9	7.1	8.2	10.0	15.3	18.2	17.0	14.4	10.4
02-03	11.1	7.9	6.0	3.0	2.8	7.8	7.1	12.8	17.6	19.0	20.8	15.7	11.0
03-04	11.3	7.0	4.9	4.8	5.1	5.2	7.2	9.0	17.5	19.7	19.0	16.6	10.6
04-05	12.7	6.1	3.9	2.0	1.0	6.3	7.9	13.0	17.8	19.4	19.7	15.2	10.4
05-06	12.1	5.7	4.3	2.1	2.8	6.4	9.5	13.2	16.0	20.0	19.2	16.3	10.6
06-07	13.9	8.3	3.7	4.0	5.3	5.2	7.3	10.2	13.9	19.2	18.6	15.3	10.4
07-08	12.3	7.2	4.3	5.1	6.8	6.5	9.0	9.7	15.9	18.6	19.6	15.3	10.9
08-09	10.7	5.0	2.7	2.3	3.4	8.0	6.8	12.2	16.9	20.3	20.3	15.3	10.3
09-10	14.0	9.0	4.9	4.1	5.1	6.4	10.1	11.1	14.8	21.3	21.4	16.1	11.5
10-11	10.4	6.6	6.6	5.8	4.0	5.7	11.3	13.3	17.1	16.9	18.5	16.0	11.0
11-12	13.5	7.3	4.5	3.7	1.1	6.7	6.4	13.1	17.6	19.0	21.2	16.5	10.9
12-13	11.5	8.1	5.1	3.9	3.1	6.6	8.9	10.0	15.1	19.5	20.8	16.4	10.7
13-14	12.4	5.9	3.9	4.7	3.7	5.7	9.6	12.5	14.2	17.4	18.2	14.9	10.3
14-15	13.9	8.3	3.4	3.0	2.4	6.2	8.9	13.4	16.2	21.2	18.7	13.6	10.8
Media	11.8	7.3	5.1	3.8	4.3	6.9	8.0	11.4	15.5	18.8	18.8	15.2	10.6

Est: 5911 Grazalema													
X	288458												
Y	4070541												
Z	921												
ETP	mm	ETP Hargreaves y Samani											
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	89.1	39.4	27.5	29.3	33.1	61.5	74.6	146.4	178.5	210.6	193.6	124.1	1207.6
86-87	74.7	41.4	27.1	30.2	41.4	85.8	105.5	139.4	172.8	182.9	169.8	122.5	1193.4
87-88	60.2	36.5	24.5	26.7	44.2	89.0	98.8	123.2	132.0	227.2	214.6	157.4	1234.4
88-89	77.5	39.5	38.7	36.6	42.8	82.5	89.5	137.9	167.9	199.5	178.3	122.6	1213.1
89-90	82.2	42.0	32.1	37.4	63.6	82.1	96.8	140.3	173.0	193.2	175.8	126.9	1245.3
90-91	70.4	47.0	33.3	38.8	41.9	68.6	96.5	134.9	172.8	195.2	188.4	126.3	1214.1
91-92	68.9	46.4	36.5	38.2	52.4	85.6	116.5	138.3	127.5	186.8	176.0	128.4	1201.2
92-93	67.3	53.1	33.1	43.7	45.7	80.9	94.1	123.1	160.7	199.0	178.1	118.0	1196.7
93-94	62.3	41.2	39.3	40.3	48.7	93.7	106.5	140.3	179.1	212.1	186.5	123.7	1273.7
94-95	75.7	50.3	37.7	41.0	54.1	86.7	112.1	158.6	158.3	194.0	177.0	115.5	1260.9
95-96	87.8	47.4	31.7	31.6	44.6	75.6	107.3	129.0	174.2	183.5	165.7	106.4	1184.9
96-97	82.9	47.0	28.6	35.1	60.9	95.1	116.0	133.9	151.7	184.1	161.4	118.0	1214.8
97-98	82.3	39.1	33.3	38.6	52.5	99.5	89.0	121.5	175.7	202.2	175.1	110.3	1219.1
98-99	83.5	50.2	38.3	43.1	52.0	79.8	114.8	151.5	184.4	197.2	182.0	117.9	1294.6
99-00	71.5	45.5	33.6	39.7	66.6	90.3	86.4	143.8	180.4	198.2	174.3	123.8	1254.0
00-01	80.2	42.4	34.6	34.0	49.5	87.1	117.5	138.6	189.2	190.9	183.5	117.3	1264.7
01-02	80.6	44.2	35.8	40.8	61.7	81.9	110.7	150.3	184.6	203.6	176.4	110.7	1281.4
02-03	80.2	46.7	35.3	37.1	47.3	82.5	105.8	158.2	186.6	206.7	183.3	130.2	1300.1
03-04	62.3	46.3	34.1	43.0	53.8	82.7	103.5	123.0	196.2	205.4	177.4	134.9	1262.7
04-05	77.0	52.2	34.1	47.5	49.5	80.1	120.9	163.7	193.3	206.4	187.8	127.5	1339.9
05-06	84.3	46.6	33.6	35.9	47.0	85.0	114.1	163.2	170.7	207.0	181.8	128.4	1297.5
06-07	79.8	49.7	36.1	45.2	47.7	81.7	98.7	146.9	167.5	205.9	171.0	120.9	1251.0
07-08	87.4	52.6	38.6	44.3	50.4	87.9	104.5	122.9	181.3	202.6	181.8	110.8	1265.2
08-09	76.4	44.7	33.2	33.7	51.0	84.6	102.6	153.9	180.9	211.8	183.5	113.4	1269.6
09-10	95.8	52.2	36.5	35.6	43.1	75.3	108.6	141.6	168.8	204.3	186.2	128.3	1276.2
10-11	80.3	43.5	35.1	37.1	54.7	75.1	114.6	144.3	177.6	209.9	191.7	126.2	1290.2
11-12	89.1	46.3	39.2	46.8	57.8	91.8	93.8	166.4	195.7	207.3	192.3	127.8	1354.4
12-13	85.3	43.0	38.7	40.7	46.2	58.7	107.7	137.1	171.0	201.8	190.0	123.7	1243.8
13-14	91.9	54.0	39.0	38.8	44.8	83.0	123.1	145.2	175.4	196.7	187.7	121.8	1301.4
14-15	91.2	44.7	39.3	44.0	44.2	95.6	116.2	182.5	178.1	230.4	186.5	128.1	1380.6
Media	79.3	45.8	34.6	38.5	49.8	83.0	104.9	143.3	173.5	201.9	181.9	123.1	1259.6

Est:	5943B Villanueva del Rosario												
X	287436												
Y	4062434												
Z	812												
TT	Temperatura media máximas												
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	22.1	14.1	12.0	10.7	9.3	12.7	11.4	22.0	25.0	30.3	29.7	25.1	18.7
86-87	20.1	14.9	12.4	11.0	12.0	15.4	17.7	19.2	23.6	27.5	29.0	26.9	19.1
87-88	16.8	13.9	12.8	10.8	12.1	16.1	15.5	17.6	19.6	29.8	31.5	28.0	18.7
88-89	20.5	15.2	13.2	11.5	12.0	15.8	12.8	20.4	26.0	31.8	30.8	25.1	19.6
89-90	21.5	14.4	12.8	11.6	16.8	16.0	13.5	20.0	24.5	30.2	30.2	27.1	19.9
90-91	17.5	15.2	10.8	10.4	8.9	11.4	14.1	18.8	25.6	30.3	32.0	26.4	18.4
91-92	16.4	13.8	12.5	10.1	12.8	15.5	17.5	20.8	18.8	28.8	30.1	26.9	18.7
92-93	16.8	16.9	11.6	12.7	11.6	14.7	15.1	16.8	22.4	29.5	28.9	22.4	18.3
93-94	15.1	13.1	13.8	11.8	12.5	17.3	16.3	19.9	26.5	33.1	31.8	24.9	19.7
94-95	19.5	17.5	13.3	13.0	15.1	15.5	17.9	22.9	23.8	29.8	30.6	23.3	20.2
95-96	23.4	17.2	12.1	10.5	10.2	13.6	17.1	18.2	26.6	28.5	27.9	21.8	18.9
96-97	20.4	15.1	10.8	11.5	16.5	19.4	18.9	19.1	21.7	26.6	27.5	26.0	19.5
97-98	21.4	14.7	11.6	12.0	14.5	18.3	13.6	17.4	25.2	30.6	30.6	24.6	19.5
98-99	20.1	16.6	13.1	12.3	12.6	14.0	17.9	20.5	26.5	29.3	29.2	23.2	19.6
99-00	18.7	13.3	10.2	10.1	16.4	16.1	12.6	19.8	26.2	29.1	28.7	25.1	18.9
00-01	19.2	12.5	12.5	10.0	12.6	14.9	16.7	18.3	27.7	28.1	29.9	24.0	18.8
01-02	20.1	13.4	11.8	12.5	15.7	13.7	15.6	18.6	25.2	28.9	26.4	22.4	18.7
02-03	18.9	13.9	12.2	10.8	10.7	14.5	15.5	20.8	27.9	30.2	30.6	25.7	19.3
03-04	16.8	14.3	11.5	12.9	13.5	14.0	14.9	16.2	28.1	30.2	29.4	26.3	19.0
04-05	19.9	14.9	10.6	13.2	10.2	13.9	16.9	22.5	28.2	30.5	30.5	24.7	19.7
05-06	20.5	12.9	11.0	8.7	10.9	14.9	17.1	22.4	26.8	31.9	29.9	26.0	19.4
06-07	20.2	16.7	13.7	15.6	12.7	17.3	17.0	20.5	22.7	28.9	28.3	24.5	19.8
07-08	23.1	16.0	12.5	13.2	13.6	14.5	16.3	16.0	26.4	29.6	29.9	23.2	19.5
08-09	18.6	12.9	10.2	9.1	12.3	16.2	16.0	22.2	26.9	31.2	30.4	23.3	19.1
09-10	23.5	16.8	12.2	10.3	11.6	13.0	18.4	20.4	23.9	31.9	31.6	25.6	19.9
10-11	19.2	11.7	12.8	9.9	13.5	12.7	18.9	20.9	26.8	29.4	30.3	25.4	19.3
11-12	22.8	14.8	12.6	13.3	12.5	16.8	14.6	23.8	28.6	30.2	31.7	25.9	20.6
12-13	20.3	14.3	12.8	11.7	11.3	12.0	17.5	19.4	25.2	30.0	31.2	25.3	19.2
13-14	22.1	15.7	12.3	11.7	10.1	14.9	20.2	23.3	25.1	28.5	29.7	25.9	20.0
14-15	22.6	13.4	11.2	12.5	10.2	16.2	18.5	25.6	26.3	34.5	30.4	25.2	20.5
Media	19.9	14.7	12.1	11.5	12.5	15.0	16.2	20.1	25.3	30.0	30.0	25.0	19.4

Est: 5943B Villanueva del Rosario														
X	287436													
Y	4062434													
Z	812													
TT	°C	Temperatura media mínimas												
		oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86		12.5	7.2	4.8	3.1	3.6	4.5	3.8	10.7	11.6	16.9	16.4	15.4	9.2
86-87		11.7	7.1	2.8	2.6	3.6	5.3	7.8	9.0	11.7	16.0	17.2	17.0	9.3
87-88		9.8	5.5	6.6	4.2	3.2	5.1	6.4	8.2	10.9	15.9	16.8	15.1	9.0
88-89		11.0	8.1	2.6	2.6	4.4	5.6	4.6	9.8	12.9	17.7	17.5	13.1	9.2
89-90		11.8	7.7	7.2	1.7	4.9	7.0	6.5	10.7	12.3	17.9	16.7	15.6	10.0
90-91		10.0	5.7	3.0	1.7	1.7	5.0	5.3	7.9	14.4	17.3	18.6	15.5	8.8
91-92		8.3	4.9	4.6	1.6	2.5	4.7	6.7	9.7	9.6	16.3	16.4	13.9	8.3
92-93		8.0	5.7	4.6	0.3	3.3	4.7	5.2	7.8	12.0	15.8	15.5	10.9	7.8
93-94		7.5	5.8	2.8	1.9	2.1	5.8	5.7	9.2	13.8	17.7	17.7	11.9	8.5
94-95		10.2	6.7	3.4	1.6	4.2	4.5	5.8	10.9	12.6	16.6	16.7	11.2	8.7
95-96		11.7	8.5	5.5	5.3	1.7	4.5	6.9	8.8	13.4	15.9	13.5	10.3	8.8
96-97		8.6	5.9	4.8	3.3	4.3	7.2	7.7	8.4	10.7	13.7	14.2	14.3	8.6
97-98		11.8	7.3	4.4	3.0	6.8	6.6	5.5	8.4	13.8	16.4	17.9	14.2	9.7
98-99		8.8	6.5	1.4	1.7	1.5	4.6	6.4	10.0	14.2	17.5	16.7	12.8	8.5
99-00		11.3	5.3	4.6	3.7	8.9	9.0	6.7	12.3	16.7	18.7	19.1	16.4	11.1
00-01		12.0	7.0	6.8	5.1	6.1	8.1	9.4	10.7	17.7	18.3	19.6	15.9	11.4
01-02		13.1	7.4	6.7	7.1	7.5	7.8	8.6	10.7	16.2	19.0	17.2	15.2	11.4
02-03		12.2	8.7	7.0	4.2	4.5	9.0	8.8	13.5	16.2	17.4	19.0	14.4	11.2
03-04		10.6	6.8	4.9	4.9	6.8	6.9	8.3	9.6	18.6	20.4	19.9	17.6	11.3
04-05		13.4	8.2	4.8	4.3	3.5	7.7	9.0	13.7	18.4	20.3	20.4	15.7	11.6
05-06		13.2	6.5	5.9	4.1	4.8	7.3	10.6	14.1	16.2	20.1	19.4	17.1	11.6
06-07		13.8	11.4	6.7	6.9	7.5	8.0	8.6	11.4	14.4	20.2	19.2	17.4	12.1
07-08		12.5	7.0	4.4	5.1	6.6	9.2	10.6	11.3	14.7	17.1	17.9	14.2	10.9
08-09		10.0	5.0	3.0	2.7	3.6	7.7	6.7	11.4	15.5	18.6	18.6	14.1	9.7
09-10		12.9	8.5	4.9	4.5	5.1	5.8	9.5	10.4	14.3	19.9	19.8	14.8	10.9
10-11		9.8	6.1	6.4	4.9	4.1	5.8	10.7	12.2	15.7	15.6	16.9	14.8	10.3
11-12		13.8	7.1	4.6	3.9	1.5	6.6	6.2	12.2	16.1	17.4	19.4	15.2	10.3
12-13		10.7	7.8	5.1	4.0	3.3	6.5	8.5	9.5	14.0	17.9	19.0	15.1	10.1
13-14		11.6	5.8	4.1	4.8	4.0	5.4	9.5	12.2	13.2	16.0	16.7	15.5	9.9
14-15		14.1	7.7	4.3	4.5	2.7	6.8	9.8	12.5	15.0	20.9	18.7	14.0	10.9
Media		11.2	7.0	4.8	3.6	4.3	6.4	7.5	10.6	14.2	17.6	17.8	14.6	10.0

Est: 5943B Villanueva del Rosario													
X	287436												
Y	4062434												
Z	812												
ETP mm ETP Hargreaves y Samani													
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	85.3	41.5	34.4	36.8	36.5	70.6	75.7	147.7	171.1	198.3	177.8	113.1	1188.9
86-87	75.9	45.2	39.2	36.6	47.0	81.7	107.0	130.3	159.4	175.1	168.1	120.9	1186.5
87-88	62.0	44.6	33.7	34.6	50.2	89.9	96.5	121.5	125.5	199.0	191.6	136.4	1185.4
88-89	79.4	43.2	42.0	40.4	44.7	84.4	83.8	136.3	176.0	208.7	182.8	123.5	1245.1
89-90	82.8	42.2	32.0	42.4	64.0	81.4	78.2	130.0	163.8	192.9	181.5	128.8	1220.1
90-91	66.4	49.4	34.5	38.7	39.9	59.3	90.0	130.8	164.6	196.2	186.7	125.1	1181.7
91-92	65.0	46.1	36.6	37.4	53.2	86.0	111.2	139.7	124.9	186.1	179.4	133.2	1198.8
92-93	69.5	55.1	33.7	47.8	46.7	81.6	95.6	115.1	146.7	196.4	175.1	112.6	1175.9
93-94	59.2	40.8	43.7	43.4	52.0	93.0	103.2	136.2	174.9	223.2	191.0	127.6	1288.2
94-95	76.7	55.2	40.9	46.6	57.6	86.8	114.2	153.7	155.9	194.7	185.1	116.5	1283.8
95-96	93.9	51.5	33.4	31.5	45.5	76.0	104.8	124.1	178.7	185.6	173.4	110.9	1209.2
96-97	85.7	49.3	29.9	40.2	64.0	100.8	114.9	132.0	144.9	178.6	168.2	127.0	1235.5
97-98	82.6	43.7	34.2	41.9	50.9	95.1	85.2	116.8	163.3	203.8	178.0	117.8	1213.3
98-99	83.4	52.8	42.9	44.3	53.0	76.9	111.4	137.4	174.5	186.7	172.1	112.4	1247.8
99-00	69.3	44.1	29.1	34.7	55.7	74.6	71.5	118.9	155.7	176.3	153.3	110.6	1093.5
00-01	67.8	35.6	31.6	29.7	42.8	69.8	90.8	115.2	165.8	167.5	163.3	104.5	1084.5
01-02	69.6	37.3	30.5	34.8	54.5	65.1	88.1	117.0	150.5	172.4	142.3	95.4	1057.5
02-03	65.6	37.8	30.7	35.4	38.3	61.7	85.1	121.2	177.0	195.3	173.9	123.7	1145.8
03-04	60.9	44.9	33.3	41.7	47.2	69.5	81.8	101.6	164.8	176.9	154.5	112.5	1089.7
04-05	68.9	43.2	30.0	43.6	40.7	65.9	95.2	135.1	165.7	181.6	164.3	110.0	1144.3
05-06	72.3	39.3	28.6	27.4	39.7	73.7	88.2	133.3	165.2	194.8	165.1	114.1	1141.7
06-07	67.4	40.1	37.4	47.0	39.3	84.5	98.1	128.2	134.9	163.3	150.2	99.7	1090.0
07-08	91.3	50.7	37.5	42.9	49.0	62.2	80.1	85.2	171.7	191.4	172.2	106.2	1140.3
08-09	73.5	43.3	32.5	33.1	49.4	81.3	98.4	146.5	171.7	200.1	173.9	108.6	1212.2
09-10	91.3	50.4	35.6	33.3	42.2	67.5	104.3	135.3	148.7	199.0	179.4	122.0	1208.9
10-11	77.0	35.7	34.4	29.0	52.8	66.6	100.3	129.0	169.1	197.7	180.9	120.2	1192.9
11-12	85.7	45.0	38.0	45.2	55.9	88.1	90.4	158.0	185.1	195.7	182.0	121.6	1290.5
12-13	81.6	41.9	37.6	39.6	44.9	57.7	103.3	131.0	162.5	190.9	179.8	118.0	1188.7
13-14	87.6	51.9	37.8	37.8	38.2	80.1	119.2	152.9	166.2	186.0	177.2	122.3	1257.3
14-15	81.2	37.7	33.5	41.0	43.0	83.9	101.8	172.5	168.9	220.6	172.3	120.8	1277.4
Media	76.0	44.7	35.0	38.6	48.0	77.2	95.6	131.1	161.6	191.2	173.2	117.2	1189.2

Est:	5943B Villanueva del Rosario																							
X	287436																							
Y	4062434																							
Z	812																							
TT °C																								
Temperatura media máximas																								
TT	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total											
85-86	25.4	18.8	15.2	14.5	13.0	17.6	14.5	24.6	28.6	31.6	33.2	28.1	22.1											
86-87	23.8	17.0	14.9	12.9	16.1	20.9	21.1	25.0	29.9	31.6	31.7	29.7	22.9											
87-88	21.5	18.2	16.5	14.5	16.6	20.5	21.3	22.6	24.4	30.9	33.9	29.7	22.6											
88-89	23.7	19.3	16.9	14.5	16.0	19.7	18.3	23.3	29.5	33.9	34.8	29.6	23.3											
89-90	23.9	18.8	16.9	15.4	20.5	18.4	19.3	23.9	29.7	33.1	33.7	31.6	23.8											
90-91	23.5	19.1	14.3	15.1	14.6	17.0	19.1	23.4	28.9	34.4	35.3	30.9	23.0											
91-92	21.0	18.2	16.3	14.5	16.3	19.2	21.6	25.8	24.4	31.9	32.4	29.3	22.6											
92-93	21.8	20.7	17.2	15.3	15.5	18.8	20.3	21.6	27.4	32.8	31.2	28.2	22.6											
93-94	20.6	17.6	18.0	17.5	17.4	21.5	21.4	25.3	30.4	36.8	36.4	30.4	24.4											
94-95	23.5	20.8	18.3	17.1	19.2	20.5	22.5	26.9	27.4	32.2	32.4	26.7	24.0											
95-96	26.2	21.1	17.3	16.1	15.7	18.6	22.0	23.0	29.6	31.2	30.1	25.5	23.0											
96-97	24.3	19.5	16.3	16.2	20.7	23.2	23.5	23.7	26.0	29.9	30.2	28.3	23.5											
97-98	25.1	18.6	16.7	16.7	19.2	23.2	18.9	22.1	29.4	32.9	32.4	27.4	23.5											
98-99	23.9	20.4	17.2	17.1	17.3	19.3	22.8	25.6	30.0	32.4	32.3	27.0	23.8											
99-00	23.0	18.2	16.2	15.8	21.4	21.4	18.4	24.8	30.1	32.1	32.1	28.6	23.5											
00-01	23.2	18.0	17.6	16.1	18.0	21.1	23.0	23.8	31.3	31.3	32.6	27.6	23.6											
01-02	24.7	18.4	17.4	17.1	20.6	20.0	21.9	24.9	29.9	32.6	31.2	26.5	23.8											
02-03	24.0	19.5	17.4	15.6	16.6	20.7	21.1	26.7	31.1	33.2	33.5	29.2	24.1											
03-04	21.4	19.1	16.6	17.8	18.4	19.4	20.9	21.7	31.8	33.4	32.4	30.3	23.6											
04-05	24.0	20.2	16.1	17.8	16.3	19.5	23.1	27.3	31.7	33.3	33.5	28.7	24.3											
05-06	24.8	18.7	16.2	14.9	16.4	20.2	23.0	27.3	29.1	33.7	32.6	29.2	23.8											
06-07	25.0	20.7	16.5	18.0	17.5	19.4	20.3	24.5	27.9	33.2	31.5	28.0	23.6											
07-08	25.3	20.6	17.5	18.1	18.5	20.6	21.8	22.2	29.8	32.7	32.9	27.0	23.9											
08-09	22.9	17.9	15.4	14.5	17.3	20.8	20.6	26.1	30.3	34.1	33.4	27.1	23.4											
09-10	27.2	21.3	17.3	15.9	16.7	18.9	22.7	24.5	28.3	34.0	34.1	29.1	24.2											
10-11	23.5	18.4	17.8	17.2	18.4	18.5	23.9	25.8	30.2	32.5	33.2	29.0	24.0											
11-12	26.0	19.5	17.6	18.2	17.5	21.3	19.3	27.5	31.8	33.2	34.6	29.3	24.7											
12-13	24.4	19.1	17.8	16.8	16.4	17.0	22.0	23.6	28.8	33.0	34.0	28.8	23.5											
13-14	26.0	20.3	17.3	16.8	16.3	19.7	24.0	25.4	28.7	31.7	32.8	27.8	23.9											
14-15	26.7	19.5	17.2	17.3	15.5	21.6	23.0	29.2	29.8	35.9	32.9	28.1	24.7											
Media	24.0	19.3	16.8	16.2	17.3	19.9	21.2	24.7	29.2	32.9	32.9	28.6	23.6											

Est: 6040U Colmenar														
X	286002													
Y	4046701													
Z	276													
TT	°C	Temperatura media mínimas												
		oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86		15.5	12.0	8.6	9.0	8.3	11.9	9.9	16.8	20.7	19.8	16.6	18.3	14.0
86-87		14.3	11.5	7.5	7.8	7.8	9.3	9.4	11.0	14.9	17.8	17.6	16.2	12.1
87-88		12.1	8.7	9.2	6.5	6.2	7.4	9.2	11.5	12.9	17.1	18.2	15.0	11.2
88-89		12.6	10.5	5.5	5.6	6.4	7.7	7.8	10.5	13.9	17.4	19.1	15.3	11.0
89-90		14.3	10.6	9.5	5.4	7.7	9.2	8.2	12.1	14.8	17.9	18.0	17.8	12.1
90-91		12.8	7.9	6.1	4.9	4.4	8.1	7.4	10.0	14.1	16.8	18.4	16.0	10.6
91-92		11.0	7.5	7.8	4.1	5.1	7.0	7.9	10.7	13.1	16.2	17.2	14.9	10.2
92-93		10.1	8.4	7.1	3.4	5.8	6.3	7.1	9.3	12.8	16.6	15.4	13.8	9.7
93-94		10.5	7.9	4.8	3.7	3.8	7.0	7.0	10.1	13.9	17.8	18.6	13.7	9.9
94-95		13.5	8.9	5.5	6.8	8.2	8.6	9.9	13.2	14.0	17.1	17.4	13.3	11.4
95-96		13.8	11.3	9.1	8.4	6.3	8.2	10.1	11.3	15.5	16.8	15.5	13.0	11.6
96-97		11.9	9.2	8.6	7.8	8.7	11.0	11.1	11.4	12.8	14.8	16.2	15.5	11.6
97-98		13.2	9.9	7.9	7.2	8.9	9.9	8.5	10.7	15.0	17.3	17.6	15.3	11.8
98-99		11.0	9.3	6.9	6.3	5.8	8.1	9.9	12.1	14.6	17.2	16.6	13.5	11.0
99-00		12.4	7.7	7.1	5.6	8.7	9.2	8.3	12.0	15.3	16.5	17.2	15.0	11.3
00-01		11.1	8.2	8.5	7.6	7.7	9.4	9.9	11.3	16.3	16.2	17.0	14.6	11.5
01-02		12.9	8.3	8.0	7.0	8.1	9.0	9.7	11.0	14.6	16.6	15.8	14.0	11.2
02-03		11.7	9.5	8.2	6.1	6.0	9.4	9.0	12.9	16.2	17.2	18.4	14.9	11.6
03-04		11.9	8.9	7.4	7.4	7.6	7.7	9.1	10.3	16.1	17.6	17.2	15.5	11.4
04-05		12.8	8.3	6.8	5.5	4.8	8.4	9.5	13.1	16.3	17.5	17.7	14.6	11.3
05-06		12.4	8.0	7.0	5.5	6.0	8.5	10.6	13.1	15.1	17.9	17.3	15.3	11.4
06-07		13.6	9.8	6.7	6.9	7.7	7.7	9.1	11.1	13.7	17.3	16.9	14.6	11.3
07-08		12.6	9.1	7.1	7.6	8.8	8.6	10.3	10.7	15.1	16.9	17.6	14.6	11.6
08-09		11.4	7.5	5.9	5.7	6.4	9.6	8.8	12.5	15.7	18.1	18.1	14.6	11.2
09-10		13.7	10.3	7.5	6.9	7.6	8.5	11.0	11.7	14.3	18.7	18.8	15.1	12.0
10-11		11.3	8.6	8.6	8.1	6.8	8.0	11.9	13.2	15.8	15.7	16.8	15.1	11.7
11-12		13.4	9.1	7.2	6.7	4.8	8.7	8.5	13.1	16.2	17.2	18.7	15.5	11.6
12-13		12.0	9.6	7.6	6.7	6.2	8.6	10.2	11.0	14.5	17.5	18.4	15.3	11.5
13-14		12.6	8.2	6.8	7.3	6.6	8.0	10.7	12.7	13.9	16.1	16.6	14.4	11.2
14-15		13.6	9.8	6.4	6.1	5.7	8.3	10.2	13.3	15.3	18.7	17.0	13.4	11.5
Media		12.5	9.1	7.4	6.5	6.8	8.6	9.3	11.8	14.9	17.2	17.4	14.9	11.4

Est:	6040U Colmenar												
X	286002												
Y	4046701												
Z	276												
ETP	mm												
	ETP Hargreaves y Samani												
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
85-86	93.5	47.4	37.3	36.2	37.4	70.9	67.5	137.0	148.1	195.0	209.5	122.1	1201.8
86-87	87.3	41.3	38.1	31.9	55.7	104.5	124.7	172.7	202.4	205.7	189.6	146.1	1400.0
87-88	81.6	54.3	41.2	43.8	62.5	109.6	128.7	149.1	160.9	202.8	207.0	149.2	1390.7
88-89	94.0	55.5	49.7	45.8	57.3	101.5	110.8	159.6	203.8	232.1	212.7	147.8	1470.7
89-90	88.3	53.4	42.9	49.3	74.3	88.7	115.3	158.8	201.5	222.3	207.6	153.7	1456.2
90-91	93.1	60.2	40.3	49.5	56.4	82.5	116.8	162.5	196.8	240.4	220.2	155.3	1474.0
91-92	83.2	57.6	42.8	48.6	62.7	101.4	135.4	181.5	158.7	217.8	197.6	146.4	1433.8
92-93	90.8	64.9	48.4	52.2	57.4	101.3	126.5	150.6	188.7	225.2	196.2	142.0	1444.2
93-94	81.8	54.3	54.4	59.1	67.7	114.4	135.0	178.7	211.2	259.1	229.0	160.1	1604.8
94-95	89.7	64.4	54.4	53.4	67.7	105.0	133.5	181.8	183.2	217.2	198.1	134.3	1482.7
95-96	104.3	61.9	45.4	46.5	59.6	95.7	129.9	155.7	197.9	208.0	186.0	126.3	1417.4
96-97	98.7	60.0	42.8	48.8	73.6	113.9	137.5	159.7	176.3	205.0	184.4	139.1	1439.7
97-98	100.0	54.4	45.7	51.2	66.9	116.7	113.0	148.7	198.3	223.2	197.2	133.9	1449.3
98-99	98.6	62.7	49.2	54.5	64.8	98.8	135.6	174.7	204.6	219.2	200.5	136.4	1499.6
99-00	90.7	57.8	45.5	51.3	79.2	108.6	110.8	168.2	202.8	218.6	195.6	142.5	1471.6
00-01	95.9	55.6	47.4	48.2	63.7	106.1	137.4	163.2	210.8	212.7	202.1	137.4	1480.6
01-02	98.2	57.2	47.8	53.4	73.9	101.3	131.8	172.3	204.7	223.1	194.9	131.4	1490.2
02-03	97.0	59.9	47.6	49.5	60.9	102.4	127.0	180.8	208.8	226.6	204.8	147.4	1512.8
03-04	83.3	59.1	46.1	55.0	67.8	101.1	125.7	148.9	215.9	226.1	197.9	151.5	1478.4
04-05	95.7	63.7	45.6	58.2	62.3	99.7	140.0	185.6	214.0	226.6	206.7	145.0	1543.1
05-06	100.6	59.0	45.6	48.1	60.4	103.6	135.4	185.1	194.6	228.1	201.3	146.8	1508.6
06-07	98.6	62.9	47.2	56.5	62.0	100.0	121.4	169.2	189.7	226.0	192.9	139.9	1466.4
07-08	103.0	64.4	49.7	56.1	66.1	106.0	128.5	149.9	202.4	222.5	201.7	132.1	1482.4
08-09	93.2	56.8	44.8	46.4	64.2	103.8	124.1	176.9	203.7	231.6	204.1	134.2	1484.0
09-10	110.4	64.7	48.3	48.9	58.5	95.8	132.0	166.2	191.6	227.5	207.5	146.4	1497.8
10-11	96.3	56.7	47.9	50.9	67.5	95.0	137.3	170.7	202.0	226.5	208.5	144.8	1504.0
11-12	105.1	59.5	50.0	57.8	70.4	109.6	116.9	188.1	215.6	226.6	211.7	146.0	1557.5
12-13	100.9	57.1	49.9	52.8	60.0	82.8	129.9	161.3	194.3	223.1	209.5	143.2	1464.7
13-14	106.7	65.1	49.7	51.5	59.0	101.4	142.9	170.0	196.2	216.7	204.8	140.3	1504.1
14-15	106.9	58.4	49.9	55.3	58.0	111.9	136.9	200.7	200.5	246.9	204.7	144.1	1574.2
Media	95.6	58.3	46.5	50.4	63.3	101.1	126.3	167.6	196.0	222.7	202.8	142.2	1472.8