



Estimación de la recarga natural mediante el método aplis de los acuíferos carbonatados de la sierra de Baza (Granada, España)

Autor: Miguel Martínez-Fresneda Mestre

Institución: Universidad CEU San Pablo

Otros autores: Paloma González García (Universidad CEU San Pablo); Benito Lacalle Pareja (Universidad CEU San Pablo)

Resumen

Los SIG se han revelado como una herramienta muy útil para el análisis de las características de la distribución espacial de distintos atributos sobre, y bajo la superficie terrestre. Teniendo en cuenta que los componentes del ciclo hidrológico tienen un carácter intrínsecamente espacial, los SIG son utilizados cada vez más por científicos, técnicos y por los gestores de la Administración para analizar, comprender y simular los procesos hidrológicos. En este trabajo se evalúa la tasa de recarga anual de los acuíferos carbonatados alpujárrides de la Sierra de Baza, mediante el método APLIS, que relaciona la recarga y la precipitación mediante la parametrización de cinco variables: altitud, pendiente, litología, estructuras de absorción preferencial y tipo de suelo. La superposición de los mapas correspondientes a la distribución de los distintos factores reclasificados y el álgebra de mapas mediante SIG, permite obtener el mapa de distribución espacial de la recarga y los valores medios para cada sector estudiado.

Palabras claves: SIG; acuífero carbonatado; recarga; APLIS

Introducción

En la zona norte de la provincia de Granada, la Comarca de Baza, se ha abastecido tradicionalmente de los recursos subterráneos procedentes de los acuíferos que conforman su entorno, así como, de las aguas superficiales, sin regular, que circulan por sus cauces principales, lo cual ha provocado una situación de extrema escasez en épocas de estiaje. La importancia de estudiar estos acuíferos radica en que se sitúan en bordes montañosos de una cuenca de clima semiárido, en una zona que posee numerosos núcleos urbanos, en los cuales se desarrolla una importante actividad agrícola. Estas zonas de montaña son las que conforman las áreas de recarga de las aguas subterráneas, cuya descarga natural riega los campos de cotas más bajas.

La zona de análisis se localiza en el sistema de la Cuenca Alta del Guadalquivir, al sur de la subcuenca del Guadiana Menor, concretamente en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas donde afloran materiales de los Complejos Alpujárride y Nevado-Filábride. Es este último complejo, el que aflora de forma más extensa en la Sierra de Baza estando caracterizado por un zócalo pretriásico de rocas metamórficas muy recrystalizadas, así como, por una cobertura carbonatada de edad triásica y de facies alpina. En dicho Complejo Alpujárride se diferencian cuatro mantos superpuestos tectónicamente que, de muro a techo son Santa Bárbara, Quintana, Blanquizares y Hernán-Valle formados cada uno por una unidad detrítica de filitas y cuarcitas y por una unidad carbonatada de calizas y dolomías. Desde el punto de vista hidrogeológico, estos materiales carbonatados (dolomías y calizo dolomías), constituyen el material permeable de la unidad, los cuales descansan sobre el material metapelítico impermeable del Complejo Nevadofilábride. Estos acuíferos se enmarcan dentro de la denominada *Masa de Agua Subterránea (MAS) 05.11 Sierra de Baza* que en su parte septentrional, también incluye el acuífero detrítico del Miopliocuaternario (formado por calcarenitas, conglomerados marinos, arenas de origen fluvial y materiales del nivel de colmatación). La MAS 05.11 cubre totalmente el municipio de Gor y parte de los municipios de Baza, Zújar, Freila, Gorafe, Guadix, Valle del Zalabí, así como pequeñas áreas de las localidades de La Calahorra, Dólar, y Caniles. En la figura 1 se enmarca el área de estudio.

Metodología

El método APLIS, evalúa la tasa de recarga media en acuíferos carbonáticos, expresada como porcentaje de la precipitación. Para conocer esta constante de proporcionalidad entre la recarga y la precipitación se tienen en cuenta algunas variables intrínsecas del acuífero como son: Altitud, Pendiente, Litología, Infiltración (entendida como las formas de absorción preferencial), y Suelo, determinando, las iniciales de cada parámetro, el acrónimo que le da nombre al método, (Andreo, B. et al. 2004). Estos autores estudian ocho acuíferos de la Cordillera Bética (Sierra de las Cabras, Sierra de Líbar, Sierra de las Nieves, Sierras Blanca y de Mijas, Sierra Gorda de Loja, Sierras de Cabra y Rute-Horconera, Sierra de Cazorra y Sierra de María) caracterizados por un amplio rango de variables climáticas, geológicas, geomorfológicas, topográficas, edafológicas e hidrogeológicas, lo cual hace que su aplicación puede aceptarse en el contexto geográfico de este trabajo.

La aplicación de dicha metodología, requiere un sistema de puntuaciones para las variables implicadas, que está recogida en la tabla 1. Estas puntuaciones otorgadas están en un intervalo que va desde 1 (mínima influencia en la recarga) a 10 (máxima influencia). La superposición de las capas correspondientes a la distribución de cada variable, y el álgebra de mapas, con los que se puede trabajar en el entorno de un SIG, permiten obtener el mapa de distribución espacial de la tasa de recarga, así como, su valor medio para el conjunto del acuífero.

La expresión matemática que se aplica a las capas de cada variable, para obtener el porcentaje de la precipitación que va a producir la recarga a los acuíferos, es la siguiente:

$$R = \frac{(A + P + 3 \cdot L + 2 \cdot L + S)}{0.9}$$

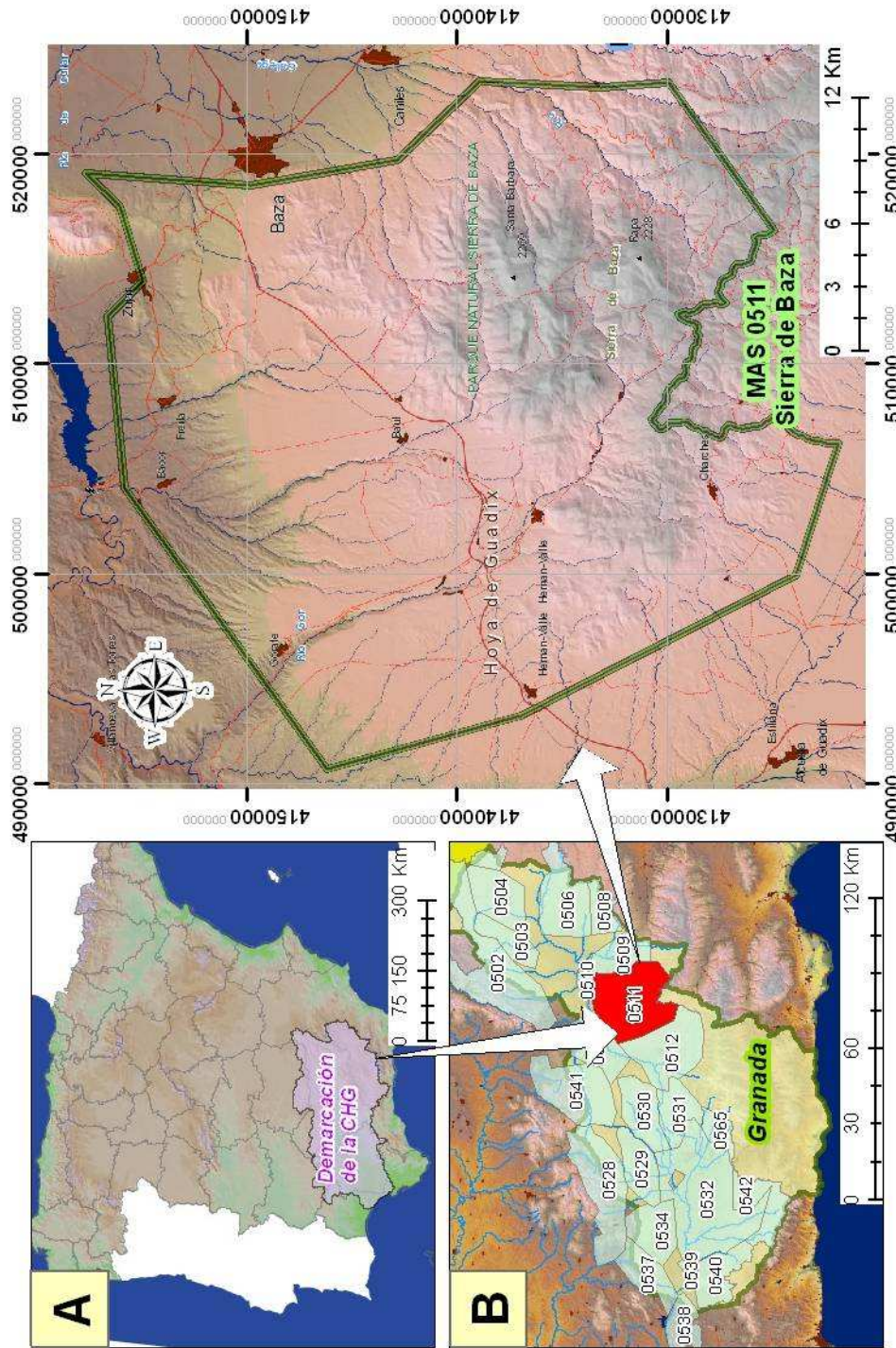


Fig. 1- Localización del área de estudio: A) Encuadre de la Demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en el mapa de las provincias españolas. B) Localización de las Masas de Agua Subterránea en la CHG. C) Municipios que forman parte de las MAS objeto de estudio.

Tabla 1.: Puntuaciones a asignar para cada factor de la metodología APLIS

Factor	Altitud (m)	Puntuación
A Altitud	≤ 300	1
	(300-600]	2
	(600-900]	3
	(900-1200]	4
	(1200-1500]	5
	(1500-1800]	6
	(1800-2100]	7
	(2100-2400]	8
	(2400-2700]	9
	≥2700	10
Factor	Pendiente (%)	Puntuación
P Pendiente	≤ 3	10
	(3-8]	9
	(8-16]	8
	(16-21]	7
	(21-31]	5
	(31-46]	4
	(46-76]	3
	(76-100]	2
	> 100	1
Factor	Litología	Puntuación
L Litología	Calizas y dolomías karstificadas	10, 9
	Calizas y dolomías fracturadas algo karstificadas	8, 7
	Calizas y dolomías fisuradas	6, 5
	Arenas y gravas, coluviones	4
	Brechas y conglomerados	3
	Rocas plutónicas y metamórficas	2
	Esquistos pizarras, limos, arcillas	1
Factor	Infiltración-absorción preferencial	Puntuación
I Infiltración	Abundantes formas de infiltración preferencial	10
	Escasas formas de infiltración preferencial	1
Factor	Suelo	Puntuación
S Suelo	Leptosoles	10
	Arenosoles álbicos y Xerosoles cálcicos	9
	Regosoles calcáreos y Fluvisoles	8
	Regosoles eútricos, dístricos y Solonchaks	7
	Cambisoles cálcicos	6
	Cambisoles eútricos	5
	Histosoles eútricos, Luvisoles órticos y cálcicos	4
	Luvisoles crómicos	3
	Planosoles	2
	Vertisoles crómicos	1

El método APLIS, también permite agrupar la tasa media de recarga anual en cinco intervalos regulares, a cada uno de los cuales se le asigna una categoría que va desde la recarga muy baja a la muy alta, tal y como se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje y clases de recarga metodología APIS

Clase de recarga	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta
Intervalos de recarga (entendida como porcentaje de precipitación) por el método APLIS	≤ 20	(20-40)	(40-60)	(60-80)	> 80

Resultados y discusión

La aplicación de esta metodología sólo es representativa de los acuíferos carbonatados, aunque, en un principio, se va a realizar para toda la poligonal envolvente de la Masa de Agua Subterránea (en adelante MAS) 05.11 Sierra de Baza. Posteriormente se van a evaluar únicamente las zonas carbonatadas, correspondientes a los distintos mantos alpujárrides (los ya descritos Blanquizares, Quintana, Hernán-Valle y Santa Bárbara). La puntuación de las variables aplicadas en la MAS Sierra de Baza son las siguientes:

FACTOR A y FACTOR P: Ambos factores se han de obtener a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE o DEM, por sus siglas en inglés). Toda construcción de un MDE implica la interpolación de una variable discreta: dado un conjunto de puntos de coordenadas conocidas (x, y, z) distribuidos de forma irregular, se debe generar un nuevo conjunto de forma que la superficie interpolada sea una representación de la original, siendo deseable una pérdida mínima de información. El software ArcGIS™ v.10 dispone de una herramienta específica de interpolación diseñada, expresamente, para crear un DEM hidrológicamente corregido, mediante la aplicación de un algoritmo que impone una serie de restricciones, de tal forma que se consigue que la estructura de drenaje esté conectada, y al mismo tiempo represente correctamente las crestas y los arroyos que se encuentran bien definidos en las curvas de nivel. La información de entrada (proyectada en el Sistema de Referencia ETRS89 UTM30) para elaborar el MDE es la siguiente:

- Curvas de nivel: Partiendo de la información disponible en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), se unieron las curvas de nivel que se encuentran a una equidistancia de 10 m, de la Base Topográfica Nacional de España (BTN) a escala 1:25.000, de las hojas 971, 974, 994, 995, 1011 y 1012; creándose así una nueva cobertura unificada de las curvas de nivel, en la que uno de los campos contiene las alturas de dichas curvas.
- Puntos acotados: Se obtienen un total de 37140 puntos, de los que se conoce la cota, a partir del Mapa Topográfico Vectorial de Andalucía, a escala 1:10.000, de 2007. Se trata de distintos entes o hitos geográficos como vértices geodésicos, vértices topográficos, puntos de apoyo y o puntos acotados en general.
- Red de drenaje y superficies de agua, obtenido del BTN a 1:25.000

Una vez creado el MDE se reclasifican los valores para cada píxel según la metodología expuesta para obtener el parámetro A. Del mismo modo, a partir del DEM creado se pueden realizar otros Modelos Digitales del Terreno (MDT) derivados como el mapa de pendientes (como resultado del gradiente altitudinal desde cada celda del DEM). En este

último caso el valor de cada celda se puede expresar en grados o en porcentaje y, dado que en la metodología APLIS se requiere en tanto por ciento, se opta por este último, reclasificando igualmente en función de los intervalos definidos en el método APLIS. En la figura 2 se presenta tanto el DEM elaborado como los parámetros A y P.

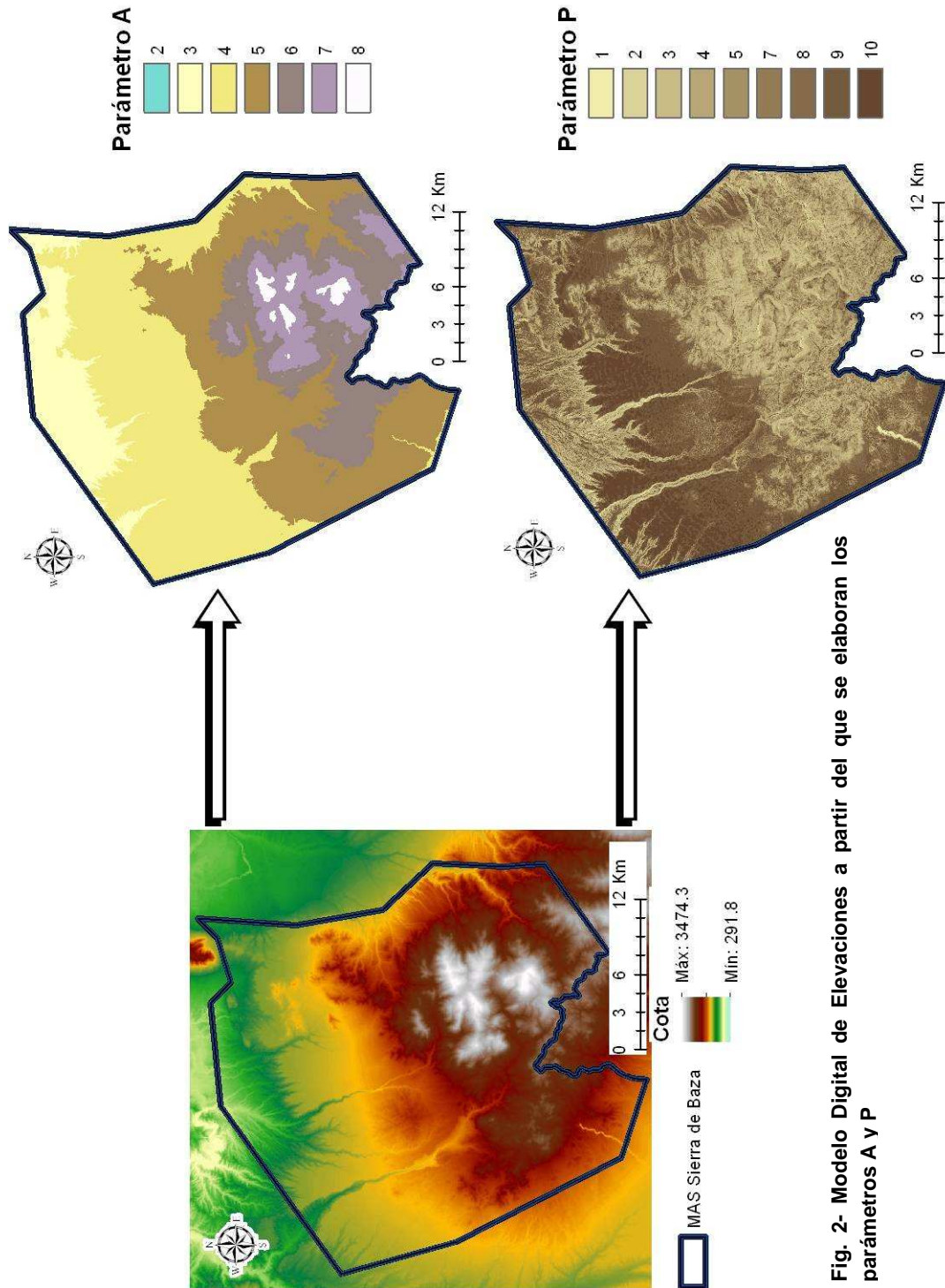


Fig. 2- Modelo Digital de Elevaciones a partir del que se elaboran los parámetros A y P

FACTOR L: Este factor asigna puntuaciones a las distintas litologías en función de criterios hidrogeológicos, asignado los valores más elevados según aumenta el grado de fisuración y karstificación de los materiales carbonatados. La asignación de estos factores se representa en la figura 3, siendo la información de partida la correspondiente a la Cartografía Geológica Continua (GEODE) a escala 1:50.000.

FACTOR I: A este factor se le pueden asignar dos valores: 10 para las áreas preferenciales de absorción y 1 para el resto, ya que no se disponen cartografías geomorfológicas de detalle de todos los acuíferos. En el área de estudio no se encuentran estas típicas formas de modelado kárstico, ni hay tramos fluviales que cumplan la doble condición de, por un lado circular por baja pendiente y, por otro discurrir sobre tramos calizos que favorezcan la recarga, por lo que, para la Sierra de Baza, se va a considerar que no hay zonas de infiltración preferente, y se limitará toda la extensión a un valor de 1 (escasas formas de infiltración preferencial).

FACTOR S: El factor S se jerarquiza según las características generales de espesor y textura, que predominan en sus horizontes; en suelos poco evolucionados como los leptosoles, generalmente con escaso espesor y textura muy gruesa, la recarga es máxima, mientras que en suelos que suelen ser potentes y arcillosos (vertisoles crómicos), la recarga es mínima. Los valores otorgados al factor S están representados en la figura 3. El mapa base, al que se ha recurrido para confeccionar esta cartografía, corresponde al Atlas de las Unidades de Asociaciones de Suelos de Andalucía de 2005 a escala 1:400.000.

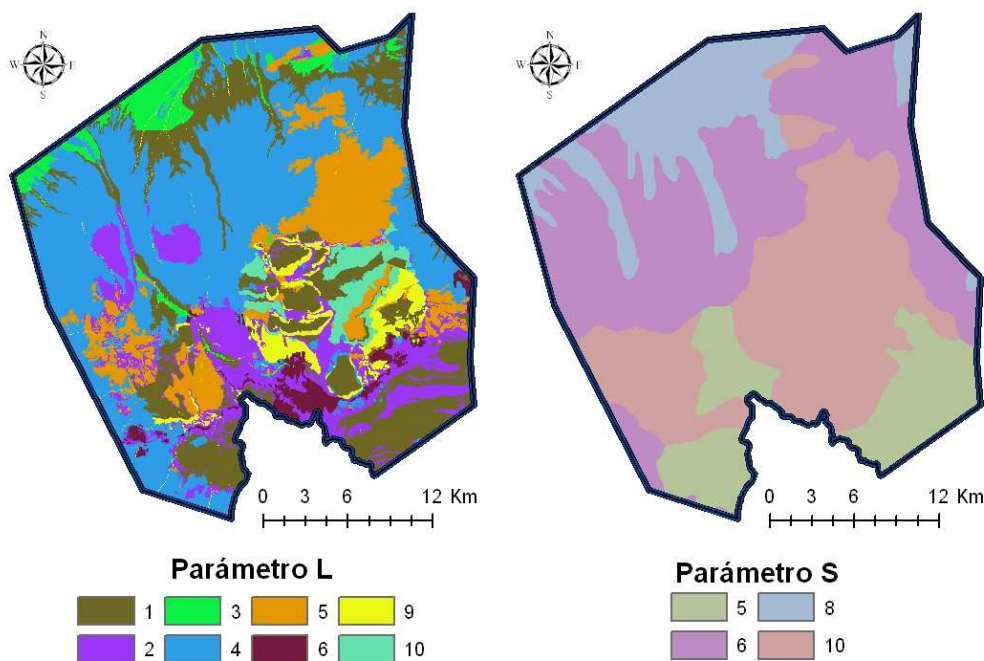


Fig. 3. Parámetro L y parámetro S

Tras aplicar el álgebra de mapas con las clasificaciones realizadas de los distintos factores, se ha obtenido el mapa de la distribución de la recarga (figura 4), entendida como porcentaje de la precipitación de la MAS Sierra de Baza. Este mapa creado puede ser reclasificado con el interés de categorizar la tipología de la recarga, en función del porcentaje (figura 5).

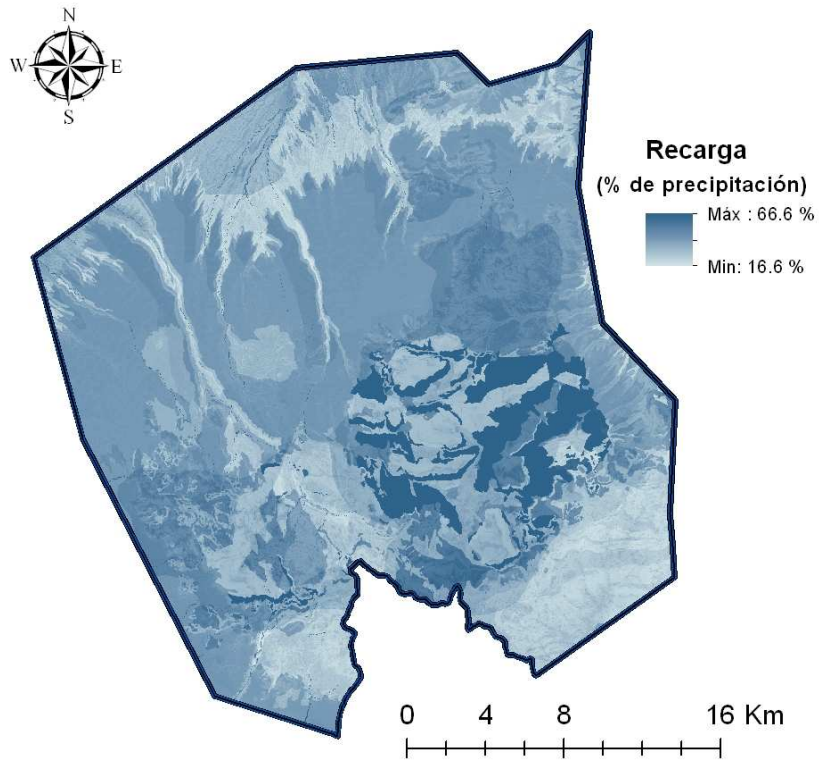


Fig. 4. Recarga obtenida mediante el método APLIS

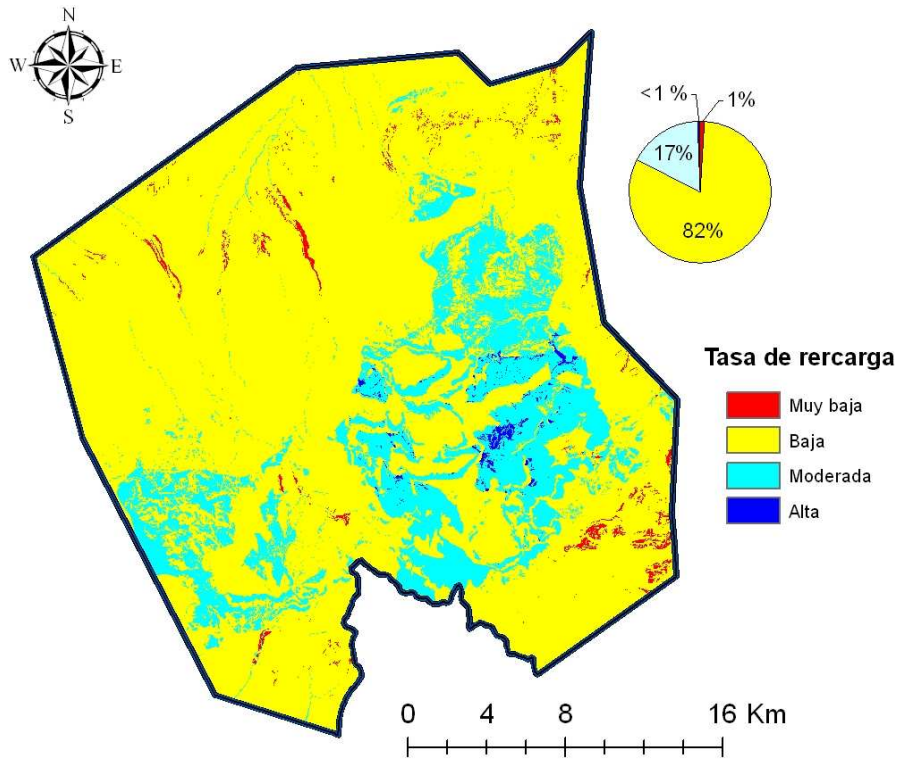


Fig. 5. Tasas de recarga en la MAS 0511 Sierra de Baza y porcentajes del total de la superficie que ocupa cada categoría

Esta recarga calculada va desde un 16.6 a un 66.6%, comprobándose que, las zonas más impermeables corresponden a las áreas donde afloran las filitas y metapelitas del Complejo Nevado-Filábride (al suroeste de la MAS) y, en los lechos de los ríos debido a la impermeabilización de los mismos por el arrastre de finos, mientras que, las áreas donde se producirá mayor recarga coinciden con las dolomías y calizas del Complejo Alpujárride. En la figura 5 puede comprobarse que las zonas de mayor recarga ocupan una superficie menor al uno por ciento, es decir unos 3.4 km², la categoría de recarga moderada (17%), supone 131.3 km², la baja un 624.3 km² (82%) y la muy baja tan sólo 8.5 km².

No obstante, como se ha indicado al principio de la discusión, este método sólo es representativo de los de los acuíferos carbonatados y, pese a que existe conexión hidráulica entre el Acuífero Detrítico Miopliocuaternalio y el Carbonatado Alpujárride, es preferible evaluar tan sólo los mantos calizos de este último. En la tabla 3 se resumen, por manto, las características de la recarga.

Tabla 3: Resultados del método APLIS del porcentaje de recarga respecto a la precipitación para los cuatro mantos alpujárrides.

Manto Alpujárride	Área Km ²	Recarga Media	Recarga Máxima	Recarga Mínima
Blanquizaes	83.98	41.15	60	21.11
Hernán Valle	3.745	40.3	58.88	25.55
Quintana	58.4075	37.29	64.44	20
Santa Bárbara	58.5775	51.32	66.48	21.11

Conclusiones

Se ha aplicado el método APLIS para estimación de la recarga en un área de 767 km² situada en el SE de España, concretamente en la región de la Sierra de Baza, en la provincia de Granada. El acuífero principal está formado por las calizas del Triásico, distribuidas en cuatro mantos formados cada uno por una unidad detrítica de filitas y cuarcitas y por una unidad carbonatada de calizas y dolomías.

La tasa media de recarga anual, para el conjunto del área, ha resultado ser del 42,5%, con variaciones espaciales derivadas de las características intrínsecas de cada sector (altitud, pendiente, litología, zonas de infiltración preferencial y suelos). Así, se observan valores medios mínimos en el Manto Alpujárride de Quintana con un 37,29% y valores medio máximos en el Manto Alpujárride de Santa Bárbara de 51,32%. A achacables a la mayor o menor cantidad de filita y cuarcita presentes en cada uno de ellos y al distinto grado de fisuración de los tramos calizos.

Los valores tan bajos obtenidos en los cauces de los ríos o donde predominan materiales más impermeables, no se corresponde completamente con la realidad y demuestra que el método APLIS, en su versión actual, no es aplicable en áreas donde hay extensiones de materiales de baja permeabilidad.

Bibliografía

Andreo, B., Vías J., López-Geta J.A., Carrasco F., Durán, J.J. y Jiménez, P. 2004. Propuesta metodológica para la estimación de la recarga en acuíferos carbonáticos. Boletín Geológico y Minero, 115, 2.

Andreo, B., Vías J.M., Mejías M., Ballesteros B.J. y Marín A.I. (2007): Estimación de la recarga mediante el método APLIS en el acuífero jurásico de El Maestrazgo (Castellón, NE España). En: Acuíferos costeros: retos y soluciones/Coastal aquifers: challenges and solutions, volumen I (A. Pulido Bosch, J.A. López Geta, R. y G. Ramos). Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas nº 23(I): 893-902

J.A. López-Geta , B. Andreo, J. Vías, J.J. Durán, F. Carrasco y P. Jiménez. Aproximación metodológica para evaluar la recarga en acuíferos carbonáticos