

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y ESCENARIOS DE GESTIÓN SOBRE LA RECARGA DE LA U.H. INCA-SA POBLA Y S'ALBUFERA

L. Candela¹; F.J. Elorza² y W. von Igel^{1*}

1: Dpto. de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica
Universidad Politécnica de Cataluña
Campus Nord-Gran Capitán s/n, 08034 Barcelona, España
e-mail: lucila.candela@upc.edu

2: Dpto. de Matemática Aplicada y Métodos Informáticos
Universidad Politécnica de Madrid
e-mail: jelorza@dmami.upm.es

*Actualmente Amphos XXI Consulting S. L.

Palabras clave: Cambio climático, recarga ZNS, Inca-Sa Pobla

RESUMEN. *El impacto del cambio climático sobre la recarga natural en el acuífero cuaternario de Inca-Sa Pobla se ha evaluado a partir de los escenarios climáticos establecidos por el IPCC. Dado que la escala de trabajo de los modelos de circulación global (GCM) no es apta para analizar impactos del cambio climático sobre la hidrología a nivel regional, se realizó un escalado estocástico. Para la cuantificación de los impactos se han establecido los escenarios locales de cambio climático mediante escalado a partir del modelo de circulación global HadCM3 (Hadley Center) para el escenario A2 (medio-alto), y horizonte temporal 2025. Para determinar la recarga al acuífero según los diferentes usos del suelo se utilizó el código Visual BALAN 2.0 acoplado a visual MODFLOW. Los resultados de la regionalización estiman un descenso de la recarga natural que oscila entre un 20% y un 4% en función del escenario y de los usos del suelo (regadío, seco, forestal).*

ABSTRACT. *Climate change impact and natural recharge in the Inca-Sa Pobla quaternary aquifer has been investigated for the 2025 year based on the IPCC outputs. Climate change impacts on the hydrogeological system was based on the stochastic downscaling of the HadCM3 (Hadley center) General Circulation model (GCM) for future medium-high A2 greenhouse gas scenarios. Aquifer recharge was estimated by coupling Visual BALAN 2.0 to a numerical model (MODFLOW). Obtained results estimate a decrease on natural recharge between 20% and 4% depending on the different land use (dryland, irrigated and forest).*

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de la recarga natural a las aguas subterráneas, definida como el agua que se incorpora al acuífero a través de la zona no saturada, constituye uno de los aspectos críticos en la estimación de los recursos hídricos y que generan gran interés. La zona vadosa es un componente muy importante del ciclo del agua al constituir una interfaz entre la atmósfera y la zona saturada, en consecuencia cualquier variación del sistema afectaría de forma directa a los procesos que se originan en esta zona. En los últimos años se viene registrando una preocupación creciente de los impactos derivados del cambio climático sobre los recursos naturales, en especial en los recursos hídricos, y sus posibles medidas de adaptación o gestión. Según los modelos de circulación general-GCM (IPCC, 2001) para la región de las Islas Baleares se prevé un incremento de la temperatura (entre 1.5 °C y 3.6 °C) y un descenso de la precipitación entre 10-20% en 2050. Es previsible que este hecho condicione en gran manera la recarga natural de los acuíferos y a los ecosistemas hídricos asociados. Las proyecciones igualmente indican un incremento de los fenómenos extremos, inundaciones y sequías (Kerr, 2005), que pueden agravar su disponibilidad. Se debe destacar que dada la escala de los modelos GCM, para su utilización en estudios

hidrológicos de tipo regional o local es necesario realizar un escalado de los resultados obtenido.

Aunque existen numerosos y diversos métodos para el estudio de la recarga ampliamente aplicados y con mayor o menor aceptación (Scanlon et al, 2002), no es el objeto de este estudio su análisis. En este artículo se analiza el impacto del cambio climático sobre la recarga en el acuífero cuaternario de la UH Inca-Sa Pobra (Mallorca) a partir de los escenarios de precipitación y temperatura derivados del escalado de un modelo de circulación global (HadCM3) y su acople a un modelo de recarga distribuido, Visual BALAN (Samper et al., 1999). El modelo numérico del acuífero realizado con MODFLOW (Candela et al, 2009a) ha sido la herramienta fundamental para validar la recarga en el periodo histórico (1980-2005).

2. METODOLOGÍA

Para efectuar la estimación de la recarga en el acuífero considerado y su variación en función de las predicciones climáticas y evaluar la sensibilidad del sistema se han aplicado diversas metodologías (Figura 1). En primer lugar se calcula la recarga para el periodo histórico con Visual BALAN (1980-2005), y los resultados se validan con un modelo de flujo (MODFLOW, datos no presentados). En una segunda fase se generan los escenarios de cambio climático futuro y se vuelve a evaluar la recarga obtenida mediante Visual BALAN. Para una completa descripción del modelo numérico se remite a Alonso et al., (2006). Una descripción detallada de la metodología empleada se muestra en Candela et al. (2009b).

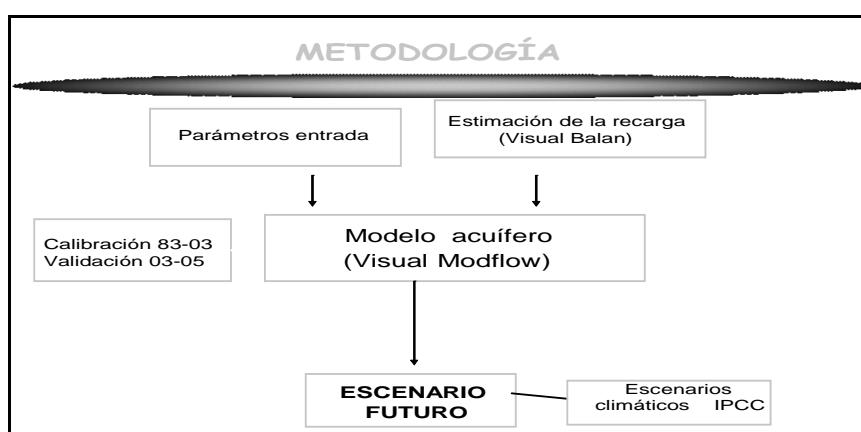


Figura 1. Metodología aplicada

2.1. Estimación de la recarga

La recarga diaria al acuífero se estimó mediante el código Visual BALAN 2.0, un código que calcula el balance diario de agua en el suelo y en la zona no saturada. El programa Visual Balan realiza balances de agua en el suelo edáfico, en la zona no saturada y en el acuífero. Los términos fundamentales del balance son las entradas por precipitación y riego, y las salidas por escorrentía superficial, evapotranspiración real-ETR, interceptión, flujo hipodérmico y flujo subterráneo. El código permite la calibración de parámetros y coeficientes. Los resultados se calibraron a partir de la simulación del nivel del piezómetro de Sa Cova, área no afectada por bombeos.

Los datos de precipitación y temperatura para el periodo histórico considerado (1980-2005) corresponden a siete estaciones meteorológicas distribuidas en la zona, fueron proporcionados por el Instituto Meteorológico. La estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) se realizó a partir del método de Penman. La escorrentía superficial fue calculada por la Ley de Horton y comparada con los datos procedentes de la estación de aforo existente en la zona. Las dotaciones de riego aplicadas son las proporcionadas por los agricultores de la zona.

A partir del mapa de usos de suelo y estaciones meteorológicas se definieron 3 áreas de recarga por

precipitación y/o retornos de riego (secano, regadío, forestal) en función de la agricultura desarrollada y una cuarta zona sin recarga (zonas urbanas). Los parámetros físicos del suelo utilizados en Visual BALAN (porosidad, densidad, profundidad del suelo edáfico, composición del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez) se obtuvieron a partir de datos procedentes de la Junta d'Aigües (Baleares). La conductividad hidráulica del suelo se estimó a partir del método de las curvas de Breddin. Un resumen de los parámetros utilizados se muestra en la tabla 1.

2.2. Generación de escenarios climáticos

La simulación de los escenarios climáticos se realizó a partir del modelo HadCM3 (Hadley center) para diversos horizontes temporales y con una resolución espacial de 278x295 km en la latitud de la zona estudiada.

Tabla 1. Parámetros de entrada y métodos aplicados en el código Visual Balan.

Componente hidrológico	Parámetros	Período 1986-2003		
		Valor	Método	Referencia
Suelo	Porosidad (%)	0.45		Junta d'Aigües
	Capacidad de campo (%) (CF) - 0,3 bar	0.3 (120 mm)		Junta d'Aigües
	Punto de marchitez (%) (WF) - 1,5 bar	0.2 (80 mm)		Junta d'Aigües
	Reserva (R=CF-WF) (%)	0.1 (40 mm)		
	Espesor de suelo (m)	0.4		Junta d'Aigües
	Conductividad hidráulica vertical (m/d)	0.009		Curva Breddin
Recarga potencial	Recarga diferida		Método modificado	Visual Balan
	Flujo preferencial		A través de fisuras	Visual Balan
Evapotranspiración potencial (ETP)			Penman	
Evapotranspiración real (ETR)			Método exponencial	
Zona no saturada	Coefficiente de agotamiento del flujo hipodérmico (d^{-1})	0	$\gamma=Kv/m$ porosidad	
	Coefficiente de agotamiento de la percolación (d^{-1})	0.15		Visual Balan
	Conductividad hidráulica vertical (mm/d)	0.009		Calibración

Los escenarios futuros considerados han sido el A2 y B2 (IPCC, 2001) correspondientes a concentración de gases de efecto invernadero media-alta y media-baja respectivamente. En este trabajo solo se presentan los resultados correspondientes al periodo 2012-2037 al que se le ha denominado 2025 y para el escenario climático A2 (IPCC, 2001). La regionalización de los datos se obtuvo a partir de modelos (Hewiston y Crane, 1996; Bouraoui et al., 1999, Aronica et al., 2005) que generan series estocásticas de precipitación y temperatura diarias para 50 años.

2.3. Zona de estudio

La unidad Inca-Sa Pobra está situada en el NO de Mallorca (Figura 2). Está formada por una cuenca

sedimentaria subsidente rellena por materiales postectónicos detríticos y carbonatados de edad Miocena, Pliocena y cuaternaria depositados sobre un substrato impermeable de edad terciaria (PHIB, 1999). La cuenca está formada por dos subcuencas: Sa Pobra (NE) e Inca (SO) estas últimas separadas por el Puig de Santa Magdalena (Figura 2).

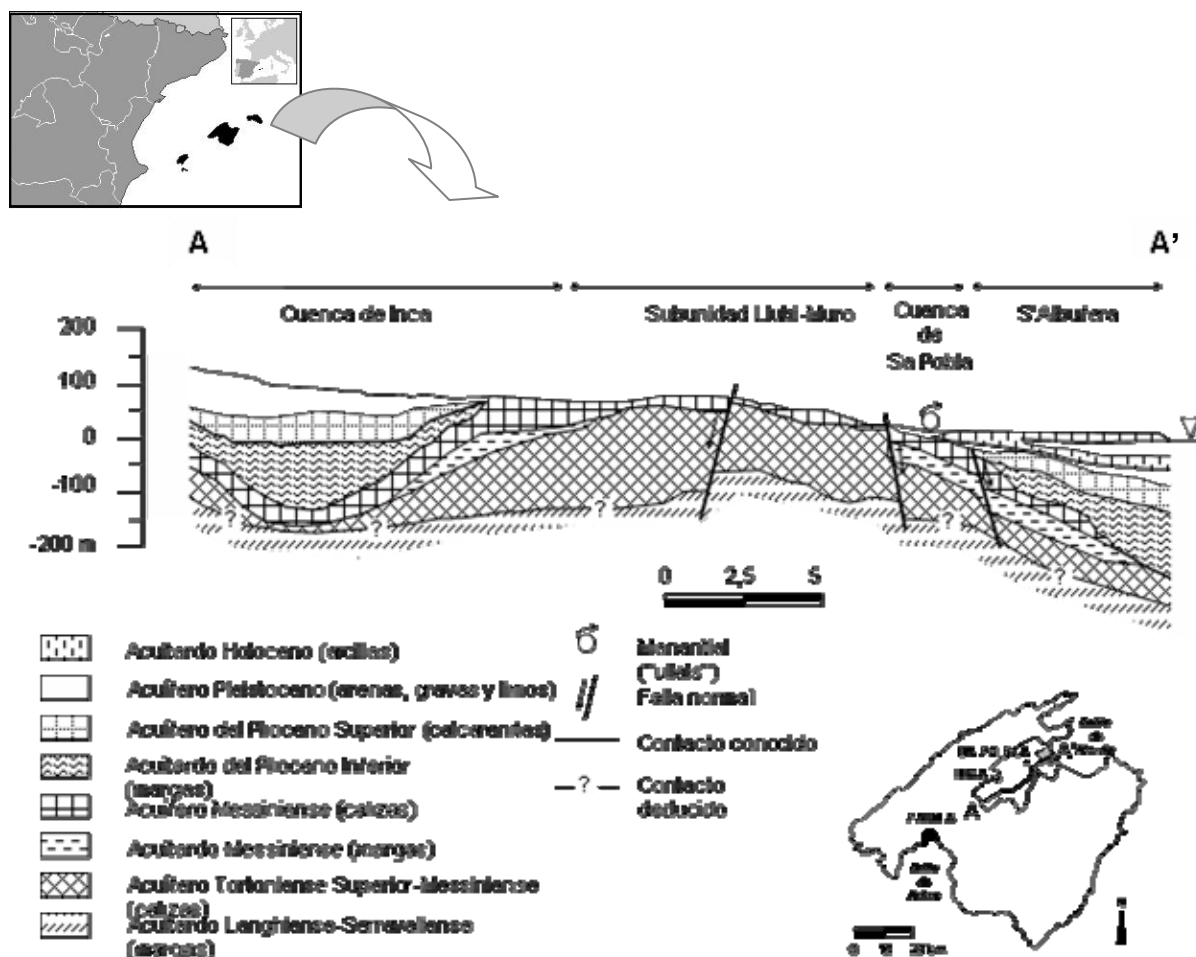


Figura 2. Mapa de situación de la Unidad Hidrogeológica Inca-Sa Pobra, Mallorca. (Modificado de Manzano et al., 2001)

Las unidades de Inca y de Sa Pobra se caracterizan por la presencia de dos sistemas acuíferos: superficial y profundo. El superior está formado por limos y gravas de edad cuaternaria y areniscas calcáreas y eolianitas pliocenas. El acuífero inferior es de calizas mesinienses y tortonienses. Hacia la zona costera, parte central de Sa Pobra y central de las dos subcuencas, las capas de margas pliocenas desconectan el acuífero superior del inferior, que pasa a ser confinado. Los depósitos cuaternarios constituyen un importante acuífero libre cuyo espesor varía desde varios metros hasta más de 70, siendo incluso superior hacia el centro de la cuenca. Se encuentra hidráulicamente conectado con todas las formaciones acuíferas del área. El Plioceno superior también libre, se asocia a los depósitos cuaternarios y al mesiniense cuando el plioceno inferior desaparece. En el NO de la zona de estudio, el acuífero liásico, siempre libre, está compuesto por calizas y dolomías y se sitúa sobre las arcillas y yesos del Keuper. Se conecta de forma lateral con las formaciones plio cuaternarias de la llanura de Sa

Pobla.

Hacia el extremo NE se sitúa S'Albufera, un humedal costero que constituye la zona intermedia de desagüe de la Unidad hidrogeológica al mar. Desde el punto de vista hidrogeológico, S'Albufera representa un elemento regulador del drenaje al mar (Barón, 2003). Las entradas al sistema acuífero se producen por recarga directa de la precipitación y retornos de riego, aportes laterales desde la U.H. de Ses Ufanes, entradas de agua de mar y por infiltración de escorrentía superficial de los torrentes, aunque esta recarga es esporádica al ser de funcionamiento torrencial. La descarga es a través de manantiales (ullals) que alimentan al humedal, descarga directa al mar, y por extracciones de pozos de bombeo agrícola y abastecimiento urbano.

3. RESULTADOS

Los resultados correspondientes al nivel freático en Sa Cova para el periodo histórico y los obtenidos para el mismo periodo mediante Visual BALAN se muestran en la figura 3. Como se puede observar, el ajuste obtenido es notable. Dados los resultados se estima que es una herramienta válida para simular la recarga en condiciones futuras.

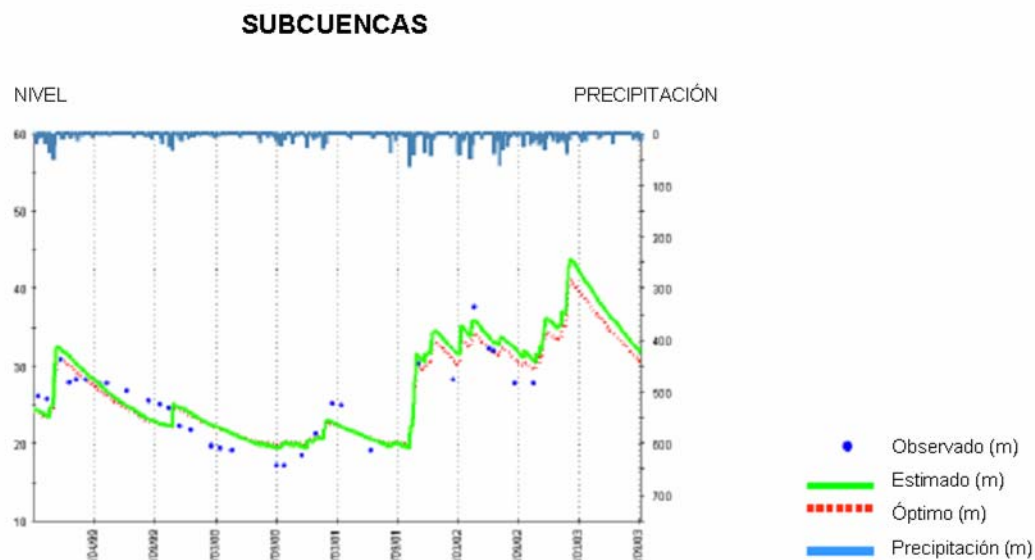


Figura 3. Comparación de los niveles medidos y estimados por Visual Balan para el proceso de calibración (Piezómetro Sa Cova y periodo histórico)

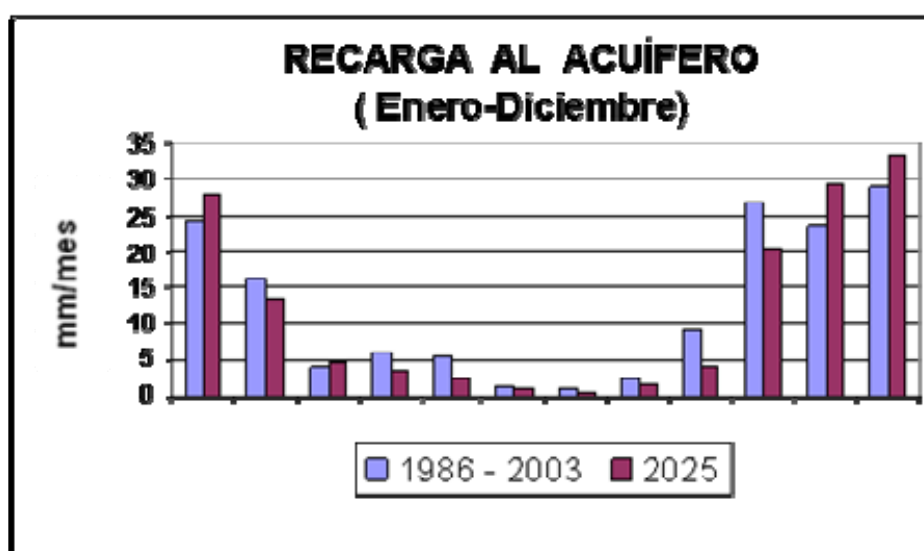
Los resultados de la regionalización efectuada para el escenario A2 y el periodo 2025 indican un ligero descenso de la precipitación (585mm) respecto al periodo histórico (599 mm), la ETP aumenta (1404 versus 1200 mm), la ETR pasa de 390 mm a 431 mm y la temperatura presenta cambios poco apreciables. Como se produce un aumento de la variabilidad de la precipitación, el descenso de la recarga natural disminuye entre un 20% (119.8 mm en áreas de secano) y un 4% (220.5 mm) para zonas de regadío (Figura 3).

El efecto de la disminución de la recarga a nivel mensual (obtenida a partir de datos diarios de recarga con Visual BALAN) se ha representado en la figura 4. Como se puede observar, solo en los meses de Enero, Marzo, Noviembre y diciembre se produce un incremento de la recarga en el acuífero. Para el resto de los meses, los valores de la infiltración son inferiores a los del periodo histórico.

Tabla 2. Estimación de la recarga para el periodo histórico y para el 2025 en el acuífero plio-cuaternario.

	Cuaternario (secano)	Cuaternario (regadío)
1980-2005 (mm/año)	150.9	253.2
2025 [mm/año]	119.8	220.5
(%)*	-21	-13

* Variación respecto 1980-2005.

**Figura 4.** Distribución de la recarga mensual para el periodo histórico y escenario simulado

4. CONCLUSIONES

Al analizar los posibles impactos derivados del cambio climático en el acuífero se observa una importante reducción de la precipitación cuya consecuencia es un descenso de la recarga natural en la U.H de Inca Sa Pobla. Se debe destacar que si bien los modelos de cambio global (y su escalado regional) son una herramienta ampliamente utilizada para generar datos meteorológicos diarios, los datos reales de las emisiones exceden a los escenarios teóricos. En consecuencia los resultados obtenidos deben tomarse con precaución, si bien actualmente es la única metodología aplicable para obtener escenarios futuros. Los efectos de la disminución de la precipitación, aumento de la evapotranspiración y disminución de la recarga tienen implicaciones en la zona no saturada, como puede ser efectos en la calidad del agua recargada, que deben igualmente ser estudiados.

Agradecimientos. Este estudio se enmarca en un proyecto de investigación más amplio, MEDIS (EVK1-CT-2001-00092) financiado por la Comunidad Europea y por el Plan Nacional de I+D+i (REN2001-5255-E/TECNO; CGL2007-66861)

REFERENCIAS

- Alonso García, A.; W. von Igel W.; Barón, A.; González, C.; Elorza, F.J.; L. Candela L.; 2006. Gestión y planificación sostenible de los recursos hídricos de la u.h. llano de Inca-Sa Pobra mediante un modelo matemático de flujo. *Hidrogeología y Aguas Subterráneas*. 17, 467-472
- Aronica, G., Corrao, C., Amengual, A., Alonso, S., Romero, R. 2005. Water resources evaluation under climatic trend effects in Mediterranean catchments. *Geophysical Research Abstracts* 7, 04091.
- Barón Pérez, A. 2003. Conflictos producidos entre el humedal de S'Albufera y el acuífero que lo alimenta. En: *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: litoral mediterráneo*, Eds: Fornés J.M. y Llamas M.R., Santander, Fundación Marcelino Botín. 389 pp.
- Bouraoui, F., Vachaud, G., Li, L.Z.X., Le Treut, H., Chen, T. 1999. Evaluation of the impact of climate changes on water storage and groundwater recharge at the watershed scale. *Climate Dynamics* 15, 153-161.
- Candela, L.; Elorza, J.; von Igel, W. 2009a. Impacto del cambio climático y escenarios de gestión sobre la recarga de la UH Inca-Sa- Pobra y S'Albufera. Estrategias de adaptación para la conservación del humedal. *Hidrología y Recursos Hidráulicos*, XVIII: 525-534
- Candela, L.; von Igel, W.; Elorza, J.; Aronica, G. 2009b. Impact assessment of combined climate and management scenarios on groundwater resources and associated wetland (majorca, Spain). *Journal of Hydrology* (aceptada).
- Hewiston B.C., Crane, R.G., 1996. Climate downscaling: techniques and application. *Climate Research* 7, 85-95.
- Intergovernmental Panel on climate Change-IPCC, 2001. *Third Assessment Report, The Scientific Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Kerr, R.A., 2005. Confronting the bogeyman of the climate system. *Science* 310, 432-433.
- Manzano, M., Custodio, E., Loosli, H., Cabrera, M.C., Riera, X., Custodio, J. 2001. Palaeowater in coastal aquifers of Spain. En: Edmunds, W.M. y Milne, C.J. (eds), *Palaeowaters in coastal Europe: evolution of groundwater since the late Pleistocene*. Geological Society, London, Special Publications. n°189, 107-138.
- PHIB. 1999. *Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares*. Govern Balear, Febrero 1999.
- Scanlon, B.R., Healy, R.W., Cook, P.G., 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeol. J.* 10, 18-39.
- Samper, J., Llorenç, H., Arés, J., García, M.A. 1999. *Manual del usuario del programa Visual Balan. Código interactivo para la realización de Balances Hidrológicos y la estimación de la recarga*, Enresa, La Coruña, Spain, 132 pp.