

# Evaluación de la alteración hidrológica de la laguna de La Ratosa (N de Málaga) por el uso intensivo del agua subterránea

*Evaluation of the hydrological alteration of La Ratosa playa-lake (N of Málaga) due to the intensive use of groundwater*

Miguel Rodríguez-Rodríguez<sup>(1)</sup> y José Benavente Herrera<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad Pablo de Olavide. C/Utrera, Km 1. 41013. Sevilla. mrodrod@upo.es

<sup>(2)</sup> Instituto del Agua. Universidad de Granada. C/ Ramón y Cajal s/n, 18071 Granada. jbenaven@ugr.es

## ABSTRACT

The hydrological regime of La Ratosa playa-lake (Málaga) has been significantly affected by the intensive exploitation of groundwater in the area. In unaltered conditions, this lake received surface and subsurface runoff from its watershed (WS), made up mainly by clays and marls, and groundwater from the southern sector of the carbonate aquifer of Sierra de La Camorra. The aquifer, which crops out in the easternmost sector of the WS, is currently subjected to intensive exploitation of groundwater resources. The depression of the piezometric level caused by the groundwater pumping has drastically reduced the groundwater discharge to the WS. Among other things, both the average flooding area of the playa-lake and its hydroperiod were diminished. This paper presents the hydrological characterization of La Ratosa playa-lake, based on the development of a rainfall-runoff model and discusses the major changes caused by the intensive exploitation of groundwater.

**Key-words:** Lowland playa-lake, numerical modelling, hydrological regime.

## RESUMEN

El régimen hidrológico de la laguna de La Ratosa (Málaga) se ha visto significativamente afectado por la explotación intensiva de las aguas subterráneas en la zona. En régimen natural, esta laguna recibía la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (CV), constituida por arcillas y margas, y descarga subterránea desde el sector meridional de acuífero carbonático de Sierra de la Camorra. Este acuífero, que aflora en el sector oriental de la CV, está sometido a explotación de sus recursos subterráneos. El descenso generalizado del nivel piezométrico debido al bombeo, ha reducido significativamente los caudales de descarga en este sector de la CV. Entre otras afecciones, el área de inundación media y el hidroperiodo de la laguna se han reducido. En este trabajo se ha realizado la caracterización del régimen hidrológico de la laguna de La Ratosa mediante la aplicación de un modelo precipitación-escorrentía y se discute el efecto de los cambios producidos por la explotación intensiva de las aguas subterráneas.

**Palabras clave:** Laguna de campiña tipo playa, modelización numérica, régimen hidrológico.

Geogaceta, 50-1 (2011), 91-94.  
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 15 de Febrero de 2011  
Fecha de revisión: 28 de Abril de 2011  
Fecha de aceptación: 27 de Mayo de 2011

## Introducción

En áreas de la campiña andaluza localizadas al norte de la provincia de Málaga y al sur de la de Córdoba existe un gran número de humedales temporales que constituyen el hábitat para un conjunto de especies adaptadas a condiciones ambientales altamente fluctuantes. Son ejemplos de ecosistemas muy poco representados en Europa, dadas las especiales condiciones geográficas, geológicas y climáticas que han de coexistir para su formación. En su conjunto, representan verdaderos corredores ecológicos para la avifauna acuática, ya que conforman un mosaico de masas de agua superficial con diferentes características hi-

drológicas, salinidad, profundidad, etc. La laguna de La Ratosa se localiza entre los términos municipales de Alameda y Humilladero (Málaga). Al S de la laguna se sitúan los complejos endorreicos de Fuente de Piedra y Campillos y, al N, las lagunas del sur de Córdoba: Dulce, Amarga y Jarales. Algo más alejadas se localizan lagunas tan importantes como la del Gosque (Sevilla) o las de Zóñar, Santiago y Tíscar (Córdoba).

Si bien tradicionalmente se ha descrito la existencia de dos lagunas próximas, La Ratosa y Castañuela (Montes *et al.*, 2004; Moreira and Montes, 2005), en realidad se trata de un único sistema lagunar con forma de triángulo isósceles (Fig. 1). Las tres lagunas actuales pueden llegar a juntarse tras

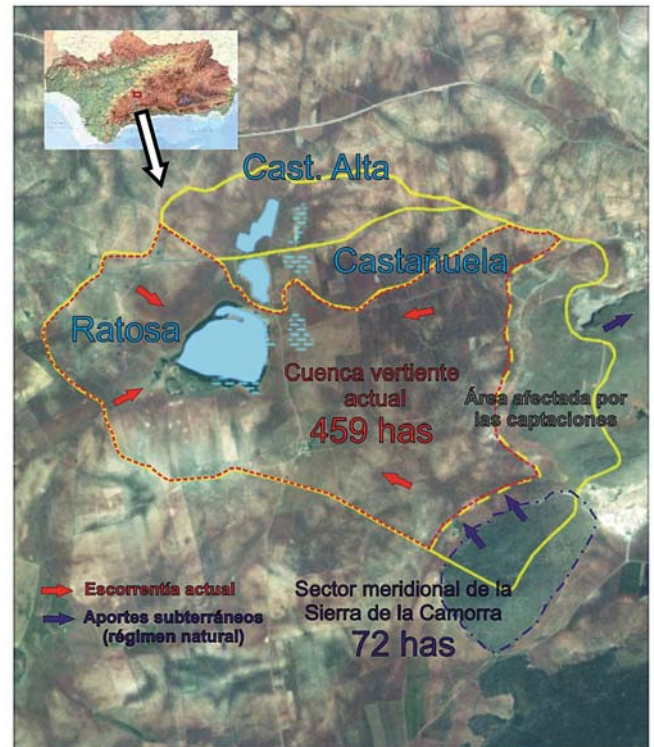
periodos de lluvias intensas, como las producidas en diciembre de 2009 y enero de 2010 (Fig. 2). La laguna más septentrional (denominada por los autores Castañuela Alta) es actualmente una zona encharcada rodeada de olivos. Está separada de las otras dos por la carretera local que une las poblaciones de La Roda de Andalucía y Alameda, aunque una alcantarilla une ambas cubetas. Esta carretera constituye el límite norte de la Zona Periférica de Protección de la Reserva Natural. La Zona de Reserva incluye únicamente la cubeta redondeada de la laguna de La Ratosa, es decir, 23 de las 594 ha que ocupa la cuenca vertiente del sistema completo. El objetivo de este trabajo ha consistido en caracterizar el funcio-

namiento hidrológico de la laguna de La Ratosa en régimen natural a partir de los datos recopilados en condiciones influenciadas. Para ello, ha sido necesario actualizar el conocimiento hidrogeológico en el entorno de la laguna, así como realizar y explotar un modelo de simulación de precipitación-escorrentía.

**Marco hidrogeológico**

La cuenca endorreica de la laguna de La Ratosa, con 459 ha de superficie (Fig. 1), se desarrolla, fundamentalmente, sobre materiales subbéticos de la Cordillera Bética. En la cuenca afloran, mayoritariamente, materiales margoarcillosos y evaporíticos de origen triásico, a los que se superponen diversas formaciones detríticas terciarias y cuaternarias, y calizas y dolomías jurásicas, en el extremo oriental, que dan lugar al acuífero de la Sierra de La Camorra. En régimen natural, la laguna recibía la escorrentía superficial generada en los afloramientos margoarcillosos y la descarga lateral subterránea procedente del sector meridional del acuífero de la Sierra de La Camorra, que era transferida a través del piedemonte aflorante. Por otra parte, la existencia de fracturas normales y en dirección en estas Sierras permite que haya inyecciones de material triásico impermeable que impida la conexión hídrica entre los afloramientos jurásicos.

En la actualidad, el acuífero de la Sierra de La Camorra se encuentra sometido a explotación intensiva. Los últimos balances hídricos del acuífero (Martos-Rosillo, 2008; Jiménez, 2009) indican que los recursos medios (0,4 hm<sup>3</sup>/año) son significativamente inferiores a la explotación por bombeo (0,8 hm<sup>3</sup>/año). Además, esta situación parece haber sucedido de forma continuada durante las últimas décadas, de manera que se registran descensos piezométricos acumulados de más de 70 m en los últimos 30 años (Jiménez, 2009). El agotamiento del manantial de Alameda -principal punto de drenaje del sector septentrional del acuífero en condiciones no influenciadas- junto con las características físico-químicas de las aguas subterráneas son aspectos que apoyan esta situación de desequilibrio hídrico en la Sierra de La Camorra. Por todo ello, la actual situación hidrodinámica del acuífero impide la transferencia de recursos subterráneos hacia la laguna de La Ratosa, hecho que supone la alteración de su régimen de funcionamiento.



**Fig. 1.-** Localización, cuenca (línea amarilla) y superficie inundable de las lagunas estudiadas.

*Fig. 1.-* Location, watershed (yellow line) and flooded area of the studied playa-lakes.

**Metodología**

Para cuantificar el grado de afección que ha supuesto la alteración del régimen de funcionamiento hidrológico de la laguna de La Ratosa, se ha realizado un modelo de precipitación-escorrentía mensual basado en el modelo conceptual de laguna de campiña (Moral *et al.*, 2009; Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2009). Los límites de la cuenca vertiente superficial de las tres lagunas (La Ratosa, Castañuela y Castañuela Alta) y las áreas medias de inundación se han definido con el Modelo Digital del Terreno de Andalucía (MDT) a escala 10 m (J.A., 2005). Se ha realizado un balance de agua en la laguna (desde enero de 1999 a diciembre de 2008) a partir de datos meteorológicos de las estaciones de Sierra de Yeguas y Alameda. Se han generado series de escorrentía con diferentes capacidades de retención de agua en el suelo - en adelante CRAS - (Allen *et al.*, 1998) con la aplicación TRA-

SERO (Padilla, 2005). Para estimar los caudales de salida por evaporación se han considerado diferentes superficies de inundación en función de la curva hipsométrica de la laguna de La Ratosa (Rodríguez-Rodríguez, 2002). Para la elaboración del modelo en régimen influenciado se ha supuesto la inexistencia de aportes subterráneos desde el acuífero carbonático de la Sierra de La Camorra, por lo que no se ha considerado el área cubierta por este tipo de afloramientos en la cuenca vertiente. La calibración del modelo se ha realizado contrastando la evolución del nivel teórica y la medida por el personal de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Una vez conseguido el ajuste del modelo en régimen influenciado se procedió a simular las condiciones en régimen natural. Así, se simuló la evolución temporal del nivel de agua y de la superficie de inundación de la laguna, considerando las aportaciones subterráneas procedentes del acuífero carbonático.



**Fig. 2.-** Panorámica de las lagunas desde la Sierra de La Camorra (26-03-2010)

*Fig. 2.-* Playa-lake's view from Sierra de La Camorra (26-03-2010).

## Resultados

En la figura 3 se puede observar la correlación entre los valores mensuales de altura de lámina de agua medidos en la laguna y los modelizados con distintas CRAS (de 20 a 230 mm), en régimen influenciado. La correlación es baja ( $R^2 < 0,60$ ) con CRAS inferiores a 190 mm. Con una CRAS de 190 mm el  $R^2$  es máximo (0,78) y decrece progresivamente con valores mayores (Fig. 3). Asimismo, a partir de este valor, la recta de

regresión lineal tiene una pendiente positiva. La evolución teórica del nivel vs. evolución real se ha representado gráficamente en la figura 4. La simulación se considera aceptable en el periodo considerado, teniendo en cuenta las limitaciones del modelo y la alteración de la cuenca de la laguna. Sin embargo, los ascensos y descensos simulados son más bruscos que los reales entre enero de 1999 y julio de 2001. A partir de esta fecha se consigue un buen ajuste, aunque la sensibilidad del modelo es limitada cuando

la lámina de agua es menor de 20 cm. En la tabla I se presentan los estadísticos básicos de los principales componentes del balance hídrico. El valor más frecuente de la profundidad en la laguna (profundidad mediana) es de tan solo 15 cm.

La escorrentía generada en la cuenca es baja (mediana 0 y media 0,6 mm/mes) y se concentra en invierno y primavera.

La estacionalidad de esta laguna, al igual que ocurre con las lagunas cercanas anteriormente mencionadas, se explica básicamente por dos factores: la escasa profundidad del vaso lacustre y el clima semiárido.

En régimen natural, a la escorrentía anteriormente calculada se le ha sumado la generada sobre los afloramientos carbonáticos del sector meridional de la Sierra de La Camorra (72 ha, ver Fig. 1). Se han realizado simulaciones con diferentes CRAS, imponiendo como condicionante la inexistencia de un rebosadero natural. La evolución resultante con una CRAS en los afloramientos carbonáticos del sector sur de la Sierra de La Camorra de aproximadamente 100 mm se representa en la figura 5.

En dicha figura se aprecia que el hidroperiodo aumenta considerablemente con respecto a la situación actual, aunque la laguna seguiría teniendo un régimen de inundación temporal altamente fluctuante, dado el clima y la morfometría, con pendientes medias muy bajas, de la cuenca y de la cubeta (3,35% y 1,75%, respectivamente).

## Discusión

La CRAS con la que se consigue la máxima correlación entre niveles reales y teóricos, a escala mensual, coincide con la obtenida en lagunas de campiña similares (Rodríguez-Rodríguez, 2009).

Concretamente, la calibración de sendos modelos de balance en las lagunas de Los Jarales y Zóñar arrojan valores de CRAS de 170 y 191 mm, respectivamente. Así-

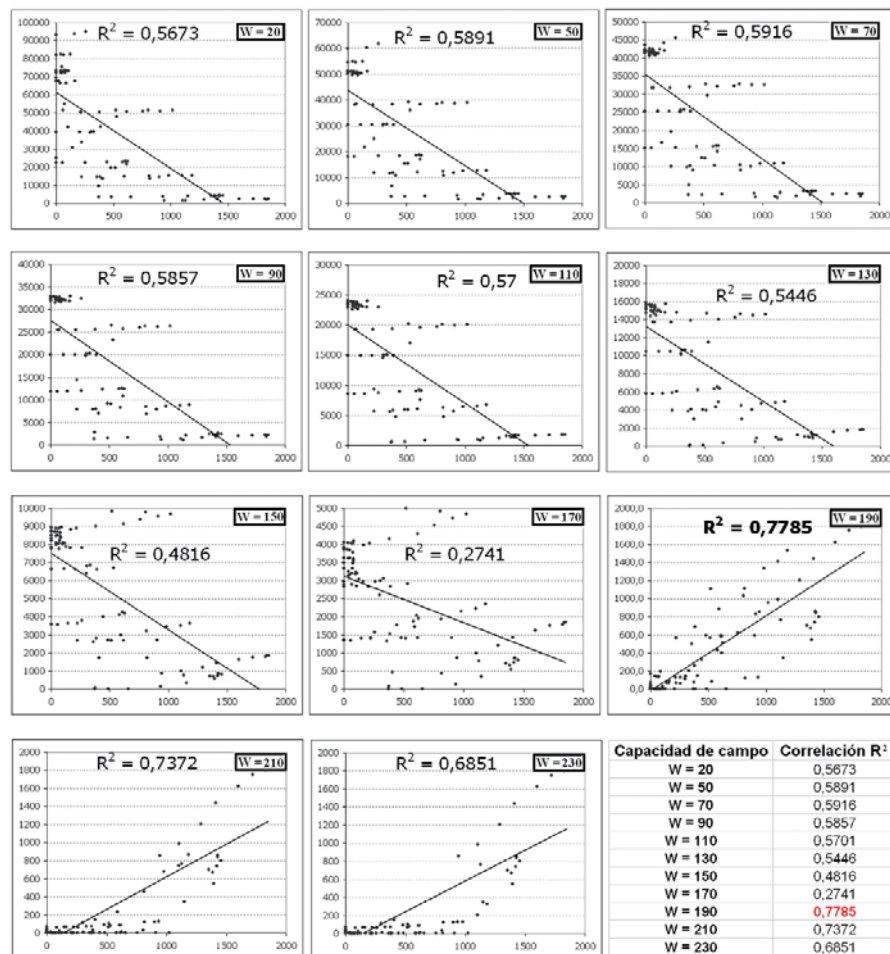


Fig. 3.- Correlación entre los valores mensuales calculados de altura del nivel de agua- con diferentes capacidades de campo (Y)- y los valores medidos (X).

Fig. 3.- Correlation between monthly calculated water levels -under different field capacities (Y)- and measured values (X).

	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	ETP <sub>190</sub> (mm)	Escorrentía (mm)	190 (mm)	S.M.I. (m <sup>2</sup> )	Evolución real (mm)	Evolución rég. nat. (mm)
N. valores (meses)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
Mediana (mm/mes)	16,2	98,7	54,7	18,9	0,0	41193,8	151,3	1066,0
Media (M) (mm/mes)	30,2	116,3	70,6	21,9	0,6	72569,2	419,8	1107,1
Curtosis	1,4	-1,3	-0,2	0,1	60,5	0,3	0,3	-1,0
Asimetría	1,3	0,4	0,8	0,8	7,5	1,2	1,2	0,2
Desv. Típi. (DT) (mm/mes)	35,1	68,1	51,1	19,7	3,7	60693,7	519,5	886,6
Coef. Var. (DT/M)	1,2	0,6	0,7	0,9	6,6	0,8	1,2	0,8

Tabla I.- Estadísticos básicos de los principales componentes del balance hídrico (régimen influenciado y régimen natural).

Table I.- Basic statistics of the main components of the water balance (actual conditions and unaltered conditions).

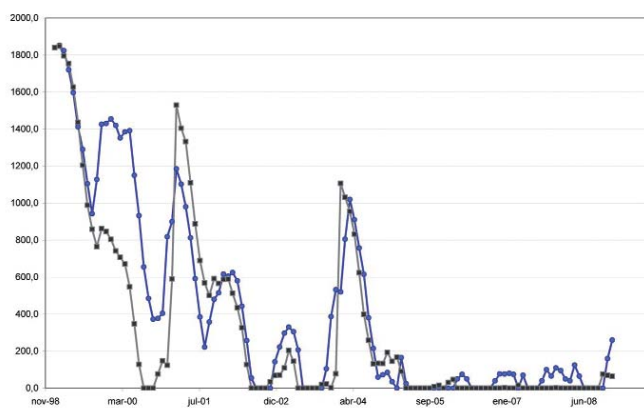


Fig. 4.- Evolución calculada (cuadrados) y medida (círculos) del nivel del agua en la laguna de La Ratosa (valores mensuales en mm).

Fig. 4.- Calculated evolution (squares) and actual evolution (circles) of the water level in La Ratosa playa-lake (monthly values in mm).

mismo, los suelos de la zona presentan valores entre 180 y 200 mm según el mapa de CRAS de Andalucía (Vanderlinden *et al.*, 2005). Respecto a la calibración en régimen natural, se debe indicar que el valor de CRAS (100 mm) asignado a los materiales carbonáticos del sector meridional de la Sierra de La Camorra es mayor que el obtenido por otros autores en acuíferos carbonáticos próximos (Martos-Rosillo, 2008). No obstante, esos valores de CRAS se determinaron con modelos de balance diario. Además, no se conoce con exactitud el funcionamiento hidrogeológico del sector sur del acuífero de la Sierra de La Camorra en régimen natural.

En cualquier caso, los valores de CRAS resultantes deben ser tenidos en cuenta como parámetros de calibración para estimar la escorrentía total esperable y están influenciados por la escala trabajo mensual considerada.

## Conclusiones

Se ha realizado la evaluación de la alteración hidrológica de la Laguna de La Ratosa a partir de un modelo conceptual en régimen influenciado. Se ha considerado que los afloramientos carbonáticos de la Sierra de la Camorra no drenan hacia la laguna debido a su explotación intensiva. A partir de esta hipótesis de trabajo, se ha calibrado un modelo de precipitación–escorrentía correspondiente al periodo 1999–2008 a escala mensual. Una vez calibrado el modelo, se ha simulado el régimen de funcionamiento hídrico y la evolución de la lámina de agua en régimen natural, admitiendo, en este supuesto, la transferencia lateral de recursos subterráneos desde el sector sur de la Sierra de La

Camorra. En esas condiciones, el periodo de inundación aumenta desde un 61% en condiciones alteradas a un 79% en régimen natural. Estos resultados ponen de manifiesto la importante contribución de los afloramientos carbonáticos, cuando existen, en estos sistemas lagunares, dado que la precipitación efectiva generada en ellos es superior a la de los materiales margoarcillosos con los cuales suelen estar relacionadas la mayoría de lagunas de campiña.

Los valores de CRAS que resultan de la calibración del modelo son coherentes con los hallados previamente en el entorno de la zona de estudio. En cualquier caso, sería esperable encontrar valores diferentes si se realizara la modelización a escala diaria.

El elevado índice de aridez y la alta CRAS de los suelos que ocupan las cuencas vertientes, en la mayoría de lagunas de campiña andaluza, condicionan una baja escorrentía total asociada a los materiales margoarcillosos triásicos. En lagunas en las que la cuenca esté parcialmente ocupada por materiales carbonáticos habría que poner especial cuidado en la explotación de los recursos asociados a estos acuíferos, dada la importancia de sus aportes para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos dependientes asociados.

## Agradecimientos

Investigación realizada en el marco del Grupo RNM-126 del PAIDI (Junta de Andalucía) y parcialmente financiada por el Proyecto del MICINN CGL2009 11-384. La labor de dos revisores y de los editores ha mejorado la calidad del manuscrito original. Los datos mensuales de nivel en la laguna han sido suministrados por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

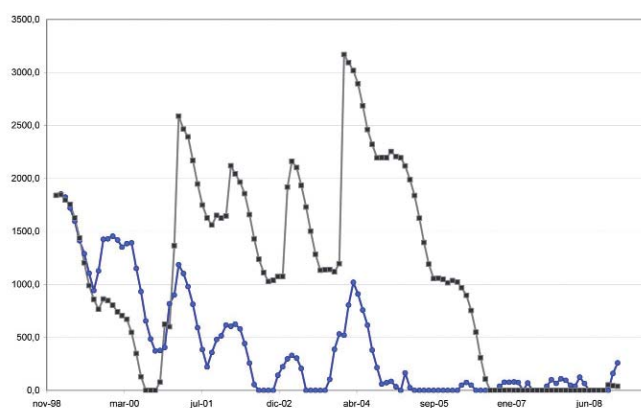


Fig. 5.- Evolución calculada del nivel del agua en régimen natural (cuadrados) y evolución medida (círculos) (valores mensuales en mm).

Fig. 5.- Calculated evolution of the water level (squares) with unaltered conditions and actual evolution (circles) (monthly values in mm).

## Referencias

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO, 15 p.
- Jiménez, J. (2009). *Contribución al conocimiento hidrogeológico de las Sierras de Mollina y de la Camorra*. Proyecto Fin de Master, Univ. de Málaga, 89 p.
- Junta de Andalucía (2005). *Modelo digital del Terreno de Andalucía*. Relieve y topografía. Sevilla.
- Martos-Rosillo, S. (2008). *Investigación hidrogeológica orientada a la gestión racional de acuíferos carbonáticos sometidos a un uso intensivo del agua subterránea. El caso de la Sierra de Estepa (Sevilla)*, Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 537 p.
- Montes, C., González-Capitel, E. y Molina, F. (2004). *Plan Andaluz de Humedales*, Junta de Andalucía, 263 p.
- Moral, F., Rodríguez-Rodríguez, M., Benavente, J. y Cifuentes, V. (2009). En: *Hidrogeología y aguas subterráneas, nº 28. La geología e hidrogeología en la investigación de humedales* (J.A. López y J.M. Fornés, Eds.). Servicio de Publicaciones IGME, 45 - 65.
- Moreira, J.M. y Montes, C. (2005). *Caracterización ambiental de humedales en Andalucía*. Junta de Andalucía, 511 p.
- Padilla, A. (2005). *Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas*. Diputación de Alicante, 49 p.
- Rodríguez-Rodríguez, M. (2002). *Contribución hidrogeológica y limnológica a la caracterización ambiental de humedales de Andalucía Oriental*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 205 p.
- Rodríguez-Rodríguez, M., Moral, F. y Benavente, J. (2009). *Boletín Geológico y Minero*, 120(3), 347-360.
- Vanderlinden, K., Giráldez, J.V. y Van-Meirvenne, M. (2005). *Vadose Zone Journal*, 4, 317-328.