

ISBN: 978-84-938046-4-0

LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO DE LA ALDEA (GRAN CANARIA) DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

Tatiana CRUZ-FUENTES¹, María del Carmen CABRERA¹, Javier HEREDIA² y Emilio CUSTODIO³

¹ Departamento de Física (GEOVOL), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). Las Palmas de Gran Canaria, España, tcruz@proyinv.es; mcarmen.cabrera@ulpgc.es

² Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid, España. j.heredia@igme.es

³ Dpto. de Ingeniería del Terreno y Cartográfica. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Barcelona, España. emilio.custodio@upc.edu

RESUMEN

El valle de La Aldea, al oeste de Gran Canaria, se dedica a la agricultura intensiva en un clima semi-árido. El agua de riego proviene de aguas superficiales y subterráneas. El acuífero está aislado del resto de la isla por el borde impermeable de la Caldera de Tejeda. El aluvial principal de La Aldea se comporta como un depósito de almacenamiento de agua que se llena y vacía, con un tiempo medio de renovación de aproximadamente 2 años. Las aguas subterráneas muestran una alta salinidad de origen natural, debido a la evapo-concentración de la deposición atmosférica y la interacción agua-roca, y antropogénica debida a los retornos de riego que producen contenidos en nitratos que pueden alcanzar los 700 mg/L. Se ha establecido un modelo conceptual de funcionamiento del acuífero y se han cuantificado los términos del balance de agua. El uso actual del acuífero está en conflicto con los requerimientos de la Directiva Marco del Agua (DMA). Sin embargo, dado que su uso es clave para el desarrollo económico del valle de La Aldea en particular, cabe plantear las excepciones legales específicas previstas en la DMA.

Palabras clave: *Acuífero volcánico-sedimentario, explotación intensiva, retornos de riego, Directiva Marco del Agua (DMA), Gran Canaria.*

ABSTRACT

La Aldea Valley, in the west side of Gran Canaria, is dedicated to intensive agriculture in a semi-arid climate. Irrigation water comes from reservoir water and groundwater. The aquifer is isolated from the rest of the island by the impermeable boundary of the Tejeda Caldera. The main alluvial deposits act as a water storage tank which is filled and emptied with an average turnover time of approximately two years. Groundwater show high natural salinity due to evapo-concentration of atmospheric deposition and water-rock interaction and anthropogenic due to irrigation return flows that produce nitrate contents which can reach 700 mg/L. A conceptual model of the aquifer has been defined and the groundwater budget has been quantified. The current use of the aquifer may be in conflict with the requirements of the Water Framework Directive (WFD). However, since their use is crucial to the economic development of La Aldea Valley, specific legal exceptions under the WFD should be raised.

Key words: *volcano-sedimentary aquifer, intensive exploitation, irrigation return flows, Water Framework Directive (WFD), Gran Canaria.*

INTRODUCCIÓN

La Directiva 2000/60/CE (D.O.C.E., 2000) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas que tiene como objetivo alcanzar el buen estado de las aguas en 2015, prevenir el deterioro en cuanto a la cantidad y la calidad de las masas de agua subterránea, mejorar el estado de todos los ecosistemas acuáticos y promover el uso sostenible del agua. Estos objetivos deben alcanzarse mediante la adopción de medidas correctoras, en caso de que sean necesarias, que se deben efectuar después de llevar a cabo la evaluación del estado de las masas de agua, o bien declarando algunas masas como excepciones, cuando esté justificado.

En este trabajo se presentan algunas consideraciones acerca del estado cuantitativo y cualitativo que condicionan la implantación de la DMA en el acuífero de La Aldea (Fig. 1). El sistema acuífero volcánico-sedimentario de La Aldea constituye una de las 10 masas de agua subterránea definidas para la isla y es un ejemplo de un acuífero intensamente explotado en una región semi-árida con agricultura intensiva. La escasez de agua local debido al clima se suple mediante el uso de aguas alóctonas procedentes de tres embalses situados aguas arriba del Barranco de La Aldea. Por ello, el acuífero se convierte en una pieza clave del sistema hídrico para regular las fluctuaciones de disponibilidad de agua y garantizar la disponibilidad de agua para el riego en épocas de sequía.

Los primeros estudios hidrogeológicos datan de la década de 1970, dentro del proyecto SPA-15 (MOP-UNESCO, 1975) para toda la isla de Gran Canaria. Desde 1992 se han llevado a cabo proyectos más específicos en la zona para caracterizar el sistema acuífero (Bejarano et al., 2003; Cabrera et al., 2006; Muñoz, 2005), culminando con el establecimiento de un modelo conceptual de funcionamiento del acuífero y el posterior desarrollo, calibración y validación de un modelo numérico de flujo y de transporte del agua subterránea (Cruz-Fuentes, 2008; Cruz-Fuentes et al., 2014a y b).

EL MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Con una superficie de 44 km², el valle de La Aldea (Fig. 1) presenta un fondo plano rodeado de fuertes escarpes al norte, sur y este, con alturas que alcanzan de 1415 m snm, y se abre al mar al oeste. El valle está dividido por el barranco principal de La Aldea, en dirección este-oeste, donde desembocan los barrancos secundarios de Tocodomán y Furel y una serie de pequeños barrancos tributarios de menor entidad. La zona tiene un clima subtropical seco caracterizado por la alternancia de periodos secos y húmedos, con una notable variabilidad de las lluvias estacionales y anuales. La precipitación media (1980-2005) es de aproximadamente 160 mm/año, superando 250 mm/año en años húmedos y por debajo de 100 mm/año en los años secos.

La isla ha sido conceptualizada hidrogeológicamente como un cuerpo de agua único, aunque heterogéneo, en el que la recarga tiene lugar en la cumbre y la circulación se produce hacia la costa (MOP-UNESCO, 1975; Custodio, 2007). Sin embargo, el acuífero de La Aldea queda fuera del sistema general de funcionamiento debido a la existencia de materiales de baja permeabilidad que rellenan la Caldera de Tejeda y limitan la zona por el este. Por lo tanto, el acuífero de La Aldea se comporta como un sistema hidrogeológico aislado, sin aportes laterales significativos y en contacto con el resto de la isla únicamente a través de un estrecho cañón de depósitos aluviales (Cruz-Fuentes et al., 2014a).

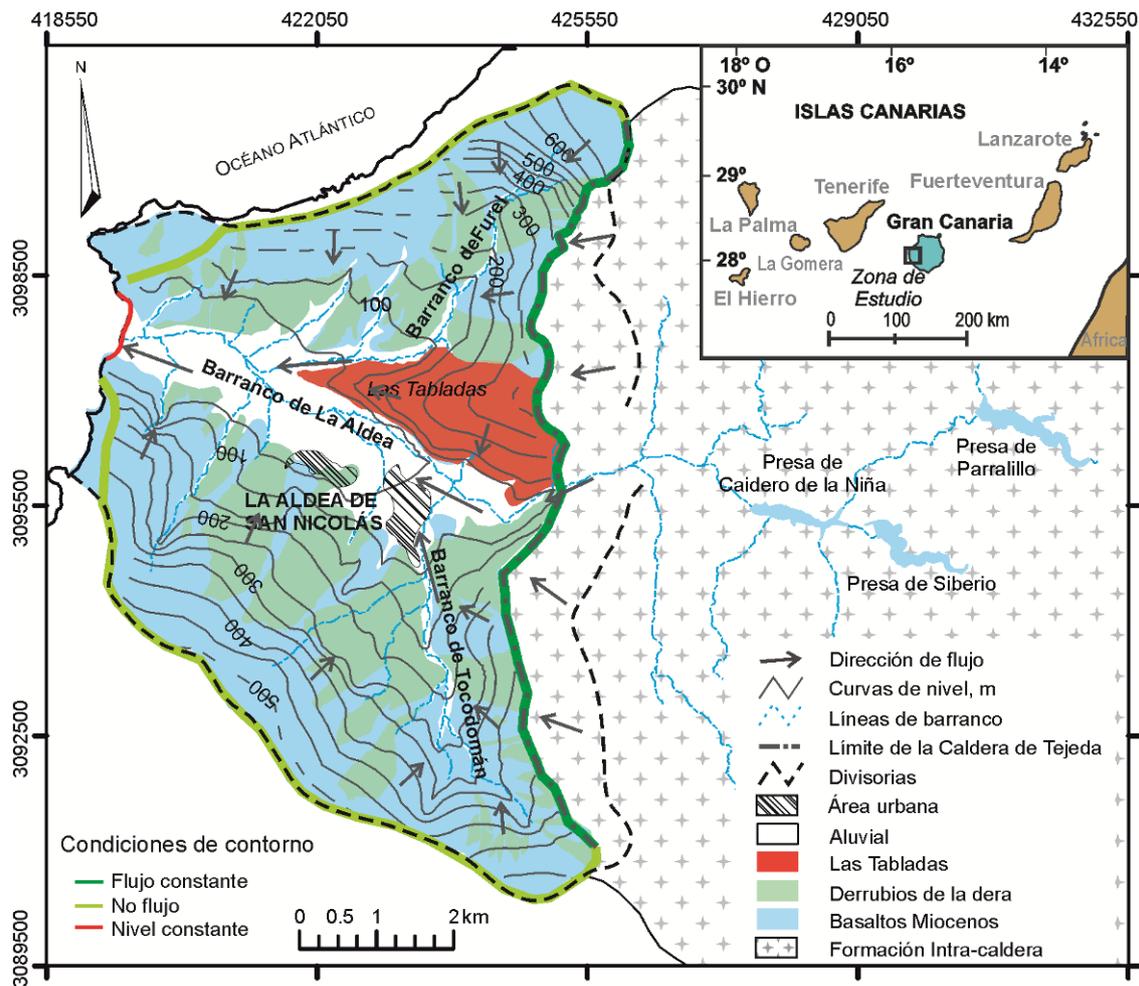


Figura 1. Mapa de localización del valle de La Aldea y distribución espacial de los principales dominios hidrogeológicos. Se muestra la piezometría obtenida a partir del modelo numérico en condiciones estacionarias para el año hidrológico 1991/92, coincidente en gran medida con la piezometría real. También se muestran las condiciones de contorno para el modelo de flujo.

La geología de la zona (Fig.1) permite dividir el acuífero en dos unidades: una unidad sedimentaria superior y una unidad volcánica inferior, que han sido consideradas como unidades hidrogeológicas. La unidad volcánica está formada por los Basaltos Miocenos que ocupan toda la superficie de la zona de estudio pero que afloran únicamente en las partes altas del valle. La unidad sedimentaria está constituida por los depósitos aluviales de fondo de barranco y los derrubios de ladera que se localizan en los flancos de las montañas. Por último, la zona de Las Tabladas, situada entre los barrancos de La Aldea y Furel, constituye un relieve residual con una estructura compleja, donde afloran materiales volcánicos y sedimentarios más recientes (Muñoz, 2005; Cruz-Fuentes, 2008). Aunque los depósitos sedimentarios, con conductividades hidráulicas entre 5 y 100 m/d, son más permeables que los basaltos (conductividades hidráulicas entre 0.0009 y 0.005 m/d), ambos constituyen un único acuífero libre dividido en dos sub-capas conectadas hidráulicamente (Muñoz, 2005; Cruz-Fuentes et al., 2014a) como muestra la superficie piezométrica resultante para el año hidrológico 1991/92 (Fig. 1). El agua subterránea en los diferentes materiales (basaltos, derrubios de ladera y Las Tabladas) fluye hacia los depósitos aluviales y hacia el aluvial principal del barranco de La Aldea. En el valle existen más de 370 pozos de gran diámetro, poco profundos (entre 2,5 y 3 m), situados principalmente en la parte central del acuífero, con un régimen de extracción variable.

Las entradas de agua al sistema proceden de la infiltración de lluvia y los retornos de riego. Las salidas se producen por las extracciones y al mar a través de una pequeña sección litoral. El agua extraída, principalmente en el aluvial principal, es una mezcla de todas las unidades hidrogeológicas y muestra características hidrogeoquímicas consistentes con esta mezcla (Muñoz, 2005; Cruz-Fuentes, 2008; Cruz-Fuentes et al., 2014b). La mayoría de las muestras de agua subterránea son Cl-Na, aunque también se observan muestras HCO₃-Na, SO₄-Na, Cl-Mg y Cl-Ca (Fig. 2). En general, existe concordancia entre la dirección del flujo de las aguas subterráneas y el aumento del contenido de cloruro, salvo para las muestras de los pozos cercanos a la zona de Las Tabladas, donde se observa un aumento significativo de la salinidad.

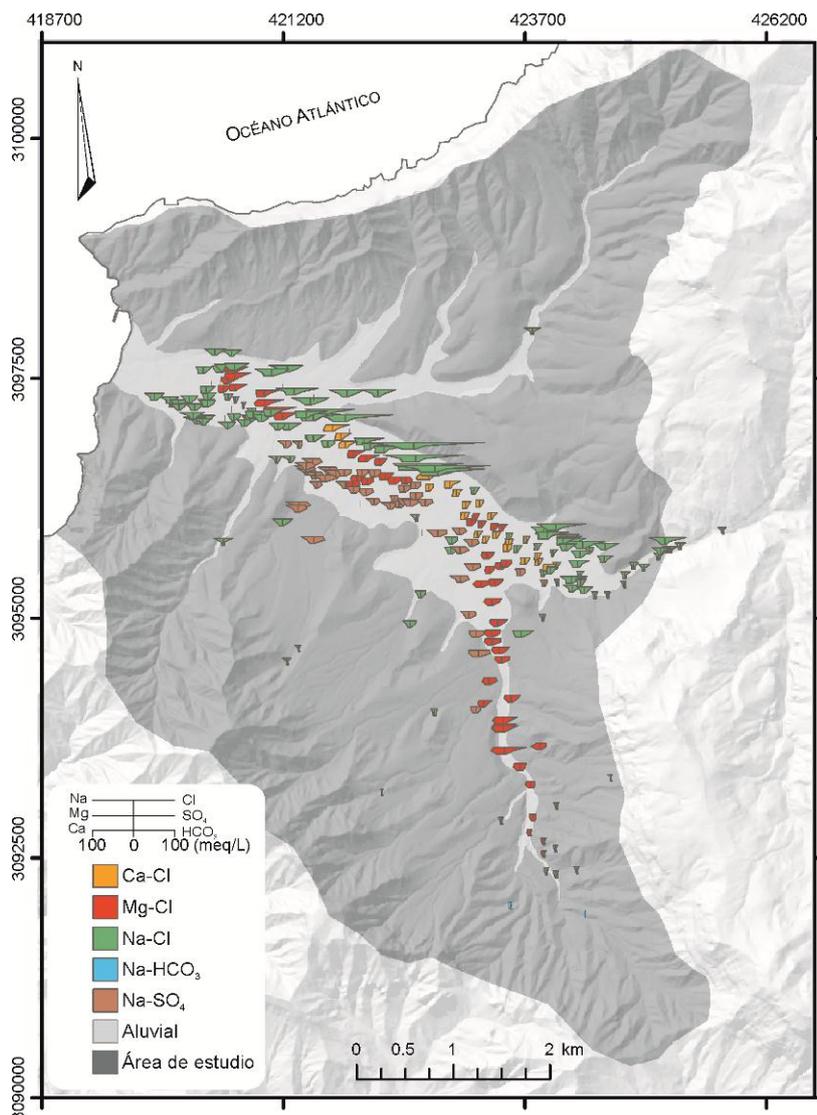


Figura 2. Familias de aguas subterráneas representadas mediante diagramas Stiff modificados, según el muestreo llevado a cabo en 1999 (Cruz-Fuentes et al. 2014b).

ESTADO CUANTITATIVO

El principal uso del agua en la zona es la agricultura, con un patrón altamente estacional relacionado con los distintos periodos de cultivo del tomate. Las necesidades de riego son cubiertas por los tres embalses localizadas fuera de la zona, que cubren el 70% durante los años húmedos, mientras que el agua subterránea proporciona el 30% restante. Sin

embargo, en años secos las presas sólo proporcionan el 30%, por lo que el 70% restante tiene que ser complementado por una extracción de agua subterránea intensiva. Por ello, el acuífero de La Aldea es clave para el suministro de agua, principalmente en periodos de sequía.

Durante el período seco 1997-1999 fueron instaladas en la zona dos plantas de desalinización de agua de mar y varias pequeñas plantas de desalinización de aguas subterráneas salobres para diluir la alta salinidad del agua subterránea utilizada para el riego, cuando el agua de los embalses no estuvo disponible. En este periodo se incrementó el uso de almacenamiento del acuífero, agotando las reservas de agua subterránea. Los niveles descendieron aproximadamente 3 m en el aluvial principal y más de 10 m en los derrubios de ladera y los basaltos Miocenos, indicando que los depósitos aluviales reciben agua del almacenamiento de los basaltos Miocenos y en los derrubios de ladera. Estos últimos, junto con los aluviales tributarios de menor entidad, tienen un papel significativo en el sistema de flujo, funcionando como "drenes" --camino preferente de flujo-- que recogen el agua de la lluvia y los retornos de riego y lo aportan al aluvial principal de La Aldea. Esta tendencia de descenso de los niveles se invirtió en los siguientes años húmedos, siendo los niveles de las aguas subterráneas para el año hidrológico 2005-2006 similares o superiores a las registradas en el año hidrológico 1991-1992 (Cruz-Fuentes et al., 2014a).

A partir de los resultados de los modelos numéricos, se ha calculado que el tiempo medio de renovación del acuífero está entre 2 y 2.5 años, lo que indica que el acuífero se comporta como un depósito de agua que se vacía y se llena según la pluviometría y las necesidades de riego.

ESTADO CUALITATIVO

Los resultados de dos campañas realizadas en 1992 y 1999 (Muñoz, 2005) mostraron que las aguas subterráneas tienen una salinidad muy variable, como refleja la conductividad eléctrica, que varía entre 1075 y 13330 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la Figura 3 se muestra la distribución espacial de Cl y NO_3 en 1992, que representa un año húmedo, y 1999, que representa un año seco. Las concentraciones más bajas de cloruros se encuentran en las zonas altas mientras que los valores más elevados están a los pies de Las Tabladas. Comparando ambos años, se observa un aumento de la concentración de cloruros, con medias que pasan de 710 mg/L a 1110 mg/L. La concentración media de nitratos aumenta significativamente entre 1992 y 1999, alcanzando valores máximos de 485 mg/L para 1992 y 710 mg/L en 1999. En 1999, alrededor del 85% de las muestras de agua subterránea tenían concentraciones de nitratos superiores al límite europeo para el agua potable, establecido en 50 mg/L. Los mayores valores se encontraban en 1992 en la desembocadura del barranco de Tocomán y el sur del barranco principal de la Aldea, mientras que en 1999 la mayor parte del aluvial principal presentaba valores altos de nitratos (Fig. 3).

La salinización del acuífero tiene un origen natural debido a 1) la concentración por gran evapo-concentración de la deposición del aerosol marino, típica de climas áridos y semiáridos, 2) a la interacción agua-roca y 3) a causas antropogénicas en relación con la infiltración de los retornos de riego que son de salobres a salinos. La influencia de aerosol marino aporta principalmente Cl y Na, aunque también Mg y SO_4 . La meteorización es responsable del aumento de la concentración de Na y K (procedente de fonolitas) y Ca y Mg (procedente de basaltos Miocenos). Los retornos de riego aumentan el contenido de SO_4 y NO_3 . En los pozos cercanos a Las Tabladas se observa una franja de alta salinidad (Fig. 3), con características parecidas al agua de mar diluida; se alcanzan concentraciones de 7500 mg/L de Cl, 3700 mg/L de Na y 1800 mg/L de SO_4 , y variables en NO_3 . El factor de concentración es 3 en las zonas altas periféricas, y alcanza 20 en la zona de Las Tabladas

debido a la alta capacidad de retención de agua al ser suelo más arcilloso (Cruz-Fuentes et al. 2014b). La alta salinidad de las aguas subterráneas y el exceso de contenido de nitrato degradan la calidad medioambiental de las aguas subterráneas, además de incurrir en costes para los usuarios debido a una disminución del rendimiento de los cultivos y la necesidad de reducir la salinidad del agua de riego a través de un tratamiento por ósmosis inversa.

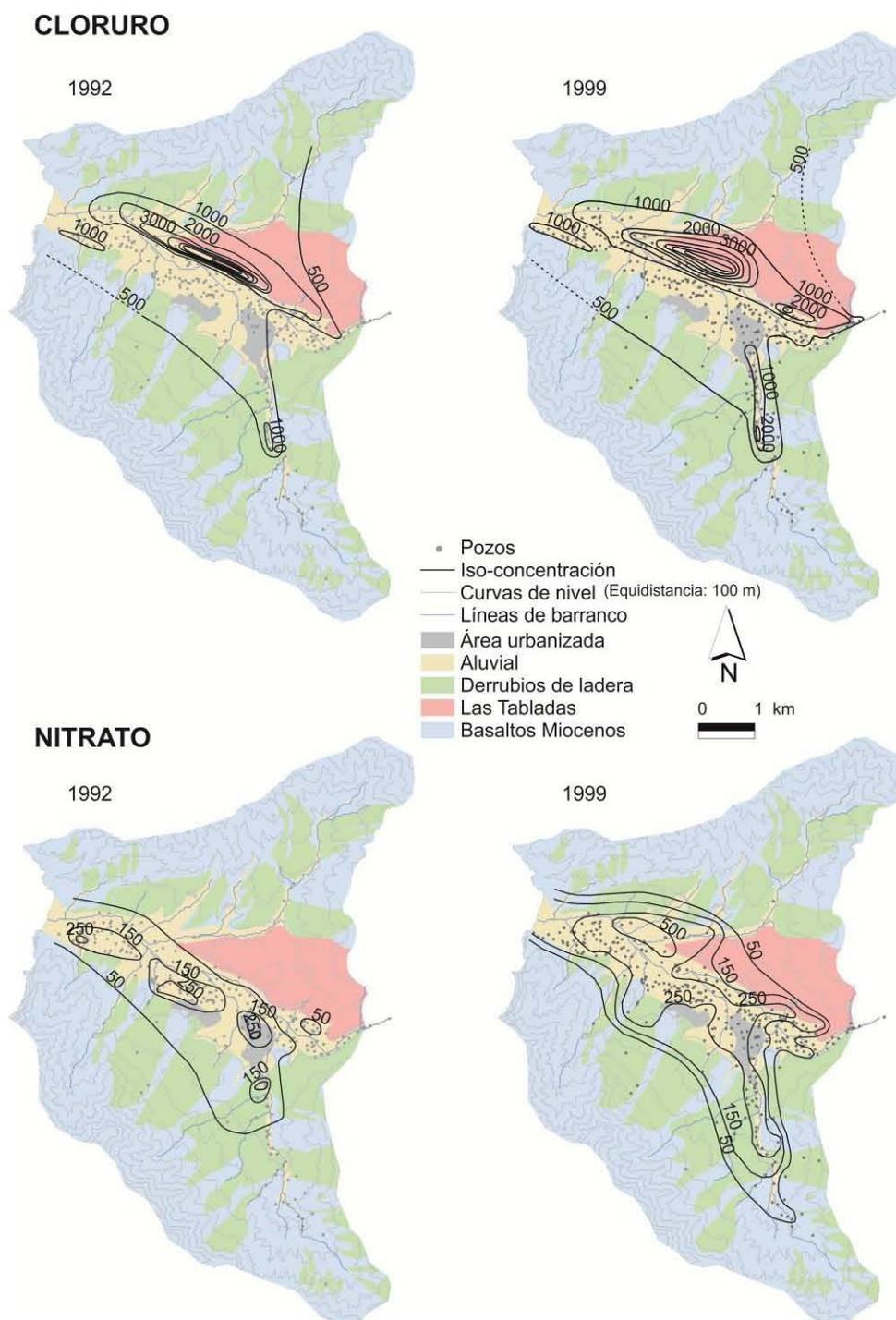


Figura 3. Distribución espacial de las concentraciones de cloruro y nitrato para los años 1992 y 1999.

CONCLUSIONES

Los trabajos desarrollados en el acuífero de La Aldea en los últimos años han permitido establecer un modelo conceptual de funcionamiento del mismo y el desarrollo de modelos numéricos ha permitido cuantificar los términos del balance hídrico de la zona. La explotación intensiva del acuífero, especialmente en épocas de sequía, y la elevada salinidad del agua subterránea procedente de la evapo-concentración en un clima árido/semi-árido y los elevados contenidos de nitratos por retornos de riego constituyen los principales impactos identificados en las aguas subterráneas de la zona de estudio. Sin embargo, para caracterizar adecuadamente el comportamiento del acuífero a largo plazo se necesitan varios años de estudio, más de los que aquí se han podido considerar.

En la zona no existe planificación para una gestión integrada de recursos hídricos, de forma que, cuando el periodo de sequía dura más de 2 años, el abastecimiento para el riego se lleva a cabo con aguas subterráneas, con efectos adversos en los aspectos cuantitativos (descenso de niveles) y cualitativos (incremento de la salinidad y de los contenidos en nitrato). La estacionalidad de la lluvia y la variabilidad intra-anual de la precipitación y las extracciones para riego guían actualmente el uso del acuífero a corto plazo, ya que las decisiones se toman de forma independiente por un gran número de usuarios del mismo.

El uso actual de las aguas subterráneas está en conflicto con los requisitos para el buen estado cuantitativo y cualitativo exigido por los principios de la DMA y las normas que se derivan de su transposición a la Ley de aguas de Canarias. Aplicar estrictamente la DMA para reestablecer condiciones naturales y evitar la sobreexplotación, principalmente en periodos de sequía, podría suponer pérdidas de infraestructuras y costes desproporcionados debido a las características especiales del acuífero de La Aldea dentro del acuífero insular y su importancia para los recursos hídricos locales. A pesar de que la eficiencia de la aplicación de fertilizantes en los cultivos podría disminuir la extensa e intensa contaminación debida su uso, la consecución de los objetivos medioambientales en cuanto a la cantidad y la calidad no es compatible con la economía local, pues implica un alto coste. Para poder continuar con este uso del acuífero se requieren consideraciones especiales a través de las excepciones legales específicas previstas en el artículo 4 de la DMA. La razón es que este acuífero es una parte clave de la capacidad de regulación del sistema de recursos hídricos y su impacto terrestre y sobre los recursos marinos litorales parece de pequeño a insignificante.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo mediante un acuerdo de cooperación entre el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, y a través de los proyectos del Ministerio de Ciencia e Innovación: CICYT 1FD97-0525, CONSOLIDER-TRAGUA (CSD2006-00044) y REDESAC (CGL2009-12910-C03-02).

REFERENCIAS

- Bejarano, C., Cabrera, M.C., Candela, L., y de Paz, J.M. (2003). *Elaboración de un mapa de lixiviación de nitratos mediante una metodología de acople SIG-modelo de simulación*. Aplicación al acuífero de La Aldea (Gran Canaria). Boletín Geológico y Minero de España 114(2):213-224.
- Cabrera, M.C., Pérez-Torrado, F.J., Antón, A., y Muñoz, J. (2006). *Volcanología de los azulejos y su relación con las aguas subterráneas del Valle de La Aldea (Gran Canaria)*. Cabildo de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.

- Cruz-Fuentes, T. (2008). *Contribución de la modelación numérica e hidroquímica al conocimiento del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)*. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.
- Cruz-Fuentes, T., Cabrera, M.C., Heredia, J., Custodio, E. (2014b). *Groundwater salinity and hydrochemical processes in the volcano-sedimentary aquifer of La Aldea, Gran Canaria, Canary Islands, Spain*. Science of the Total Environment. 484:154–166. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.041>
- Cruz-Fuentes, T., Heredia, J., Cabrera, M.C., y Custodio, E. (2014a). *Behaviour of a small sedimentary volcanic aquifer receiving irrigation return flows: La Aldea, Gran Canaria, Canary Islands (Spain)*. Hydrogeology Journal, 22:865-882. DOI 10.1007/s10040-013-1094-9
- Custodio, E. (2007). *Groundwater in volcanic hard rocks*. Groundwater in fractured rocks. Taylor & Francis, Londres. 9:95-108.
- D.O.C.E. (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. D.O.C.E. L 327 de 22.12.00. 69 pp.
- Harbaugh, A.W. (2005). *MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model - the Ground-Water Flow Process*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16. Reston, VA.
- MOP-UNESCO (1975). *Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515)*. Centro de Estudios Hidrográficos-Servicio Geológico de Obras Públicas. Las Palmas de Gran Canaria-Madrid.
- Muñoz, J. (2005). *Funcionamiento hidrogeológico del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)*. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.