

2.2.3. EL ACUÍFERO COSTERO DEL ESTE DE GRAN CANARIA: UN EJEMPLO DE SALINIZACIÓN EN UN ACUÍFERO VOLCÁNICO COMPLEJO

María del Carmen CABRERA*

(*) Dpto. de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Campus de Tafira.
35017 Las Palmas de Gran Canaria. mcabrera@dfis.ulpgc.es

RESUMEN

Las aguas subterráneas explotadas en la costa este de Gran Canaria (por debajo de la cota 300) muestran una notable salinización de origen múltiple y variable en el tiempo. Los estudios hidrogeológicos e hidrogeoquímicos llevados a cabo desde los años 1970 a la actualidad han permitido definir un sistema acuífero de gran complejidad geológica. Dicha complejidad es debida a las intercalaciones entre materiales sedimentarios y volcánicos de diversas edades y composiciones. En este sistema, la explotación ha dado lugar a amplias zonas con conos de descenso notables por debajo del nivel de mar, así como a una salinización progresiva de amplias zonas costeras debido a procesos de intrusión marina. Sin embargo, la salinización puede deberse también a procesos de aridificación de la recarga, retornos de riego y a aportes de CO₂ endógeno. Todo ello configura un sistema muy complejo cuyo control debe ser exhaustivo antes de su posible declaración como zona sobreexplotada según la legislación vigente.

Palabras clave: *Acuífero volcánico, Acuífero costero, Gran Canaria, Salinización, Hidrogeoquímica*

INTRODUCCIÓN

Los acuíferos volcánicos son heterogéneos y anisótropos, y sus características hidrogeológicas presentan una alta variabilidad, estando marcadas fundamentalmente por su composición, el tipo de vulcanismo que las ha producido y por su edad. Todo ello conforma un medio en que las alternancias entre lavas y escorias, la presencia de diques y el relleno de porosidades primarias por el crecimiento de minerales secundarios condicionan el movimiento del agua subterránea (Custodio, 2004, 2007). En el caso de las islas volcánicas de punto caliente, las estructuras volcánicas pueden ser muy complejas, debido a un crecimiento dilatado en el tiempo, con varias etapas eruptivas separadas por grandes deslizamientos gigantes, calderas volcánicas rellenas posteriormente, intrusiones de diques localizados en rifts y diferenciaciones magmáticas en los magmas emitidos (Custodio y Cabrera, 2008).

En el caso de Canarias, cada isla es un único conjunto hidrogeológico complejo que se

recarga por la infiltración de la lluvia en las zonas altas y de medianías y descarga al mar por la costa, con algunas salidas a barrancos en forma de manantiales en aquellas zonas donde afloran materiales menos permeables. El nivel de saturación (freático) puede alcanzar cotas muy altas en el interior de las islas, donde existe un “núcleo” de muy baja permeabilidad conformado por cuerpos intrusivos, áreas de roca muy alterada y enjambres de diques. El papel de los diques es variable dependiendo de su permeabilidad respecto a la roca de caja, por lo que a veces pueden actuar de barrera impermeable y otras de vías preferentes de flujo (Custodio, 1978, 1989, 2004).

Los aspectos de las relaciones agua dulce-agua salada en las regiones costeras de los terrenos volcánicos responden a la estructura y composición de los materiales que los conforman, según las características enumeradas anteriormente. Así, en islas volcánicas, es usual que los procesos de intrusión marina se frenen si el núcleo impermeable está situado en la zona costera. Sin embargo, cuando en la costa se sitúan materiales volcánicos más jóvenes (y normalmente, más permeables), a veces interstratificados con formaciones sedimentarias, la explotación de los acuíferos costeros pueden producir conos salinos y desplazamientos laterales de la cuña de agua marina (Custodio, 2010).

La isla de Gran Canaria, con una superficie de 1560 km², presenta una morfología circular en planta con un perfil transversal cónico coronado por una altitud máxima de 1957 m. Dentro de este esquema, la costa este de la isla (Figura 1) constituye una plataforma con pendientes menores de 5%, con costas bajas, sin acantilados de gran envergadura en las que alternan playas con cantiles y salientes rocosos ligados a la actividad volcánica reciente hacia el norte. Hacia el sur, se sitúan materiales sedimentarios detríticos de diverso origen, como los conglomerados de delta de barrancos o campos de dunas costeras. En esta plataforma se encajan numerosos barrancos y barranquillos que desaguan hacia el este.

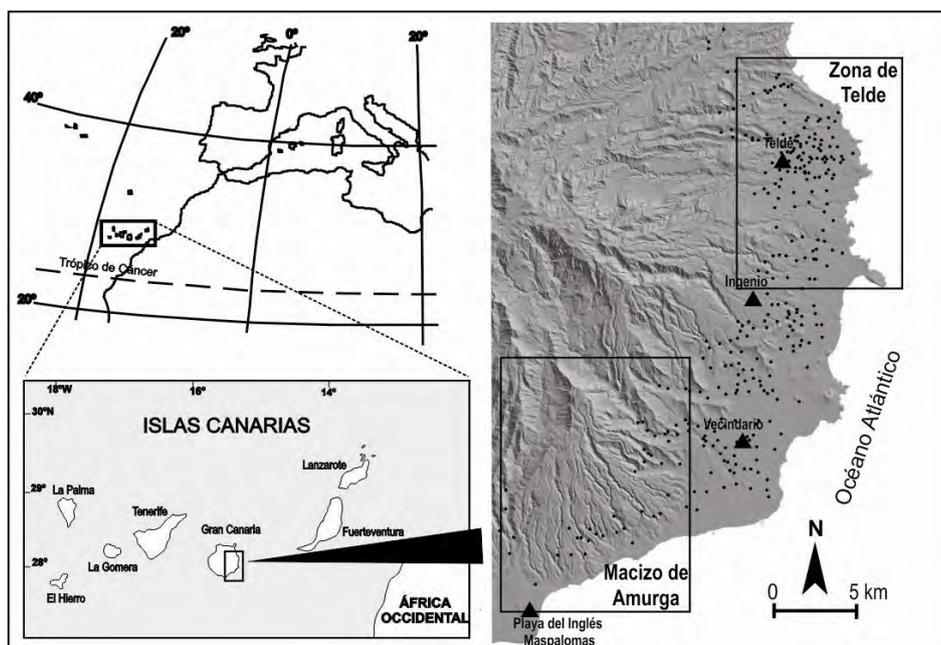


Figura 1. Localización y fisiografía del este de Gran Canaria. Se indican los pozos y sondeos situados por debajo de la cota 300, así como la situación de las zonas de estudio de las tesis doctorales realizadas en Amurga (Gasparini, 1989) y en Telde (Cabrera, 1995).

La isla presenta una gran variedad climática, condicionada por su posición en la dinámica general y por otro lado por su orografía. El clima de la isla puede dividirse en húmedo y fresco en la fachada norte y seco y cálido en la fachada sur, debido a la existencia de los vientos alisios, de componente norte. La zona de estudio se encuentra situada mayoritariamente en la zona seca de la isla, con temperaturas que oscilan entre los 22° y los 26° C, una precipitación media que no supera los 150 mm/año en la costa y la influencia casi permanente del alisio. Estos condicionantes hacen que esta área ofrezca una extrema aridez, con suelos encalichados y pedregosos.

La zona ha sido objeto de abundantes estudios hidrogeológicos desde la década de 1970 a la actualidad, partiendo de los inventarios de puntos de agua que se llevaron a cabo dentro del Proyecto Canarias SPA-15 (1974). Entre 1979 y 1990, el IGME instauró una red de control de acuíferos costeros dentro del plan de gestión y conservación de acuíferos (PGCA) (IGME, 1983; La Moneda y Olmedo, 1988, ITGE, 1990), con toma de datos bianuales.

El Macizo de Amurga (Figura 1) fue objeto de una tesis doctoral que contempló fundamentalmente el problema de la salinización del agua mediante estudios isotópicos (Gasparini, 1989; Gasparini et al., 1990). Esta zona fue objeto posteriormente de una tesis de ingeniería que consideraba el comportamiento de los pozos profundos (Custodio-Ayala, 1999; Custodio-Ayala y Custodio, 2001). Esta área ha sido posteriormente objeto de otra tesis doctoral (Carrascosa Chisvert, 2006), en la que se han manejado un gran número de datos hidroquímicos del agua subterránea en la zona (entre 1994 y 2004); se ha estudiado la evolución temporal y las reacciones roca-agua, y se han realizado determinaciones de algunos compuestos orgánicos.

La zona de Telde (Figura 1) fue objeto de otra tesis doctoral que caracterizó geológicamente un complejo sistema acuífero y su funcionamiento hidrogeológico e hidrogeoquímico (Cabrera, 1995; Cabrera y Custodio, 2003; 1998; 2004). Posteriormente, el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria llevó a cabo un inventario de puntos de agua entre 1997 y 1998, año en que comenzó un proyecto desarrollado por el IGME mediante convenio con el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria titulado “Estudio hidrogeológico para la definición de áreas sobreexplotadas o en riesgo de sobreexplotación en la zona baja del este de Gran Canaria” (IGME, 2003). Este proyecto recogió todos los datos obtenidos y concluyó con un modelo de simulación de la zona destinado a plantear diversos escenarios de explotación del acuífero para paliar la intrusión marina existente. Por último, la zona ha sido objeto de un proyecto fin de carrera que ha analizado la evolución hidrogeoquímica del acuífero debido a la intrusión marina con el efecto sobreimpuesto del aporte de CO₂ de origen magmático (Hernández, 2009; Hernández et al, 2010).

El presente trabajo resume los trabajos realizados en este acuífero a lo largo de los años. Hay que resaltar la importante contribución que el Dr. Custodio ha tenido en la mayor parte de los mismos, dirigiendo y codirigiendo las dos tesis doctorales realizadas y colaborando en mayor o menor medida en la mayoría del resto.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

Los materiales presentes en la zona abarcan desde Basaltos Miocenos (que constituyen en substrato), hasta recubrimientos sedimentarios cuaternarios. Estos basaltos afloran en la parte

central de la zona, pero no se han encontrado bajo el Macizo de Amurga (de composición fonolítica) en las perforaciones que se han realizado hasta una cota de 250 m bajo el nivel del mar. Tampoco aparecen en los pozos presentes en la zona de Telde. Los materiales del Grupo Roque Nublo se encauzaron por los barrancos existentes cuando el Estratovolcán del mismo nombre entró en erupción, por lo que su localización en profundidad está restringida a estos paleovalles. La Figura 2 muestra el mapa geológico de la zona (indicando las edades de las formaciones presentes) así como la geología en profundidad de la zona de Telde y un corte simplificado paralelo a la costa hasta las estribaciones del Macizo de Amurga.

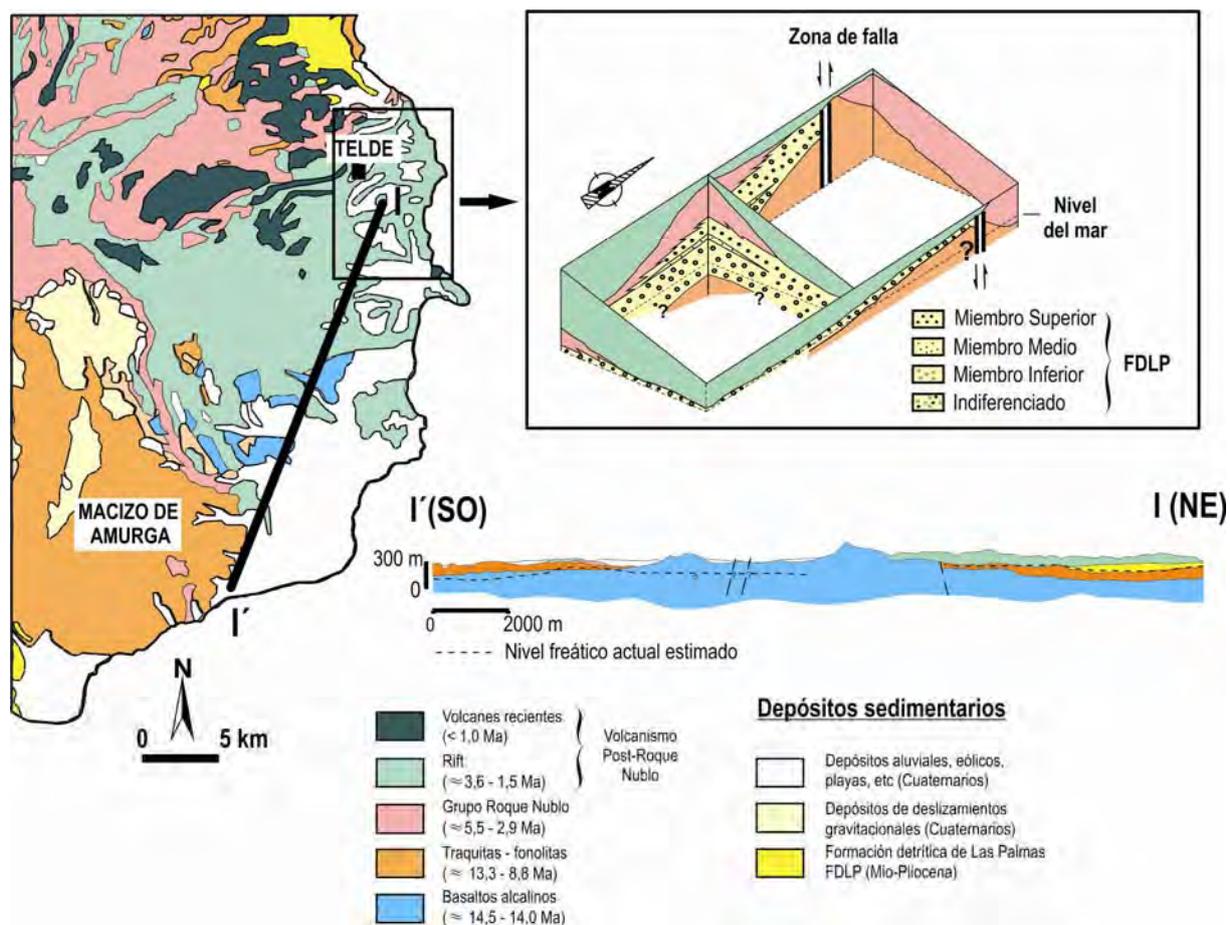


Figura 2. Mapa geológico simplificado del Este de Gran Canaria. Se muestra un bloque diagrama interpretativo de la geología en profundidad de la zona de Telde (Cabrera y Custodio, 2004) y un corte geológico realizado a lo largo de la costa.

Hay que destacar la existencia de materiales detríticos en profundidad en la zona de Telde. Se trata de sedimentos pertenecientes a la Formación Detrítica de Las Palmas, que afloran hacia el NE de Gran Canaria y la sedimentología de los mismos permite distinguir un Miembro Inferior conformado por conglomerados aluviales, un Miembro Medio de origen marino y un Miembro Superior que representa facies de transición entre piroclastos y sedimentos aluviales (Cabrera, 1995). La situación de estos sedimentos en profundidad apunta a la existencia de una zona de falla hacia el norte de Telde, dada la diferencia de cotas existente entre los materiales aflorantes al norte y en el subsuelo de Telde.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La explotación en la zona comenzó a finales del siglo XIX y tuvo un desarrollo notable entre 1940 y 1970, existiendo en la actualidad unas 720 captaciones emboquilladas por debajo de la cota 300 (la mayoría pozos canarios de 3 m de diámetro excavados a mano), con una profundidad media de unos 140 m. Desde los años 1980 a la actualidad se ha producido un decrecimiento de la explotación con el consiguiente abandono de pozos. Ello ha sido debido fundamentalmente al empeoramiento de la calidad del agua y ha dado lugar a la instalación de unas 50 desaladoras de agua de pozo. Los materiales que se explotan actualmente son fundamentalmente la Formación Fonolítica y los Basaltos Miocenos (con permeabilidades de 0.10-0.50 y 0.05-0.50 m/d respectivamente). En Telde se explotaban en un principio los materiales Roque Nublo, post-Roque Nublo y la FDLP (alcanzando permeabilidades de hasta 8 m/d), que han quedado por encima de la zona saturada.

El flujo del agua subterránea en la zona de estudio se produce de cumbre a costa, según se desprende de las piezometrías realizadas en los momentos en que hay mayor número de datos: 1971 (Figura 3a) y 1991 (Figura 3b). Esta figura refleja el desarrollo generalizado de conos de bombeo por debajo de la cota 300 entre 1971 y 1991. No existe suficiente número de datos a partir de este año para elaborar una piezometría fiable de toda la zona, aunque los datos de 1997 y 1999 (IGME, 2003) apuntan a que no hay cambios notables respecto a 1991.

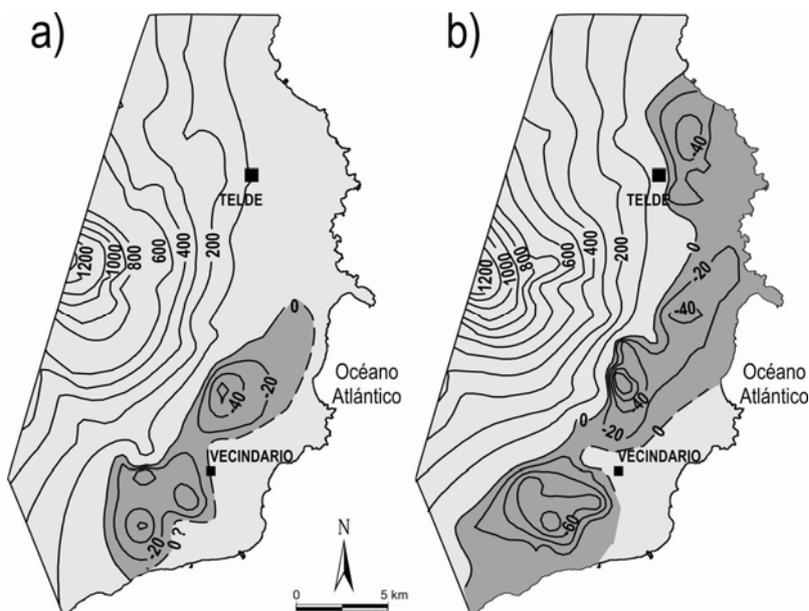


Figura 3. Piezometrías de la zona para 1971 (a) y 1991 (b). Se destacan las zonas donde se sitúan los conos de bombeo (modificado de Hernández, 2009).

EVOLUCIÓN HIDROGEOQUÍMICA

Las aguas subterráneas en las cumbres presentan contenidos en Cl⁻ menores de 30 mg/L, incrementándose la salinidad hacia la costa debido a factores como la intrusión marina y la recarga de aguas salinas en las zonas más áridas (como Amurga). Además, la franja costera ha sufrido una progresiva salinización del agua subterránea según se muestra en la Figura 4.

También existen otros factores que afectan a la química del agua, como el aporte de CO₂ endógeno en algunas zonas y la presencia de retornos de riego (existen zonas con contenidos en NO₃⁻ que superan los 300 mg/L en la zona de Telde).

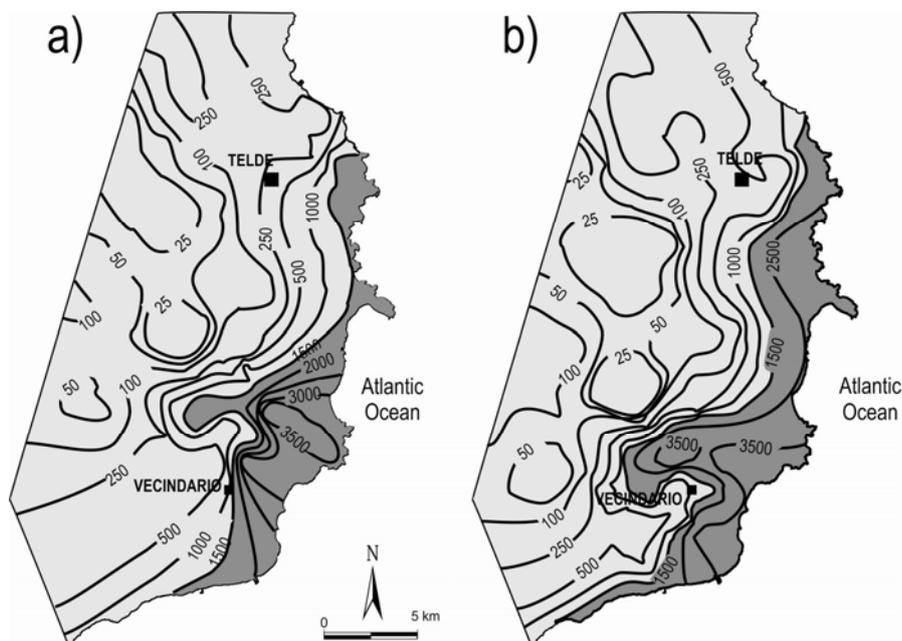


Figura 4. Mapas de isocontenidos en Cl⁻(mg/L) de la zona para 1971 (a) y 1991 (b) (modificado de Hernández, 2009).

La presencia de diversos tipos de materiales así como la superposición de fenómenos modificadores da lugar a una gran variedad de familias hidrogeoquímicas en las aguas subterráneas de la zona. Existe una correlación razonablemente buena entre las concentraciones de Na, K, Ca y Mg de la roca y el agua, de forma que existe un enriquecimiento relativo del agua en Na y K frente al Ca y Mg en aquellas captaciones que explotan la Formación Fonolítica frente a las que explotan los Basaltos (Miocenos, Roque Nublo y Post-Roque Nublo). El aporte de CO₂ endógeno da lugar a aguas bicarbonatadas magnésicas si explotan los Basaltos Miocenos o bicarbonatadas sódicas si sacan agua de las Fonolitas. En la franja costera, las aguas son clorurada-sulfatadas sódicas con altas salinidades. Estas aguas sufren un claro intercambio catiónico según aumenta la salinidad, y por tanto el porcentaje de agua de mar en la mezcla (Hernández, 2009) (Figura 5).

En el Macizo de Amurga, los sondeos existentes explotan agua salina, con una conductividad eléctrica media de 5300 μ S/cm (bastante homogénea) y contenidos en cloruros que alcanzan los 1.5 g/L. La intrusión marina en esta zona debe ser descartada debido a las condiciones hidrodinámicas del acuífero y a la inexistencia de estratificación salina en los sondeos. Asimismo, las relaciones rSO_4/rCl y rNa/rCl no son congruentes con la existencia de cambios de bases en caso de que fueran aguas marinas relictas que están siendo desplazadas por agua dulce actual. Así, la única explicación posible para la salinidad de las aguas subterráneas es el efecto climático.

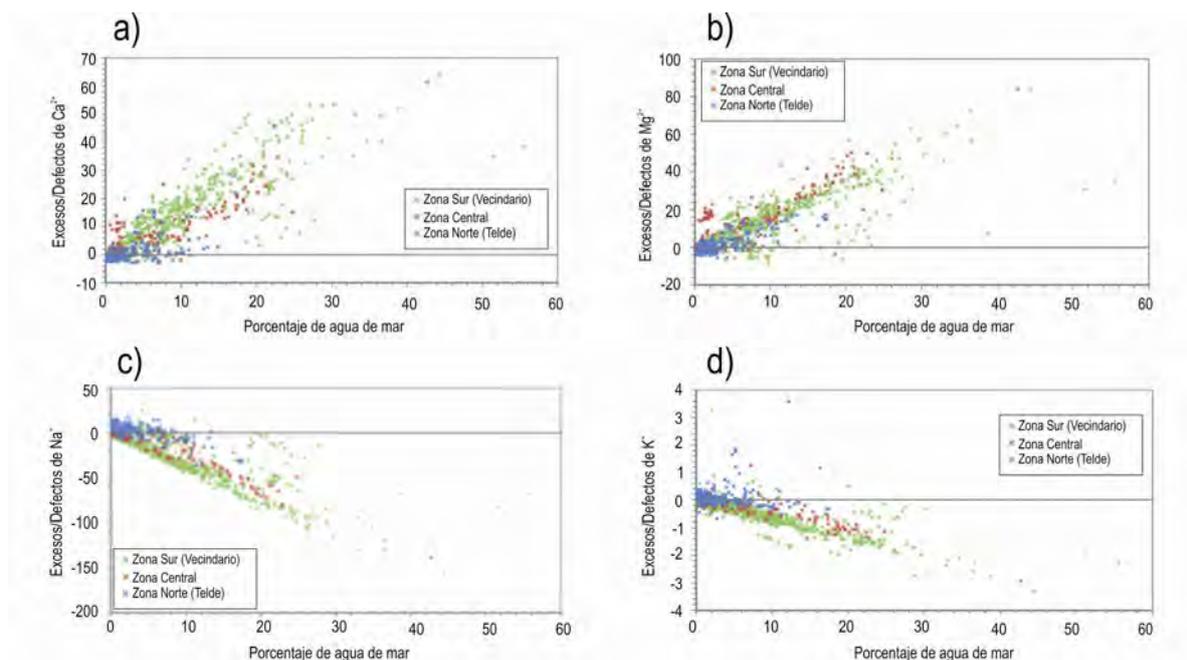


Figura 5. Relación entre los excesos/defectos en Ca^{2+} (a), Mg^{2+} (b), Na^+ (c) y K^+ (d) y el porcentaje de agua de mar para las muestras de las captaciones afectadas por la intrusión marina en zona (modificado de Hernández, 2009).

Teniendo en cuenta los datos de cantidad y salinidad de la precipitación de la zona, el agua de recarga tiene un contenido en Cl^- que varía entre los 200 y los 500 mg/L, evidenciando un importante proceso de evaporación antes de la recarga (Custodio, 1990). Este proceso de evaporación queda patente en los gráficos δO^{18} - δD , en los que las aguas subterráneas se disponen según una línea con una pendiente típica de evaporación respecto a la línea meteórica local (Gasparini 1989; Gasparini et al, 1990). Las edades de estas aguas fueron determinadas mediante C^{14} corregido con C^{13} entre 10000 y 12000 años, incluyen el tránsito por la zona no saturada, lo que ha sido interpretado debido al largo tiempo de retención en una zona no saturada muy espesa y un largo tiempo de residencia en el flujo por el acuífero, teniendo en cuenta que la recarga estimada en el ápice del Macizo se estima en unos 11 mm/año y en la costa es igual a 0 (Custodio, 1993).

CONCLUSIONES

El acuífero costero del este de Gran Canaria ha sido objeto de numerosos trabajos a lo largo del tiempo con objeto de determinar el origen de la salinidad del agua subterránea. La caracterización geológica, hidrodinámica e hidrogeoquímica ha permitido determinar el origen de la salinidad por zonas. Así, a la intrusión marina actual en las zonas llanas y la aridificación de la recarga en Amurga se suman a procesos de aportes de CO_2 endógeno y retornos de riego en algunas zonas.

En el estudio llevado a cabo para estudiar la viabilidad de ser declarado sobreexplotado según la Ley de Aguas de Canarias (IGME, 2003), se delimitaron aquellas zonas en las que la salinidad se atribuía directamente a la intrusión marina. Específicamente se marcaron 123 captaciones situadas en la franja costera como afectadas por este proceso. Los criterios

utilizados fueron: captaciones con cotas de fondo negativas y contenidos en Cl^- por encima de 300 mg/L (o una tendencia creciente de este ión en el tiempo). También se tuvo en cuenta los valores $r\text{Cl}/r\text{HCO}$ y $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ y las concentraciones en sulfatos y nitratos. En este estudio se elaboró un modelo numérico de flujo que permitió delimitar las zonas con intrusión marina (coincidentes con los criterios anteriores) y las zonas sobreexplotadas con riesgo de intrusión, contiguas a las anteriores. Dentro de los objetivos de programa de control y estado de las masas de agua en cumplimiento de la DMA (DGA, 2006), se han establecido dos programas de vigilancia y de control operativo de las masas de agua subterránea, existiendo 16 puntos de control en los que se toman datos de niveles y de química del agua de forma anual, lo que es manifiestamente insuficiente para lograr un mejor conocimiento de la evolución del acuífero a la escala necesaria.

A fecha de hoy, no se ha llevado a cabo la declaración de sobreexplotación de la zona, posiblemente debido a criterios técnicos (complejidad hidrogeológica de la zona y falta de información sistemática en los últimos años que esté siendo objeto de interpretación) y a criterios socioeconómicos. Es de destacar que la gestión de los acuíferos costeros es muy complicada y más en una zona donde se superponen varios efectos responsables de la salinización, como es el caso. La mejora de las condiciones hidrogeológicas en la zona debería venir de una adecuada planificación de la explotación del acuífero, para lo que es necesario el desarrollo de tomas de datos específicas continuadas en el tiempo y su interpretación, así como el desarrollo de una modelización numérica validada que sea constantemente alimentada con datos fiables. Todo ello sería mucho más viable si se llevara a cabo con la intervención de los usuarios del acuífero mediante la creación de una comunidad de usuarios del acuífero, mecanismo que ya da resultados positivos en otras zonas de España.

AGRADECIMIENTOS

Vaya este trabajo como agradecimiento a la labor del Dr. Emilio Custodio en Canarias. Esta labor ha sido y sigue siendo ingente, mostrando siempre una notable generosidad tanto en sus ideas como en su enseñanza a los grupos que seguimos trabajando en las islas.

REFERENCIAS

- Cabrera, M.C. (1995). *Caracterización y funcionamiento hidrogeológico del acuífero costero de Telde (Gran Canaria)*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca. 363 pp. + Anejos.
- Cabrera, M.C. y Custodio, E. (2003). *Hidrogeoquímica del acuífero costero de la Ciudad de Telde (Gran Canaria)*. Simposio sobre el agua y la ciudad sostenible: Hidrogeología Urbana. Ed. AIH-Grupo Español. 303-311.
- Cabrera, M.C. y Custodio, E. (1998). *La contaminación por retornos de riego en la zona de Telde (Gran Canaria)*. En Jornadas sobre la Contaminación de las Aguas Subterráneas: un Problema Pendiente. Asoc.Intern. Hidrogeólogos Grupo Español: 81-88.
- Cabrera, M.C. y Custodio, E. (2004). *Groundwater flow in a volcanic-sedimentary coastal aquifer: Telde area, Gran Canaria, Canary Islands, Spain*. Hydrogeology Journal, 12, 305-320.
- Carrascosa Chisvert, M.D. (2006). *Estudio de las aguas subterráneas desde el punto de vista físico-químico y orgánico del acuífero de Amurga (Sur de Gran Canaria)*. Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. <http://acceda.ulpgc.es/handle/10553/2233>

- Custodio, E. (1978). *Geohidrología de terrenos e islas volcánicas*. CEDEX, Publ. 128, Madrid: 1-303.
- Custodio, E. (1989). *Groundwater characteristics and problems in volcanic rock terrains*. En: Isotope techniques on the study of the hydrology of fractured and fissured rocks. Agencia Internacional de la Energía Atómica, STI/PUB 790, Vienna, 87-137.
- Custodio, E. (1990). *Saline groundwater in the Canary Islands (Spain) resulting from aridity*. En: Paepe et al. (eds.): Greenhouse effect, sea level and drought NATO ASI Series C: mathematical and physical sciences, 325. Reidel, Dordrecht, 593-618.
- Custodio, E. (1993). *Coastal Aquifer Salinisation as a Consequence of Aridity: The Case of Amurga Phonolitic Massif, Gran Canaria Island*. Study and Modelling of Salt Water Intrusion. CIMNE-UPC, Barcelona, 81-98.
- Custodio E (2004) *Hydrogeology of volcanic rocks*. In: Groundwater studies: an international guide for hydrogeological investigations. IHP-VI Series on Groundwater, 3. UNESCO, Paris, pp 395-425
- Custodio, E. (2010). *Coastal aquifers of Europe: an overview*. Hydrogeology Journal, 18, 269-280.
- Custodio, E. (2007). *Groundwater in volcanic hard rocks*. En: *Groundwater in fractured rocks*. (J. Krásný and J.M. Sharp Jr., eds.). Selected Papers no. 9. Intern. Assoc. Hydrogeologists. Taylor & Francis, London: 95-108.
- Custodio, E. y Cabrera, M.C. (2008). *Síntesis de la hidrogeología de las Islas Canarias*. Geo-Temas 10, 785-788.
- Custodio-Ayala, J. (1999). Estudio de las aguas subterráneas del Macizo de Amurga y Barranco de Fatuga (sur de Gran Canaria). Tesis Ingeniería. ETSI Caminos, Canales y Puertos, Barcelona: 1-107.
- Custodio-Ayala, J. y Custodio, E. (2001). *Hidrogeoquímica isotópica del macizo fonolítico de Amurga (SE de la Isla de Gran Canaria)*. Las Caras del Agua Subterránea (A. Medina y J. Carrera, eds.). IGME. Temas Aguas Subterráneas. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Número 1/2001. Tomo I: 461-468.
- Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias (DGA) (2006). Programa de control de las aguas subterráneas. Directiva Marco del Agua. 96 pp. Descargable desde <http://www.aguasgrancanaria.com/>
- Gasparini, A. (1989). *Hydrochimie et geochimie isotopique de circulations souterraines en milieu volcanique sous climat semi-aride (Grande Canarie, Iles Canaries)*. Tesis Doctoral; Univ. Paris XI, 261 pp.
- Gasparini, A.; Custodio, E.; Fontes, J.Ch.; Jiménez, J. y Núñez, J.A. (1990). Exemple d'étude géochimique et isotopique de circulations aquifères en terrain volcanique sous climat semi-aride (Amurga, Gran Canaria, îles Canaries). Journal of Hydrology. 114, 61-91.
- Hernández, J. (2009). *Caracterización hidrogeoquímica y evolución temporal de la intrusión marina y otros procesos de salinización en el acuífero volcánico-sedimentario del Este de Gran Canaria*. Trabajo de Fin de Carrera de Ingeniería Geológica. Universidad de Alicante.
- Hernández, J.; Boluda-Botella, N.; Cabrera, M.C. y Custodio, E. (2010). *Temporal evolution of marine intrusion and other salinization processes in the volcanic-sedimentary aquifer of the east of Gran Canaria (Canary Islands, Spain)*. Proceedings SWIM21, Azores, Portugal, 103-104.
- IGME (1983). *Control piezométrico y de calidad de las aguas subterráneas en los acuíferos costeros de la isla de Gran Canaria. Análisis del periodo 1979-1983*. Ed. IGME, colección informe. 76 pp.
- IGTE (1990). *Base de datos de puntos de aguas de Canarias y análisis de las redes de control de acuíferos. Tomo II: Análisis de las redes de piezometría, calidad e hidrometría en el Archipiélago Canario*. Informe sin publicar. 78 pp.
- IGME (2003). *Estudio hidrogeológico para la definición de áreas sobreexplotadas o en riesgo de sobreexplotación en la zona baja del Este de Gran Canaria*. Informe interno sin publicar. 19 Tomos.

La Moneda, E. y Olmedo, R. (1988). *Intrusión marina en acuíferos de Canarias*. TIAC'88, 621-633.

SPA-15 (1974): *Estudio científico de los recursos de agua de las Islas Canarias* (D. Fernandopullé, S. Sáenz-Oiza, R. Heras, A. Sahuquillo, E. Custodio, eds.) UNESCO-DG Obras Hidráulicas. Las Palmas de Gran Canaria/Madrid. 4 Vols.