

COMUNICACIÓN: HIDROGEOQUÍMICA DEL ACUÍFERO COSTERO DE LA CIUDAD DE TELDE (GRAN CANARIA)

M^a del Carmen CABRERA* y Emilio CUSTODIO**,***

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

(**) Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. e.custodio@igme.es

(***) Departamento de Ingeniería del Terreno. Universidad Politécnica de Cataluña. Gran Capitán, s/n. 08034 Barcelona. emilio.custodio@upc.es

RESUMEN

La composición química del agua subterránea del acuífero de Telde y su entorno semiurbano depende de los materiales explotados así como de los diversos fenómenos externos por adición de retornos de riego, aguas marinas en la franja costera y aguas enriquecidas en CO₂ de origen volcánico al sur. El estudio de la evolución temporal de la química del agua entre los años 1970 y principios de la década de 1990 muestra la existencia de una progresiva salinización del agua subterránea que responde a causas complejas. Por un lado está ligada a una reprofundización progresiva de las captaciones en este lapso de tiempo dando lugar a un cambio en las formaciones geológicas explotadas. Por otro lado afectan los cambios locales en el uso del territorio, que ha pasado de ser eminentemente agrícola a urbano (residencial e industrial). Además, el abastecimiento local de agua ha sufrido un cambio importante, pasando de estar basado en aguas subterráneas a depender casi exclusivamente de la desalinización de agua de mar. El acuífero puede y debería seguir siendo un elemento importante en el sistema de abastecimiento, tanto en cantidad como en seguridad ante emergencias.

Palabras Clave: *Agua subterránea, urbanización, tipos de agua, acuíferos volcánicos.*

INTRODUCCIÓN

El área considerada está situada al este de Gran Canaria, limitada por el Barranco de Las Goteras al norte y de Aguatona al sur. Tiene una superficie de 75,5 km² y se extiende desde la línea de costa hasta una altitud de unos 200 m.s.n.m. (Figura 1). Con una precipitación media anual de 150 mm/año, una temperatura media de 20°C, una alta insolación y el predominio de los vientos del NE, presenta una acusada aridez, con presencia de suelos encalichados y pedregosos.

Debido a su orografía llana y a la abundancia de agua superficial ocasional procedente de la cumbre, que discurría por los barrancos que la atraviesan, la zona ha estado tradicionalmente dedicada a la agricultura desde los tiempos de la colonización, sucediéndose distintos monocultivos a través del tiempo: caña de azúcar, vid, cochinilla, plátano, y en los últimos tiempos cultivos forzados para exportación. Los

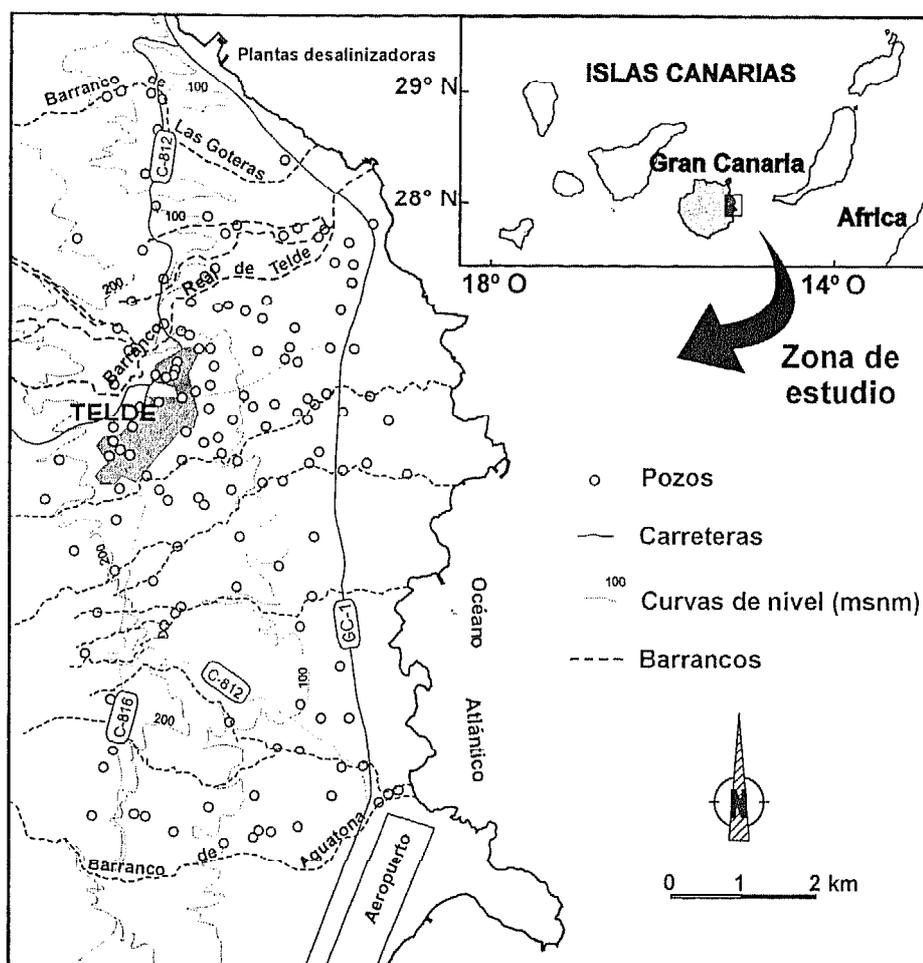


Figura 1. Mapa de situación del área de estudio. Se muestra la topografía, los barrancos y la situación de los pozos existentes. Se señala el casco antiguo de Telde (sombreado) aunque actualmente una buena parte de la superficie de la zona es urbana y periurbana.

sistemas de riego también han ido cambiando: mientras la platanera se regaba a manta, utilizándose el estiércol como abono, el pepino en invernadero (años 1970-75) se cultivaba con riego por pocetas utilizando gran cantidad de abonos nitrogenados. Actualmente los riegos localizados están mucho más generalizados: goteo para el tomate, y microaspersión y goteo para la naranja, con abonados mucho más racionales. La utilización de aguas traídas desde manantiales de zonas altas para el regadío se mantuvo hasta el siglo XIX, comenzándose a finales de dicho siglo la explotación de aguas subterráneas por medio de pozos profundos.

Desde la década de 1970 a la actualidad la superficie cultivada ha ido disminuyendo a favor del espacio periurbano edificado, en paralelo con un importante aumento de la población. En la actualidad el municipio cuenta con más de 90 000 habitantes, de los que más del 85% vive en el área aquí considerada, que presenta una densidad de población alta de aproximadamente 1000 hab/km². En los últimos años se han implantado en el área 6 zonas industriales dedicadas a sectores como la industria química, el mueble, la maquinaria industrial, etc., estando previsto en la planificación urbana la implantación de más zonas dedicadas a estos fines.

Paralelamente a esta evolución de la población, la zona ha experimentado un aumento en la demanda de agua para abastecimiento que ha sido cubierta mediante agua de mar desalinizada. En la actualidad, el agua subterránea no es utilizada para abastecimiento sino de forma marginal, aunque hasta hace pocos

años constituía la fuente principal de agua para este fin, de manera que el Ayuntamiento de Telde debía comprar el agua a los propietarios de las captaciones, estando sometido a los cambios de precio que se producían en el mercado local del agua.

La evolución hidroquímica del agua subterránea en el área muestra cómo el acuífero refleja esta evolución en la demanda y en el uso del agua. Así, la reprofundización de las captaciones que tuvo lugar hasta mediados de la década de 1990 ha provocado que se explote un agua cada vez más salina, dando lugar a la instalación local de una docena de plantas desalinizadoras de agua salobre de pozo para regadío. El uso de agua para riego en la zona dio lugar a una importante contaminación por nitratos, que parece estar sufriendo un retroceso en los últimos años a medida que disminuye la superficie cultivada (CABRERA y CUSTODIO, 1998).

Como antecedentes en cuanto al conocimiento hidrogeológico de la isla cabe destacar los proyectos Canarias SPA-15 (1975) y MAC-21 (1980, inédito). Varios trabajos generales referidos a las Islas Canarias también incluyen información que afecta al área considerada (CUSTODIO, 1989; 1990). Asimismo el área formó parte de la red de control del IGME entre 1985 y 1990, dando lugar a una gran cantidad de datos piezométricos e hidroquímicos. El estudio detallado de la hidrogeología del área constituye la tesis doctoral de la primera de los autores (CABRERA, 1995), bajo la dirección del segundo. En la actualidad, el IGME, en convenio con el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, está llevando a cabo un estudio sobre toda la zona este de Gran Canaria (incluyendo el área de estudio) con el fin de analizar la situación de explotación intensiva de los acuíferos de ese sector insular.

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

El modelo de flujo de la isla se puede esquematizar como un cuerpo único de agua, aunque estratificado y heterogéneo, en el que la recarga tiene lugar principalmente en las cumbres, con alturas de hasta cerca de 2000 m. La circulación se produce hacia la costa, con salidas intermedias en manantiales (hoy secos y substituidos por las extracciones de los pozos) y al mar, y descarga artificial por pozos (CUSTODIO y CABRERA, 2002). El flujo se produce preferentemente por los materiales más permeables próximos a la superficie (SPA-15, 1975). Dentro de ese esquema, el acuífero de Telde se sitúa en una zona de descarga de agua subterránea al mar, en la que la recarga es transferida fundamentalmente desde las áreas del centro de la isla.

La geología del área considerada es compleja, respondiendo a patrones típicos de áreas volcánicas con intercalaciones sedimentarias. De muro a techo los materiales que se encuentran en la zona son: lavas y flujos piroclásticos fonolíticos (Fm. Fonolítica) pertenecientes al Ciclo Magmático I; Formación Detrítica de Las Palmas (FDLP), representada en profundidad por sus tres Miembros; lavas y brechas del Ciclo Magmático II (Grupo Roque Nublo); y lavas y piroclastos basaníticos del Ciclo Magmático III (Basaltos Modernos).

La situación espacial de los puntos que explotan las diferentes formaciones permite distinguir 3 áreas: una al norte en la que se explota fundamentalmente la Fm. Fonolítica, aunque hay algunos puntos costeros que explotan los Basaltos Modernos; un área central en la que se explota fundamentalmente la FDLP, de forma aislada o conjuntamente con la Fm. Fonolítica; y una zona al sur en la que se explotan los Basaltos Modernos en la parte costera y los materiales del Grupo Roque Nublo a cotas altas (Figura 2) (CABRERA et al., 1992; CABRERA, 1995, CABRERA y CUSTODIO, 2003). En esta misma figura se han reflejado las zonas donde se concentran los pozos con caudales medios continuos equivalentes superiores a 1 Ls⁻¹. En

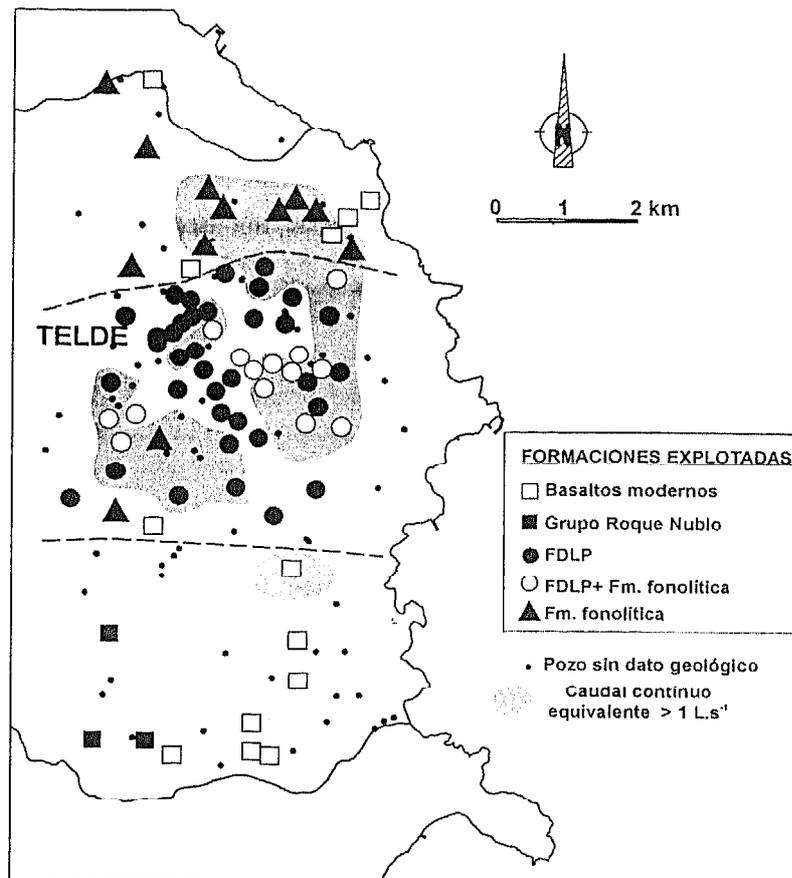


Figura 2. Formaciones explotadas por cada captación y captaciones con caudales medios continuos equivalentes $> 1 \text{ L.s}^{-1}$ (modificado de CABRERA y CUSTODIO, 2003).

primera aproximación se puede decir que los mayores caudales se obtienen en la zona central, asociados a los pozos que explotan la FDLP, sola o conjuntamente con la Fm. Fonolítica.

Existen en la zona 145 puntos de agua, de los cuales 88 están aún en funcionamiento (Figura 1). La mayoría son pozos de gran diámetro, con obras secundarias horizontales en el interior (galerías y catas) y/o verticales (sondeos de pequeño diámetro practicados en su fondo). Los pozos perforados mecánicamente son recientes, muchos de ellos de la década de 1990, realizados por el método de rotopercusión y con diámetros que varían entre 350 y 400 mm. La profundidad de las captaciones oscila entre 15 y 239 m, con un valor medio de 90 m.

El régimen de explotación de las captaciones es muy variable, existiendo desde pozos automatizados hasta los que son totalmente manuales. Los caudales de bombeo oscilan entre los 3 y los 50 L.s^{-1} , con un valor medio de 12 L.s^{-1} aunque los caudales medios diarios son menores ya que los sistemas de extracción no están optimizados respecto al caudal. Por ello se utiliza el caudal medio continuo equivalente, calculado a partir de los datos tomados en campo, mucho más indicativo de la explotación real de la captación.

Aún cuando en un principio los Basaltos Modernos situados a techo constituían el subacuífero principal, actualmente los niveles freáticos se sitúan en los materiales infrayacentes a causa del abatimiento freático que producen las extracciones. En buena parte del área considerada el nivel freático está a una profundidad entre 50 y 100 m.

CARACTERIZACIÓN DE LAS FAMILIAS HIDROGEOQUÍMICAS

El estudio hidrogeoquímico en la zona se ha basado en 480 análisis de agua, realizados entre 1970 y 1993. El examen detallado de esta información ha incluido, entre otras cosas, la diferenciación de varias familias de agua, lo que ha permitido correlacionarlas con los materiales de que proceden y caracterizar los procesos modificadores que pueden haber sufrido. La distribución espacial de estas familias se refleja en la Figura 3, que representa, mediante diagramas de Stiff modificados los análisis realizados en 1988.

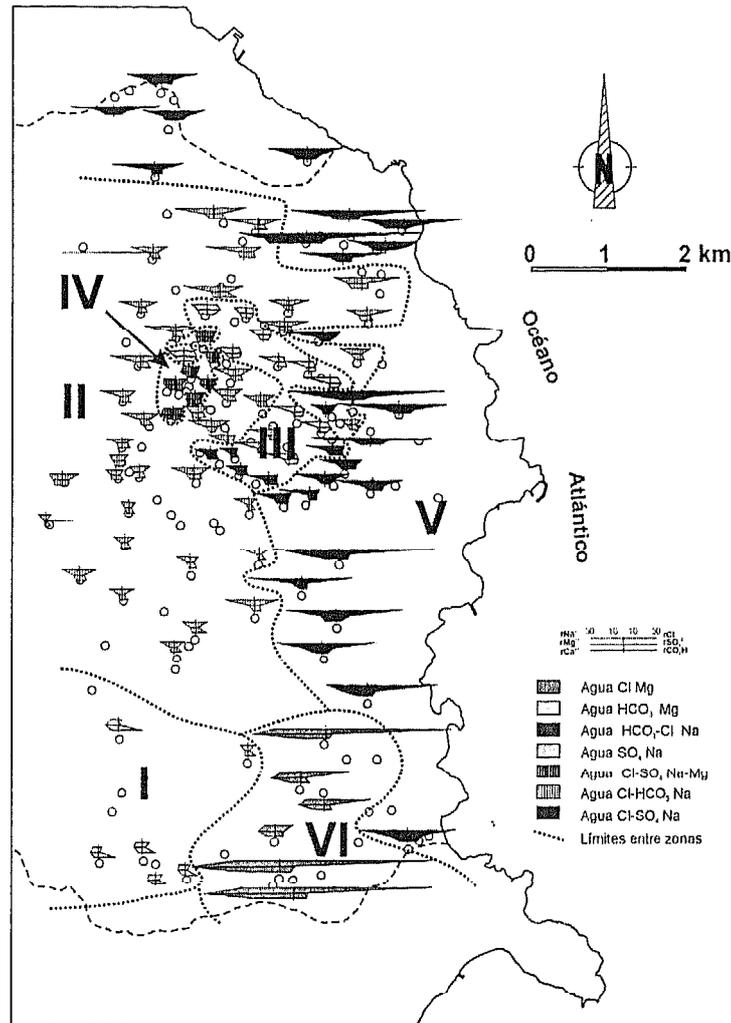


Figura 3. Mapa hidrogeoquímico del área de estudio con diagramas de Stiff modificados correspondientes a los análisis de 1988.

Las familias de agua que pueden diferenciarse se indican en la Tabla 1:

Es posible correlacionar algunos tipos de agua con las diferentes formaciones explotadas, de acuerdo con lo establecido para toda la isla de Gran Canaria (FERNANDOPULLÉ, 1974; CUSTODIO 1978). Existe una co-relación razonablemente buena entre las concentraciones de Na, K, Ca y Mg de la roca y el agua. Así, se observa 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 la Formación Basaltos Modernos o el Grupo Roque Nublo. El contenido en Cl es función del balance salino en el suelo y el de CO₃H de los procesos

| Zona | Tipo | CE(*) | Lugar (**) | Otras características |
|------|---------------------------------------|---------|-------------|---|
| I | CO ₃ H-Mg | 1,2-2,2 | Sur alto | CO ₂ volcánico |
| II | CO ₃ H-Cl ⁻ -Na | 1-2 | Centro alto | |
| III | SO ₄ -Na | 1,7-3 | Centro | alto exceso de Na; hasta 300 mg/LNO ₃ área muy cultivada |
| IV | Cl-SO ₄ -Na-Mg | 1,5-2,5 | Casco Telde | |
| V | Cl-SO ₄ -Na | 2-14,5 | Costero | |
| VI | Cl-Mg | 5-13 | Sur bajo | CO ₂ volcánico; Basaltos Modernos |
| VII | Cl-CO ₃ H-Na | 1,2-2,5 | distribuido | |

* CE = conductividad eléctrica en mS cm⁻¹

** dentro del área en consideración

Tabla 1. Familias de aguas (según CABRERA y CUSTODIO, 1996).

edáficos, o de la adición de CO₂ volcánico. A todo esto se suma la mezcla natural, y sobre todo inducida, con agua marina, la incorporación de excedentes de riego (salinidad, alto NO₃) de cuando el área era de agricultura de regadío intensivo, y la recarga que producen las fugas de la red de distribución de agua. Dicho abastecimiento se realizaba antiguamente combinando aguas locales y en parte traídas de las zonas altas aunque actualmente una gran proporción proviene de plantas de desalinización.

Las aguas propias del área en consideración son bicarbonatadas magnésicas si explotan los Basaltos Modernos bien aisladamente o bien junto a los materiales del Grupo Roque Nublo. Dichos materiales se sitúan al sur, por encima de la cota 100 m, en un área con aportes importantes de CO₂ de origen volcánico (Zona I; Figura 3). La Formación Fonolítica y la FDLP se caracterizan por un agua de tipo clorurado-bicarbonatado sódico, y están presentes en el centro y norte de la zona en aquellos puntos donde no se observan otros fenómenos (Zona II; Figura 3).

Las aguas de tipo sulfatado-sódico o bicarbonatada-clorurada sódica con altos contenidos en NO₃, situadas en la parte central de la zona (Zona III; Figura 3) apuntan a la existencia de un proceso de contaminación por retornos de riego, y el agua clorurada-sulfatada sódico-magnésica situada en el casco de la ciudad (Zona IV; Figura 3) podría relacionarse con las fugas del sistema de abastecimiento, que ascienden a 2,5 hm³/año (CABRERA, 1995; CABRERA y CUSTODIO, 2003). El agua clorurada-sulfatada sódica presente en la franja costera (Zona V) apunta a la existencia de cierto grado de mezcla con agua de mar. Por último, en la parte sur puede sospecharse la existencia de un efecto importante de aridificación de la recarga, dando lugar al agua clorurada magnésica (Zona VI; Figura 3), que puede responder también a procesos de mineralización a partir de la roca en un medio rico en CO₂ de origen volcánico.

EVOLUCIÓN TEMPORAL HIDROGEOQUÍMICA

En líneas generales puede hablarse de una salinización progresiva del agua subterránea en el área de estudio. Este hecho se refleja de la Figura 4, que muestra la evolución de las isóneas de conductividades eléctricas entre las campañas de muestreo de 1970 y 1992, y las zonas con diferentes comportamiento mediante sombreados. De la evolución de las isóneas se desprende que existe una salinización importante en las partes intermedias del acuífero, sin que haya un cambio notable en la franja costera. Sin embargo, este hecho puede no responder exactamente a la realidad y obedecer a la falta de datos en la franja costera por abandono de los pozos.

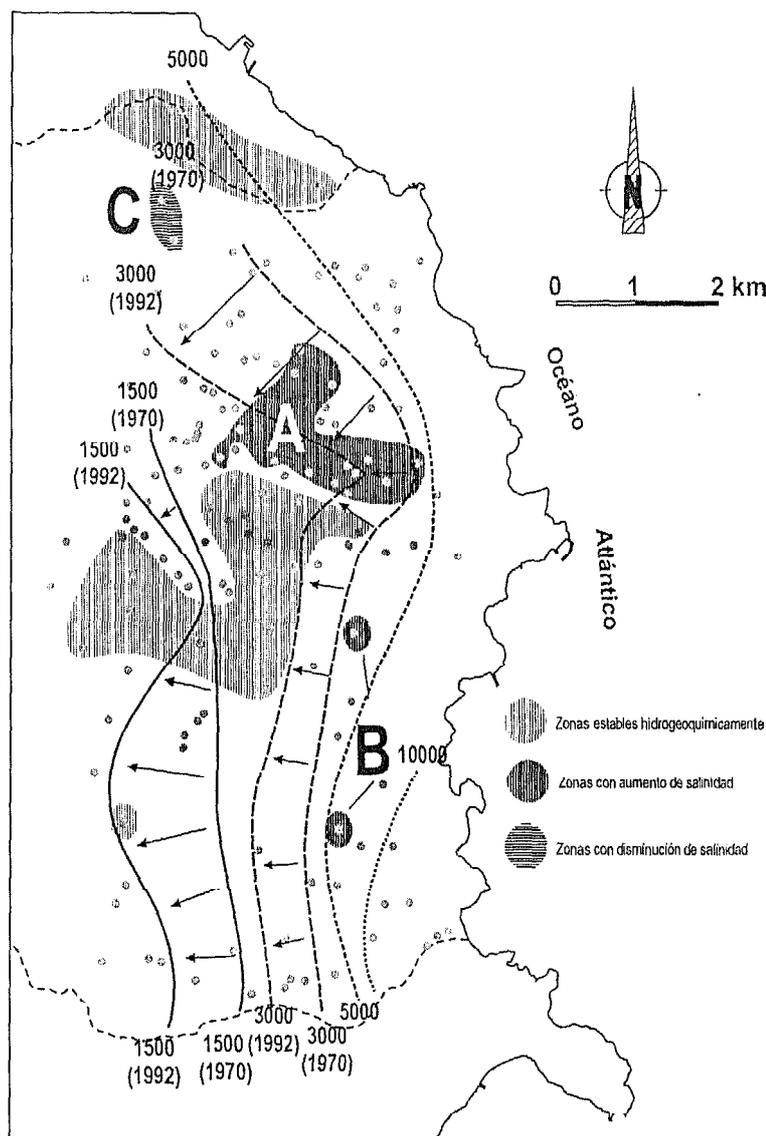


Figura 4. Distribución espacial de la conductividad eléctrica (en $\mu S\ cm^{-1}$) en el área de estudio y evolución temporal entre 1970 y 1988. Se indican mediante sombreado las zonas con diferente comportamiento hidrogeoquímico. Las flechas no indican desplazamiento de agua sino de la isoclinea.

El origen de dicha salinización puede obedecer a causas diversas o incluso a una combinación de las mismas. Para los retornos de riego y fugas muy distribuidas, en primera aproximación puede suponerse un desplazamiento vertical de tipo pistón por el medio no saturado. Así, para un espesor medio de 60 m, una humedad del 0,04 y una recarga antrópica de 50 mm/a, el tiempo de tránsito por el medio no saturado sería de 50 años aproximadamente. Eso quiere decir que buena parte de la contaminación agrícola (NO_3 , SO_4 , y K, entre otros) está aún en tránsito y que las fugas concentradas aceleran el tránsito. La existencia de reprofundizaciones en los pozos produce un cambio desde aguas $Cl-SO_4\ Na$ o aguas $SO_4\ Na$ hacia aguas $Cl-HCO_3\ Na$. Este cambio es paralelo al descenso en contenidos en sulfatos y nitratos, y apunta a la disminución de la proporción de retornos de riego en el total de agua extraída. Claramente, este es el caso de la zona situada al este del casco urbano (A en la Figura 4), en la que la reprofundización de las captaciones ha producido el traslado de la explotación desde la FDLP a la Fm. Fonolítica infrayacente, con un aumento de la temperatura del agua constatado de $1^\circ C$. La mejora puede ser transitoria, pues a

La instalación de desalinizadoras de agua de mar para abastecimiento del casco urbano ha hecho disminuir la presión sobre el acuífero. Sin embargo, parte del agua subterránea que se sigue extrayendo se utiliza en el abastecimiento de varios centros comerciales que se han implantado en el área y en el riego de un campo de golf que se ha instalado al norte de la misma, que se hace de forma directa si su calidad se mantiene o tras desalinización en caso contrario. El resto se utiliza en el regadío de algunos cultivos que perviven en áreas periurbanas, bien en el área costera o a cotas ligeramente superiores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabrera, M.C.; Núñez, J.A. y Custodio, E. (1992). *Contribución al conocimiento geológico del subsuelo de Telde (Gran Canaria, Islas Canarias)*. Actas III Congr. Geol. España y VIII Congr. Latinoam. Geol. 2: 256-260.
- 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. (1996). *Caracterización de las familias hidrogeoquímicas en el acuífero de Telde (Gran Canaria)*. Geogaceta, 20(6): 1295-1297.
- 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. (2003). *Groundwater flow in a volcanic-sedimentary coastal aquifer: Telde area, Gran Canaria, Canary Islands, Spain*. Hydrogeology Journal (in press).
- 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 /90, 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. y Cabrera, M.C. (2002). *¿Cómo convivir con la escasez de agua?. El caso de las Islas Canarias*. Bol. Geol. y Min., Madrid. 113 (3):243-258.
- Fernandopullé, D. (1974). *Clasificación química del agua subterránea y factores que influyen hidroquímicamente en la Isla de Gran Canaria*. Simp. Int. Hidro. Terr. Volc., Lanzarote, CEDEX-CEH, Madrid: 529-559.
- MAC-21 (1980). *Proyecto de Planificación y explotación de los recursos de agua en el Archipiélago Canario*. Comisión interministerial Coordinadora de las actuaciones del Estado en Materia de Agua en las Islas Canarias. Inédito.
- SPA-15 (1975). *Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515)*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección Gral. de Obras Hidráulicas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. UNESCO. Ed: Dirección General de Obras Hidráulicas-UNESCO. Madrid. 4 vols.

medida que la reserva de agua en la Fm. Fonolítica se consume será reemplazada por agua superior de la FDLP. En otros casos, la salinización puede atribuirse a la existencia de conos salinos ascensionales motivados por una explotación importante en pozos determinados (B en la Figura 4), que pueden movilizar una fracción de aguas profundas o fuentes locales de intrusión marina por niveles fisurados, aunque el mecanismo de detalle queda aún por esclarecer.

La disminución salina observada en la zona C (Figura 4) se debe a un descenso en la extracción, que posiblemente aminora los efectos anteriores.

Se ha constatado como hecho generalizado que tras el aumento de salinidad ligado a un aumento de la extracción, se produce un parón en la explotación porque la calidad del agua se hace inadecuada para los usos a que estaban destinadas. Sin embargo la salinización ha dejado de ser un problema para la explotación en los últimos años, debido a la instalación de desalinizadoras de agua de pozo mediante osmosis inversa, que tratan el agua de una o varias captaciones. En la actualidad existen una docena de desalinizadoras en la zona de estudio.

Se observan dos zonas estables hidrogeoquímicamente: una situada al norte de la zona de estudio donde la extracción es escasa y no han variado las condiciones con el tiempo, y otra zona situada al sur del casco urbano. En esta última se está explotando fundamentalmente la FDLP, a veces de manera conjunta con las fonolitas, y mantiene una extracción constante en el tiempo.

La falta de suficientes datos impide observar la evolución temporal de los pozos situados en el casco de Telde y al sur del área de estudio, aunque los datos de conductividad eléctrica apuntan a la estabilidad en el primer caso y a un aumento de la salinidad hacia el sur, con valores elevados. Como ya se indicó, en esta zona existe un aporte importante de CO_2 de origen volcánico que es el responsable de la alta salinidad observada. También en esta zona la salinidad puede ser atribuida a procesos de aridificación de la recarga, dadas las condiciones climáticas del área.

CONCLUSIONES

El estudio hidrogeoquímico del área de Telde evidencia la naturaleza compleja del acuífero explotado y la existencia de varios fenómenos modificadores secundarios que son responsables de los cambios que se producen en la química del agua explotada. La progresiva salinización del acuífero es evidente, aunque su tipificación es complicada debido a la coexistencia de diversos procesos que se yuxtaponen: extracción de aguas más profundas, existencia de conos salinos ascensionales en los pozos costeros, retornos de riego, recarga en zonas áridas y aportes de CO_2 de origen volcánico en el sur del área.

Parece evidente la relación existente entre la salinización del agua y por la existencia de una zona poblada con una demanda importante de agua, tanto para abastecimiento como para riego. La demanda de agua para abastecimiento llevó en un momento determinado a una explotación intensiva del acuífero por parte de pozos particulares que vendían el agua al ayuntamiento, siendo estos pozos los que sufrieron fundamentalmente las reprofundizaciones. El regadío en la zona ha producido la contaminación del acuífero por retornos de riego, evidenciada fundamentalmente por el alto contenido en nitratos (de hasta 300 mg.L^{-1} en 1988) en pozos que explotan la FDLP. Probablemente esta contaminación se encuentra aún en tránsito por el medio no saturado. Los cambios del uso del territorio, desde actividades agrícolas hacia usos urbanos, han conllevado la disminución progresiva en el contenido de nitratos de las aguas, ya observado en los últimos años. Sin embargo, esta disminución también es debida en algunas zonas a la dilución producida por la reprofundización de las captaciones, que hace que se explote una mayor proporción de aguas profundas, aunque es posible que se trate de una mejora temporal.