

# LOS PROCESOS DE SALINIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO DE LA ALDEA

FELIPE DELGADO MANGAS

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas subterráneas es un problema frecuente en los acuíferos de todo el mundo, que se ve agravado por su incidencia en aquellas zonas que demandan gran cantidad de recursos hídricos y que por diversas circunstancias carecen de ellos. Este es el caso del Valle de la Aldea, en el que el mantenimiento de un régimen económico basado en el cultivo de hortalizas de invernadero está supeditado a la disponibilidad de agua a precios razonables y de una calidad determinada. El suministro de agua en la zona está cubierto en un 80% por las presas situadas aguas arriba del Barranco de La Aldea y el 20% restante lo aportan las captaciones de aguas subterráneas existentes en la zona. En épocas de sequía las aguas subterráneas se convierten en un recurso alternativo de gran importancia para mantener las actividades de la zona, sin embargo, la calidad química

## RESUMEN

El objetivo de este estudio es la identificación del mecanismo causante de la salinización de las aguas subterráneas en dos zonas del Valle de La Aldea. Los estudios estratigráficos, geoquímicos y mineralógicos de una serie de rocas, conjuntamente con un estudio hidrogeológico detallado del sistema acuífero de La Aldea han permitido caracterizar e identificar la salinización de las aguas como de tipo geológico, debido a la presencia de unos depósitos de alteración hidrotermal denominados localmente "azulejos". Además, este estudio pone de manifiesto la existencia de otros tipos de contaminación en el acuífero debidas a la influencia de las actividades agrícolas.

## ABSTRACT

*The object of this study is the identification of the mechanism that causes the salinization of the groundwaters in two zones in the valley of La Aldea. The stratigraphic, geochemical and mineralogical studies of a rock series, jointly with a detailed hydrogeological study of the aquiferous system of La Aldea, have permitted to characterize and to identify the salinization of the waters as geological type, due to the presence of some deposits of hydrothermal alterations locally named "azulejos". Also, this study brings forth the existence of another contamination process in the aquifer due to influences of agricultural doings.*

de éstas influye de manera determinante en el uso agrícola ya que los cultivos no toleran concentraciones en sales disueltas en el agua por encima de un determinado nivel.

El acuífero de La Aldea presenta graves problemas de salinización en dos sectores en los que se registran aguas con un residuo seco superior a  $13 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ , en las que el  $\text{Cl}^-$  y el  $\text{Na}^+$  son los iones mayoritarios. Como hipótesis de partida se relaciona esta contaminación con la interacción de las aguas subterráneas con algún tipo de roca que aporta una gran cantidad de sales al agua. Una de las zonas con problemas de salinización está situada en la base del escarpe de Las Tabladas (Fig. 1) y su origen parece estar relacionado con el inicio de la explotación agrícola en la parte alta del escarpe, que produjo años después la aparición de una banda de rezumes de aguas salobres acompañada de una salinización progresiva de los pozos cercanos. Las aguas de riego que se infiltran en la parte alta de Las Tabladas atraviesan en su camino descendente un nivel depósitos de alteración hidrotermal localmente denominados "azulejos", que se pensó que pudieron ser los causantes de la salinización de las aguas. Por ello, la línea de trabajo que se tomó fue la de intentar establecer la conexión existente entre los "azulejos" y las aguas salobres del acuífero, realizándose paralelamente un estudio geológico de estos materiales y un estudio hidrogeológico detallado del acuífero de La Aldea.

## ANTECEDENTES

**E**n el acuífero de La Aldea no se han realizado estudios hidrogeológicos de detalle y los únicos datos con los que se cuenta actualmente son los que proceden de los grandes proyectos de investigación en el ámbito de la isla que se desarrollaron durante los años 70 y 80.

A principios de los 70 se desarrolló el proyecto SPA-15 (1974), un trabajo básico sobre la hidrogeología de Canarias que sienta las bases del funcionamiento hidrogeológico insular. Sin embargo, en la zona de La Aldea su aportación es general y será utilizado meramente para el tema de la fluorización del agua, ya puesta de manifiesto en el estudio de microelementos que se incluyó en dicho proyecto. La presencia de altos niveles de flúor en las aguas de la zona incide en la dentición de los habitantes del municipio y su origen puede estar ligado al lavado de algún tipo de roca que aporte este ion al agua, extremo que debe confirmarse.

Posteriormente, en el Proyecto MAC-21 (1980-81) también se volvieron a visitar algunos pozos, y en el trabajo del Plan Hidrológico de Gran Canaria «Actualización del conocimiento hidrogeológico de Gran Canaria» (1991), se visitaron dos pozos, con

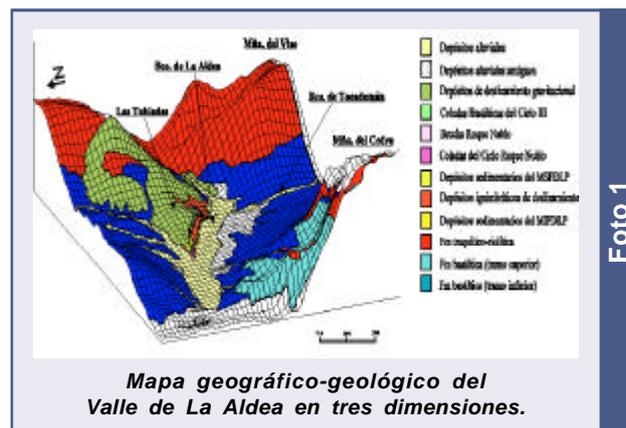


Foto 1

bajada a los mismos y levantamiento de su columna litológica.

En el año 1992 se llevó a cabo un inventario exhaustivo de todas las captaciones de la zona (Plan Hidrológico de Gran Canaria, 1992). Los datos tomados en este inventario fueron utilizados para elaborar el informe hidrogeológico que sirvió para encuadrar el proyecto europeo de investigación «Development of analytical and sampling methods for priority pesticides and relevant transformation products in aquifers» (Muñoz, Cabrera et al, 1986). Este proyecto se desarrolló durante los años 1994 y 1995 y estaba encaminado al estudio de la contaminación de los acuíferos por el uso de pesticidas en agricultura. Dentro de este proyecto y dado que se eligió la zona de La Aldea para la instalación de una parcela experimental de estudio de la zona no saturada, fue necesario caracterizar de manera muy general la hidrogeología de la misma. En este estudio previo fue donde salió a la luz la existencia de aguas extremadamente salobres (con contenidos en cloruros que superan los  $7000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) en dos zonas concretas del acuífero y en el mismo se concluía que esta salinidad no parecía estar ligada a contenidos altos en nitratos (que apenas superan los  $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ), por lo que no parecía probable que se trate de una contaminación debida a retornos de riego. Su lejanía del mar, hace muy improbable también la existencia de intrusión marina, por lo que solamente cabría pensar que se tratase de una contaminación de tipo geológico (quizá ligada a los depósitos hidrotermales conocidos como «azulejos») o bien de que se estuvieran explotando aguas salinas relictas.

## SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CONTEXTO GEOLÓGICO

**E**l área de estudio se localiza al Oeste de Gran Canaria en la desembocadura del barranco de S. Nicolás de Tolentino, conocido tradicionalmente como Valle de La Aldea. Geomorfológicamente la zona está conformada por un amplio

valle a modo de cubeta limitado por grandes escarpes al Norte, Este y Sur, que llegan a alcanzar los 1000 m de altura. Las costas son altas y escarpadas, ofreciendo abrigo únicamente la playa de La Aldea, que está abierta hacia el Oeste.

Los materiales que afloran en la zona son representativos de cada uno de los 3 ciclos magmáticos en los que se divide la construcción volcánica de Gran Canaria (ITGE 1992). La mayor extensión superficial está ocupada por los Basaltos Antiguos, los cuales conforman un enorme apilamiento de coladas tabulares que superan los 1000 m de espesor en algunos puntos y pertenecen del Ciclo Magmático I o Antiguo de edad Miocena. Al Este y Sudoeste afloran los materiales de la Formación traquítico-riolítica intracaldera y extracaldera (Ciclo I), que están constituidos por una sucesión compleja de tobas, ignimbritas y lavas rílitico-traquíticas. Todos estos materiales constituyen el relleno de la caldera de hundimiento que se originó en el centro de la isla durante el Ciclo I (Caldera de Tejada) y los materiales que se desbordaron de la misma. El contorno de la caldera está delimitado por varios niveles de tobas verdosas que reciben el nombre local de “azulejos”. La zona de Las Tabladas situada en el centro del valle está constituida por materiales deslizados de la Fm. traquítico-riolítica con intercalaciones de “azulejos” y materiales volcánicos y sedimentarios del Ciclo II o Roque Nublo y del Ciclo III o reciente, de edad Pliocena y Cuaternaria respectivamente. Todo este relieve está parcialmente cubierto por depósitos de deslizamiento gravitacional de edad Pliocena. Los materiales más recientes son depósitos aluviales de edad Cuaternaria, que constituyen el relleno superficial de los barrancos existentes en la zona.

## GEOLOGÍA DE LOS AZULEJOS

**P**ara llevar a cabo el estudio geológico de los “azulejos” se realizaron varias campañas de campo durante las cuales se hizo un estudio sistemático de la mayor parte de los afloramientos de estos materiales que existen en el entorno del Valle de La Aldea. Se ha hecho hincapié en los aspectos estratigráficos y geoquímicos y además se han realizado una serie de ensayos de lavado de muestras de roca para comprobar si la salinidad de las aguas procedía realmente de estos materiales.

### a) Descripción

Estos materiales destacan en el paisaje por sus fuertes coloraciones en tonos verdes y rojos (Foto 2) que son debidas a los procesos de alteración hidrotermal que se produjeron en los bordes de la Caldera de Tejada, por lo que constituyen un buen nivel guía que permite delimitar los límites de la caldera a lo largo de 30 Km desde los Berrazales (Bco. de Agaete) hasta la cabecera del Barranco

de Mogán (Schmincke, 1990). En el Valle de La Aldea también podemos encontrar afloramientos de azulejos que ha sufrido procesos de deslizamiento y presentan un alto grado de fracturación y alteración meteórica, como es el caso de los “azulejos” que se encuentran en Las Tabladas.

En general, se presentan en paquetes de 15 a 30 m de espesor, formando una sucesión bastante homogénea de tobas cineríticas de colores vivos (amarillos, verdes y rojos), que se agrupan en paquetes de carácter masivo o laminado entre los que se observan frecuentes intercalaciones de brechas no alteradas y algún nivel ignimbrítico también sin alterar. En todos los afloramientos los paquetes buzan entre 35-40° hacia el Este, debido a que los materiales se han depositado acomodándose al muro de la caldera.

Del estudio de estos materiales se deduce que han sido originados en erupciones altamente explosivas de tipo freatomagmático. Todos los depósitos son de tipo piroclástico, aunque poseen características claramente diferenciadas que están relacionadas con el tipo de magma y de emisión volcánica que los originó. Se pueden agrupar en dos grandes grupos:

- Depósitos piroclásticos de caída: se han originado como consecuencia de erupciones volcánicas de tipo exposivo, en las que los fragmentos de lava (piroclastos) son proyectados a grandes alturas y posteriormente se depositan formando capas que presentan una laminación horizontal muy marcada.
- Depósitos piroclásticos de flujo: están constituidos por materiales de tipo ignimbrítico que tienen un origen asociado a flujos y oleadas piroclásticas en erupciones altamente explosivas. Un rasgo característico de su estructura, es la existencia de fragmentos de pómez que han sufrido una deformación más o menos intensa condicionada principalmente por la temperatura del magma.

Posteriormente a la emisión de los “azulejos”, existió un proceso de alteración asociada a la circulación de fluidos a alta temperatura como consecuencia del emplazamiento cercano a la superficie de magmas, que provocaron la movilización de fluidos en medios porosos saturados en agua que rellenaron el borde de la caldera (Schmincke, 1990). Esta circulación de fluidos se vio favorecida por la reactivación de las fallas del borde de la caldera que originaron caminos o vías de circulación preferente de los fluidos hidrotermales provocando la alteración en niveles estratigráficamente desconectados (Schmincke, 1990).

### b) Geoquímica

Para determinar la composición química de los “azulejos” se han realizado varios análisis químicos de muestras recogidas en los afloramientos de la zona de estudio. Las determinaciones se han realizado mediante los métodos de difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X. Debido a

que en este trabajo sólo nos interesa estudiar los iones que producen la salinización del agua subterránea, no se ha hecho una caracterización química y mineralógica completa de los materiales sino que el estudio se ha centrado en la búsqueda de Cl, Br y S y de los minerales asociados a estos elementos, que son los que influyen realmente en la mineralización de las aguas.

Del estudio de estos análisis se deduce que hay tres muestras que presentan contenidos importantes en Cl y en las que se ha detectado la presencia de halita (NaCl) en su mineralogía. De todas ellas, la que presenta contenidos más altos en Cl es la muestra tomada en Las Tabladas, en la que se ha registrado concentraciones en torno al 2% del total de la muestra, un valor muy alto y semejante al que presenta la muestra patrón de sedimentos marinos que se ha utilizado para realizar el análisis cuantitativo de elementos químicos. Además, la difracción de rayos X demuestra que esta muestra tiene los contenidos en Halita más altos de todas las muestras analizadas por lo tanto se puede decir que los "azulejos" de Las Tabladas son uno de los agentes que provoca la salinización de las aguas subterráneas.

### c) Lixiviado

Como parte del estudio de la química de los "azulejos" y de las relaciones roca-agua se ha realizado un ensayo de lixiviado de 4 muestras de roca. Con esta experiencia se intentó determinar qué tipo de iones aportaban los azulejos al agua, simulando en lo posible las condiciones naturales en las que se produce esta interacción. El experimento consistió en mantener una cantidad fija de roca totalmente disgregada dentro de un volumen agua destilada, agitando el conjunto 2 veces al día durante una semana, realizando posteriormente un análisis químico convencional del agua. Los resultados muestran que en tres de las muestras se produce una pequeña mineralización que no muestra una pauta común para todas ellas. En la cuarta muestra, recogida en Las Tabladas, la mineralización del agua es espectacular midiéndose un residuo seco de  $7.5 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Las concentraciones iónicas más importantes son la de Cl con  $2.8 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ , la de  $\text{Na}^+$  con  $2.3 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  y la de  $\text{SO}_4^{2-}$  con  $1.8 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ . La conclusión que se saca de esta experiencia es bastante obvia: los "azulejos" de Las Tabladas pueden llegar a producir una mineralización importante en las aguas que los atraviesan.

## CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

**E**l funcionamiento hidrogeológico de la isla es complejo, debido a la heterogeneidad de los materiales que la conforman y a las especiales características hidráulicas de las formaciones volcánicas, que condicionan su porosi-

dad y permeabilidad, y consecuentemente la circulación del agua subterránea. De cualquier manera se puede hablar de un acuífero general con una superficie piezométrica en forma de domo que alcanza sus máximos en el centro de la isla (SPA-15, 1974). Así, la circulación del agua subterránea sigue un esquema radial, fluyendo desde el centro de la isla a la costa con velocidades de flujo que dependen de la permeabilidad de los materiales, la cual viene determinada por su naturaleza y por la profundidad a la que se encuentran. En líneas generales, la circulación es muy lenta en el núcleo de la isla y el agua se canaliza preferentemente por los materiales más permeables de la superficie (Custodio, 1983).

El funcionamiento hidrogeológico a pequeña escala es algo más complejo. Se puede decir que en Gran Canaria a escala local existen sistemas acuíferos que tienen un funcionamiento determinado y están condicionados por factores como la antigüedad de los materiales, la litología, el grado de alteración, la fracturación, las redes de diques, las relaciones espaciales entre los materiales, etc. El sistema acuífero de La Aldea está constituido por dos unidades hidrogeológicas cuya diferenciación viene dada por sus características geológicas: los basaltos del Ciclo I conforman la unidad hidrogeológica de los Basaltos Antiguos mientras que los depósitos sedimentarios de relleno de barranco constituyen la unidad hidrogeológica del Aluvial de La Aldea.

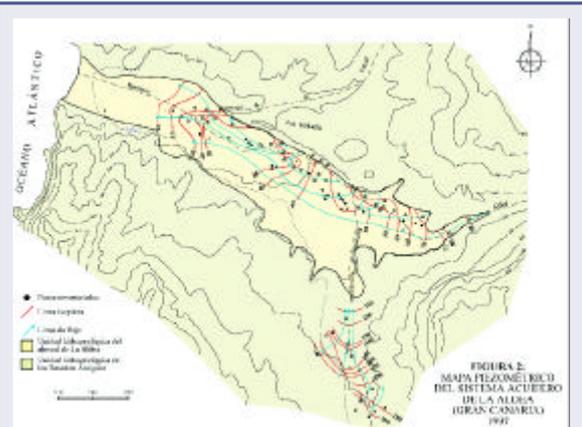
Los Basaltos Antiguos constituyen un acuífero de doble porosidad, relacionada con la fracturación de estos materiales y con la existencia de intercalaciones de coladas escoriáceas más porosas que definen niveles de flujo preferente. La porosidad en conjunto es generalmente muy pequeña y presentan una permeabilidad baja de entre  $0.05\text{-}0.5 \text{ m día}^{-1}$  (SPA-15, 1975). Este dato indica que dentro de estos materiales el agua se mueve con lentitud.

Los depósitos del Aluvial de La Aldea presentan espesores entre 15-35 m. Se trata de un típico acuífero sedimentario con porosidad granular que tiene permeabilidades entre  $20\text{-}80 \text{ m día}^{-1}$  (SPA-15, 1975). En estos materiales el flujo del agua es más rápido y la capacidad de almacenamiento también es mucho mayor que en la unidad de los Basaltos Antiguos.

## HIDROGEOLOGÍA DEL SISTEMA ACUÍFERO DE LA ALDEA

**E**l estudio de las unidades acuíferas, de su funcionamiento e interacciones se ha de realizar siempre por métodos indirectos ya que el acceso físico al medio que estamos estudiando resulta imposible. Por ello, tenemos que utilizar las vías que permitan tomar muestra, hacer medidas y recopilar datos acerca del medio que se pretende estudiar. Estas vías pueden ser

FOTO 2



Mapa piezométrico del sistema acuífero de La Aldea.

naturales, como fuentes, rezumes, etc. o artificiales como pozos y galerías.

En la zona de estudio la actividad agrícola desarrollada durante años ha propiciado la construcción de alrededor de 370 pozos (Plan Hidrológico de Gran Canaria, 1992). Las características geométricas de los pozos corresponden a las técnicas constructivas propias de la minería importadas al Archipiélago desde hace siglos: excavación en la roca, a mano en los primeros tiempos y con ayuda de explosivos después (no existe ningún pozo perforado con máquina). El diámetro oscila entre 2.5-4 m y en algunos pozos existen sondeos de pequeño diámetro perpendiculares al pozo denominados “catas”. Los pozos atraviesan los depósitos aluviales y en ocasiones pueden llegar a los Basaltos Antiguos subyacentes. Las profundidades oscilan entre 10 y 58 m, con un valor medio de 22.5 m. Los pozos suelen presentar un recubrimiento (empedrado o cemento) de los primeros metros del pozo, en las zonas donde el aluvial está más suelto, para evitar desprendimientos. Por otro lado, en la base del escarpe de Las Tabladas existe una banda de rezumes de 280 m de largo, cuyo estudio complementa la información acerca de las características del sistema acuífero.

La metodología de trabajo consistió en la realización de un inventario de puntos de agua, que supuso la identificación y localización de todos aquellos lugares a través de los cuales se pueden tener acceso al acuífero y la posterior visita a los mismos. En las captaciones visitadas se midió la profundidad de la lámina de agua teniendo en cuenta las condiciones de bombeo del pozo, se tomaron muestras de agua para realizar análisis químicos de iones mayoritarios y se realizó la medida in situ de la conductividad eléctrica y el pH. En los rezumes, además de la toma de muestras y de las determinaciones de campo, se midieron los caudales de agua de éstos (aforos).

Se han inventariado un total de 80 puntos de agua, 77 de los cuales son pozos y los 3 restantes

son puntos de muestreo en la banda de nacientes de Las Tabladas. Los puntos inventariados se seleccionaron en aquellas zonas en las que los estudios precedentes indicaban la existencia de aguas salobres, es decir en torno al escarpe sur de Las Tabladas y en el barranco de Tocodomán. Además, se estableció una red de control de 20 puntos de agua representativos situados en las zonas contaminadas, que fueron visitados bimensualmente durante el desarrollo del estudio.

Aparte de estos datos propios se ha contado con la información procedente del inventario de puntos de agua de la zona oeste de Gran Canaria (Plan Hidrológico de Gran Canaria, 1992) y de un estudio para identificar los pesticidas en la zona no saturada del acuífero de La Aldea (Muñoz, Cabrera et al, 1996), durante el cual se estableció una red de control de 6 pozos a lo largo del barranco, que eran visitados bimensualmente.

#### a) Piezometría

Para estudiar las características del flujo subterráneo y las relaciones existentes entre las unidades hidrogeológicas del sistema acuífero es necesario realizar un estudio piezométrico detallado. La piezometría no es más que la representación espacial de la superficie piezométrica, que por definición es el lugar geométrico de los puntos que señalan la altura del nivel de agua de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada cota (Custodio y Llamas, 1975). En un acuífero libre como el de La Aldea la superficie freática, que es la que define el límite de saturación de éste, coincide con la superficie piezométrica correspondiente a los puntos situados en el límite de saturación. El estudio de la superficie freática en un acuífero se realiza a través de los pozos tomando medidas de la profundidad del nivel del agua. Con estos datos, corregidos según el nivel del mar, se pueden trazar las curvas de nivel que definen la superficie piezométrica, éstas se denominan curvas isopiezas.

El flujo del agua subterránea se produce desde las isopiezas más altas a las más bajas siguiendo unas líneas de flujo siempre perpendiculares a las mismas.

El estudio de las superficies piezométricas permite sacar conclusiones sobre la situación y el movimiento de las aguas subterráneas en un momento determinado.

La superficie piezométrica trazada en la unidad aluvial (Fig. 2) presenta una morfología muy irregular, lo que denota una evidente influencia externa al sistema acuífero que afecta al flujo natural. El flujo discurre en líneas generales en dirección Este-Oeste, desde la parte alta del barranco hacia la costa con un gradiente medio del 1%. La deformación principal que presen-

tan las líneas isopiezas es debida a la afección de las extracciones para riego, que provocan una depresión en la superficie piezométrica con una convergencia de las líneas de flujo. En el sector Oeste se observa una meseta de entre las isopiezas de 30 y 35 m rompiendo la pendiente media de la superficie piezométrica. Esto es consecuencia de la recarga al acuífero de aguas procedentes de los retornos de riego. Las relaciones de la unidad aluvial con los Basaltos Antiguos vienen determinadas por el contacto de las isopiezas con el límite del aluvial. En la zona Norte las isopiezas tienden a hacerse paralelas a los límites del aluvial lo que está indicando una entrada de aguas procedentes de este borde. Esta entrada es debida tanto al flujo natural de los Basaltos Antiguos como a la influencia de los retornos de riego procedentes de Las Tabladas.

En la zona sur no se tienen datos piezométricos, pero estudios precedentes mostraron que en esta zona existía una conexión hidráulica entre ambas formaciones.

En la unidad de los Basaltos Antiguos la superficie piezométrica presenta una morfología que se adapta ligeramente a las curvas de nivel del barranco de Tocodomán. La circulación del agua se establece en dirección Sur-Norte, hacia la unidad aluvial, con un gradiente medio del 7%. Este gradiente tan elevado es típico de materiales poco permeables en la isla, donde la baja transmisividad de estos materiales se ve compensada por unos gradientes nada usuales. Se observa una inflexión de las isopiezas en su parte central, que puede ser debida a un efecto morfológico del barranco, unido a la influencia de las extracciones para riego.

#### b) Hidrogeoquímica

El agua es una sustancia con una gran capacidad de disolución y su elevada reactividad hace que contenga gran cantidad de sustancias disueltas y que ataque a otras muchas directamente o a través de las sustancias que lleva disueltas.

Para determinar las propiedades químicas más importantes de un agua se procede generalmente a determinar los iones fundamentales y algunas otras características. Así, un análisis químico convencional o completo de un agua contiene la determinación de cationes y aniones fundamentales, además de la conductividad (mS/cm), el pH, la  $T^a$  del agua ( $^{\circ}C$ ), la alcalinidad, la dureza ( $^{\circ}F$ ) y la sílice disuelta (mg/l). Algunas de estas determinaciones físico químicas como el pH y la conductividad eléctrica es preciso hacerlas en el campo una vez tomadas las muestras ya que sufren variaciones temporales importantes una vez que se ha sacado el agua del acuífero.

En un estudio hidrogeoquímico lo que se intenta es determinar las características químicas del agua de un acuífero, identificar sus tipos, distribución espacial y variaciones temporales, así como

establecer de manera cualitativa y en ocasiones cuantitativa, cuál es el origen de éstas y cómo son las relaciones con los otros tipos de agua y con los materiales que conforman el sistema acuífero.

La mayor parte de los minerales que forman los terrenos volcánicos son casi insolubles, aunque son fácilmente alterables si existen hidrogeniones ( $H^+$ ) presentes, lo cual se consigue con la presencia de  $CO_2$  disuelto en cantidad suficiente. En general, al alterarse ceden cationes al agua por lo que las aguas que circulan a su través tienden a tomar unas características propias identificables dependiendo de diversos factores: la composición de la lluvia, del clima, del tipo de roca, agresividad del agua, tiempo de contacto, estado de división de la roca, temperatura y presión, etc. (Custodio, 1978). En clima árido pueden ser cloruradas y serán sulfatadas si existe contaminación por excedentes de riego o si la recarga tiene una componente sulfatada importante. Es por ello que la mineralización resultante tiene un efecto climático importante.

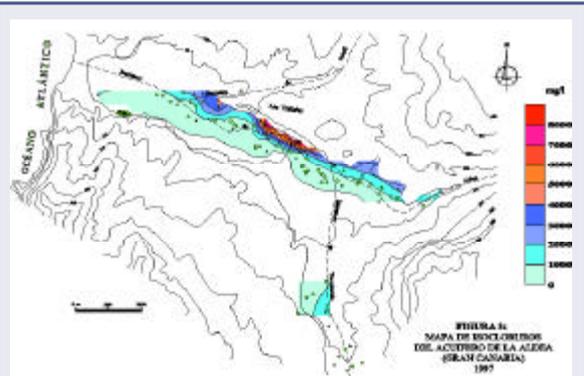
## CARACTERIZACIÓN DE LAS FAMILIAS DE AGUAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

Las diferentes clases de aguas subterráneas se clasifican a fin de informar de forma concisa sobre su composición química y otros aspectos de la misma. En este trabajo se ha utilizado una clasificación química de aguas determinada por los iones dominantes.

En el sistema acuífero de La Aldea se ha identificado 5 tipos de aguas:

- Aguas clorurado-sódicas: este grupo de aguas son las más salinas de todo el sistema y se localizan en las zonas contaminadas, tanto en los pozos como en los rezumes.
- Aguas cloruradas sódico cálcicas: son las aguas naturales del acuífero aluvial, su química está influenciada tanto por la recarga salina como por los procesos de interacción química entre el agua y los materiales del aluvial. Se sitúan en el centro del aluvial.
- Aguas cloruradas sulfatadas sódicas y sulfatadas cloruradas sódicas: son aguas con un aporte importante de nitratos y sulfatos. El origen de éstos está en los abonos que se utilizan en los cultivos y que llegan al acuífero a través de los retornos de riego.
- Aguas cloruradas magnésicas: son características de los Basaltos Antiguos, su química está influenciada en primer lugar por la interacción del agua con las formaciones basálticas que aportan una importante cantidad de  $Mg^{2+}$  al agua y en segundo lugar por una recarga local de

FOTO 3



Mapa de isocloruros del acuífero de La Aldea.

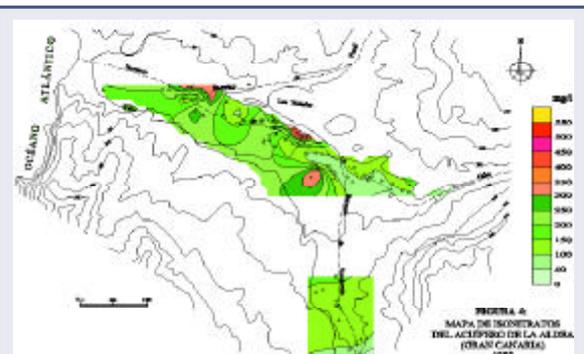
aguas más o menos salinas que son las responsables del aporte del Cl<sup>-</sup>.

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS IONES

Las aguas del acuífero en general son bastante salinas, presentando conductividades eléctricas por encima de 2000 mS/cm, que en las zonas contaminadas pueden llegar a superar los 20.000 mS/cm. La climatología y la cercanía al mar influyen de manera importante en las características del agua de la zona ya que el agua que recarga el acuífero (agua de lluvia y agua de retornos de riego) incrementa su salinidad debido a la evaporación y a la incorporación de sales del aerosol marino.

La distribución espacial del Cl en el sistema acuífero ayuda a delimitar aquellas zonas que presentan problemas de salinización. Se observa que las concentraciones por encima de 1500 mg/l se registran en el borde sur del escarpe de Las Tabladas y en un reducido sector del barranco de Tocodomán. Las concentraciones de Cl<sup>-</sup> son espectaculares en la zona del acuífero más cercana a los rezumes. En este lugar se registran contenidos de hasta 8000 mg·l<sup>-1</sup> de Cl<sup>-</sup>, valores extraordinariamente al-

FOTO 4



Mapa de isonitratos del acuífero de La Aldea.

tos para una zona en la que no existen evidencias de contaminación marina. Las familias de aguas que presentan mayores concentraciones de Cl<sup>-</sup> son las clorurado sódicas en el aluvial y las clorurado magnésicas en los Basaltos Antiguos.

Otro de los iones presentes en concentraciones anómalas en el agua subterránea es el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, aunque su distribución espacial no está relacionada directamente con las zonas salinizadas. El NO<sub>3</sub><sup>-</sup> es un ión cuyo origen está relacionado con la oxidación de compuestos nitrogenados que en nuestra zona son aportados por los abonos agrícolas (Custodio y Llamas, 1975). La legislación en materia de calidad de aguas marca que la concentración máxima permitida de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en un agua no puede superar los 50 mg·l<sup>-1</sup>, pero en la zona de estudio todos las aguas presentan concentraciones por encima de este límite superando ampliamente los 100 mg·l<sup>-1</sup> en la mayor parte de los casos y llegando a alcanzar en algunos puntos hasta 500 mg·l<sup>-1</sup>. Su distribución espacial está relacionada con las explotaciones agrícolas más intensivas de la zona. Así, las aguas de los rezumes de Las Tabladas presentan concentraciones en nitratos que superan los 500 mg·l<sup>-1</sup>, lo que demuestra que su origen está ligado a los retornos de riego de las explotaciones agrícolas de la zona superior.

Comparando estas concentraciones en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> con datos de estudios precedentes (Plan Hidrológico de Gran Canaria, 1992; Muñoz, Cabrera et Al, 1996), se observa que el incremento ha sido espectacular, en el año 92 la mayor parte de los pozos tenían concentraciones inferiores a 50 mg·l<sup>-1</sup> mientras que en 1997 esta cifra ha sido superada ampliamente por la totalidad de las captaciones.

## BALANCE DE MASAS POR FACTOR DE EVAPORACIÓN

Para explicar los procesos de salinización de las aguas de retornos de riego de Las Tabladas se consideró como hipótesis de partida que la salinización de las aguas en la base del escarpe es debida a la intensa evaporación que sufren las aguas de riego antes de infiltrarse. Para calcular cuál sería la composición teórica del agua de infiltración después de ser evaporada se hizo un balance de masas por factor de evaporación, considerando como extremos del balance el agua de riego y el agua de los rezumes. Se ha tomado el ion Cl<sup>-</sup> como conservativo por lo que el incremento de este ion entre las aguas extremos sería debido únicamente a la evaporación. Sobre la base de esta premisa, se calculó un factor de evaporación que se aplicó a las concentraciones iónicas del agua de riego obteniendo un agua de evaporación teórica.

En teoría, si sólo existe evaporación, la composición química del agua de evaporación teórica y el agua de los rezumes deben ser iguales. En la práctica, después de estudiar los resultados del balance se observa que el agua de evaporación teórica se asemeja al agua de los rezumes en las concentraciones de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , pero el resto de los iones están incrementados respecto al agua de los rezumes.

Por lo tanto se puede decir que la salinización de las aguas de la base de Las Tabladas no es debida exclusivamente a la evaporación y deben existir otras fuentes de aporte de  $\text{Cl}^-$  a las aguas de infiltración.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

A la vista de los datos, el esquema de funcionamiento hidrogeológico del sistema acuífero sería semejante al que refleja la figura 5. Existe una conexión entre las dos unidades acuíferas que conforman el sistema, con una entrada de agua desde los Basaltos Antiguos al aluvial.

La unidad aluvial se recarga en parte por la lluvia de la zona, por los retornos de riego agrícolas y por la entrada de aguas procedentes de los Basaltos Antiguos. Además, en la zona norte del aluvial existe una importante entrada de aguas que está asociada a los retornos de riego en la parte alta de Las Tabladas (Fig. 5). La recarga de los Basaltos Antiguos se produce principalmente en las zonas altas de la isla donde la pluviometría es mayor, dando lugar a un lento flujo de agua hacia la zona de costa, donde se puede producir una recarga local asociada a los retornos de riego y a la pluviometría de la zona.

Teniendo en cuenta el esquema de funcionamiento anterior conjuntamente con los datos hidrogeoquímicos se puede decir que los problemas de salinización de las dos zonas del acuífero tienen un origen diferente.

Las aguas del escarpe sur de Las Tabladas tienen su origen en la circulación de los retornos de riego desde la parte alta del escarpe, como se desprende del hecho de que no hicieron su aparición hasta que no se inició el regadío en las zonas altas. El mecanismo de salinización es debido a la suma de un conjunto de procesos:

- La aridez climática de la zona da lugar a que las aguas de recarga sufran una fuerte evaporación antes de infiltrarse en el terreno, como consecuencia de la cual existe una concentración progresiva de sales en el terreno, que van siendo arrastradas por los sucesivos riegos.
- La cercanía al mar provoca que haya un aporte continuo de sales de origen marino (aerosol)

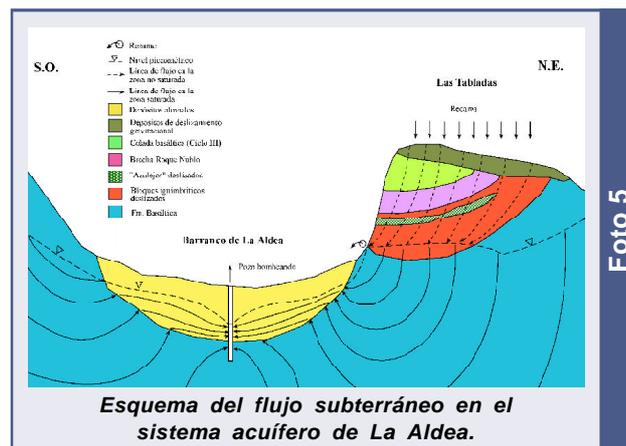


Foto 5

que se deposita en los suelos de la zona. Estas sales son disueltas por las aguas de lluvia y las aguas de riego, que se infiltran incrementando la salinidad del agua de recarga.

- Interacción roca-agua. Las aguas que circulan a través de la zona no saturada de Las Tabladas entran en contacto con los depósitos de alteración hidrotermal ("azulejos") disolviendo la halita ( $\text{NaCl}$ ) que forma parte de su mineralogía e incorporando a su composición química los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ .

Parece claro, pues, que la principal causa de salinización de las aguas en esta área es debida al lavado de los "azulejos" deslizados que aparecen en la zona, ya que los dos primeros procesos afectan por igual a todas las aguas del sistema acuífero.

En la zona del barranco de Tocodomán las aguas subterráneas se sitúan en los Basaltos Antiguos y tienen su origen en la recarga natural en zonas altas de la isla. Debido a la baja permeabilidad de los materiales a través de los que circula el agua, los tiempos de permanencia en el terreno pueden muy altos, por lo que en su lento flujo hacia el mar se produce una salinización progresiva como consecuencia del lavado de los minerales de las rocas con las que interaccionan. Las aguas del barranco de Tocodomán son aguas antiguas cuya composición química está influenciada por la mineralogía de los basaltos y además por la mezcla con aguas de recarga local, influenciadas por el efecto climático y la cercanía al mar.

Además, en este estudio se pone de manifiesto la existencia de una importante contaminación por nitratos de las aguas subterráneas del acuífero. La rápida evolución de esta contaminación desde el año 1992 y las concentraciones que se registran actualmente son un grave problema dentro del sistema acuífero de La Aldea, en el que se está produciendo una degradación progresiva de las aguas.

El acuífero es un medio fácilmente vulnerable y su regeneración es lenta, costosa y en muchos casos inviable, por lo que la mejor herramienta de limpieza es la protección contra la contaminación cualquiera que sea su origen.

## •GLOSARIO

**Basalto:** roca básica de coloración negruzca que presenta una alta proporción de olivinos, piroxenos, óxidos de Fe-Ti y feldespatos (plagioclasas).

**Ignimbrita:** depósitos producidos por coladas piroclásticas ricas en fragmentos pumíticos.

**Toba cinerítica:** depósito piroclástico litificado de granulometría ceniza.

**Erupción freatomagmática:** erupción explosiva en la que tiene lugar la interacción del magma con agua meteórica superficial o subterránea.

**Difracción de rayos X:** técnica analítica no destructiva que permite medir la distancia entre los planos reticulares de los minerales que constituyen una roca, y como consecuencia, identificar su naturaleza. Fluorescencia de rayos X: técnica analítica no destructiva usada para determinar la composición química de una roca, a partir de la medida de la respuesta energética de los elementos químicos de la misma ante la irradiación con rayos x.

**Acuífero:** estrato o formación geológica que contienen y permite la circulación del agua por sus poros o grietas, siendo ésta susceptible de ser extraída en cantidades económicamente rentables.

**Acuífero libre:** son aquéllos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y por tanto a presión atmosférica.

**Zona no saturada:** estratos o formaciones geológicas que permiten la circulación del agua a través de sus poros o grietas pero que se encuentran por encima del nivel de saturación del acuífero.

**Nivel piezométrico:** es la altura que alcanzaría el agua subterránea dentro de un pozo situado en un acuífero. En un acuífero libre este nivel coincide con el nivel de saturación por debajo del cual todos los poros están ocupados por agua (nivel freático).

**Permeabilidad:** es la facilidad con la que un material deja pasar a su través el agua.

**Transmisividad:** se trata de la capacidad que tiene un medio para transmitir agua y viene expresada por el producto entre la permeabilidad y el espesor saturado.

**Gradiente hidráulico:** es la variación de energía que se produce entre dos puntos de un acuífero. Su expresión viene dada por la diferencia de altura del nivel del agua (nivel freático) entre dos puntos partido por la distancia.

**Conductividad eléctrica:** capacidad del agua para conducir la electricidad. Este parámetro nos da una idea del nivel de la salinización de las aguas.

**Recarga:** término que se refiere a la entrada de agua en un acuífero a través de distintas vías.

**Aerosol:** partículas de sales marinas arrastradas por el viento que se depositan preferentemente en zonas costeras.

## •BIBLIOGRAFÍA

**Custodio, E. (1978):** "Geohidrología de terrenos e islas volcánicas". Madrid, Instituto de Hidrología. Centro de estudios Hidráulicos, 303 págs..

**Custodio, E. (1983):** "Nuevas contribuciones al conocimiento hidrogeológico de las Islas Canarias". Madrid, en: *Proc. III Symp. Hydrogeology. Hidrogeología y recursos hidráulicos, vol. I*, págs.705-707.

**Custodio, E; Llamas, M. R. (1975):** (*Hidrología Subterránea*). 2 vols. Barcelona, Ediciones Omega, pág. 2359

**I.T.G.E. (1992):** "Mapa geológico de España, escala 1:100.000. Hoja 21-21/21-22, Isla de Gran Canaria".

**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.

**Muñoz, R.; Cabrera, M.C.; Hernandez, F.; Socorro, A.R. Y Poncela, R. (1994):** «Development of analytical and sampling methods for priority pesticides and relevant transformation products in aquifers». *Final Project Report*, págs.59-74

**Plan Hidrológico de Gran Canaria (1991):** "Actualización del conocimiento hidrogeológico de Gran Canaria". Documento interno, sin publicar. III Tomos.

**Plan Hidrológico de Gran Canaria (1992):** "Inventario de Captaciones de agua subterránea. Zona Oeste. Memoria y Planos, Fichas de datos, Evolución de niveles y Datos químicos". Documento interno, sin publicar.

**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 Naciones Unidas para el Desarrollo. UNESCO.

**Schmincke, H.U. (1990):** "Geological field guide of Gran Canaria". *IAVCEI, International Volcanological Congress, Mainz (FRG)*. 212 pág.

## •BIOGRAFÍA

### Felipe Delgado Mangas

Nacido en Zamora en el año 1972, es licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Salamanca. Desde la finalización de sus estudios ha tenido una formación continuada en el campo de la hidrogeología con la realización de diversos cursos y la colaboración en el desarrollo de varios proyectos de investigación. Actualmente trabaja como becario en la Facultad de Ciencias del Mar de la ULPGC, rea-

lizando su tesis doctoral dentro de un proyecto de investigación que estudia el funcionamiento hidrogeológico del acuífero de La Aldea.

**Dirección:**  
C/ Salvador M. de Lara Nº1 5ºE  
35010 Las Palmas de Gran Canaria  
Tfno.: (928)22 22 24

Este trabajo ha sido patrocinado por:

**ROMERTOR, S.A.**