

LA HIDROGEOLOGÍA EN LA ALDEA DE SAN NICOLÁS, GRAN CANARIA

Josefina Muñoz Sanz

Licenciada en Geología. Becaria Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

fmunoz@becarios.ulpgc.es

1) INTRODUCCIÓN

El barranco de La Aldea de San Nicolás se encuentra en el cuadrante Oeste de la isla de Gran Canaria (fig. 1), dentro del municipio del mismo nombre, más conocido como "La Aldea". El casco urbano se sitúa en la parte final del barranco que presenta unas pendientes entre el 1% y el 10% y está encajado entre grandes desniveles producto de la intensa actividad erosiva que se viene desarrollando en la isla desde el Mioceno. La desembocadura del cauce se abre al mar en la 'Playa de La Aldea como único resguardo de la zona entre acantilados escarpados.

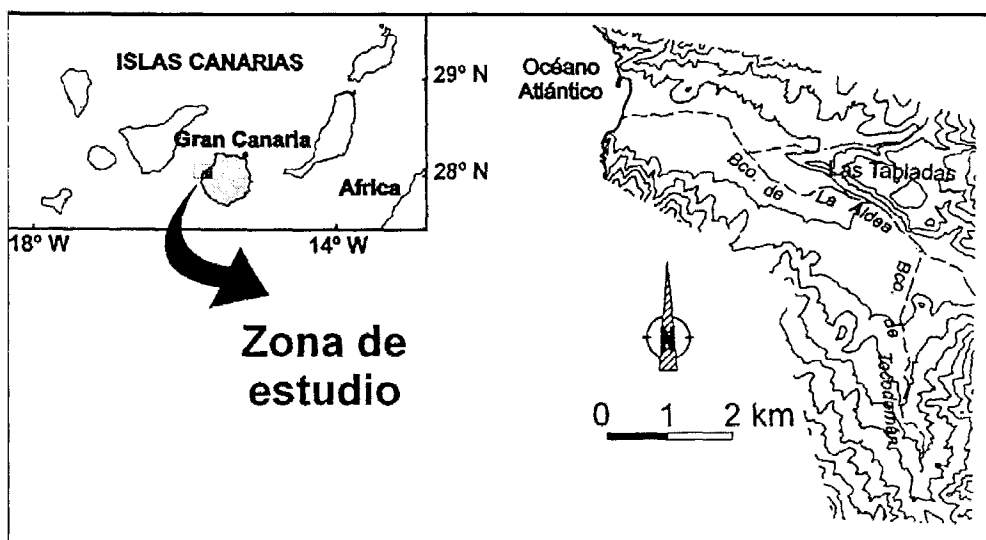


Figura 1. Mapa de situación de la zona de estudio

La precipitación media anual en la zona oscila entre los 257 mm de media anual en la estación pluviométrica más alta, situada a 345 m sobre el nivel del mar, y 130 mm en la zona costera, repartida principalmente entre los meses de octubre y abril. La temperatura media oscila entre los 16,5°C en invierno y 20,4°C en verano. Se trata de una zona con un clima semiárido, castigada además por fuertes vientos que soplan más fuertemente en los meses de verano.

En esta zona árida la actividad económica que sustenta a la mayoría de la población es, paradójicamente, el cultivo de tomate de invernadero. Esto es, una agricultura intensiva que permite disfrutar de una media de tres cosechas anuales. El riego se realizaba tradicionalmente a partir de agua superficial y agua subterránea en una proporción 3:1. Sin embargo, desde el año 1999 y como consecuencia de una sucesión de años en que las condiciones climatológicas no han sido favorables para el abastecimiento de aguas superficiales, se han instalado en la zona 7 plantas desalinizadoras de agua subterránea mediante ósmosis inversa que han tenido un fuerte impacto en el acuífero local (Cabrera et al, 2002). Estas plantas eran alimentadas con 38 pozos aproximadamente que han ido variando a lo largo del tiempo. Se estima que el caudal bruto que se obtenía de todos los pozos era de 22 Dm³/año siendo éste variable en función de la disponibilidad de aguas superficiales que hubiera en cada momento. Paralelamente, el ayuntamiento del municipio ha facilitado la construcción de 2 nuevas plantas desalinizadoras de agua de mar, una de ellas dedicada a obtener agua para el abastecimiento a la población y la otra para el regadío de los invernaderos. Ambas plantas desalinizadoras funcionan también con el sistema de ósmosis inversa y recogen el agua del mar a través de pozos filtrantes que ejercen el papel de una primera depuración del agua marina. Estas dos instalaciones fueron diseñadas para producir un total de 3,9 Hm³/año de agua desalinizada, sin embargo, las dificultades periféricas con las que se ha encontrado la puesta en funcionamiento no ha permitido la plena productividad.

Estas circunstancias socioeconómicas han elevado la demanda de recursos hídricos en la zona, y han hecho necesario el propósito de tener un conocimiento detallado del sistema acuífero de la zona.

2) MARCO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los materiales en los que está excavada la parte baja del barranco de La Aldea corresponden a la unidad de basaltos más antiguos de la isla de Gran Canaria, la formación de los Basaltos Miocenos. Sobre estos basaltos se sitúan sedimentos aluviales, fundamentalmente conglomerados de composición diversa, con una potencia media de 20 m.

En el área de estudio existen más de 370 pozos de gran diámetro (3-4 m) excavados a mano y con profundidades que oscilan entre los 10 y los 47 m, con una media de 22,5 m de profundidad. Los pozos situados en el barranco principal explotan la unidad de los materiales aluviales y algunos penetran parcialmente en los Basaltos Miocenos, extrayendo agua a través de ambas unidades simultáneamente. En la zona del barranco de Tocodomán (fig. 1), se explotan exclusivamente los basaltos infrayacentes.

Hidrogeológicamente, pueden definirse dos unidades que actúan como un sistema acuífero con diferentes características hidráulicas: una inferior formada por los Basaltos Miocenos y una superior constituida por sedimentos aluviales (Cabrera et al, 1997). Cabe

destacar la existencia en la zona NE del barranco de un relieve residual conocido como Las Tabladas. Este promontorio presenta una serie de materiales geológicos que afectan a la hidrogeoquímica del sistema, aumentando la salinidad del agua subterránea (Cabrera, et al., 2000).

3) ESTUDIO GEOLÓGICO DE LOS MATERIALES DE LA ZONA

Se ha llevado a cabo la testificación de los sondeos realizados para abastecer la desalinizadora nombrada anteriormente. En la figura 2 se representa la zona costera en detalle así como los pozos existentes. Los sondeos testificados fueron nombrados con la denominación CAD. La misma figura recoge también otros pozos de la zona que en su mayoría se encuentran inactivos.

Este trabajo se ha corroborado junto con el reconocimiento de columnas geológicas en bajadas a los pozos efectuadas durante las campañas de campo, la observación de los materiales que afloran en superficie, el estudio de perfiles sísmicos y recopilación del mismo tipo de datos en otros trabajos previos de la misma zona, lo cual ha llevado a una caracterización completa de la geología del área de estudio.

Durante la realización de los sondeos CAD1 SO, CAD5 SO, CAD6 SO, CAD11 SO y CAD12 SO se llevó a cabo una toma sistemática de muestras que fueron estudiadas detalladamente. Las muestras tomadas fueron tamizadas y los fragmentos más gruesos fueron observados y descritos con lupa. Las apreciaciones que se realizaron fueron de carácter composicional, ya que los sondeos fueron perforados con el método de percusión, lo que implica que no se pudieran evaluar parámetros relativos al tamaño de grano de los sedimentos.

El examen de la secuencia de materiales presentes en las columnas de estos sondeos permite observar que tan sólo el sondeo denominado CAD1 SO, con una profundidad de 46,9 m, explota los basaltos y además de forma exclusiva, ya que está cementado en su parte superior. Este sondeo fue concebido así para evitar la toma de agua del aluvial, con contenidos en nitratos que alcanzan los 400 mg.l^{-1} , y explotar de forma exclusiva -en caso de que fueran fértiles- los Basaltos Miocenos. Dado que la productividad de este sondeo fue muy pobre, el resto de los sondeos fueron construidos para extraer agua de los materiales aluviales suprayacentes.

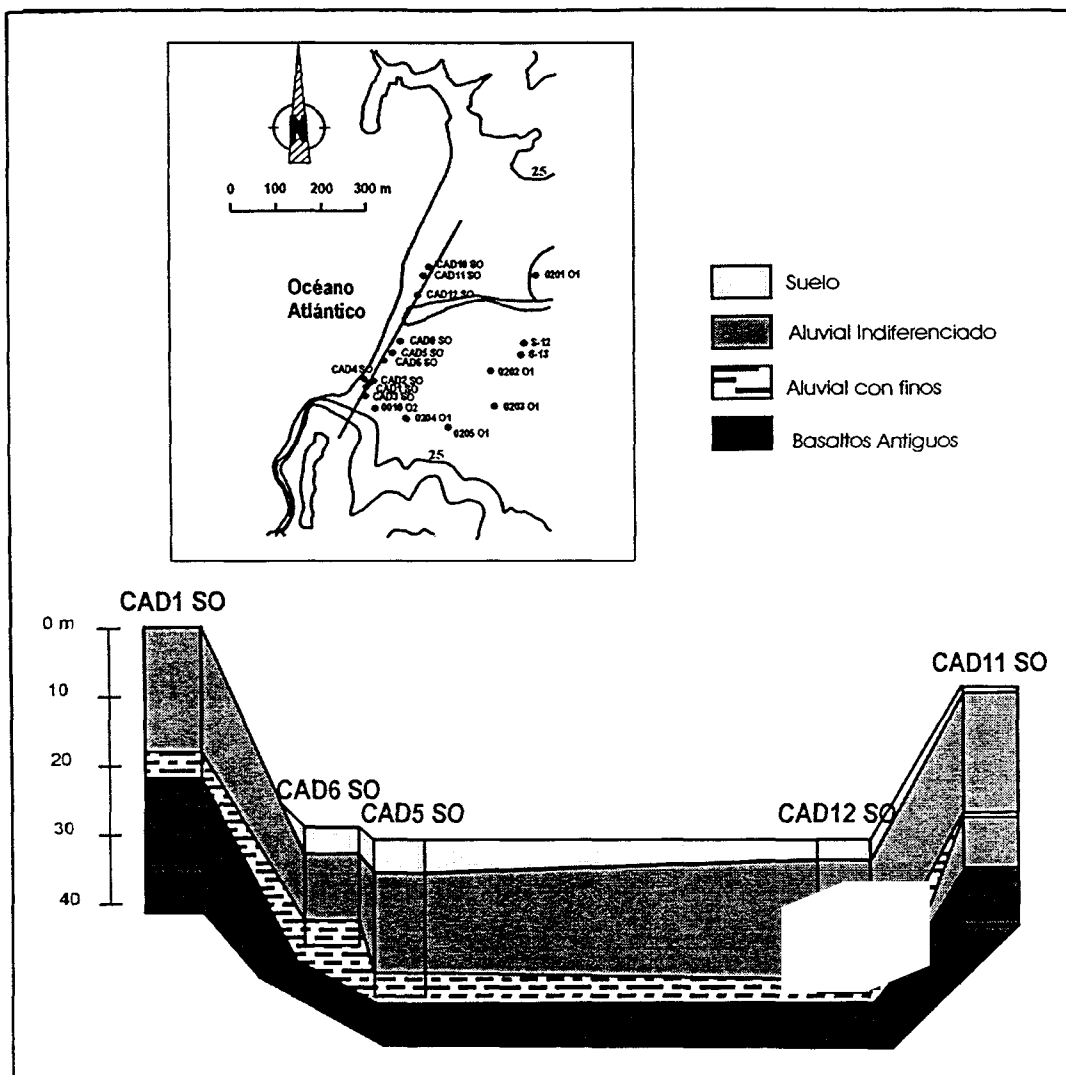


Figura 2. Situación y correlación las columnas de los pozos filtrantes

En los sondeos se reconoce, de techo a muro, en general, la formación de un suelo en los primeros metros de cada sondeo, variable en espesor de 2 a 5 m. Por debajo de estos primeros metros se encuentra lo que se ha denominado Aluvial Indiferenciado que contiene cantos de todo tipo de litologías (ignimbritas, microsienitas, basaltos etc.), dentro del cual se han encontrado algunos tramos que parecen tener una mayor proporción de finos, con potencias que pueden alcanzar los 3 ó 4 metros en algunos casos (CAD5 SO). Estos tramos se concentran en las partes bajas de los materiales aluviales, las que se apoyan sobre el sustrato basáltico.

El sustrato basáltico se encuentra a una profundidad media de 18 m, variando según los datos que se tienen de diferentes pozos. Hasta la profundidad máxima perforada (46,9 m) se han apreciado dos tramos distinguibles: el superior constituido por la alternancia de lavas vacuolares (*pahoehoe*) y otras más masivas (posiblemente de tipo *aa*). Dentro del tramo superior se han distinguido diferentes sub-tramos, según la

presencia de minerales secundarios relleno de las vacuolas, o la proporción y forma de los cristales de plagioclasa, etc. que han permitido la separación de distintos tramos.

La correlación entre las columnas levantadas queda reflejada en la figura 2. El corte geológico representa los materiales que cabe encontrar en un corte transversal cualquiera a lo largo del barranco. De él se desprende la irregularidad de la superficie del contacto basalto–aluvial. Según lo observado en estos sondeos y otros datos geológicos este contacto se ajustaría a la forma de valle en artesa, con una incisión muy ancha y plana en el eje del barranco que se acuña hacia los bordes. Se calcula que la mayor profundidad de este paleovalle se situaría sobre los 26 m bajo el nivel del mar actual; ésta es, la mayor potencia del aluvial registrada a lo largo de la línea que incluye todos los sondeos realizados.

4) DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ACUÍFERO: PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Los parámetros hidráulicos de un acuífero representan las propiedades físicas del medio. Hay dos magnitudes fundamentales que definen estas características: transmisividad y coeficiente de almacenamiento. La **transmisividad** (T) se mide en $m^2/día$ y se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unidad a una temperatura determinada; en otras palabras, es la capacidad que tiene el medio para transmitir el agua y da una idea de lo mucho o poco productivo que es un acuífero. El **coeficiente de almacenamiento** se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero de sección igual a la unidad y altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico; en acuíferos libres, el coeficiente de almacenamiento es igual a la porosidad eficaz, es decir al volumen de agua contenida en los poros interconectados de una unidad de acuífero saturado. A partir de la transmisividad se puede calcular otro parámetro que es la **permeabilidad** o conductividad hidráulica (K), ésta es el cociente de la transmisividad por el espesor del acuífero y se mide en $m/día$.

Para la estimación de los parámetros hidráulicos se han utilizado los datos procedentes de los sondeos filtrantes construidos para el abastecimiento de la planta desalinizadora de agua de mar instalada por el Ayuntamiento de San Nicolás. Además, dentro del contexto del trabajo desarrollado para la investigación, se ha realizado un ensayo de bombeo en un pozo tradicional situado en el barranco de La Aldea.

4.1) Estimación a partir de los caudales específicos

En los sondeos realizados se efectuaron varios aforos para averiguar el caudal que podrían aportar. Estos aforos no se pueden considerar como ensayos de bombeo ya que la duración de los mismos era de 4 horas como máximo y en muchas ocasiones el

bombeo no era continuo debido a problemas imprevistos con la introducción de aire en el caudal de bombeo.

En la tabla 1 se detallan los caudales extraídos (Q) que son aceptados en cada caso, según las condiciones de los bombeos, junto con los descensos medios medidos en el propio pozo (S_p), y el caudal específico (q) correspondiente calculado.

Tabla 1. Datos de descensos en el pozo (S_p), caudal de bombeo (Q) y caudal específico (q) tomados en los bombeos realizados en los pozos filtrantes de agua de mar en el Barranco de La Aldea.

SONDEO	S_p (m)	Q ($m^3 \cdot d^{-1}$)	q ($m^3 \cdot d^{-1} \cdot m^{-1}$)
CAD1 SO	16,6	1667,9	100,2
CAD2 SO	47,9	4138,5	873,0
CAD3 SO	6,3	6172,3	983,0
CAD4 SO	3,1	6480,0	2057,0
CAD5 SO	2,5	2537,5	1054,2
CAD10 SO	5,6	6523,2	1162,8
CAD11 SO	8,3	5514,0	690,4

Las transmisividades se han estimado a partir de las aproximaciones de las fórmulas simplificadas de caudal específico (Galofré, 1966 y Custodio y Llamas, 1986). Los resultados obtenidos figuran en la tabla 2. Para el cálculo de permeabilidad se ha estimado un espesor medio de 18 m para los materiales aluviales.

Así pues, la transmisividad estimada para el acuífero aluvial a partir de los aforos cortos puede oscilar entre 801 y 2880 $m^2 \cdot d^{-1}$ según la fórmula utilizada para calcularla, con un valor medio de 1541 $m \cdot d^{-1}$. Las permeabilidades se mueven entre los valores extremos de 45 y 160 $m \cdot d^{-1}$ con un valor medio de 90 $m \cdot d^{-1}$.

Para el material basáltico los valores de transmisividad oscilan entre 116 y 140 $m \cdot d^{-1}$, con un valor medio de 90 $m \cdot d^{-1}$. Para los basaltos no es posible calcular la permeabilidad dada la imposibilidad de precisar el espesor de dichos materiales.

4.2) Estimación a partir de los datos de mareas

Se tomaron también datos continuos en CAD5-SO durante 50 horas cada 10 minutos durante los días 12, 13 y 14 de enero de 2000. El sondeo se encuentra excavado hasta los 26 m de profundidad y la columna de sondeo registra materiales aluviales hasta los 20 m y basaltos hasta el fondo del mismo sondeo. Los parámetros extraídos se pueden asociar a los materiales aluviales ya que el nivel piezométrico no desciende nunca a más de 1,5 m de profundidad y los basaltos tienen poca importancia en la columna

activa. Las medidas de nivel registran las oscilaciones mareales con el retardo natural (fig. 3), ya que presumiblemente no hubo ningún bombeo en pozos de la zona.

Asimismo, ya que no había datos directos de las mareas en el puerto de La Aldea, se representó la estimación de su comportamiento en el lugar de estudio, interpolando entre los dos puntos más cercanos a ambos lados -Sardina del Norte y Tauro-, donde hay datos directos de los ciclos mareales. Es decir, se han calculado las constantes armónicas para el puerto de La Aldea a partir de las que ya se disponía para los puertos citados anteriormente.

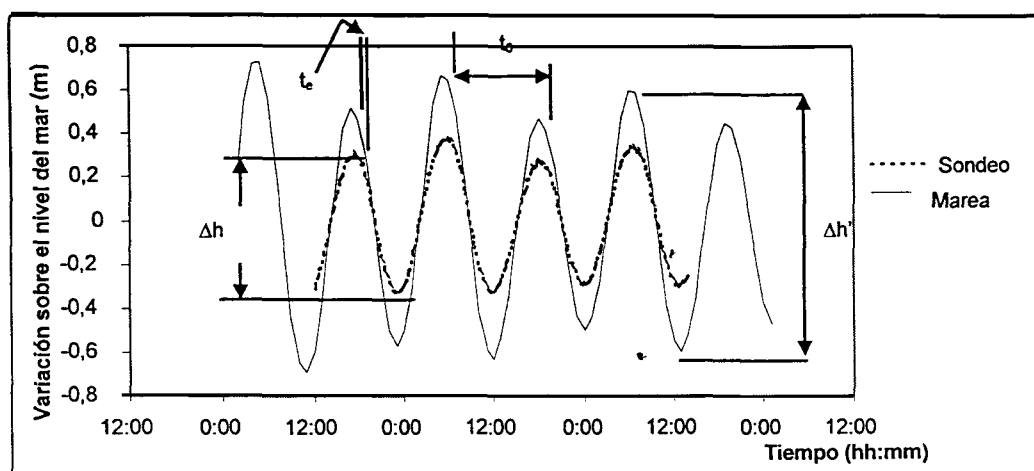


Figura 3. Representación de las ondas de marea estimadas en la zona de estudio para el tiempo en que se tomaron las medidas en el sondeo CAD5 SO.

Los parámetros extraídos que se necesitan para los cálculos hidrogeológicos, así como los datos referentes al pozo y a las condiciones del período mareal en el Océano Atlántico son los siguientes:

- Semi-amplitud de marea en el pozo (Δh): 0,636 m
- Semi-amplitud mareal ($\Delta h'$): 1,138 m
- Distancia del pozo al mar (x): 40 m
- Período de marea (t_0): 0,52 días
- Tiempo de retardo de la onda de marea al sondeo (t_e): 20 min ó 0,0125 d

El cálculo de parámetros hidráulicos a partir de los datos de la marea se ha calculado mediante el método de la eficiencia de la marea (Custodio y Llamas, 1975), arrojando un rango de transmisividad entre 1427 y 2855 m^2/d (se utiliza un valor de coeficiente de almacenamiento de 0,05-0,1 según SPA-15, 1975). La permeabilidad que se calcula con un espesor de 18 m queda en un rango entre 79 y 159 $m.día^{-1}$.

4.3) Estimación a partir de los datos de un ensayo de bombeo

El ensayo de bombeo se realiza en un pozo situado a 3300 m del mar, situado en el barranco de La Aldea, y que explota conjuntamente los materiales aluviales y los Basaltos Miocenos. El nivel estático inicial (6,53 m de profundidad) se encuentra en los materiales aluviales y desciende a una profundidad máxima de 14,33 m, por tanto se estima que no sobrepase la profundidad media de los sedimentos, estimada en 20 m para esta zona del barranco.

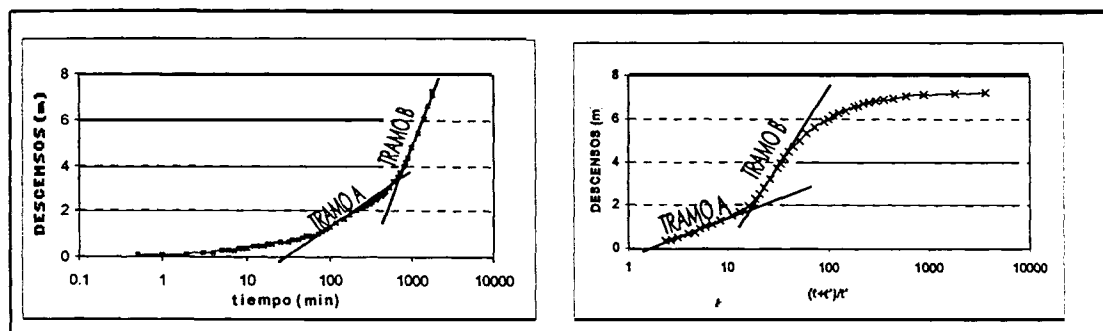


Figura 4. Medición del nivel piezométrico durante el ensayo de bombeo en un pozo tradicional.

El método utilizado para el cálculo de transmisividad es la aproximación logarítmica de Jacob para la fórmula de Theis (Custodio y Llamas, 1975). De estos datos se concluyen que la transmisividad del tramo A es $100 \text{ m}^2/\text{d}$ (permeabilidad = $5 \text{ m}/\text{d}$, para un espesor de 20 m del material aluvial). En el tramo B la transmisividad que resulta es de $60 \text{ m}^2/\text{d}$. La existencia de estos dos tramos responde a los dos medios atravesados por la columna del pozo: el tramo A refleja una columna activa en la que tiene mayor porcentaje el espesor de los materiales aluviales, mientras que el tramo B responde a una columna activa en la que los basaltos tienen un papel más importante.

En resumen, a partir de estos apartados se deducen las características hidráulicas resumidas en la tabla 4.

Tabla 4. Valores de los parámetros hidráulicos del acuífero aluvial del Barranco de Aldea.

	Materiales aluviales		Basaltos Miocenos
	T ($\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$)	K ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)	T ($\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$)
Caudal específico	1541	90	128
Mareas	2141	119	—
Ensayo de bombeo	100	5	20

5) CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DEL ACUÍFERO

Una de las cuestiones que se puede confirmar con el análisis de la hidroquímica, es la procedencia de las aguas que son extraídas ya que, como se ha mencionado previamente, hay dos unidades hidrogeológicas: materiales aluviales y Basaltos Miocenos, además de la influencia de otras litologías circundantes.

Los datos utilizados para elaborar este análisis deben corresponder a una "fotografía instantánea" de la química de las aguas del acuífero. Esta "fotografía" fue tomada en una campaña de inventario que registró 376 puntos de agua durante el verano de 1999. Posteriormente se procedió al análisis en laboratorios especializados de las muestras de agua recogidas durante ese período de tiempo. La tabla 5 muestra un análisis químico tipo de los componentes iónicos mayoritarios analizados. La disponibilidad de estos datos abre paso al examen de la distribución espacial de estos puntos para la comprobación de zonificaciones hidroquímicas.

Para representar y analizar espacialmente los datos se utiliza un Sistema de Información Geográfica que permite combinar las diferentes condiciones y reflejar cartográficamente los resultados. Los programas informáticos elegidos para llevar a cabo estas tareas han sido ArcView 3.2 e Ilwis 3.1.

Si se representan los componentes iónicos individualmente, las tendencias observadas pueden estar enmascaradas por la mezcla de varios procesos simultáneamente. Sin embargo, las relaciones de dos componentes iónicos determinados pueden dar indicios de los procesos que están ocurriendo en el acuífero. Algunas de estas relaciones iónicas pueden representar criterios hidroquímicos y pueden actuar como índices de la unidad hidrogeológica de la que proceden (Custodio, 1976).

Tabla 5. Análisis químicos tipo de muestras de agua. Las unidades son mg/l.

POZO		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₃ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ²⁻	pH	C.E
0001	07/06/	176,40	1831,9	717,60	164,61	—	358,68	1233,1	7380,45	183,52	7,91	4630
0002	17/06/	160,60	1772,6	569,94	109,48	12,90	342,82	1025,7	6638,50	188,48	8,33	3950
0003	17/09/	207,80	1142,2	159,39	140,76	1,80	153,72	368,64	5449,25	135,16	8,21	2480
0004	23/06/	240,00	2630,5	514,74	144,67	4,80	278,77	992,16	10486,70	164,30	8,3	4470

En el caso de los materiales basálticos se han escogido dos relaciones iónicas que nos pueden ayudar (Custodio, 1978): rMg/rCa y rMg/rCl. Las relaciones iónicas también nos pueden dar información sobre la influencia de algún otro factor que puede interferir en los parámetros indicadores, como es el caso de la tercera relación que se ha utilizado: rCl/rHCO₃.

La nomenclatura con la letra r delante del ión indica que las unidades en que se deben encontrar los contenidos iónicos son meq/l.

La relación rMg/rCa muestra un ligero crecimiento en perfiles hidroquímicos de la isla de Gran Canaria desde la cumbre hacia la periferia, mostrando efectos litológicos ya que los valores mayores (superiores a 1) se encuentran en los Basaltos Miocenos. El rango que presenta esta relación para las aguas continentales normalmente es entre 0,3 y 1,5 (Custodio, 1976).

La relación rMg/rCl ha sido usada para corroborar la distribución del Mg relativo eliminando el efecto de la salinidad marina o por otras causas no basálticas. En zonas de alta salinidad crece en general la concentración de todos los iones, por lo que la relación rMg/rCl se mantendría constante. Sin embargo, la influencia de los basaltos aumentaría el valor de la relación, al aumentar la concentración de Mg en relación a la de Cl, por su composición rica en elementos alcalinotérreos.

La relación $rCl/rHCO_3$ ha sido utilizada para discriminar una posible contaminación por otras causas no basálticas. En aguas continentales normales, los valores se encuentran entre 0,1 y 5. Cuando se produce intrusión marina, el valor de esta relación se acerca al del agua de mar, entre 20 y 50, sin embargo, si el incremento de cloruros es debido a concentraciones de sales en zonas de regadío, la relación crece mucho menos para igual incremento de cloruros.

Para visualizar espacialmente las relaciones iónicas índice se seleccionan en primer lugar los pozos que extraen agua de los Basaltos Miocenos considerando la geología de superficie y la profundidad de los mismos. Posteriormente se combinan los rangos de las relaciones iónicas citadas anteriormente para esos pozos que indican una influencia basáltica y el resultado es el de la figura 5. En esta figura se puede observar como hay dos zonas: una con influencia basáltica clara y otra con una influencia basáltica parcial. La representación espacial de los puntos con influencia basáltica junto con la extensión superficial de los materiales aluviales confirma que en el barranco de Tocodomán, donde los pozos explotan los Basaltos Miocenos la marca hidroquímica es claramente basáltica. Sin embargo, en el barranco principal de La Aldea, donde los pozos explotan conjuntamente los materiales aluviales y los Basaltos Miocenos, la marca hidroquímica de los basaltos es más leve.

6) CONCLUSIONES

Los distintos métodos utilizados para el cálculo de los parámetros hidráulicos proporcionan distintas cifras. Se puede aceptar un valor de transmisividad entre 1500 y 2100 m^2/d para los sedimentos aluviales. Los valores de transmisividad del ensayo de bombeo no son muy fiables, teniendo en cuenta que la columna activa implica las dos unidades hidrogeológicas. Los valores de transmisividad de los Basaltos Miocenos, son meramente comparativos en relación a los sedimentos aluviales, ya que los valores obtenidos mediante los diferentes métodos son

anómalamente altos respecto a los rangos que se pueden esperar en este tipo de materiales.

La zonación hidroquímica de las relaciones iónicas efectuada sobre los pozos que extraen aguas de los Basaltos Miocenos refleja una asimetría con un eje longitudinal en el barranco principal de La Aldea. Esta zonación parece estar relacionada con el flujo de agua subterránea procedente del barranco secundario de Tocodomán.

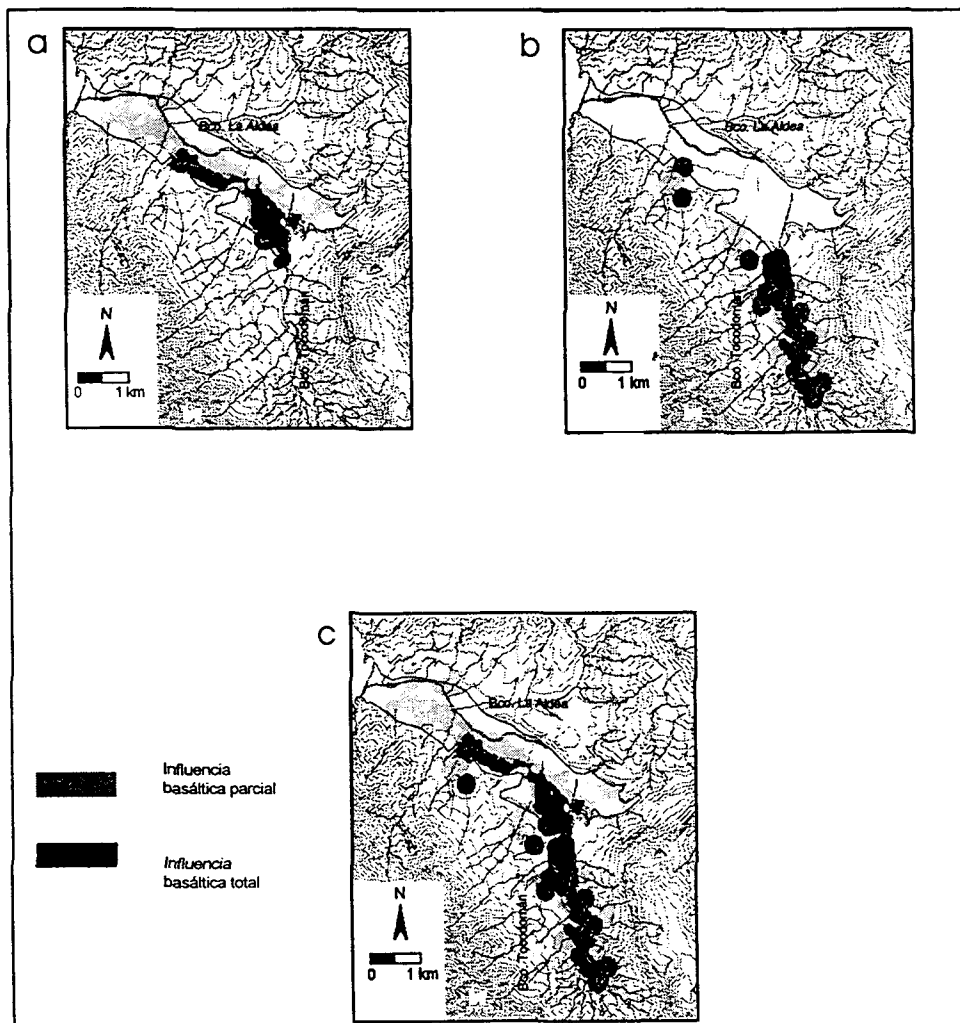


Figura 5. Distribución y combinación de los rangos de relaciones iónicas en pozos que extraen agua de los Basaltos Miocenos. a) Combinación de los rangos de las relaciones iónicas con influencia basáltica en pozos de menos de 20 m de profundidad en el barranco principal de La Aldea. b) Combinación de los rangos de las relaciones iónicas con influencia basáltica en pozos del barranco secundario de Tocodomán. c) Unión de los pozos con influencia basáltica en las dos zonas.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido financiado por el Proyecto CICYT con fondos FEDER 1FD97-0525. Dentro de este proyecto, ha recibido financiación de la Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias, el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, el Excmo. Ayuntamiento de San Nicolás de Tolentino, COPAISAN, COAGRISAN y ROMERTOR. Además cabe reconocer la ayuda imprescindible ayuda de Antonio Martínez Marrero para la interpretación de los datos de mareas. A todos ellos, muchas gracias.

Referencias bibliográficas

- Cabrera, M.C.; Muñoz, R.; Poncela, R.; González, G . y Socorro, A.R. 1997. Estudio de la contaminación por plaguicidas en la zona no saturada y el acuífero de Gran Canaria y Tenerife (Islas Canarias). En Cabrera, M.C., Custodio, E. y Roque, F. (eds): Las aguas subterráneas en la planificación hidrológica en las Islas Canarias. Pp. 211-217.
- Cabrera, M.C.; Delgado Mangas, F.; Muñoz Sanz, J.; Pérez Torrado, F.J. y La Moneda, E. 2000. Caracterización de las familias hidrogeoquímicas en el acuífero de La Aldea (Gran Canaria). *Geotemas*, 1(2), pp. 47-50.
- Cabrera, M.C.; Albert, A. y Muñoz, J. 2002. Influencia de la instalación de desaladoras de agua de pozo en el acuífero de La Aldea (Gran Canaria). En Pulido, A.; Vallejo, A. y Pulido Lebouf, P. (eds.): Los acuíferos costeros y las desaladoras. Ed. Club del Agua subterránea. pp. 195-202.
- Custodio, E. y Llamas, R. 1976. Primera Edición. *Hidrología Subterránea*. Ed. Omega. Barcelona. II tomos. 2350 pp.
- Custodio, E. 1978. *Geohidrología de terrenos e islas volcánicas*. Instituto de Hidrología. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid. 393 pp.
- SPA-15. 1975. Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515). Minist. Obras Públ, Dir. Gral. Obr. Hidr. UNESCO. Las Palmas de Gran Canaria, Madrid. 3 vol.+ mapas.