

E. FERNANDEZ CALDAS
y V. PEREZ GARCIA

LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE TENERIFE



PUBLICADO EN
ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGRONOMIA
TOMO XXVI, NÚMS. 1-4.—MADRID, 1967

LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE TENERIFE

I. ORIGEN Y CARACTERISTICAS QUIMICAS

E. FERNANDEZ CALDAS (*) y V. PEREZ GARCIA

SUMMARY

GROWND WATERS IN TENERIFE

I. ORIGIN AND CHEMICAL CHARACTERISTICS

The chemical characteristics of ground waters of Tenerife are studied, including all the different sources of perched waters from tunnels (galerías) wells and springs.

The chemical determinations include: pH, electrical conductivity, calcium, sodium, magnesium, potassium, carbonates, bicarbonates, sulphates and chlorides. Determination of boron and fluoride are also included.

Ground waters are clasified, according to the relationship between the electrical conductivity and the relative concentration of sodium, calcium and magnesium. The residual sodium carbonate is also studied.

Considerations are also given with regard to the different geologic aspects responsible for the accumulation of ground waters at high and low levels within the island.

INTRODUCCIÓN

Las aguas en Canarias constituyen la base de toda planificación agrícola, y su potencial es el factor determinante de la puesta en cultivo de nuevas zonas de producción.

No obstante, teniendo en cuenta las características climáticas de Canarias, y gran extensión de las zonas áridas en las principales regiones agrícolas, la composición química de las aguas es tan importante como sus disponibilidades.

Estudiamos en este trabajo las características químicas de las aguas de Tenerife, con objeto de conocer la cantidad y clase de las sales disueltas.

(*) Director del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife.

tas y sus concentraciones relativas. Con este fin se ha hecho un estudio sistemático de la totalidad de los manantiales de la isla, recopilando el mayor número posible de datos relativos a la composición de estas aguas, considerando todos aquellos constituyentes que puedan ser de interés desde un punto de vista agrícola. La clasificación de estas aguas para su empleo como aguas de riego, y el estudio de sus efectos residuales, no se consideran en el presente trabajo y será objeto de una comunicación posterior. La clasificación que presentamos tiene como única finalidad agruparlas según sus características químicas.

Se han hecho determinaciones de pH, conductividad eléctrica, calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros. Igualmente se han estudiado las concentraciones de boro y fluor.

Las variaciones que se observan en la composición química de las aguas, guardan una relación con el tipo y situación de los manantiales, observándose las mayores diferencias entre las aguas procedentes de las zonas montañosas y las aguas de pozos en las zonas bajas de la isla.

Con el fin de comprender mejor las causas que determinan estas diferentes características químicas, en función de la situación de los manantiales, consideramos brevemente en este estudio, las distintas formaciones geológicas que retienen las aguas en las zonas montañosas, y los principios que regulan la formación de estos depósitos en las zonas próximas a las costas.

DEPÓSITOS SUBTERRÁNEOS

Las aguas subterráneas tienen su origen en las filtraciones de agua de lluvia o nieves que pasan al subsuelo en una gran proporción, como consecuencia del carácter altamente permeable de las rocas volcánicas de la isla.

En Tenerife y en general en las Islas Canarias, el volumen más importante de las aguas subterráneas se encuentra bajo dos formas distintas: a) Aguas de galerías en las zonas altas, retenidas por capas impermeables, o en compartimientos formados por diques volcánicos, y b) Aguas basales o de pozos, que se extienden por toda la zona baja de la isla a diferentes alturas sobre el nivel del mar.

No parece demostrada la existencia de aguas nuevas o de origen profundo en Canarias (1).

AGUAS DE CAPAS Y DIQUES

Las capas impermeables que retienen las aguas infiltradas en las zonas montañosas, están generalmente formadas, o por antiguas cuencas de

barrancos rellenas por corrientes de lavas, o por superficies arcillosas que se han impermeabilizado, por un proceso de cocción al discurrir sobre ellas una corriente de lavas fundidas.

En ambos casos, las aguas infiltradas se desplazarán a través de los materiales porosos de las lavas, siguiendo la pendiente de estas capas impermeables.

Algunas fuentes tienen su origen en este tipo de formaciones.

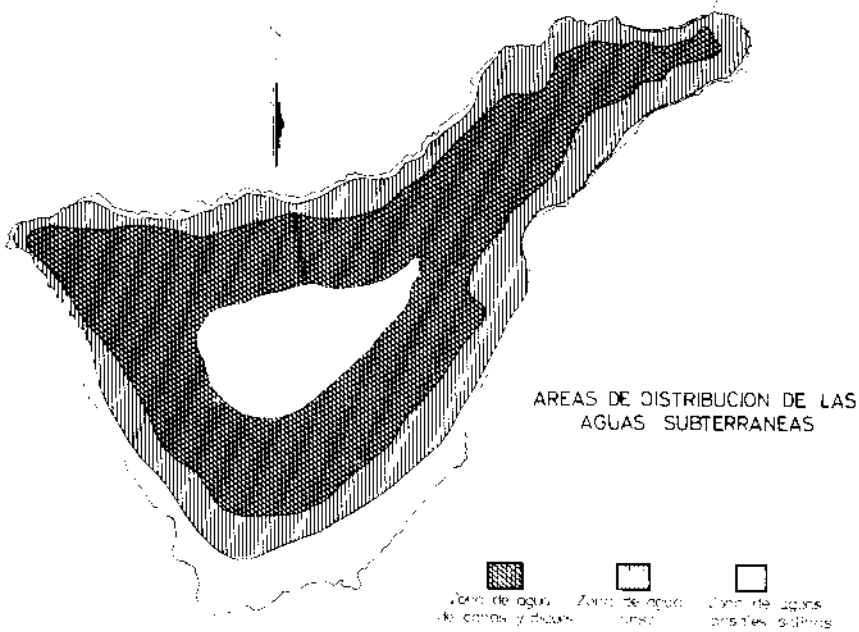


Fig. 1.

En la gráfica núm. 1 se representan aproximadamente las áreas de las aguas subterráneas. El área superior no rayada corresponde a la zona de las Cañadas del Teide.

Las aguas de diques, son las más importantes, y se encuentran acumuladas en compartimentos profundos, originados por diques volcánicos, que producen, al entrecruzarse, verdaderos compartimentos de gran impermeabilidad, rellenos por masas de lavas vesiculares muy permeables. (Gráfica número 2). Este tipo de formaciones es del mayor interés, desde el punto de vista de reservas de aguas subterráneas, por la abundancia de estas formaciones geológicas y magnitud de los depósitos formados (2). Puede considerarse que la totalidad de la Isla, se encuentra seccionada por estos diques volcánicos, que se orientan en todas direcciones.

Gran parte de las aguas de lluvia o nieve, al infiltrarse en el suelo, son recogidas en estos compartimientos.

Cuando estos depósitos se encuentran totalmente saturados, el exceso de agua infiltrada, brota en los niveles superiores de los diques, dando también lugar a fuentes naturales.

La naturaleza volcánica de estos compartimientos, implica una gran dificultad para su localización, y los trabajos de prospección de aguas en estas zonas montañosas, no siempre conducen a resultados positivos.

La captación de aguas se realiza mediante obras de perforación en túneles o galerías que alcanzan hasta 3 kilómetros de longitud.

En la actualidad existen 284 galerías en producción, que representan un total de 551.852 metros lineales de perforación. Según cifras actuales (3), la totalidad de las perforaciones realizadas en los trabajos de prospección se aproximan a un millón de metros lineales (4).

Las aguas captadas mediante estas obras, tienen una duración limitada, en función naturalmente, del volumen total de depósito y caudal de descarga. La duración oscila desde pocos años hasta un período máximo de aproximadamente treinta años.



Fig. 2.

La continuidad en la producción de estos manantiales, se logra mediante trabajos continuos de perforación en el túnel, hasta alcanzar nuevos depósitos o realizando obras de captación en zonas próximas o en cotas más bajas.

El volumen total de aguas, que se obtiene actualmente de las galerías es del orden de 500.000 m³ diarios.

Teniendo en cuenta, que en general la descarga principal de estos depósitos se produce a través de perforaciones en los diques que forman sus paredes de contención, se han realizado trabajos (5) para restituir estos diques mediante compuertas que permitan regular el caudal de salida con resultados muy satisfactorios.

Se ha comprobado que el aumento de caudal que se produce al abrir nuevamente la compuerta, se aproxima al volumen de aguas que hubiere fluido durante el tiempo que el dique estuvo restituido.

Estos trabajos confirman la posibilidad de utilizar estos depósitos subterráneos como tales vasos naturales para el almacenamiento de aguas, al mismo tiempo que permiten regular su caudal.

AGUAS BASALES

Las aguas infiltradas, que no son retenidas por capas impermeables o diques, continúan su descenso hasta alcanzar el nivel del mar, en la zona de saturación.

Estas masas de agua, aunque fluyendo lentamente hacia el mar, se comportan como un cuerpo flotante y, en consecuencia, desplazan un peso de fluido igual a su propio peso.

Esta gran masa de agua queda retenida en las rocas permeables por un fenómeno de capilaridad y se acumula a una altura tal sobre el nivel del mar, que la velocidad de escape iguala a la velocidad de infiltración procedentes de cargas verticales. Esta masa de agua forma como una gran lente que flota sobre el agua del mar, como consecuencia de su menor densidad (6).

El agua del mar tiene en estas latitudes una densidad media aproximada de 1.025, es decir, 1/40 veces mayor que el agua de lluvia. Como consecuencia, esta masa estará en equilibrio con el agua del mar, cuando su volumen sobre el nivel del mar sea aproximadamente 1/40 de su volumen bajo él. Es decir, estas lentes de agua dulce podrán alcanzar bajo el nivel del mar profundidades de aproximadamente 40 veces su altura sobre el nivel marítimo.

Este principio de flotación propuesto por Gyben Herzberg, fue descubierto en las islas que bordean el Mar del Norte a finales del siglo pasado, posteriormente comprobado en otras regiones mundiales y actualmente generalizado para las islas de origen volcánico (7).

Las relaciones que rigen este principio vienen formuladas por la siguiente ecuación:

$$h = \frac{t}{g - 1}$$

Donde g es la densidad del agua del mar, t la densidad del agua dulce, t la altura del nivel del agua basal sobre el nivel del mar, y h la profundidad que alcanza el agua dulce bajo el nivel del mar. En la gráfica número 3 se representa la distribución de estas aguas en la base de la isla (6).

Teniendo en cuenta las características de flotación que rigen este principio y la relación de alturas con respecto al nivel del mar en que se sitúan las aguas dulces, es fácil imaginar las grandes acumulaciones de aguas que deben encontrarse en aquellos sectores costeros de la isla, donde aparezcan formaciones rocosas impermeables que dificulten las descargas de las aguas basales.

Estas zonas serán especialmente interesantes para el emplazamiento

de pozos, y sería de gran interés que, atendiendo a estas características, se realizasen investigaciones para conocer las reservas hidráulicas de los diferentes sectores costeros de nuestra isla.

DISTRIBUCION DE LAS AGUAS BASALES SEGUN EL PRINCIPIO DE GYBEN - HERZBERG



Fig. 3.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS

Aguas de capas y diques

La característica principal de estas aguas en cuanto a su composición, es el carácter predominante de los iones bicarbonato, cuantitativamente superior a los restantes aniones. Existe siempre una relación directa, entre los sólidos totales disueltos y la concentración de bicarbonatos. Iones carbonatos no se encuentran en todos los manantiales, y su presencia depende de la concentración del ión bicarbonato. En aguas muy bicarbonatadas los iones carbonato pueden alcanzar altas concentraciones.

No es frecuente en Tenerife, la existencia de aguas conteniendo anhídrido carbónico libre. Solamente existe un manantial en las proximidades del Teide, con una concentración de 558,8 mg/l., y reacción ácida (pH = 5,49).

La presencia generalizada de iones bicarbonato en las aguas, tiene su origen, en las emanaciones continuas de gas carbónico que se produce en las zonas volcánicas profundas de la isla. Por disolución de estos gases en las aguas subterráneas, al ponerse en contacto con ellas, forman ácido carbónico, que ejerce una acción disolvente sobre los minerales que forman los depósitos subterráneos (1).

Esto explica que las aguas con una mayor concentración de bicarbonatos y carbonatos se encuentren en las zonas de la isla más próximas a la región del Teide, donde cabe esperarse una mayor actividad volcánica. En estas regiones, es frecuente la presencia de gas carbónico en las galerías, que obliga a purificar el aire en los trabajos de perforación.

TABLA I
Composición química de aguas de galería

Clases	CE X 10 ⁶ 25° C	Sólidos disueltos p. p. m.	F p. p. m.	B p. p. m.	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	CO ₂ mg/l	HCO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l	Na ₂ CO ₃ Residual
1 C ₁ S ₁	212	183	0,50	0,00	7,91	0,45	0,61	1,27	0,34	0,00	1,76	0,00	0,40	0,70
2 C ₂ S ₁	481	433	0,40	0,16	8,12	1,48	1,52	2,00	0,48	0,00	5,05	0,00	0,34	2,05
3 X C ₂ S ₂	486	503	0,55	0,16	7,78	0,47	0,98	5,39	0,23	0,00	5,60	0,00	0,40	4,75
4 X C ₂ S ₃	737	766	1,40	0,00	8,80	0,47	0,00	9,10	0,85	1,18	5,44	2,88	0,92	6,15
5 C ₃ S ₁	1089	873	1,60	0,00	8,21	1,81	3,56	5,00	0,93	1,59	9,24	0,00	0,86	5,46
6 X C ₃ S ₂	1166	1150	1,40	0,00	8,50	0,70	3,12	10,18	1,37	1,97	12,17	0,12	1,00	11,32
7 X C ₃ S ₃	1592	1694	1,40	0,00	7,40	1,15	1,49	17,64	0,60	0,00	19,69	0,29	0,24	17,05
8 X C ₄ S ₂	2412	2374	0,00	0,34	8,85	0,19	20,36	15,40	2,60	10,37	22,49	1,14	0,59	12,31

En cuanto a los restantes aniones, los cloruros se encuentran presentes en todas las aguas a concentraciones que oscilan entre 0,17 meq/l y 2,52 meq/l.

Sulfatos, se encuentran sólo en algunos manantiales (únicamente 97 de los 284 estudiados) y sus concentraciones son también bajas. Varían entre 0,12 meq/l. y 2,42 meq/l.

Entre los cationes, la concentración mayor corresponde a los iones sodio. En general, la concentración de los cationes se encuentra en el orden siguiente: $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$.

Sin embargo, en algunos manantiales, se invierte el orden $\text{Na} > \text{Mg}$. Esto ocurre, excepcionalmente en algunos tipos de agua de alta salinidad con una concentración elevada de iones bicarbonato. También se observan alteraciones en el orden $\text{Mg} > \text{Ca}$ en aguas de muy baja salinidad, donde la concentración de sólidos disueltos nunca es superior a 200 p. p. m.

La conductividad eléctrica se encuentra comprendida entre 212 micromhos por cm. y 2.412 micromhos por cm.

Los valores de pH son en general alcalinos.

Una característica general de las aguas de galería, es que su composición y concentración no varía durante todo el período de producción del manantial.

Las diferencias de concentración que se observan de unos manantiales a otros, están muy influenciados por las zonas de emplazamiento de las galerías, y aunque es muy difícil generalizar sobre estas dependencias, es evidente el predominio de aguas de composición y concentración semejantes dentro de una misma zona.

La característica común de estas aguas, en lo que se refiere a la presencia de bicarbonatos y sodio, como el anión y cation predominantes, y su alcalinidad, nos permite considerarlas por su composición como aguas bicarbonatadas sódicas alcalinas.

Sin embargo, hemos visto que los valores de conductividad varían entre límites amplios desde 212 micromhos por cm. hasta 2.412 micromhos por cm., y que los iones, sodio, calcio y magnesio pueden variar en sus concentraciones relativas.

Teniendo en cuenta la importancia que desde un punto de vista agrícola tienen la concentración absoluta y relativa de estos iones, nos ha parecido conveniente clasificar las aguas atendiendo a estas características. Con este fin hemos seguido el sistema de clasificación propuesto por el United States Salinity Laboratory (Richards, 1954) (8), que considera conjuntamente los valores de conductividad eléctrica de las aguas y las concentraciones relativas del ión sodio, calcio y magnesio, según la fórmula:

$$\text{Na}^+ / \sqrt{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}/2.$$

De acuerdo con esta clasificación, la totalidad de las aguas de galerías de Tenerife, se pueden agrupar en ocho clases atendiendo a su salinidad, alcalinidad y concentración total de sales. En la tabla núm. 1 se

TABLA 2

Porcentajes de clases de aguas en diferentes zonas

SITUACION	$\frac{‰}{C_1 S_1}$	$\frac{‰}{C_2 S_1}$	$\frac{‰}{C_2 S_2}$	$\frac{‰}{C_2 S_3}$	$\frac{‰}{C_2 S_1}$	$\frac{‰}{C_3 S_2}$	$\frac{‰}{C_2 S_3}$	$\frac{‰}{C_1 S_2}$
<i>Zona Sur:</i>								
Candelaria	76,9	23,1						
Arafo	30,8	30,8	7,7		7,7	23,0		
Guimar	73,4	13,3	13,3					
Pesnia.....		77,7			22,3			
Arico.....	33,3	33,3		9,6	14,4		4,7	4,7
Granadilla	40,0	60,0						
San Miguel.....	100,0							
Vilafior	71,5	14,3			7,1		7,1	
Arona.....	66,6	33,4						
Adeje.....	66,6	33,4						
Guia de Isora	69,2	23,1	7,7					
Santiago del Teide		80,0			20,0			
<i>Zona Norte:</i>								
La Laguna	66,6	16,7			16,7			
La Esperanza	100,0							
Tegueste.....		100,0						
Ti coronte	62,5	25,0				12,5		
El Sauzal.....	100,0							
La Matanza.....	100,0							
La Victoria.....	100,0							
Santa Ursula	100,0							
La Orotava.....	66,7	25,9				3,7	3,7	
Los Realejos	5,1	53,8			33,4	7,7		
La Guancha.....	14,3					85,7		
San Juan de la Rambla	45,5				9,0	45,5		
Icod	18,0	54,3			9,7	18,0		
Garachico	18,2	72,7			9,1			
Los Silos.....	18,2	45,4			36,4			
Buenavista		71,4			14,3	14,3		
El Tanque	100,0							

incluyen análisis representativos de cada una de las muestras, tomadas como tipo dentro de cada clase. Esta selección dentro del conjunto de las aguas estudiadas, nos permite conocer las características individuales de cada clase. Hemos de tener en cuenta que las pequeñas diferencias

que puedan observarse entre las aguas correspondientes a la misma clasificación, con respecto a los tipos indicados en la tabla núm. 1, no podrán alterar sustancialmente el carácter representativo de cada una de ellas.

En la tabla núm. 2, se indica cómo están distribuidas estas diferentes clases de aguas en las distintas zonas de la isla, considerando el porcentaje de manantiales que corresponden a cada clasificación. Se observa que

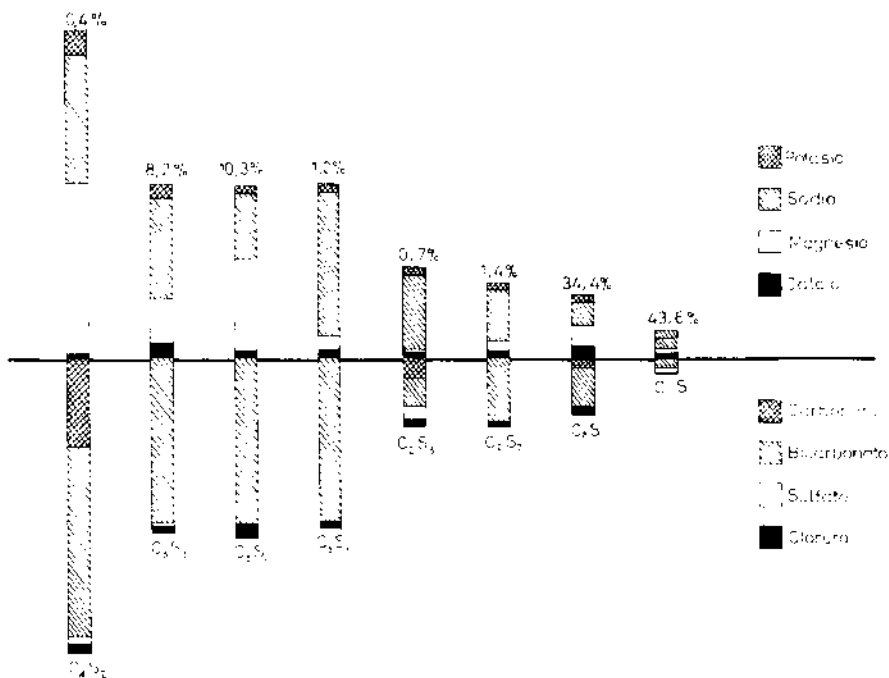


Fig. 4.

existen zonas donde los manantiales de una determinada clase de aguas alcanzan el 100 por 100 y en otros, estos porcentajes varían ampliamente de unas clases a otras. El conocimiento de estos datos nos permiten estimar el tipo de aguas que cabe esperar en futuras prospecciones en estas diferentes cuencas.

En la gráfica núm. 4 se representa la composición iónica y porcentaje de las diferentes clases de aguas existentes en Tenerife, tomadas en conjunto. Se observa que la mayor proporción viene representada por las clases C₁, S₁ y C₂, S₂, que corresponde a los tipos de aguas de menor concentración iónica.

En las consideraciones anteriores, no se ha tenido en cuenta la relación de los iones bicarbonato con los restantes cationes.

En un estudio de las características químicas de las aguas desde un punto de vista agrícola, estas relaciones deben ser consideradas para po-

T A B L A 3

Aguas basales poco contaminadas

Clases	CE X 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p. p. m.	F p. p. m.	B p. p. m.	pH	Ca meq/l	Mg meq/l	Na meq/l	K meq/l	CO ₂ meq/l	H CO ₂ meq/l	SO ₄ meq/l	Cl meq/l
X C ₂ S ₁	578	408	0,00	0,00	8,22	1,22	1,45	4,05	0,18	0,00	2,12	0,38	3,20
C ₂ S ₁	586	412	0,30	0,20	7,80	0,98	1,44	2,67	0,12	0,00	2,41	1,19	2,96
X C ₂ S ₁	479	408	0,10	0,00	7,91	0,74	1,54	2,74	0,34	0,00	4,20	0,00	1,18
X C ₃ S ₁	950	700	1,00	0,20	7,85	0,96	2,26	4,15	0,76	0,00	5,92	1,84	1,08
X C ₃ S ₂	1273	1133	0,30	0,00	9,26	0,19	5,73	9,90	1,28	5,12	7,66	2,43	1,26

der determinar los valores de carbonato sódico residual. Según este concepto, aguas con un porcentaje de sodio aparentemente bajo, en relación con los restantes cationes, puede incrementarse relativamente como consecuencia de la precipitación de los iones calcio y magnesio en forma de carbonatos en la solución del suelo. El exceso de bicarbonato presente forma carbonato sódico, que puede conducir a problemas de alcalinidad en los suelos.

La magnitud del carbonato sódico residual en estas aguas viene representado en la tabla núm. 1, para cada una de las clases indicadas.

Aguas basales o de pozos

En este tipo de manantiales, su composición química dependerá de la altura a que se encuentren las aguas sobre el nivel del mar.

En los pozos, situados en zonas donde el espesor de las aguas basales es considerable, la característica química de sus aguas es similar a las de galerías (tabla núm. 3). En estos casos la contaminación por el agua del mar es poco sensible.

Pueden predominar indistintamente los iones bicarbonato o cloruro. Este último no se encuentra nunca a concentraciones superiores a 35,00 meq/l.

La concentración y relaciones iónicas de las restantes sales, es en todo análoga a las aguas subterráneas de las zonas altas.

En los pozos próximos a las costas, donde el nivel de las aguas basales es próximo al nivel del mar, la contaminación es considerable, y los iones cloruro constituyen el anión predominante. Al mismo tiempo aumenta la concentración de las sales sódicas, cálcicas y magnésicas, siendo sus concentraciones relativas del mismo orden que en el agua del mar.

Las conductividades eléctricas alcanzan valores superiores a las aguas de galería, llegando hasta 3.520 micromhos por cm. en los pozos de mayor concentración salina estudiados.

Los bicarbonatos se encuentran también presentes en todos los tipos de aguas basales, llegando a alcanzar valores del orden de 7,66 meq/l. (tabla núm. 3).

Una diferencia fundamental entre las aguas de galerías y las aguas basales es la variación que estas últimas experimentan en su concentración durante el proceso de extracción.

Siguiendo las mismas consideraciones establecidas para clasificar las aguas de galería, encontramos en las aguas basales las clases que se indican en las tablas 3 y 4. En estas dos tablas hemos incluido solamente muestras representativas de cada una de estas clases.

Las principales diferencias que se encuentran en la constitución química de las aguas de pozo y galería pueden apreciarse en la gráfica nú-

T A B L A 4
Aguas basales contaminadas

Clases	CE $\times 10^6$ 25° C	Sólidos disueltos P. P. m.	F P. P. m.	B F. P. m.	pH	Ca meq/l	Mg meq/l	Na meq/l	K meq/l	CO ₃ meq/l	HCO ₃ meq/l	SO ₄ meq/l	Cl meq/l
C ₃ S ₂	2241	1336	0,60	0,00	9,16	2,55	5,05	14,92	0,42	0,42	0,63	0,20	22,62
C ₃ S ₃	2076	1302	0,20	0,66	9,07	1,37	3,22	16,75	0,57	0,88	1,53	2,75	16,02
C ₃ S ₄	1396	1052	1,20	0,32	9,00	0,64	1,10	14,40	0,45	0,71	6,49	0,60	6,51
C ₄ S ₃	3529	2072	0,00	0,00	7,79	3,03	8,13	23,97	0,78	0,00	0,36	1,38	35,00

mero 5, donde se ha representado la composición iónica de dos aguas de pozo de las clases $C_2 S_1$ y $C_3 S_3$, y se comparan con dos muestras de agua de galería correspondientes a las mismas clases.

Las gráficas correspondientes a la clase $C_2 S_1$ representan aguas cualitativa y cuantitativamente próximas, donde la principal diferencia viene dada por la concentración ligeramente superior de los iones cloruro en las aguas de pozo en relación con los bicarbonatos. En este caso, el agua de pozo corresponde a una muestra procedente de aguas basales de nivel alto.

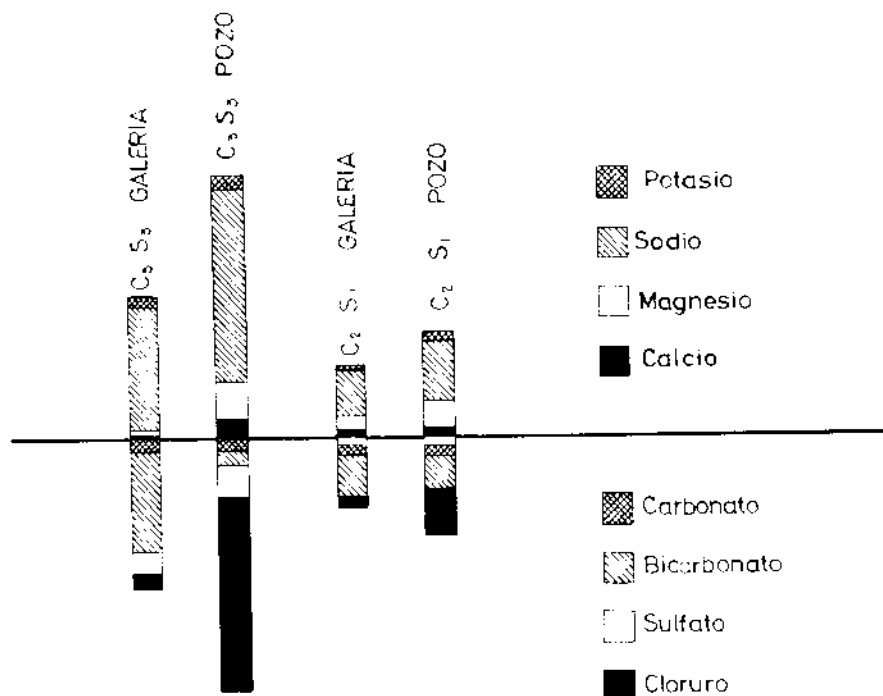


Fig. 5.

En las muestras correspondientes a la clase $C_3 S_3$, se observa el carácter cuantitativamente predominante de los iones cloruro en las aguas de pozo, y de bicarbonatos en las de galería. Igualmente la concentración de los iones sodio y magnesio es superior en el agua de pozo. Las diferencias en el valor de la conductividad de estas aguas, tomadas de una misma clase, viene dada por la movilidad iónica de los iones predominantes.

Aguas de fuentes

Aunque los caudales de estos manantiales suelen ser muy pequeños y, por lo tanto carecen de interés en el conjunto de las aguas de la isla, exis-

ten determinados sectores aislados donde estas aguas se vienen aprovechando para el riego de pequeñas extensiones.

Se han estudiado también estas muestras, para completar nuestro conocimiento cualitativo de la totalidad de las aguas empleadas con fines agrícolas.

En general, las aguas de fuentes son de las mejores características agrícolas, pudiendo agruparse todas ellas en las clases C₁ S₁, existiendo

TABLA 5

Composición química de aguas de fuente

Clases	CE × 10 ³ 25° C	Sólidos disueltos p. p. m.	pH	Ca meq/l	Mg meg/l	Na meq/l	K meq/l	CO ₂ meq/l	H CO ₃ meq/l	SO ₄ meq/l	Cl meq/l
C ₁ S ₁	62	51	7,28	0,19	0,43	0,22	0,02	0,00	0,33	0,00	0,44
C ₁ S ₁	64	62	7,28	0,18	0,65	0,30	0,05	0,00	0,44	0,00	0,42
C ₁ S ₁	82	64	7,02	0,19	0,59	0,41	0,03	0,00	0,42	0,00	0,48
C ₁ S ₁	90	116	7,39	0,35	0,55	0,30	0,02	0,00	0,44	1,16	0,34

un por ciento muy pequeño de muestras correspondientes a las clases C₃ S₂ y C₃ S₁ (tabla núm. 5).

Boro

El boro se encuentra en las aguas en forma de iones borato. Bajo esta forma es tóxico para las plantas a concentraciones que oscilan entre 1,25 p. p. m., para las plantas más sensibles, y 3 p. p. m. en las de mayor tolerancia.

En las aguas de Tenerife, las concentraciones de boro se encuentran comprendidas entre 0,16 p. p. m y 0,80 p. p. m., siendo la concentración más frecuente del orden de 0,2 p. p. m. Excepcionalmente, en una sola muestra hemos encontrado boro a una concentración de 1,66 p. p. m.

Solamente hemos encontrado boro en 67 manantiales, correspondientes a muestras de aguas de galerías y aguas basales.

Flúor

El flúor se encuentra presente en el 86 por 100 de la totalidad de las aguas de la isla, incluyendo galerías, pozos y fuentes. En todos estos manantiales las concentraciones son del mismo orden de magnitud, con un valor medio de 0,25 p. p. m.

Excepcionalmente, en la región comprendida entre San Juan de La Rambla e Icod, se encuentran algunos manantiales con una concentración de flúor más elevada (tabla núm. 6).

TABLA 6

N.º manantia	F p. m. m.
1	4,00
2	5,60
3	3,20
4	3,60
5	6,40
6	4,00
7	4,80

Teniendo en cuenta que las aguas que estudiamos se emplean indistintamente con fines agrícolas o para el consumo humano, es necesario destacar que este grupo de manantiales tienen una concentración de flúor superior a los límites tolerados para las aguas potables. La ingestión prolongada de estas aguas podría originar trastornos, principalmente en problemas de fluorosis dental.

La presencia de altas concentraciones de flúor en estas aguas, no está particularmente asociada al predominio de determinados aniones o cationes y debe tener su origen en la existencia en aquella zona de minerales conteniendo flúor.

RESUMEN

Se hace un estudio sistemático de las características químicas de las aguas subterráneas de Tenerife en la totalidad de los manantiales, incluyendo galerías, pozos y fuentes.

En el estudio químico de estas aguas, se han considerado todos los constituyentes y características que puedan ser de interés para una apreciación de sus posibilidades agrícolas.

Se observa una gran dependencia entre las características de las aguas y la situación de los manantiales, y estudiamos los principales tipos de formaciones geológicas que determinan la presencia de los depósitos subterráneos de aguas a diferentes niveles de la isla.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BRAVO, T. 1952. Origen de las aguas de Tenerife y sus depósitos subterráneos. Conferencias. Goya-Ediciones. Santa Cruz de Tenerife.
- (2) HAUSEN, H. 1951. On the ground water conditions in the Canary Islands and their irrigation cultures. Acta Geographica, 12, N.º 2, Helsingfors.
- (3) Departamento de Estadística de la Mancomunidad de Cabildos de la Provincia de Tenerife. 1966.
- (4) CRUZ Y GARCÍA, T.: Comunicación privada.
- (5) AMIGÓ DE LARA, J. Comunicación privada.
- (6) STEARNS, H. T. and MACDONALD, G. A. 1947. Geology and Ground Water resources of the Island of Molokai, Hawaii. Bulletin 11, Hawaii Division of Hydrography.
- (7) STEARNS, H. T. and VAKSVIK, K. N. 1935. Geology and ground-water resources of the Island of Oahu, Hawaii Div. of Hydrography, Bull. 1, pp. 235-239.
STEARNS, H. T. 1940. Geology and ground-water resources of the islands of Lanai and Kahoolawe, Hawaii: Hawaii Div. of Hydrography, Bull. 6, pp. 76-77.
- (8) RICHARDS, L. A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook, N.º 60.

Recibido para publicación: 21-11-1966