

E. FERNANDEZ CALDAS
y J. J. BRAVO RODRIGUEZ

LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA
DE LA PALMA

CARACTERISTICAS QUIMICAS Y GEOQUIMICAS



PUBLICADO EN
ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA
Tomo XXIX, Núms. 5-6.—MADRID, 1970

LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA PALMA

CARACTERISTICAS QUIMICAS Y GEOQUIMICAS

por

E. FERNANDEZ CALDAS y J. J. BRAVO RODRIGUEZ

SUMMARY

THE SUBTERRANEAN WATERS OF THE ISLAND OF LA PALMA

The ground waters of the Island of La Palma (Canary Islands) are studied from the chemical and geochemical standpoint.

Influence of location of perched water on the chemical and geochemical characteristics are also indicated.

The waters of this Island are in general of the lowest ionic concentration even along the basal region.

INTRODUCCIÓN

Como continuación de los estudios que venimos realizando sobre las características químicas de las aguas subterráneas de las Islas Canarias (1) nos referimos en el presente trabajo a las aguas de la Isla de La Palma.

Consideramos principalmente su composición química como base para una clasificación agrícola, al mismo tiempo que hacemos referencia a sus características geoquímicas.

El origen y distribución de las aguas subterráneas de la Isla de La Palma presenta características comunes con el resto de las Islas Canarias. Los diferentes tipos de depósitos que se forman en el subsuelo y los desplazamientos subterráneos de estas aguas han sido ya estudiados en varias publicaciones (1, 2, 3, 4).

La prospección para la captación de aguas se realiza de igual manera que en las restantes islas, mediante galerías en las regiones montañosas y pozos en las zonas de aguas basales, donde se practican estas perforaciones hasta alcanzar el nivel del agua, y en muchos casos se continúan los trabajos de prospección mediante galerías radiales en la zona de saturación.

Es muy característico de la Isla de La Palma, y único en Canarias, la existencia de manantiales naturales de gran caudal que fluyen espontáneamente en las regiones altas de la Isla. Estas fuentes naturales experimentan variaciones estacionales en sus caudales y su magnitud nos pone de manifiesto las grandes reservas hidráulicas del subsuelo de esta Isla.

El volumen de aguas que aportan estos manantiales naturales es del orden de 50.000 m³/día, y si bien en principio permitieron el desarrollo de extensas zonas agrícolas son insuficientes para atender las necesidades actuales.

Como consecuencia de la expansión agrícola de la Isla de La Palma, las obras de captación de aguas han proliferado extraordinariamente en los últimos años, con resultados muy satisfactorios.

En los trabajos de galerías en Canarias, y principalmente en la Isla de Tenerife, es frecuente la contaminación del aire por gas carbónico, a medida que se profundiza en estas perforaciones. En La Palma, sin embargo, no se han observado concentraciones elevadas de este gas en ninguna de las prospecciones realizadas en las diferentes regiones de la Isla. Esta característica se pone de manifiesto, además, en la composición química de sus aguas, con una concentración en bicarbonato relativamente más bajas que en las aguas de Tenerife.

Los resultados que presentamos en este trabajo corresponden al estudio de 67 muestras que representan la totalidad de los manantiales de la Isla de La Palma, incluyendo fuentes, galerías y pozos, y que proporcionan un caudal aproximado de 190.000 m³/día.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS

Para estudiar las características químicas de estas aguas hemos subdividido la totalidad de los manantiales existentes en la Isla en tres grupos principales: fuentes, galerías y pozos. Esta separación de las aguas, según su procedencia, nos permitirá conocer las diferentes características químicas que existen entre las aguas de los diferentes grupos de manantiales y las variaciones que dentro de un mismo grupo pudieran venir determinadas por su situación.

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se han empleado los métodos de análisis recomendados por el U. S. Salinity Laboratory, Agriculture Handbook núm. 60 (5), para las determinaciones de pH, conductividad eléctrica, Ca, Mg, Na, K, HCO₃⁻, CO₃⁼, SO₄⁼, Cl⁻ y boro.

A partir de estos análisis se han calculado S A R, porcentaje de Na soluble y carbonato sódico residual.

El fluor se determinó (5) por el método del zirconio alizarina.

AGUAS DE FUENTES

Corresponden a las aguas de manantiales que fluyen de una manera natural en las zonas montañosas y en cotas generalmente superiores a 1.000 metros. Existen dos grupos importantes de estos manantiales situados en las regiones Norte y Oeste de la isla con caudales de 20.000 m³/día y 26.000 m³/día, respectivamente.

Un primer grupo comprende los manantiales situados en la zona Norte en la región que abarca Barlovento y San Andrés y Sauces, y un segundo grupo corresponde a las fuentes de la zona Centro occidental y oriental de la Isla.

Las aguas pertenecientes al primer grupo se caracterizan por una concentración total de sales extraordinariamente bajas, y se corresponden en composición y concentración con las aguas de fuentes intermitentes de la Isla de Tenerife, que se forman por infiltraciones de poca profundidad de las aguas de lluvia o nieve.

Tanto los valores de conductividad eléctrica como «carbonato sódico residual», S A R y porcentaje de sodio soluble son igualmente bajos. Los valores alcalinos de pH se deben principalmente a la presencia de HCO₃⁻.

No se encuentran iones SO₄⁼ y B, y las concentraciones de fluor son igualmente muy bajas. El ión Cl⁻ se encuentra presente en todas las muestras, como es normal en las aguas subterráneas en Canarias.

Todas las muestras de este grupo pertenecen a la clase C₁ S₁ de la clasificación del U. S. Salinity Laboratory (U. S. A.).

Las características químicas de las aguas del segundo grupo de fuentes difieren ampliamente de las que corresponden a las fuentes del Norte, e incluso se aprecian diferencias en la composición química dentro de este mismo grupo de manantiales.

Los valores de conductividad eléctrica son más elevados, llegando hasta 1.700 mmhos/cm. en uno de estos manantiales. La concentración total de cationes oscila entre 3,09 y 24,20 meq/l., frente a valores máximos y mínimos de 0,79 y 1,17 meq/l., respectivamente, en las fuentes del Norte. Iones sulfato se encuentran presentes en todas las muestras y las concentraciones de fluor son en general más elevadas.

No existen riesgos de salinización o alcalinización del suelo por el empleo de estas aguas para el riego. Los valores de «carbonato sódico residual» y S A R son, en general, más bajos que en las aguas de las fuentes del Norte como consecuencia de una mayor concentración relativa del Ca y Mg. Los valores de porcentaje de sodio soluble varían muy

TABLA I

Composición química de aguas de fuentes

Manantial N.º	Clasificación	Situación	pH	CE $\times 10^6$ a 25° C	Sólidos disueltos p. p. m.	Suma de cationes meq./l.	F p. p. m.	B p. p. m.
1	C ₁ S ₁	Norte	7,6	82	50	1,14	0,20	0,00
2	C ₁ S ₁	»	8,0	64	40	0,99	0,25	0,00
3	C ₁ S ₁	»	8,0	64	50	1,17	0,25	0,00
4	C ₁ S ₁	»	8,2	61	48	1,07	0,25	0,00
5	C ₁ S ₁	Este-Oeste	7,8	170	110	3,61	0,00	0,20
6	C ₂ S ₁	»	8,1	340	215	4,36	0,45	0,00
7	C ₂ S ₁	»	8,3	555	320	7,09	0,40	0,00
8	C ₃ S ₁	»	7,7	1700	100	24,20	0,45	0,00
9	C ₁ S ₁	»	8,4	240	150	3,09	0,45	0,00

* Relación de absorción de Na.

TABLA II

Composición química de aguas de galerías

Manantial N.º	Clasificación	Situación	pH	CE $\times 10^6$ a 25° C	Sólidos disueltos p. p. m.	Suma de cationes meq./l.	F p. p. m.	B p. p. m.
10	C ₁ S ₁	Norte	8,2	95	60	1,43	0,30	0,00
11	C ₁ S ₁	»	8,1	65	40	1,07	0,30	0,00
12	C ₁ S ₁	»	8,1	85	54	1,29	0,30	0,00
13	C ₁ S ₁	»	8,0	75	50	1,10	0,25	0,00
14	C ₁ S ₁	»	7,4	88	56	1,34	0,40	0,00
15	C ₁ S ₁	Este-Oeste	7,9	110	70	1,63	0,30	0,00
16	C ₁ S ₁	»	8,3	100	60	2,50	0,40	0,00
17	C ₁ S ₁	»	8,1	190	120	2,68	0,45	0,00
18	C ₂ S ₁	»	8,5	350	220	4,77	0,40	0,00
19	C ₂ S ₁	»	8,5	565	325	7,44	0,45	0,00
20	C ₂ S ₁	»	8,5	335	210	4,64	0,35	0,00
21	C ₁ S ₁	»	8,0	145	90	2,28	0,45	0,00

* Relación de absorción de Na.

MILIEQUIVALENTES POR LITRO

Ca	Mg	Na	K	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl	% Na	* SAR	Na ₂ CO ₃ Residual
0,16	0,32	0,52	0,14	0,00	0,76	0,00	0,48	45,6	1,06	0,28
0,24	0,16	0,47	0,12	0,00	0,68	0,00	0,48	47,5	1,05	0,28
0,24	0,24	0,55	0,14	0,00	0,64	0,00	0,48	47,0	1,12	0,16
0,24	0,24	0,47	0,12	0,00	0,64	0,00	0,40	43,9	0,96	0,16
0,60	0,20	2,40	0,41	0,00	1,00	2,20	0,40	66,5	3,79	0,20
1,60	1,60	0,90	0,26	0,40	2,00	0,58	1,12	20,6	0,71	0,00
2,16	3,20	1,40	0,33	0,72	2,92	2,82	0,64	19,7	0,88	0,00
10,24	11,36	1,95	0,65	1,68	10,56	9,70	0,96	8,1	0,59	0,00
0,96	1,04	0,87	0,22	0,40	0,96	0,58	0,88	28,2	0,87	0,00

MILIEQUIVALENTES POR LITRO

Ca	Mg	Na	K	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl	% Na	* SAR	Na ₂ CO ₃ Residual
0,32	0,40	0,57	0,14	0,00	0,84	0,00	0,48	39,8	0,95	0,12
0,32	0,16	0,50	0,09	0,00	0,72	0,00	0,32	46,7	1,02	0,24
0,32	0,32	0,52	0,13	0,00	0,92	0,00	0,36	40,3	0,92	0,28
0,24	0,24	0,50	0,12	0,00	0,72	0,00	0,36	45,4	1,02	0,24
0,24	0,32	0,62	0,16	0,00	0,84	0,00	0,48	46,3	1,17	0,28
0,32	0,40	0,75	0,16	0,00	1,08	0,00	0,56	46,0	1,25	0,36
0,32	0,32	1,35	0,51	0,00	1,00	0,34	0,48	54,0	2,38	0,36
0,32	1,12	1,00	0,24	0,00	1,92	0,00	0,56	37,3	1,18	0,48
0,96	1,52	1,85	0,44	0,48	3,44	0,34	0,56	38,8	1,66	1,44
1,28	2,16	3,35	0,65	0,80	4,16	1,22	1,04	45,0	2,55	1,52
0,32	1,20	2,40	0,72	0,56	3,24	0,34	0,48	51,7	2,75	2,28
0,32	0,64	0,80	0,32	0,00	0,88	0,90	0,48	35,1	1,15	0,00

TABLA III

Aguas basales poco contaminadas

Manantial N.º	Clasificación	pH	CE $\times 10^6$ a 25° C	Sólidos disueltos p. p. m.	Suma de cationes meq./l.	F p. p. m.	B p. p. m.
22	C ₂ S ₁	7,6	320	220	4,14	0,60	0,00
23	C ₂ S ₁	8,2	570	360	7,96	0,30	0,00
24	C ₂ S ₁	8,3	600	380	7,81	0,25	0,00
25	C ₃ S ₁	8,0	850	540	10,77	0,20	0,00
26	C ₃ S ₁	9,1	1020	680	14,92	0,30	0,00
27	C ₃ S ₁	7,7	1600	1050	21,21	0,50	0,00

* Relación de absorción de Na.

TABLA IV

Aguas basales contaminadas

Manantial N.º	Clasificación	pH	CE $\times 10^6$ a 25° C	Sólidos disueltos p. p. m.	Suma de cationes meq./l.	F p. p. m.	B p. p. m.
28	C ₃ S ₂	7,7	1700	1100	21,29	0,50	0,00
29	C ₁ S ₂	8,0	2400	1550	32,12	0,00	0,20
30	C ₄ S ₂	7,2	2650	1700	24,45	0,30	0,00

* Relación de absorción de Na.

ampliamente, alcanzando concentraciones máximas y mínimas del 66 % y 8 %, respectivamente.

A las aguas de este grupo les corresponden diferentes clasificaciones, encontrándose aguas de las clases C₁ S₁, C₂ S₁ e incluso C₃ S₁ en un solo manantial. En la tabla I se indican las características químicas de estas aguas.

AGUAS DE GALERÍAS

El caudal producido diariamente por este grupo de manantiales asciende a 66.000 m³.

Las obras para la captación de estas aguas varían mucho en altitud y profundidad y están situadas entre 500 y 1.200 metros sobre el nivel del mar. En general las galerías de mayor caudal corresponden a la zona Norte de la Isla, donde se encuentran manantiales con un caudal aproximado de 8.000 m³/día. En esta zona se encuentran también las galerías más profundas, con aproximadamente 3.000 metros de longitud.

No se aprecian grandes diferencias de carácter cualitativo entre las

MILIEQUIVALENTES POR LITRO

Ca	Mg	Na	K	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	% Na	* SAR	Na ₂ CO ₃ Residual
0,56	0,72	2,35	0,51	0,00	2,28	0,34	1,28	56,8	2,92	1,00
1,60	1,60	4,12	0,64	0,24	3,72	2,02	0,80	51,7	3,26	0,76
2,32	2,80	2,31	0,38	0,00	3,84	2,74	0,88	29,6	1,45	0,00
1,68	3,28	4,31	1,50	0,00	5,00	4,66	1,12	40,0	2,74	0,04
1,84	3,12	8,75	1,21	1,60	6,36	4,74	2,00	58,7	5,56	3,00
1,68	6,88	9,50	3,15	1,12	4,48	11,06	3,36	44,8	4,60	0,00

MILIEQUIVALENTES POR LITRO

Ca	Mg	Na	K	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	% Na	SAR	Na ₂ CO ₃ Residual
1,20	4,00	14,25	1,84	0,00	2,72	4,82	13,60	66,9	8,84	0,00
1,52	12,00	14,50	4,10	7,20	12,80	7,00	5,20	45,1	5,58	6,48
2,64	0,96	18,25	3,60	0,00	9,68	10,90	11,36	51,5	7,00	6,08

aguas de galerías situadas en las diferentes regiones de la isla, excepto para los iones CO₃²⁻ y CO₃⁻. No obstante, en algunos manantiales situados en la región occidental aumenta la concentración total de sales con respecto a las galerías situadas en la zona Norte.

Como puede apreciarse por una comparación de las tablas I y II, las aguas de la región Norte procedentes de fuentes y galerías son de idénticas características químicas y no se observan variaciones sensibles en las concentraciones de HCO₃⁻ en estas últimas, a pesar de tener las aguas de galerías un origen mucho más profundo. Esta identidad de composición química contribuye a confirmar, por otra parte, la escasa magnitud de las emanaciones subterráneas de gas carbónico en la región Norte de esta isla.

En todos los manantiales se encuentran iones HCO₃⁻ y Cl⁻. Iones SO₄²⁻ aparecen solamente en algunos manantiales, principalmente en los situados en la región occidental.

Los valores de «carbonato sódico residual», SAR y porcentaje de sodio son también bajos para todas estas aguas.

Si tenemos en cuenta que las características químicas de estas aguas

nos interesan desde el punto de vista de sus aplicaciones agrícolas, las pequeñas diferencias observadas influirán poco en el criterio de clasificación que hemos elegido. De acuerdo con este criterio, la totalidad de las aguas de estos manantiales podrían ser empleadas satisfactoriamente con fines agrícolas. Solamente existen las clases $C_1 S_1$ y $C_2 S_1$.

AGUAS BASALES O DE POZOS

Las aguas procedentes de las zonas basales representan el 40 % del caudal total de las aguas subterráneas, con una capacidad de 77.000 metros cúbicos día. Los pozos se encuentran situados preferentemente en la región oriental y occidental de la Isla, y la altitud de sus emplazamientos oscila entre 5 y 200 metros sobre el nivel del mar. En algunos de estos manantiales se ha logrado alcanzar una producción diaria de hasta 12.000 metros cúbicos, y son frecuentes los caudales de 5.000 y 8.000 m^3 /día.

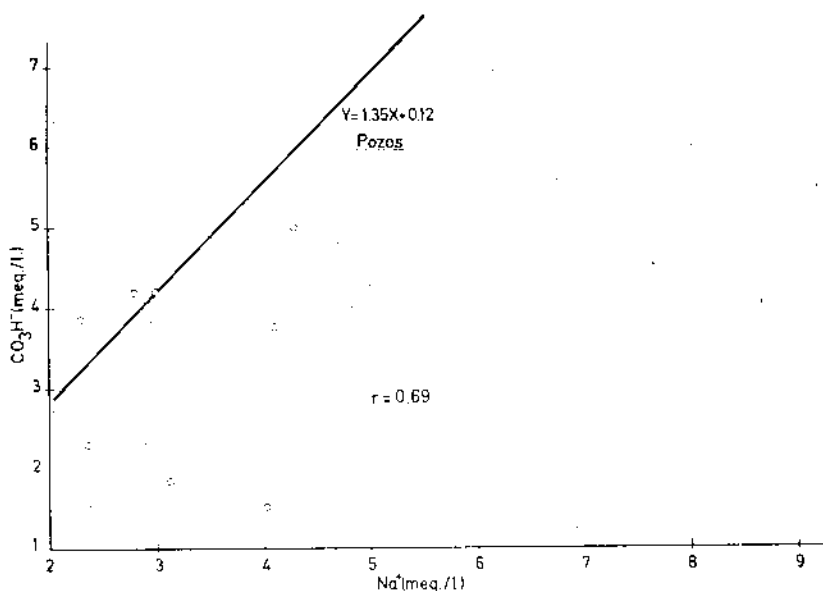


Fig. 1.

Las características químicas de estas aguas dependerán de su grado de contaminación por el agua del mar, que estará a su vez influido por los valores de t y h de la ecuación de Gyben-Herzberg: $h = \frac{t}{g - l}$ (6),

que regula el principio de flotación de las aguas dulces sobre el agua del mar. En esta ecuación g representa la densidad del agua del mar, l , la densidad del agua dulce, t , la altura del nivel del agua basal sobre el nivel del mar y h , la profundidad del agua dulce bajo el nivel del mar.

Cuando el pozo alcanza el nivel del agua, en una zona en que la lente de las aguas basales tiene un gran espesor, la contaminación por el agua del mar es prácticamente nula, mientras que, cuando se alcanza esta zona de saturación en lugares donde existe poca profundidad de agua dulce, el efecto de contaminación por las sales contenidas en el agua del mar puede llegar a ser muy importante, e incluso aumentar progresivamente con las operaciones de extracción.

En las tablas III y IV se indican las características químicas de las aguas de pozos. En las aguas correspondientes al segundo grupo (tabla IV) los valores de conductividad eléctrica, cloruros y sodio son más elevados que en el primero, como cabe esperar de una contaminación por el agua del mar. La presencia de bicarbonatos y sulfatos es común a los dos tipos de aguas, con unos valores medios del mismo orden de magnitud.

Es interesante observar que en el conjunto de las aguas basales no se encuentra una correlación significativa entre los iones Na y Cl ($r = 0,22$), mientras que esta correlación es significativa para los iones Na y HCO_3^- ($r = 0,69$) (fig. 1), lo que nos indica una influencia poco sensible del agua del mar en la ionización de estas aguas basales. Esta circunstancia se cumple donde la lente de las aguas basales tiene gran espesor, lo que equivale a la probable existencia de depósitos de agua dulce de gran magnitud en las zonas costeras de esta Isla. Una prospección del litoral permitirá una confirmación experimental de estas reservas.

En las aguas basales se encuentran las mayores concentraciones de HCO_3^- y Na^+ . Los valores de «carbonato sódico residual» y S A R alcanzan valores de 6,48 meq/l. y 8,84, respectivamente. No obstante, el empleo de estas aguas no conducirá a la aparición de efectos alcalinos en los suelos en cultivo de plátanos, como hemos demostrado para situaciones similares en Tenerife (7).

En el primer grupo de aguas poco contaminadas existen las clases $C_2 S_1$ y $C_2 S_{11}$, y en el segundo grupo, las clases $C_3 S_2$ y $C_4 S_2$.

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DE LAS AGUAS

Aunque las aguas de esta Isla tienen, en general, una concentración salina muy baja, se observan, no obstante, diferencias de composición que en las fuentes, galerías y determinados tipos de pozos estarán directamente determinados por los minerales que constituyen las rocas del subsuelo. Además, en estas islas, con una actividad volcánica interna, las emanaciones de gases contribuirán igualmente a la contaminación de las aguas.

Si bien la clasificación agrícola de estas aguas determina características muy comunes tanto en la concentración absoluta como relativa de las sales disueltas, la clasificación geoquímica es mucho más diversa, presentándose diferentes tipos mineralógicos en aguas que desde un punto de vista agrícola tienen la misma clasificación. No obstante, existe

también en este caso una identidad en la composición geoquímica de acuerdo con la situación de los manantiales.

En la tabla V se indica la composición química en porcentaje de las aguas correspondientes a las tablas I, II, III y IV, como base para establecer la clasificación geoquímica según el diagrama de Piper (8) que se representa en la figura 2.

Las aguas correspondientes a las fuentes del Norte se agrupan regularmente en este diagrama, variando poco en su composición mineralógica. Predomina el tipo de aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas con un solo caso de agua bicarbonatada clorurada sódico magnésica.

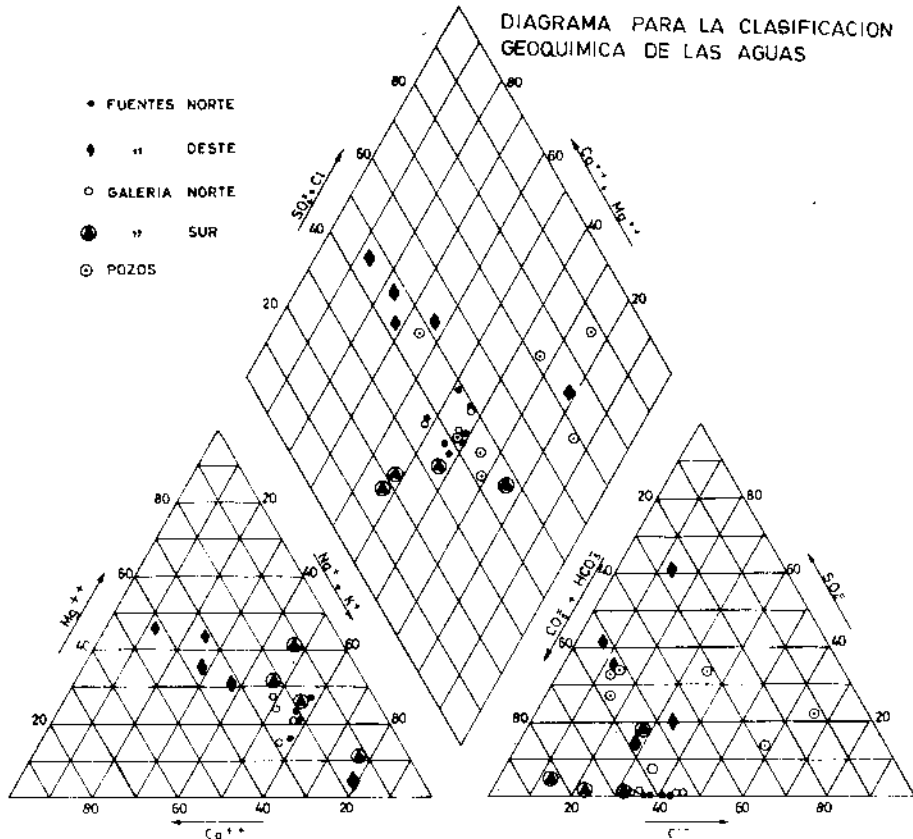


Fig. 2.

En las fuentes de la zona occidental la distribución en el diagrama es más irregular, encontrándose los tipos siguientes de aguas: sulfatadas bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas cloruradas cálcico magnésicas, Bicarbonatadas sulfatadas magnésico cálcicas y bicarbonatadas cloruradas magnésico cálcico sódicas.

En las aguas procedentes de galerías se observan diferencias entre

la zona Norte y occidental, predominando el tipo de aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas en las galerías del Norte, de igual manera que en las fuentes de esta zona.

En la zona occidental aparecen también aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas, además de bicarbonatadas magnésico sódicas y sulfatadas bicarbonatadas sódico magnésicas.

En los pozos existen dos tipos muy diferenciados, según que procedan de aguas basales poco contaminadas o contaminadas por el agua del mar.

En el primer caso existen los tipos siguientes: aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas, bicarbonatadas sulfatadas sódicas y bicarbonatadas

TABLE V
Porcentaje de aniones y cationes

Muestra	HCO ₃	CO ₃ H ⁻ +CO ₃ ⁼	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca	Mg	Na+K	Na
1	61,2	61,2	38,7	0,00	14,0	28,0	57,8	45,6
2	58,6	58,6	41,3	0,00	24,2	16,1	59,5	47,4
3	57,1	57,1	42,8	0,00	20,5	20,5	58,9	47,0
4	61,5	61,5	38,4	0,00	22,4	22,4	55,1	43,9
5	27,7	27,7	11,0	61,10	16,5	5,5	77,7	66,4
6	48,7	58,4	27,3	14,10	36,6	36,6	26,5	20,6
1	41,1	51,2	9,0	39,70	30,4	45,1	23,3	19,7
8	46,1	53,4	4,1	42,30	42,3	46,9	10,6	8,0
9	34,0	48,1	31,2	20,50	31,0	33,6	35,2	28,1
10	63,6	63,6	36,3	0,00	22,3	27,9	49,5	39,5
11	69,2	69,2	30,7	0,00	29,9	14,9	55,1	46,7
12	71,8	71,8	28,1	0,00	24,8	24,8	50,3	40,3
13	33,4	33,4	66,6	0,00	21,8	21,8	56,3	45,4
14	63,6	63,6	36,3	0,00	17,9	23,8	58,1	46,2
15	65,8	65,8	34,2	0,00	19,6	24,5	55,8	46,0
16	54,9	54,9	26,3	18,80	12,8	12,8	74,4	54,0
17	77,4	77,4	22,5	0,00	11,9	41,7	46,2	37,3
18	71,3	81,2	11,6	7,00	20,1	31,8	47,9	38,7
19	57,6	68,6	14,4	16,80	17,2	29,0	53,7	45,0
20	70,1	82,2	10,3	7,30	6,8	25,8	67,2	51,7
21	38,9	38,9	21,2	39,80	14,0	28,0	57,8	35,0
22	58,4	58,4	32,8	8,70	13,5	17,3	69,0	56,7
23	54,8	58,3	11,7	29,70	20,1	20,1	59,7	51,7
24	51,4	51,4	11,7	36,70	29,7	35,8	34,3	29,5
25	46,3	46,3	10,3	43,20	15,5	30,4	53,9	40,0
26	43,2	54,0	13,6	32,20	12,3	20,9	66,1	58,6
27	22,4	28,0	16,8	57,30	7,9	32,4	59,5	43,7
28	12,8	12,8	64,3	22,80	5,6	18,7	75,5	66,9
29	39,7	62,0	16,1	21,70	4,7	37,3	57,8	45,1
30	30,3	30,3	35,5	34,10	10,0	4,0	86,0	72,0

sulfatadas magnésico cálcico sódicas. Como se ve existe un solo caso de agua clorurada en la que el ión cloruro no es el anión predominante.

En las aguas contaminadas el ión cloruro es siempre el anión predominante, y se encuentran los tipos siguientes de agua: cloruradas sódicas y cloruradas bicarbonatadas sódicas, donde además el ión Na es también el catión predominante en todos los casos.

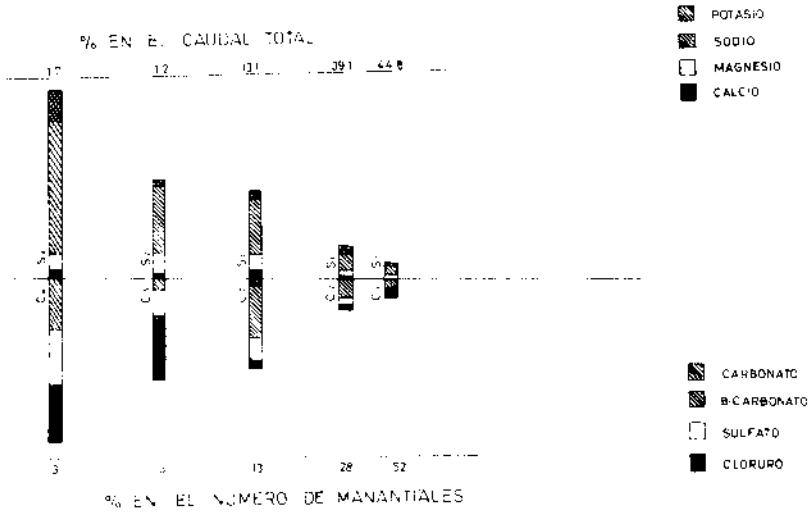


Fig. 3.

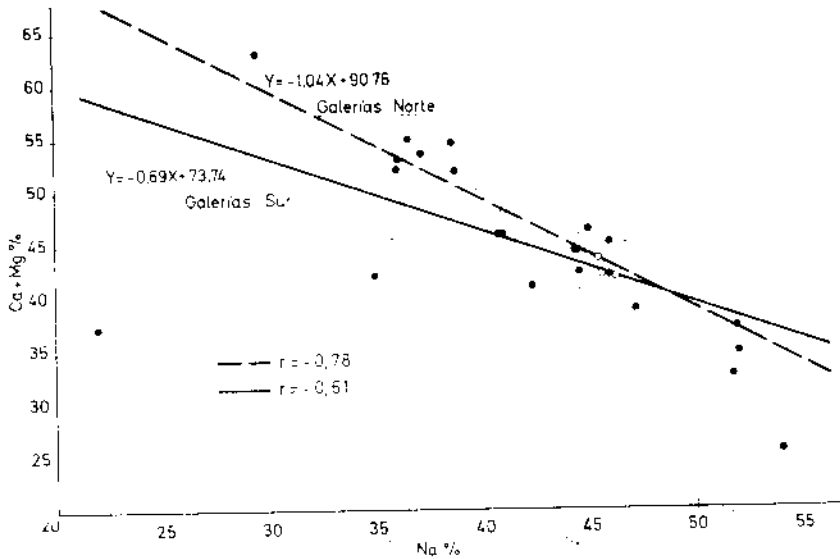
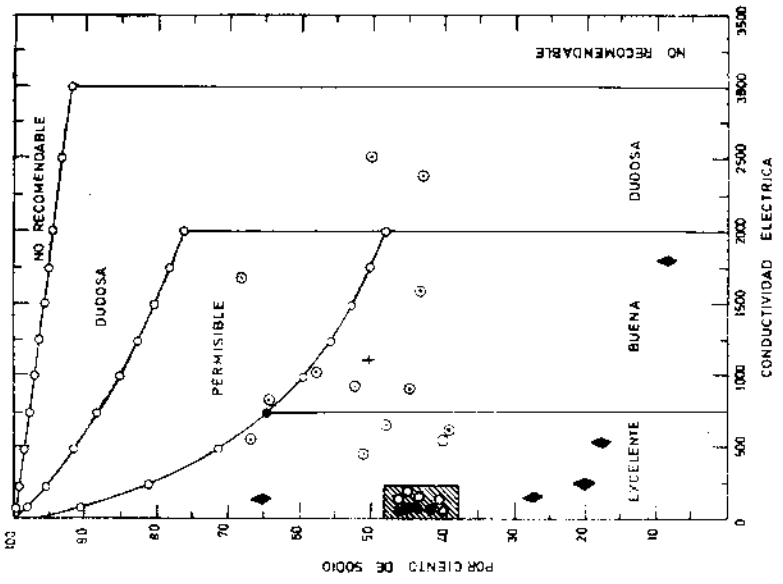


Fig. 4.



EN LA ZONA BAYADA SE AGRUPAN LA MAYORIA DE LA AGUAS DE FUENTES Y GALERIAS

- FUCHES NORTE
- FUCHES OESTE
- GALERIAS
- ⊙ POZOS

Fig. 6.

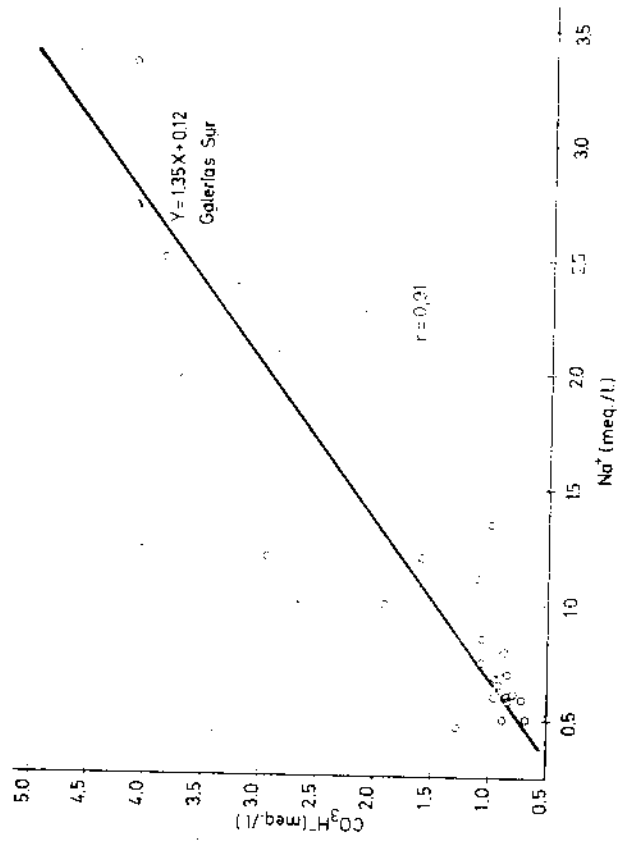


Fig. 6.

RESUMEN

En esta isla son muy abundantes los manantiales de muy baja concentración salina. En general las aguas de lluvias infiltradas en el subsuelo se encuentran poco contaminadas, principalmente en la región Norte, aunque existen grupos de manantiales con características químicas perfectamente definidas.

Siguiendo la clasificación propuesta por el U. S. Salinity Laboratory (California), nos encontramos en la Isla las siguientes clases de aguas: $C_1 S_1$, $C_2 S_1$, $C_3 S_1$, $C_3 S_2$ y $C_4 S_2$, cuyos porcentajes de frecuencia se indican en la figura 3, considerando de una parte el número total de manantiales, y de otra el caudal total de agua.

Las clases $C_1 S_1$ y $C_2 S_1$ representan los porcentajes más elevados de ambos casos.

A pesar de la baja concentración iónica del conjunto de las aguas de esta Isla predominan los tipos salinos de la clasificación elegida, aunque todos los manantiales tienen reacción alcalina, con valores medios de pH del orden de 8. Solamente en dos muestras se encuentran valores de pH superiores a 9.

No se encuentran en esta Isla aguas conteniendo CO_2 libre.

En líneas generales, la concentración de los cationes estudiados se encuentran en el siguiente orden: $Na > Mg > Ca > K$ para las muestras correspondientes a las fuentes del Norte, galerías y pozos. En las fuentes de las zonas Este y Oeste varía el orden de concentraciones, encontrándose: $Mg > Ca > Na > K$.

En las aguas basales contaminadas predomina el ión Cl^- , mientras que en el resto de los manantiales el ión HCO_3^- es el anión predominante.

Los valores máximos de conductividad se encuentran en las aguas que tienen una mayor concentración en bicarbonatos.

Se observa una correlación negativa entre los constituyentes catiónicos entre sí. La correlación entre los porcentajes de Na y $(Ca + Mg)$ es altamente significativa al nivel del 1 % para las aguas de galerías (fig. 4).

Las concentraciones iónicas bajas en las aguas de la zona Norte no permite obtener pares de valores suficientemente contrastados para alcanzar un índice de correlación entre las conductividades eléctricas y el porcentaje de sodio soluble. Igualmente el coeficiente de correlación no significativo $r = 0.40$, entre el H, CO_3^- y Na^+ , en las aguas de esta zona, nos evidencia la escasa participación del ácido carbónico en la solubilización de los minerales del subsuelo. Sin embargo, esta correlación es altamente significativa en las aguas de pozos y galerías, en las restantes regiones de la Isla (fig. 1 y 5).

En lo que se refiere a la calidad de estas aguas en conjunto, en la figura 6 se representan en el diagrama de Wilcox (9) un grupo de muestras de aguas que pueden considerarse representativas del conjunto de los manantiales, aunque también se incluyen las muestras que representan casos excepcionales de grandes concentraciones salinas.

Como puede observarse, prácticamente la totalidad de las aguas están situadas en las zonas del diagrama que corresponden a calidades excelentes y buena. Solamente existen dos manantiales que se sitúan en la zona de aguas dudosas y corresponden a casos excepcionales en las aguas de esta Isla.

Las concentraciones de F en estas aguas nunca llega a valores suficientemente elevados, que pueda producir fenómenos de fluorosis dental.

Desde un punto de vista geoquímico, las características de estas aguas corresponden a un sustrato de naturaleza geológica variada, siendo probable que en los procesos de ionización de estas aguas se hayan producido cambios cualitativos y cuantitativos en superficies relativamente próximas dada la gran complejidad geológica de la Isla.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) FERNÁNDEZ CALDAS, E. y PÉREZ GARCÍA, V. The subterranean waters of Tenerife. I. Origin and chemical characteristics. *Talanta*, 1969. Vol. 16, pp. 1067 to 1078.
- (2) BRAVO, T. Origen de las aguas de Tenerife y sus depósitos subterráneos. Goya, Santa Cruz de Tenerife, 1952.
- (3) HAUSEN, H. *Acta Geographica*, 1951, 12, núm. 2.
- (4) AMIGO, JOAQUÍN. Los alumbramientos de aguas de Tenerife. Patronato de la «Casa de Colón», *Anuario de Estudios Atlánticos*, núm. 6, 1960.
- (5) U. S. Salinity Laboratory, *Agriculture Handbook*, núm. 60.
- (6) STEARNS, H. T. y MACDONAL, G. A. Geology and ground water resources of the Island of Molokai, Hawaii, *Bulletin 11*, Hawaii Division of Hydrography, 1947.
- (7) FERNÁNDEZ CALDAS, E. PÉREZ GARCÍA, V. y BORGES PÉREZ, A. (En prensa.)
- (8) PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Amer. Geophys. Union Trans.*, 1944, 25, 914-923.
- (9) WILCOX, P. V. The quality of water for irrigation use. U. S. A., 1948 (U. S. Dept. Agr. Tech. Bul., núm. 962)

Recibido para publicación: 24-X-69