

CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DE TENERIFE
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS
SUBTERRANEAS DE LAS ISLAS CANARIAS
OCCIDENTALES
(TENERIFE, LA PALMA, GOMERA Y HIERRO)

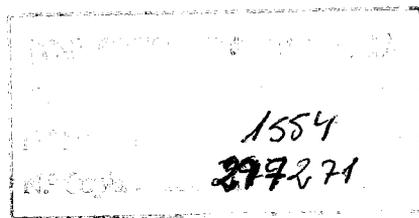
DR. ENRIQUE FERNANDEZ CALDAS

DR. VICTOR PEREZ GARCIA

SANTA CRUZ DE TENERIFE

1974

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS
DE LAS ISLAS CANARIAS OCCIDENTALES
(TENERIFE, LA PALMA, GOMERA Y HIERRO)



Imprime: LITOGRAFIA A. ROMERO, S. A.
Avda. Angel Romero, s/n.
Santa Cruz de Tenerife (España)
Depósito Legal: TF. 283 - 74
ISBN 84 - 600 - 6084 - 5

EDITADO POR:
CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DE TENERIFE
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS
DE LAS ISLAS CANARIAS OCCIDENTALES
(TENERIFE, LA PALMA, GOMERA Y HIERRO)

PROF. DR. ENRIQUE FERNANDEZ CALDAS
CATEDRATICO DE LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
DIRECTOR DEL CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DE TENERIFE
DR. VICTOR PEREZ GARCIA
COLABORADOR CIENTIFICO DEL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

SANTA CRUZ DE TENERIFE

1974

COLABORACIONES:

- a) El capítulo «Estudio sobre el empleo de aguas bicarbonatadas», ha sido realizado en colaboración con-él Dr. Andrés Borges Pérez.
- b) Algunos datos relativos a las aguas de la Isla de La Palma, han sido tomados del trabajo «Las aguas subterráneas de la Isla de La Palma. Características químicas y geoquímicas», realizado en el año 1968 por E. Fernández Caldas y J. J. Bravo Rodríguez.
- c) Este trabajo ha sido realizado en el Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife. Cabildo Insular de Tenerife.

SUMARIO

	páginas
PROLOGO	
I. INTRODUCCION.....	9
II. MINERALIZACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS ...	11
III. TECNICAS EXPERIMENTALES	15
IV. SISTEMAS DE CLASIFICACION	17
a) Clasificación agrícola de las aguas	17
b) Clasificación química de las aguas	21
V. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LOS DEPOSITOS DE AGUAS SUBTERRANEAS	23
VI. ISLA DE TENERIFE	27
VII. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE TENERIFE	29
a) Aguas de fuentes	29
b) Aguas de galerías	31
c) Aguas basales o de pozos	40
VIII. CLASIFICACION AGRICOLA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE TENERIFE	51
a) Aguas de fuentes y galerías	51
b) Aguas basales o de pozos	54
IX. CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE TENERIFE	58
a) Aguas de fuentes y galerías	58
b) Aguas basales o de pozos	62
X. EL FLUOR EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE TENERIFE	67
XI. LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA PALMA	73
XII. CARACTERISTICAS QUIMICAS Y GEOQUIMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA PALMA	75
XIII. ESTUDIO COMPARATIVO Y CLASIFICACIONES EN LAS AGUAS DE LA ISLA DE LA PALMA	81

	páginas
XIV. CLASIFICACION AGRICOLA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE LA PALMA	99
a) Aguas de fuentes y galerías	99
b) Aguas basales o de pozos	99
XV. CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE LA PALMA	103
a) Aguas de fuentes y galerías	103
b) Aguas basales o de pozos	104
XVI. ISLA DE LA GOMERA	111
XVII. LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA GOMERA	113
XVIII. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA GOMERA	115
a) Aguas de nacientes	115
b) Aguas basales o de pozos	124
XIX. CLASIFICACION AGRICOLA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE LA GOMERA	133
a) Aguas de nacientes	133
b) Aguas basales o de pozos	133
XX. CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE LA GOMERA	137
a) Aguas de nacientes	137
b) Aguas basales o de pozos	142
XXI. ISLA DEL HIERRO	147
XXII. LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DEL HIERRO	149
XXIII. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS DE LA ISLA DEL HIERRO	149
a) Aguas de nacientes	149
b) Aguas basales o de pozos	153
XXIV. CLASIFICACION AGRICOLA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DEL HIERRO	157
XXV. CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DEL HIERRO	159
XXVI. LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LAS ISLAS CANARIAS OCCIDENTALES	163
Estudio sobre el empleo de aguas bicarbonatadas	163
XXVII. RESUMEN	175
XXVIII. BIBLIOGRAFIA	177

PROLOGO

En el conjunto de problemas que hace falta se investigue en la Provincia de Santa Cruz de Tenerife en relación directa con su economía, este documento científico llena un vacío al exponer las características químicas de sus aguas subterráneas, ya que es de aplicación inmediata. Con la investigación efectuada en el Centro de Edafología y Biología Aplicada (C.S.I.C. y Cabildo Insular de Tenerife), por los Doctores Don Enrique Fernández Caldas y Don Víctor Pérez García, se tienen los datos básicos necesarios, de los que depende la agricultura insular y en gran medida, la salud pública.

Cada una de las cuatro islas de esta Provincia, se estudian como unidades hidrológicas independientes, ya que están limitadas por el mar, de forma que todos los factores que influyen en la calidad y en el caudal están encerrados dentro de límites muy precisos. La «materia prima» es la precipitación de lluvia y nieve que son aguas puras, que inician su ciclo subterráneo al infiltrarse en el subsuelo. A lo largo de su camino hacia el mar, van incorporando diversas sales que dependen de factores muy complejos. En esta «contaminación» o incorporación de sustancias químicas, influye la «juventud» o «vejez» de las estructuras del subsuelo, así como el grado de la alteración química de las rocas que en estas condiciones movilizan o liberan iones que se reflejan en la salinidad total de las aguas.

El aumento progresivo de la población y la continua expansión de cultivos sensibles a una moderada concentración salina de las aguas de riego, provoca un desequilibrio, también progresivo, entre la cantidad disponible de agua y la que realmente se necesita, especialmente en las Islas de Tenerife y La Palma. Esto ha obligado a una investigación masiva de las aguas subterráneas en sus diferentes modalidades en estas estructuras de origen volcánico. Aun cuando en la Isla de La Gomera la población ha permanecido en crecimiento estacionario, ha aumentado la extensión de los cultivos, obligando también a la investigación hidrológica ya que se ha llegado a un equilibrio deficitario. En la Isla de El Hierro, la población ha decrecido sensiblemente y por su pequeñez —272 Km² y 1.501 metros de altura y por otras causas muy complejas— quedó al margen de la investigación y solamente a partir de 1968 se ha comenzado su exploración sistemática. En estos pocos años no se ha tenido tiempo sino de iniciar la infraestructura de los aprovechamientos de las aguas alumbradas. El proceso se refleja en este trabajo de los Doctores Fernández Caldas y Pérez García.

Aun cuando muchos titulares de los diversos alumbramientos y como información, someten las aguas alumbradas a análisis, no se tenía idea del conjunto global

de las características químicas de las aguas de una zona o de una isla entera. Este ha sido el paso dado en este trabajo de investigación. Las explotaciones de aquéllas que se denominan «basales», necesitan una dirección técnica muy especializada, precisando el hidrólogo el concurso continuo del analista para llevar a buen fin las obras de investigación y las de explotación. En la Isla de El Hierro, que no dispone de otro tipo de yacimiento, no se puede prescindir del analista. Pero en las demás islas, la explotación de aguas basales aumenta progresivamente y son las que irán cubriendo en los próximos años las necesidades, de forma que el par analista-hidrólogo, es la pieza fundamental de la investigación.

Las aguas basales, aun cuando entren en período de explotación, son muy delicadas y requieren una máxima vigilancia. Son aguas que han terminado su ciclo en el subsuelo y están a punto de incorporarse al océano. Son las que mayor recorrido han efectuado por lo que han «lavado» más formaciones rocosas incorporando los compuestos solubles que han encontrado en su camino, pero por otra parte, siendo su explotación próxima al mar, cualquier exceso —sobreexplotación—, puede contaminarlas con las sales marinas que por turbulencia o por difusión iónica, forman la «interfase» entre las dulces que «flotan» y las saladas donde se apoyan. Análisis químicos en las variaciones estacionales de los acuíferos indican las limitaciones adecuadas para que la contaminación progrese.

La geología de cada una de las Islas Canarias es muy compleja. Sus estructuras rocosas se han edificado en largas etapas y muchos de sus elementos petrológicos están alterados y degradados. Estos materiales son lavados por las aguas subterráneas que arrastran los compuestos solubles que se van liberando en el proceso de degradación, pero además de esto, existen los productos gaseosos desprendidos en la actividad volcánica residual que afecta a extensas zonas de los subsuelos insulares, especialmente el bióxido de carbono que ayuda a la solubilidad de muchos iones. También la temperatura de los subsuelos que en algunos puntos llega hasta los 42 grados centígrados, facilita la alteración, así como la fracturación de las rocas bajo las presiones a que son sometidos los materiales volcánicos superpuestos, dando paso a las aguas a través de microfracturas hasta los minerales en proceso de alteración, imprimiendo unas características químicas peculiares a las aguas de cada uno de los sectores insulares. Así se incorporan elementos como el Flúor y el Boro, especialmente el primero, que con su presencia en concentración tóxica caracteriza algunas zonas en las Islas.

Otras aplicaciones que tiene el conocimiento de las características de las aguas, es su aspecto edáfico. Las tierras que normalmente se utilizan en los cultivos no siempre se han formado «in situ» sino que se han transportado desde puntos muy alejados donde han «madurado» en un medio climático diferente al de la zona donde se utiliza. A esta perturbación añadimos aguas que pueden alterar toda la complicada interdependencia —suelo, agua, planta—. El conocimiento de las composiciones químicas de las aguas puede aclarar el delicado problema de la agricultura regional.

Todos estos temas han sido brillantemente expuestos por los Doctores Fernández Caldas y Pérez García, trabajo serio de investigación, representando un gran paso para la utilización de los recursos hídricos de las Islas, tanto en la agricultura como en relación con la salud pública.

T. BRAVO

CATEDRÁTICO DE GEOLOGÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

I. INTRODUCCION

En Canarias, el agua, representa el principal factor limitante en el desarrollo agrícola de las diferentes Islas.

La Agricultura de mayor potencial económico, se desarrolla en zonas de clima árido, con suelos fértiles y una pluviometría insuficiente para las necesidades agrícolas.

Las aguas subterráneas, constituyen los únicos recursos hidráulicos de las Islas Canarias y su potencial determina la mayor o menor extensión de las áreas de cultivo.

La continua prospección de aguas subterráneas, aumenta de una manera progresiva los caudales disponibles, que conducen invariablemente a la puesta en cultivo de nuevas zonas de producción.

En una agricultura de clima árido, como es el caso de las Islas Canarias, la incorporación del agua al suelo, tiene una significación especial. Representa un nuevo factor ecológico que modificará profundamente el equilibrio del medio natural.

El conocimiento de los factores, que contribuyen a modificar el equilibrio de estos sistemas ecológicos naturales tiene una importancia fundamental.

Las relaciones suelo-agua-vegetación, forman un todo coherente, donde los fenómenos son interdependientes y se condicionan en forma recíproca.

En consecuencia, las relaciones agua-productividad agrícola, en un sentido amplio, deben ser analizadas en relación con el medio.

Por otra parte, las aguas subterráneas generalmente contienen sales en disolución en cantidades variables, que se acumulan en el suelo, durante las prácticas agrícolas, como consecuencia de la intensa evaporación característica de las regiones áridas, contribuyendo en gran medida a modificar el equilibrio natural de las sales solubles presentes en el suelo, e influyendo igualmente en la evolución del medio edáfico y en las relaciones suelo-planta.

En estas regiones, la composición química de las aguas, tiene mayor importancia que sus disponibilidades, y su conocimiento es indispensable para el establecimiento de una tecnología en su aplicación, que conduzca a un equilibrio salino satisfactorio en la solución del suelo, e impida un aumento excesivo de la presión osmótica en la zona radicular.

La composición salina, cualitativa y cuantitativa de las aguas subterráneas en Canarias, ofrece una gran variabilidad.

Las aguas superficiales, procedentes de lluvia, nieve o condensación atmosférica, pueden alcanzar zonas muy profundas, infiltrándose a través de materiales muy permeables de una gran diversidad litológica.

En su desplazamiento subterráneo, las aguas pueden ser contaminadas con gases de naturaleza volcánica, principalmente anhídrido carbónico, que favorece los procesos de disolución y alteración de los materiales del subsuelo. Esta alteración puede llegar a ser muy intensa, cuando el gradiente térmico alcanza valores elevados en las zonas de actividad geotérmica. Pero además, una gran parte de estas regiones subterráneas, constituyeron la superficie antigua de las islas, en la que se formaron suelos de naturaleza muy diversa, donde la dinámica de los procesos de alteración difieren de las condiciones actuales.

La existencia de estas superficies antiguas alteradas en el subsuelo, se manifiesta en la gran abundancia de paleosuelos existentes en las Islas a diferentes profundidades. Todas estas formaciones de alteración antigua influyen en la composición iónica de las aguas subterráneas.

El agua del mar, por otra parte, es un agente contaminante de primera magnitud en las zonas basales de las Islas.

La diversidad de factores que contribuyen a la contaminación de las aguas subterráneas, se manifiesta en su composición química, que difiere ampliamente de unas regiones a otras. Sin embargo, las variaciones de orden cualitativo observadas, dentro naturalmente de unos límites amplios, guardan una estrecha relación con el tipo y situación de los manantiales, principalmente entre las aguas de las zonas montañosas y las aguas basales. La complejidad de los factores, que influyen en la composición de las aguas subterráneas y los problemas que pueden derivarse de su utilización, plantea la necesidad de un estudio de sus características físico-químicas, que nos permita interpretar mejor su posible influencia en la evolución del medio edáfico. Con este fin, hemos hecho un estudio sistemático de la totalidad de los manantiales de las Islas Canarias Occidentales, utilizando técnicas diversas que nos han facilitado una amplia recopilación de datos analíticos.

Estos datos, no se limitan exclusivamente a la simple descripción de unas características. Se han agrupado siguiendo criterios diversos de estudio, y clasificación, que nos permita establecer conexiones, e interpretar los fenómenos observados.

Por otra parte, los aspectos hidrogeológicos relacionados con la acumulación de las aguas en el subsuelo, tienen la mayor importancia para comprender la magnitud y naturaleza de las reservas subterráneas de las distintas Islas.

Consideramos igualmente en este estudio, las distintas formaciones geológicas, que retienen las aguas en las zonas montañosas y basales, y los principios que regulan la formación de estos depósitos en las zonas próximas a las costas.

II. MINERALIZACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS POR FENOMENOS DE ALTERACION

En la alteración química de las rocas, los minerales primarios, pueden experimentar transformaciones profundas e irreversibles en sus estructuras, que conducen a una liberación de sus constituyentes elementales en forma solubles o coloidales.

Este tipo de alteración, se produce en medio acuoso e intervienen procesos de disolución, hidratación, hidrólisis, intercambio iónico, oxidación-reducción y formación de coloides.

De estos procesos de alteración indicados, la absorción de agua por los minerales en las reacciones de hidratación, y la absorción de iones H^+ y OH^- en los fenómenos de hidrólisis, constituyen los procesos más importantes desde un punto de vista cuantitativo en la alteración de las rocas, formándose minerales secundarios naturales, sales solubles y complejos coloidales de gran reactividad que pueden ser transportados por las aguas subterráneas, contribuyendo a su mineralización.

Los fenómenos de hidrólisis, por otra parte, tienen un carácter exotérmico e implican un aumento de volumen, que contribuye en gran medida a una alteración física de gran importancia.

La movilidad de estas sustancias en el medio acuoso, dependerá de sus características físico-químicas y solubilidad en este nuevo medio.

Los iones Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- , corresponden a las formas solubles más abundantes en las aguas subterráneas, y representan la fracción más importante de los sólidos disueltos.

Su solubilidad está poco afectada por los cambios físico-químicos, que experimentan las aguas subterráneas en los diferentes medios geológicos.

El Si, también muy frecuente y abundante en los manantiales subterráneos, se encuentra tanto en la forma de SiO_4H_4 soluble no disociado, como en forma de sílice coloidal.

La solubilidad está muy influenciada por la naturaleza de los materiales que lo contienen, así como por la temperatura y pH del medio de alteración.

Este comportamiento, se debe principalmente a la importancia de los fenómenos coloidales, que contribuyen a su insolubilización y al carácter altamente reversible entre las formas coloidales y solubles.

La solubilidad del cuarzo, a $25^\circ C$, es muy baja, del orden de 10 p.p.m., mientras que la gel de sílice, en análogas condiciones, alcanza una concentración de equilibrio de 120 p.p.m.

Otras formas de sílice, como la calcedonia, cristobalita y ópalo, presentan una solubilidad intermedia.

Las aguas subterráneas en las regiones basálticas, (1) contienen aproximadamente 40 p.p.m. de SiO_2 disuelta, mientras que en pizarras (13 p.p.m.) dolomita (8 p.p.m.) y gneiss (17 p.p.m.), su concentración es considerablemente menor.

David (1) ha establecido un valor medio del SiO_2 , para las aguas subterráneas, de 17 p.p.m.

Excepcionalmente en las aguas termales, estas concentraciones pueden ser considerablemente más elevadas, llegando a alcanzar valores máximos de 350 p.p.m. a 90°C . Al disminuir la temperatura, la sílice precipita, estableciéndose unas nuevas condiciones de equilibrio, que aún no han podido ser explicadas de una manera satisfactoria. (2).

No obstante, en estas regiones, las concentraciones de sílice disuelta en las aguas subterráneas, pueden ser indicativas de fenómenos geotérmicos, en cuencas hidrográficas de características geológicas conocidas.

Otras características del medio acuoso, que contribuyen a la movilidad y solubilización de los productos de alteración, están íntimamente relacionadas con el pH, potencia del óxido-reducción, intercambio iónico, gases disueltos y temperatura de reacción.

Desde un punto de vista geológico, la significación del pH presenta grandes interrogantes.

Los fenómenos de alteración en las regiones volcánicas, en presencia de gases de gran acidez, hace pensar en una alteración, que conduce a un medio de carácter ácido. Sin embargo, en las zonas profundas de presiones y temperaturas altas, el pH es neutro o alcalino. Los silicatos y la sílice, actúan de reguladores en estas reacciones. Las soluciones ácidas son neutralizadas por los silicatos y la sílice contribuye a disminuir el pH en los medios que han alcanzado una alcalinidad elevada.

La temperatura juega un papel importante en estas reacciones, si tenemos en cuenta su influencia, en la constante de ionización y densidad del agua (3).

A una temperatura de 230°C , su valor es de $10^{-5,7}\text{M}$. En estas condiciones, el agua puede actuar indistintamente como un ácido o una base más fuerte que a la temperatura ordinaria, y su carácter ácido o alcalino, dependerá de la constante de ionización de los ácidos presentes y grado de hidrólisis que experimentan los minerales del medio de alteración.

A temperaturas superiores, la densidad y efecto polar del agua disminuyen, y en consecuencia disminuirá también, el alto grado de ionización de las sales disueltas, que podrán unirse para formar asociaciones moleculares.

Cuando la densidad alcanza valores comprendidos entre 0.2 y 0.3 gr./ cm^3 , sales como el Cl Na y ácidos fuertes como el H Cl , se encuentran en forma no disociada y los conceptos de ácido o base son de difícil aplicación.

El pH de las aguas subterráneas en contacto con el medio atmosférico, oscila normalmente entre 6.5 y 8.5, pero estos valores pueden estar modificados por las características del medio exterior de propiedades termodinámicas diferentes.

Los iones Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ , están muy poco influenciados por el pH. Sin embargo, la movilidad y solubilidad de los metales pesados, depende muy directamente de la reacción del medio. En general, estos elementos forman combinaciones solubles a un $\text{pH} < 7$ (Fe, Mn, Cu, Mo, etc.) y algunos de ellos de carácter anfótero, pueden encontrarse en solución en medios ácidos o alcalinos (Zn, Al, Cr, etc.).

Los fenómenos de oxidación y la formación de complejos, pueden influir sensiblemente en estos límites teóricos de pH, al modificar las concentraciones de equilibrio y estado de valencia de los iones disueltos.

Los fenómenos de intercambio iónico, juegan también un papel muy importante en la mineralización de las aguas subterráneas.

Su gran importancia se comprende, si tenemos en cuenta que tanto la hidratación como la hidrólisis de los minerales, se producen como consecuencia de estos procesos de intercambio iónico.

En estas reacciones, los iones presentes en el agua, son adsorbidos por las superficies minerales, mediante un intercambio con los iones situados en las capas más externas de las estructuras cristalinas, dando lugar a que las uniones electrostáticas, entre las partículas que forman el cristal, pierden intensidad, disminuyendo así la estabilidad del conjunto de la red cristalina.

Por otra parte, los intercambios entre las fases sólida y líquida, están influidos por la velocidad de las reacciones, que conduce a las formas más estables.

El pH juega también un papel importante. El ión H^+ tiene tendencias a fijarse preferentemente en este tipo de reacciones.

Los constituyentes iónicos disueltos en el agua, corresponden a las formas más reactivas en estos procesos.

Los gases disueltos y las sustancias inorgánicas no disociadas presentan una menor reactividad.

Los fenómenos de oxidación en las aguas subterráneas profundas, son de escasa significación, como consecuencia de su bajo contenido en oxígeno y la ausencia de luz y actividad biológica.

No obstante, las aguas meteóricas, en su recorrido hasta alcanzar las zonas de saturación, pueden transportar el oxígeno disuelto hasta grandes profundidades, siempre que no encuentren en su desplazamiento subterráneo un medio de carácter reductor.

Según Bravo (4) en las Islas Canarias, este último fenómeno es importante y las aguas subterráneas pueden quedar totalmente desprovistas de oxígeno.

Cuando estas aguas desoxigenadas, entran en contacto con el medio exterior, absorben rápidamente el oxígeno del aire, ocasionando dificultades algunas veces fatales en la prospección de aguas subterráneas, mediante túneles profundos e insuficientemente aireados.

No obstante una determinación del O_2 disuelto, presenta un gran interés y su concentración es un índice más seguro del potencial de oxidación del medio, que las medidas de Eh.

Las variaciones de pH, pueden influir en el potencial de oxidación. Un aumento de la alcalinidad del medio, favorecen las reacciones de oxidación a valores relativamente bajos de Eh.

El hierro, manganeso y azufre, representan los principales elementos, que participen en reacciones de oxidación-reducción, durante la alteración de sus minerales.

El hierro y manganeso tienen una gran movilidad y solubilidad, en medios reductores ligeramente ácidos, pero estas formas reducidas, precipitan como carbonatos, sulfuros y silicatos en medio alcalino.

En condiciones oxidantes, estos iones pasan fácilmente a estados de valencia más elevados, formando generalmente óxidos e hidróxidos muy insolubles en el medio acuoso.

El azufre, puede encontrarse en forma reducida como sulfuro y en forma oxidada al estado de sulfatos, cuando el potencial de oxidación es elevado.

La transformación de sulfato en sulfuro, se produce en presencia de materia orgánica, y están catalizadas por bacterias anaerobias. En el caso de las aguas subterráneas muy profundas esta reacción es improbable.

En las regiones volcánicas, además de los agentes de alteración a que nos hemos referido, los gases volcánicos participan también de una manera muy activa, en la mineralización de las aguas subterráneas.

Estos gases contienen siempre cantidades importantes de CO_2 , SO_2 y una proporción relativamente menor de CO , H_2 , SO_3 , SH_2 , Cl_2 , B y F.

El CO_2 , es el gas más abundante en estas emanaciones y su concentración puede llegar hasta un 47% en volumen, lo que permite comprender, las elevadas concentraciones en HCO_3^- de las aguas subterráneas en estas regiones.

La disolución de estos gases en el agua, bajo condiciones de presión elevada, proporciona ácido carbónico que contribuye muy activamente a la alteración química de las rocas.

III. TECNICAS EXPERIMENTALES

METODOS ANALITICOS EMPLEADOS EN LA CARACTERIZACION DE LAS AGUAS Y SUELOS.

TECNICAS Y METODOS DE ANALISIS EN MUESTRAS DE AGUAS.

Medida de pH.—Se determina en un medidor de pH «Cambridge», con electrodo de vidrio y calomelano.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE x 10⁶ 25°C).—Se mide en conductímetro Meter L B R WTW, con célula de constante igual a la unidad.

RESIDUO SECO a 110°C.—Método de GUNTZ (5).

BORO.—Método de Halcher y Wilcox (6).

Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺.—Spectrofotometría de Absorción Atómica en Spectrofotómetro.

PERKIN-ELMER modelo 290.

Na⁺ y K⁺.—Fotometría de llama en Fotómetro Beckman modelo 41 Direct Reading Flame Photometer.

CO₃⁼ y HCO₃⁻.—Método Rettemeier (7).

SO₄⁼.—Se sigue el método de A.G. ASCHAR y otros. (Soil Science, Vol. 83 N.º 3. Pág. 239).

Cl⁻.—Método de Mohr.

NO₃⁻ y SiO₂.—Se siguen los métodos señalados por el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos (8).

Flúor (F⁻).—Método de la American Public Health Association y American Water Works Association (9).

Th (Dureza total °F).—Rodier (10).

Ta (Título alcalinimétrico °F) y Tac (Título alcalinimétrico completo °F).—Rodier (11).

DETERMINACIONES ANALITICAS DE CAMPO.

Determinación de Cl^- , CO_2 y O_2 disueltos y medida de pH.—Se utilizan los equipos de ensayo de la HACH CHEMICAL COMPANY de Estados Unidos, Model 7—P para Cl^- , Ca—23 para CO_2 , Ox—2 P para O_2 y los discos de coloración continua y comparador de colores de la casa HACH.

TECNICAS Y METODOS DE ANALISIS PARA SUELOS.

PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

El suelo seco al aire se tamiza por malla de 2 mm. Se hace la muestra media y se realiza las determinaciones siguientes:

pH.—Se mide en la suspensión suelo-agua 1: 2.5. Se efectúa la medida al cabo de 10 minutos de preparada la suspensión, agitando frecuentemente durante este intervalo de tiempo. La determinación se realiza en un medidor de pH «Cambridge» con electrodo de vidrio y calomelano.

CARBONATOS TOTALES.—En calcímetro de Bernard (12).

MATERIA ORGANICA.—Método de Walkeley (13).

EXTRACTO SATURADO.—Se sigue el método de Richards (14).

CONDUCTIVIDAD ($CE \times 10^3$ $25^\circ C$).—Se mide en el extracto saturado, empleando un conductímetro Meter L B R WTW, con célula de constante igual a la unidad.

Ca^{++} y Mg^{++} .—Por complexometría empleando el método de CHENG y BRAY (15).

Na^+ y K^+ .—Fotometría de llama en Fotómetro Beckman modelo 41 Direct Reading Flame Photometer.

$CO_3^{=}$ y HCO_3^- .—Método de Rettemeier (7).

Cl^- .—Método de Mohr.

CATIONES DE CAMBIO Y CAPACIDAD TOTAL DE CAMBIO.—Se sigue el método señalado por Bower, Rettemeier y Fireman (16).

IV. SISTEMAS DE CLASIFICACION

a) CLASIFICACION AGRICOLA DE LAS AGUAS

En la interpretación de las características físico químicas de las aguas, se siguen diferentes criterios, que pueden ser del mayor interés, tanto en la valoración de sus propiedades, para su utilización con fines diversos, como en el conocimiento de los equilibrios químicos, que se derivan de unos procesos de alteración geoquímica.

En el primer caso, y en relación con la transformación en regadío de las regiones áridas, se utilizan diversos sistemas de clasificación, que permiten predecir los efectos residuales que se derivan de la incorporación del agua al suelo, en estas zonas con una intensa evaporación.

Entre los diferentes sistemas propuestos, para estudiar los efectos que se derivan de la interacción, agua-suelo, la clasificación del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, (17) (18), ha tenido una gran difusión y aceptación en diferentes países de clima árido.

Este método, considera conjuntamente los valores de la conductividad eléctrica del agua, y las concentraciones relativas de los iones sodio, calcio y magnesio.

La concentración de boro (19) (20), aunque no se incluye en las relaciones propuestas, es importante por sus efectos tóxicos sobre 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.

Cuando las aguas contienen concentraciones elevadas de sodio, se produce una acumulación excesiva de este ión en la fracción coloidal del suelo, por un fenómeno de intercambio iónico, principalmente con los iones calcio, magnesio y potasio.

Los cationes calcio, magnesio, potasio y sodio, influyen en gran medida en las características físicas del suelo. En proporciones adecuadas, los iones calcio y magnesio contribuyen a mejorar la estructura del suelo.

Por el contrario, la presencia de grandes cantidades de sodio, da lugar al desarrollo de estructuras plásticas en estado húmedo, que dificultan la permeabilidad y aireación normal del suelo (21).

Los riesgos que se derivan del empleo de aguas conteniendo concentraciones elevadas de sodio, se miden en función de la relación de adsorción de sodio (RAS) mediante la fórmula:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\frac{\sqrt{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}}{2}}$$

Esta expresión relaciona la concentración de sodio en la solución del suelo, con la capacidad de la fracción coloidal para retenerlo en forma cambiante. (8).

La determinación del RAS, puede realizarse mediante el nomograma indicado en la fig. N.º 1.

Este procedimiento, permite una simplificación de los cálculos, cuando se estudia un número considerable de muestras de agua.

Los valores de RAS y la conductividad eléctrica del agua, permiten clasificar su calidad, empleando el diagrama de la fig. N.º 2.

En este diagrama las aguas se agrupan en clases, según su concentración salina total (C) y valores de RAS (S).

La salinidad, viene expresada por los valores de la conductividad eléctrica, en una escala comprendida entre 100 y 5.000 micromhos por centímetro y la separación entre las diferentes clases de salinidad, se establece para valores de 250, 750 y 2.250 micromhos por centímetro. La alcalinidad, está representada por la relación de adsorción de sodio, pero en este caso, es difícil establecer puntos concretos de división, teniendo en cuenta que el RAS está a su vez influido por la concentración total de sales.

La combinación de los valores que determinan la situación de C y S en el diagrama, permite agrupar las aguas, en un total de 16 clases diferentes.

No obstante, este sistema de clasificación no tiene en cuenta la composición aniónica del agua.

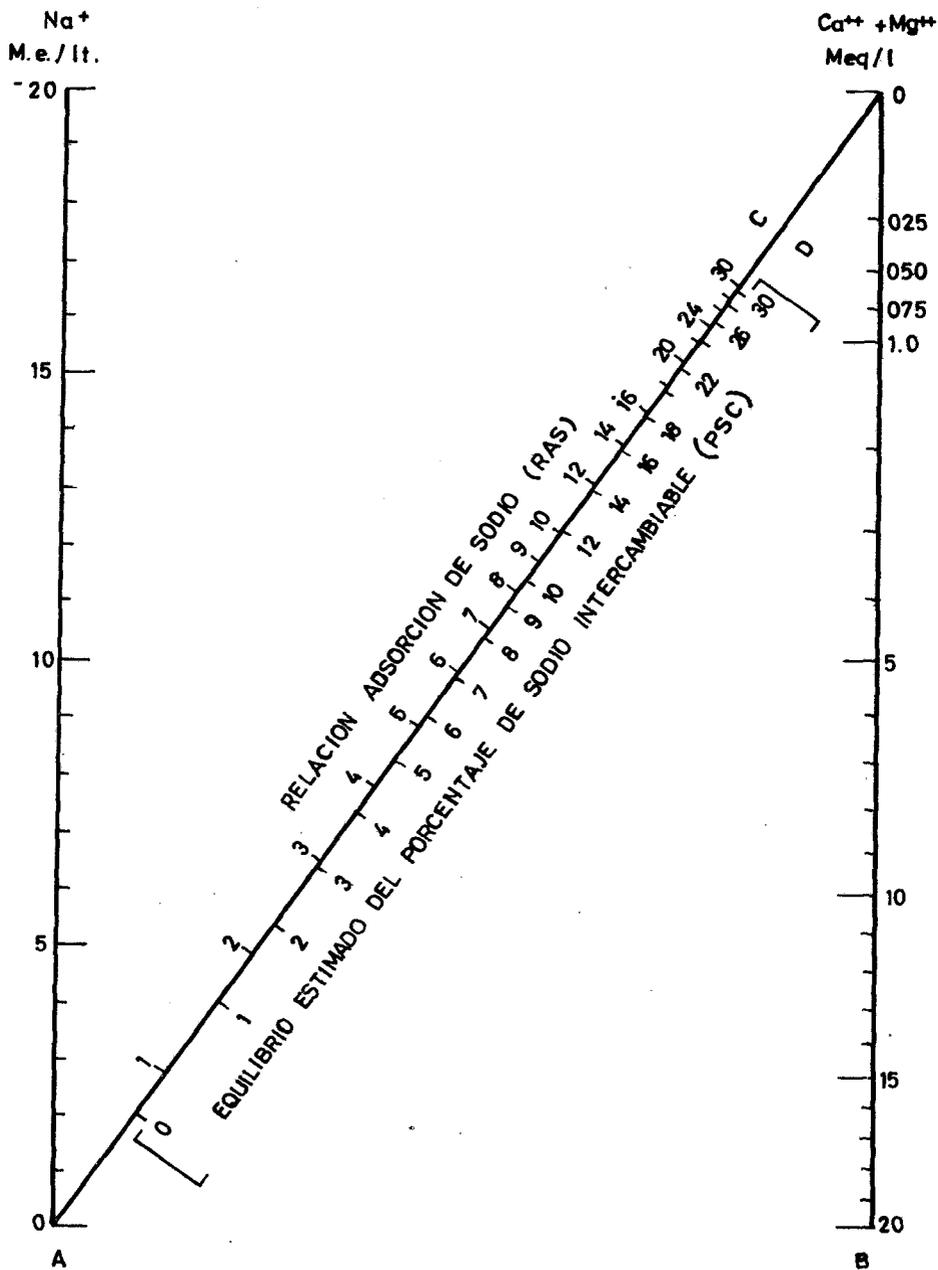
El ión bicarbonato, suele ser abundante en las aguas subterráneas, y su presencia, es importante en los equilibrios $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{++} - \text{Mg}^{++}$.

Eaton (22) ha sugerido la conveniencia, de considerar el potencial de formación de carbonato sódico residual, en función de la composición química de las aguas.

De acuerdo con las consideraciones de Eaton, 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, que no serían previsibles por el método de clasificación a que nos hemos referido.

Los datos correspondientes a la formación de carbonato sódico residual, han sido estudiados y tenidos en cuenta en el trabajo experimental.



Nomograma para determinar el valor del R A S del agua y porcentaje de sodio de cambio del suelo en equilibrio con el agua

FIGURA N.º 1

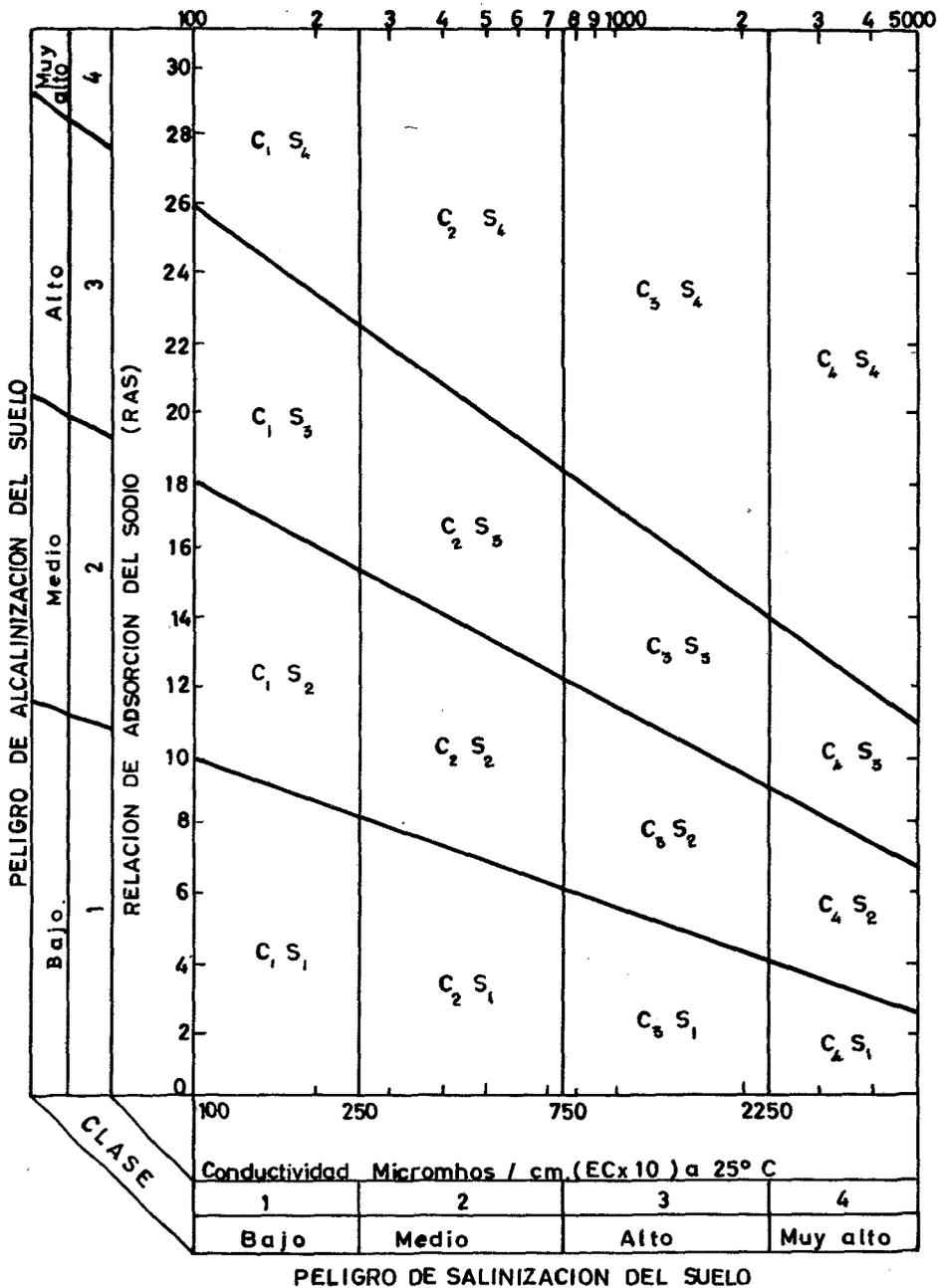


Diagrama para la clasificación de las aguas para riego, según procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff

FIGURA N.º 2

b) CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS

En lo que se refiere al estudio de equilibrios salinos en disolución, hemos aplicado a las aguas subterráneas de las Islas Canarias, diferentes métodos de clasificación, utilizando los datos de la composición iónica absoluta y relativa de las diferentes aguas, como base para su clasificación en grupos de características comunes.

Las clasificaciones utilizadas con este fin, comprenden dos grupos principales, que se basan en los criterios siguientes: a) en el carácter iónico de las aguas y b) en las características de las sales en disolución.

En el primer grupo, las diferentes clasificaciones, se refieren fundamentalmente a las concentraciones relativas de los iones $\text{CO}_3 = + \text{HCO}_3^-$, $\text{SO}_4 =$ y Cl^- , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ . Estableciendo también en algunos casos jerarquías en la concentración catiónica, incluyendo algunas de ellas, consideraciones sobre los índices de cambio de bases.

Entre las clasificaciones más importantes que corresponden a este grupo, podemos considerar las de Alekine, Schoeller, Shchukarev, Bazilevich y Filatov (23).

En las clasificaciones correspondientes al segundo grupo, se tiene en cuenta tanto la composición iónica de las sales disueltas, como la influencia de estas sales en disolución, en la salinidad y alcalinidad de las aguas consecuentes a fenómenos de disociación más o menos intensos.

En el segundo grupo, las clasificaciones más importantes han sido propuestas por Chase Palmer, Souline y Zakharina (23).

Los diferentes sistemas de clasificación referidos, han sido utilizados para el estudio de muestras representativas de las aguas subterráneas de las Islas Canarias, considerando separadamente grupos de manantiales de características comunes, en situaciones definidas en cada una de las Islas.

Por otra parte, y como complemento a los sistemas de clasificación indicados, se han estudiado diversas correlaciones, que nos permiten comprender la interdependencia de algunas características importantes.

Igualmente, hemos utilizado diferentes sistemas de representación gráfica, para agrupar estas aguas de acuerdo con sus características comunes. (24), (25), (26).

Estos sistemas de representación gráfica, son de gran interés, cuando conviene establecer comparaciones entre diversos tipos de aguas, para determinar diferencias sensibles entre las distintas muestras. Las analogías o diferencias observadas, pueden contribuir a poner de manifiesto fenómenos que hayan podido influir más decisivamente en su composición iónica.

Entre las representaciones gráficas más utilizadas para la investigación de las aguas, podemos citar los diagramas de columnas, los radiales y los verticales.

Entre los diagramas de columnas, hemos utilizado la representación gráfica establecida por REISTLE (1927), que toma como datos los mg/l . de los diferentes cationes y aniones.

REISTLE recomienda poner los cationes en la parte superior y los aniones en la parte inferior de un eje horizontal que se toma como origen. Este diagrama lo hemos utilizado en la comparación de los diferentes tipos de aguas de galerías y pozos de Tenerife.

Entre los diagramas radiales hemos utilizado, para la representación gráfica de los distintos tipos de aguas, tanto de galerías como de pozos, el establecido en Hungría por Rezso Maucha (25). En esta representación gráfica los resultados de los di-

ferentes iones expresados en mg/l , se representan por medio de vectores radiales, cuya longitud depende de la concentración del ión, tomando como origen el punto de intersección de los vectores. Esta representación gráfica es muy interesante cuando se trata de comparar los análisis de diversos tipos de aguas.

Entre los diagramas verticales podemos citar el establecido por el Bureau for the Inventory of Hydrologic Resources of Tunes, con ciertas modificaciones introducidas por R.C. Vorhis (23). Este diagrama utiliza una escala logarítmica para representar la concentración de los diferentes iones. La gráfica resulta de la unión de los puntos que representan las concentraciones de los diferentes iones expresados en mg/l .

Este diagrama también es interesante, cuando se trata de representar diferentes tipos de aguas y efectuar comparaciones entre ellas.

La escala logarítmica se ordena de forma que puedan transformarse rápidamente los mg/l en mg/l y viceversa.

Esta representación gráfica a base de escalas logarítmicas, presentan desventajas para el caso de aguas de pequeña concentración iónica.

V. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LOS DEPOSITOS DE AGUAS SUBTERRANEAS

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

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. (27).

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 barranco, 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.

Las aguas de diques, son las más importantes en las islas montañosas, y se encuentran acumuladas en comportamientos profundos, originados por diques volcánicos, que producen al entrecruzarse, verdaderos depósitos subterráneos de gran impermeabilidad, rellenos por masas de lavas vesiculares muy permeables. Fig. N.º 3. 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 (28). Puede considerarse, que gran parte de las islas se encuentran seccionadas 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.



FIGURA N.º 3

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 pueden alcanzar profundidades superiores a 3.000 mts.

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

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.

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 (29) 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.

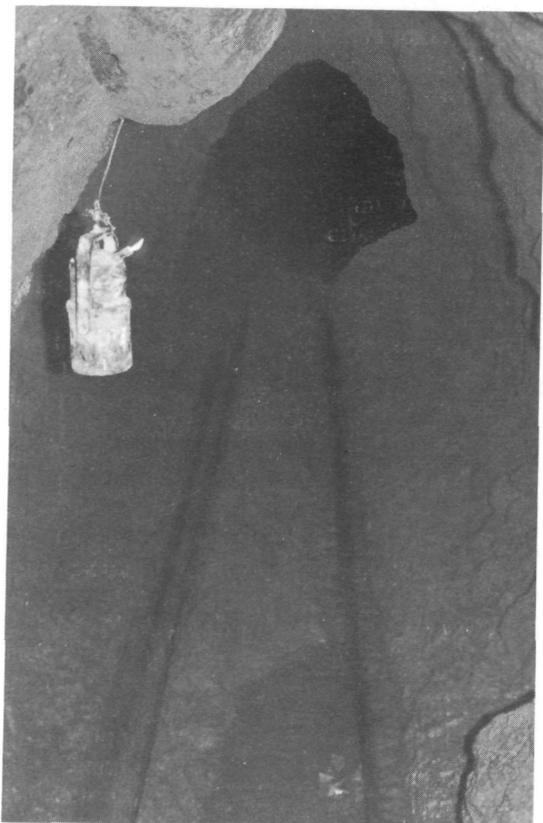
AGUAS BASALES

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 (30).

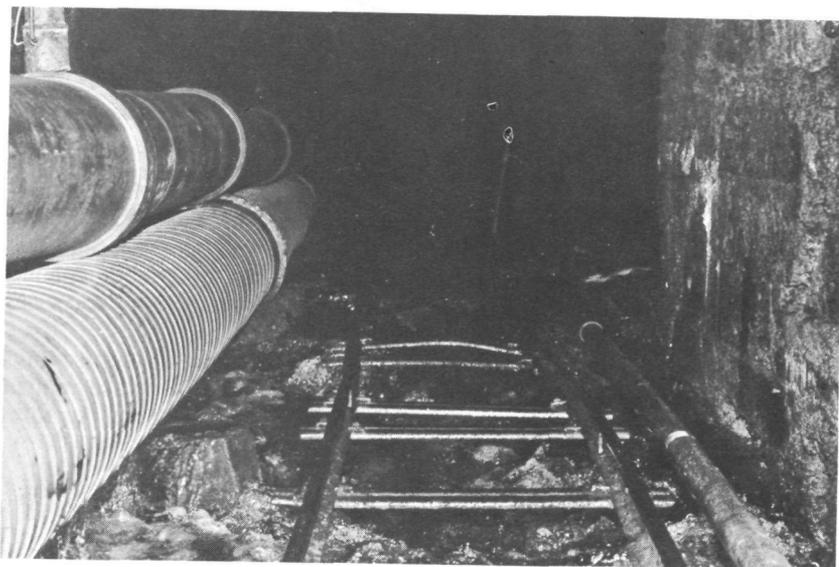
El agua del mar, tiene en estas latitudes una densidad media aproximada de 1.025, es decir, 1/40 veces mayor que el agua de lluvia. Como consecuencia, esta masa estará en equilibrio con el agua del mar, cuando su volumen sobre el nivel del mar, sea aproximadamente 1/40 de su volumen bajo él. Es decir,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



SECCION NORMAL DE UNA GALERIA



SISTEMA DE VENTILACION
FORZADA Y CONDUCCION
DE AGUA EN UNA GALERIA



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 (31).

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, 1 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 bajo el nivel del mar. En la fig. N.º 4, se representa la distribución de estas aguas en la base de la isla. (32).

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

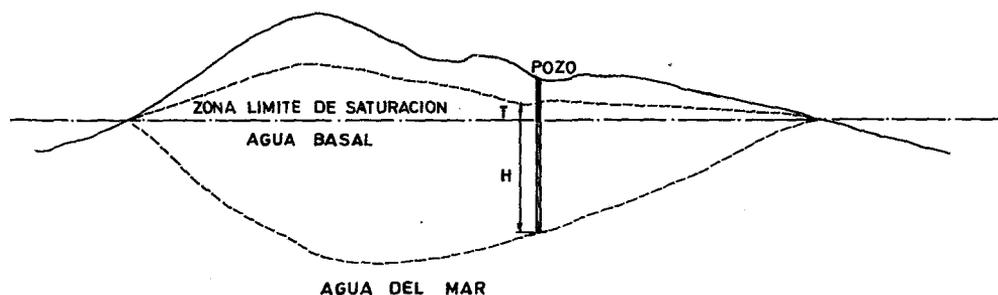


FIGURA N.º 4

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 las islas, donde aparezcan formaciones rocosas impermeables, que dificultan 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 de las Islas Canarias.

VI. *ISLA DE TENERIFE*

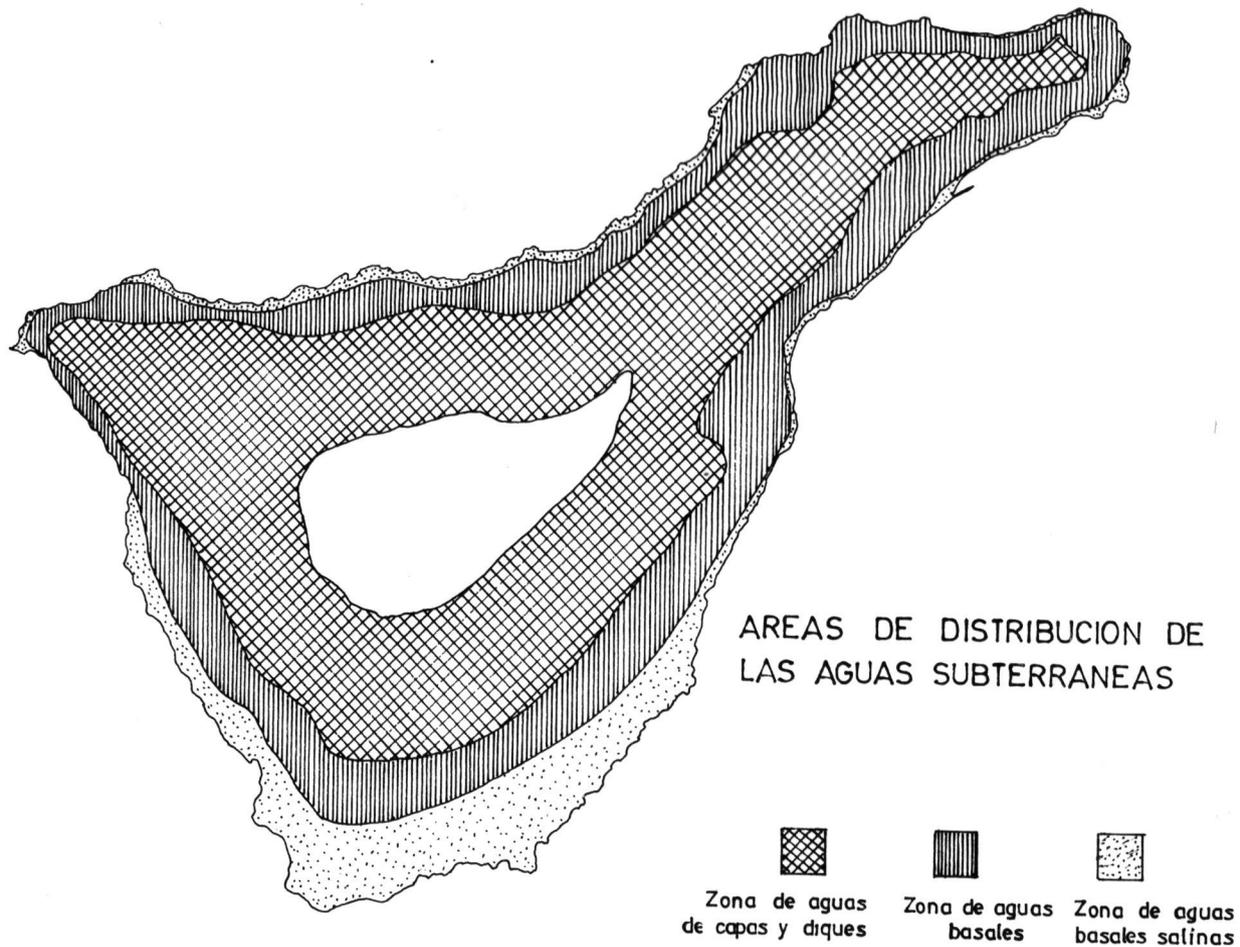


FIGURA N.º 5

VII. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE TENERIFE

En el estudio de las características químicas de las aguas de Tenerife, consideraremos separadamente cada uno de los tres grupos principales de manantiales que constituyen los recursos hidráulicos de la Isla: aguas de fuentes, aguas de galerías y aguas basales o de pozos.

En la fig. N.º 5, se representan aproximadamente, las áreas de las aguas subterráneas. El área superior no rayada corresponde a la zona de las Cañadas del Teide.

AGUAS DE FUENTE

A este grupo de manantiales, pertenecen las aguas que fluyen espontáneamente y con escaso caudal en las cumbres de la Isla. Generalmente, están situadas por encima de los 1.000 metros sobre el nivel del mar. Su caudal total carece de importancia en el conjunto de las aguas de la Isla, aunque existen sectores aislados, donde estas aguas se vienen aprovechando para el riego de pequeñas extensiones.

Se ha realizado un estudio de 58 manantiales de estas características, que se encuentran distribuidas por diferentes regiones de la Isla.

Generalmente poseen una concentración iónica total baja, con valores de conductividad que varían entre 62 y 500 micromhos por cm., aunque en algunos casos, se alcanzan valores de 1.095 micromhos por cm. en la zona Norte de la Isla, en la región de San Juan de la Rambla.

En general, aparecen los valores más elevados de conductividad, en las fuentes situadas en las regiones del centro de la Isla y más próximas al Teide.

La concentración del ión HCO_3^- es la más elevada de todos los aniones con valores comprendidos entre 0.42 y 10.98 mq/l., valor máximo encontrado en una fuente de la región de los Realejos.

Generalmente el ión $\text{CO}_3^{=}$ no es frecuente en estas aguas, y cuando existe está asociado a concentraciones elevadas del ión HCO_3^- .

El ión Cl^- se encuentra presente en todas las aguas de fuentes, generalmente con valores superiores a 1 mq/l. alcanzando en algunas aguas, concentraciones de 3.60 y 4.30 mq/l. principalmente en las fuentes que se encuentran más próximas a las costas.

El ión $\text{SO}_4^{=}$ generalmente no se encuentra presente en este tipo de aguas.

En lo que se refiere a las bases solubles, las mayores concentraciones corresponden al ión Na^+ , con valores comprendidos entre 0.22 mq/l. y 6.88 mq/l. En

TABLA N.º 1
Composición química de aguas de fuentes

N.º	CE × 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 ₃ ⁼ mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ ⁼ mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	156	94	0.00	0.00	7.6	0.35	0.66	0.88	0.10	0.00	1.30	0.16	0.46	0.29
2	261	165	0.20	0.00	7.8	0.35	0.67	1.76	0.13	0.00	2.58	0.70	0.48	1.56
3	381	240	0.30	0.10	7.5	0.53	0.74	2.01	0.11	0.00	0.94	0.22	2.82	0.00
4	447	280	0.30	0.00	7.3	0.45	1.47	2.78	0.20	0.00	0.56	0.60	3.24	0.00

orden decreciente de concentraciones se encuentran los iones Mg^{++} y Ca^{++} . Excepcionalmente se invierte este orden para Mg^{++} y Na^+ ($Mg^{++} > Na^+$) en las aguas de menor concentración iónica total.

Las concentraciones de los iones Mg^+ y Ca^{++} están comprendidas entre 0.34 mq/l. y 4.75 mq/l. y entre 0.18 mq/l. y 1.15 mq/l. respectivamente.

En general el ión F^- , es muy escaso. Sus valores límites se encuentran entre 0.10 p.p.m. y 1.40 p.p.m. Excepcionalmente en las fuentes de la zona de La Guancha, aparecen valores que alcanzan 4.00 p.p.m., y cuyos efectos consideraremos separadamente, al estudiar el Flúor en las aguas de esta región.

En general no es frecuente el Boro en las aguas de fuente. Solamente en diez muestras de las 58 estudiadas, las concentraciones de este elemento varían entre 0.10 p.p.m. y 1.60 p.p.m.

Las aguas de fuentes cuyas características químicas, se señalan en la Tabla N.º (1), pueden considerarse representativas de estos manantiales.

AGUAS DE GALERIAS

Corresponde a esta denominación, las aguas captadas en las dos vertientes de la Isla, y en cotas comprendidas generalmente entre los 200 y los 2.000 metros sobre el nivel del mar.

El caudal aportado por estos manantiales, representa el volumen más importante de la totalidad de las aguas de Tenerife.

Su característica principal, en cuanto a su composición, es el carácter predominante de los iones HCO_3^- , cuantitativamente superior a los restantes aniones.

Existe una correlación significativa a nivel superior al 0.1% entre la conductividad eléctrica en micromhos por cm. y la concentración de $CO_3^{=} + HCO_3^-$ en mq/l. Gráfica N.º (1).

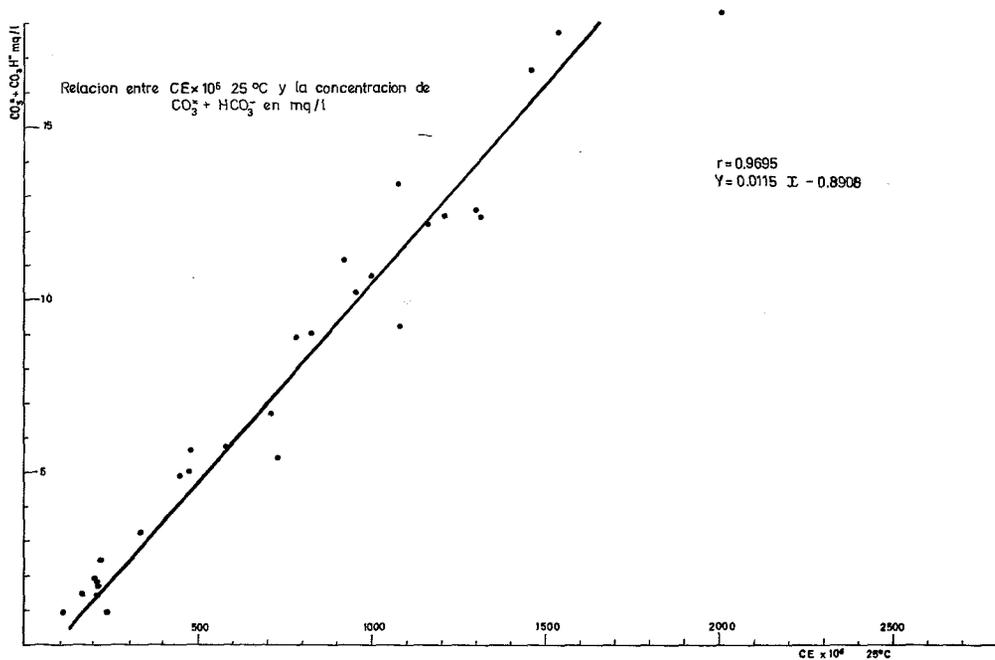
Esta presencia generalizada del ión HCO_3^- en las aguas, tiene su origen, en las emanaciones continuas de gas carbónico, que se produce en las zonas volcánicas profundas de la Isla. La disolución de estos gases, en las aguas subterráneas al ponerse en contacto con ellas, forma ácido carbónico que ejerce una acción disolvente sobre los minerales, que forman estos depósitos. (27).

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.

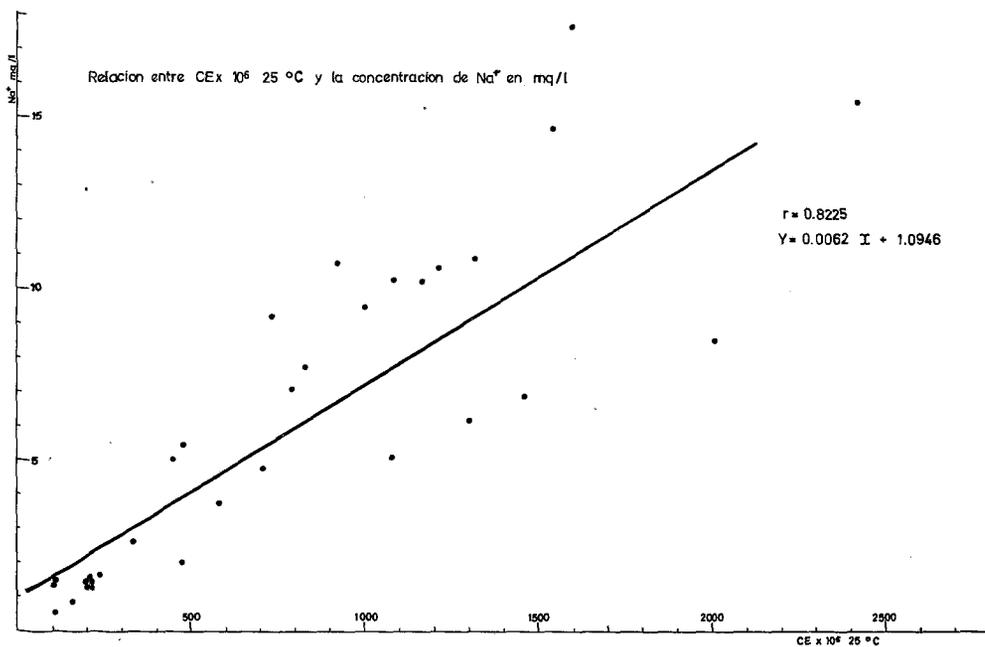
Las zonas más afectadas por este fenómeno, corresponden a las regiones de Arfo, Fasnía y Arico en la vertiente Sur de la cordillera central, las comprendidas entre las regiones de Los Realejos, La Guancha, Icod y Garachico en la vertiente Norte y Santiago del Teide, Tamaimo y Chío en la región occidental.

Las concentraciones más elevadas del ión HCO_3^- en estas zonas, oscilan entre 32.86 mq/l. y 16.00 mq/l., que corresponden a las más altas de la Isla.

Tanto en estas regiones, a que nos hemos referido como en el resto de la Isla, la presencia del ión $CO_3^{=}$ dependerá del pH del agua. En aguas de alta concentración en bicarbonatos y pH superior a 8, el ión $CO_3^{=}$ puede alcanzar concentraciones altas, llegando en algunos casos a valores de 15 mq/l.



GRAFICA N.º 1



GRAFICA N.º 2

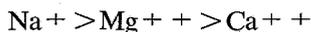
El ión Cl^- , se encuentra siempre presente, en concentraciones que oscilan entre 0.17 mq/l. y 2.52 mq/l.

El ión SO_4^- , se observa sólo en algunos manantiales (únicamente en 97 de los 284 estudiados) y sus concentraciones relativamente bajas, están comprendidas entre 0.12 mq/l. y 2.42 mq/l.

En cuanto a los cationes, el ión Na^+ experimenta variaciones en su concentración, que siguen un comportamiento semejante a los iones bicarbonato.

Entre la conductividad del agua y la concentración de Na^+ en mq/l. existe una correlación positiva significativa a nivel superior al 0.1%. Gráfica N.º (2).

La concentración relativa de los cationes, sigue en general el orden siguiente:



Sin embargo, en algunos manantiales, se invierte esta relación ($\text{Na}^+ < \text{Mg}^{++}$). Este fenómeno se observa excepcionalmente, en algunos tipos de aguas 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.

Las concentraciones de los iones Ca^{++} y Mg^{++} , están generalmente comprendidas entre 0.10 mq/l. y 4.52 mq/l. y entre 0.11 mq/l. y 20.36 mq/l. respectivamente. Este valor máximo encontrado para el ión Mg^{++} corresponde a un manantial de la zona de Arico, de aguas muy bicarbonatadas ($\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^- = 32.86$ mq/l.), que al desplazarse por los canales de riego, forman depósitos de carbonato cálcico-magnésico, que puede alcanzar un espesor considerable, en períodos de tiempo relativamente cortos.

Entre la conductividad eléctrica y la concentración iónica $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ en mq/l., existe una correlación positiva, significativa a nivel superior al 0.1%. Gráfica N.º (3).

En la composición iónica de las aguas de galerías, se observa, que un aumento del porcentaje del Na^+ , lleva consigo una disminución de los porcentajes de los iones $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$, ambos porcentajes calculados sobre el total de cationes. Esta característica de las aguas de Tenerife, queda confirmada por la alta correlación negativa significativa a nivel del 0.1%, entre estos dos grupos de iones % ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) y % Na^+ . Gráfica N.º (4).

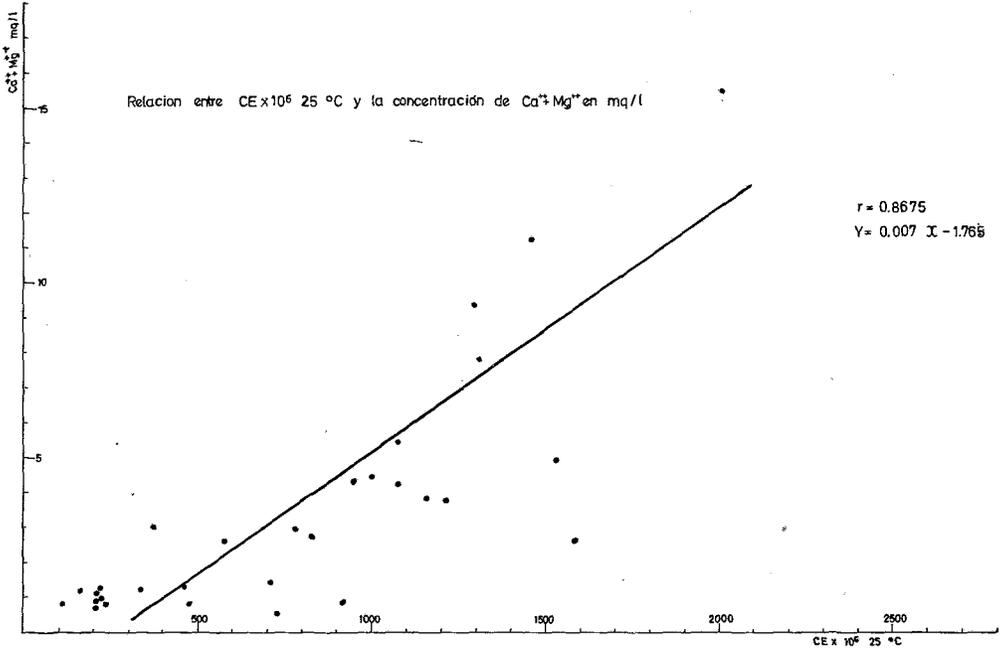
La conductividad eléctrica de estas aguas, se encuentra comprendida entre 212 y 2.412 micromhos por cm.

Los valores de pH, son alcalinos y generalmente superiores a 8.

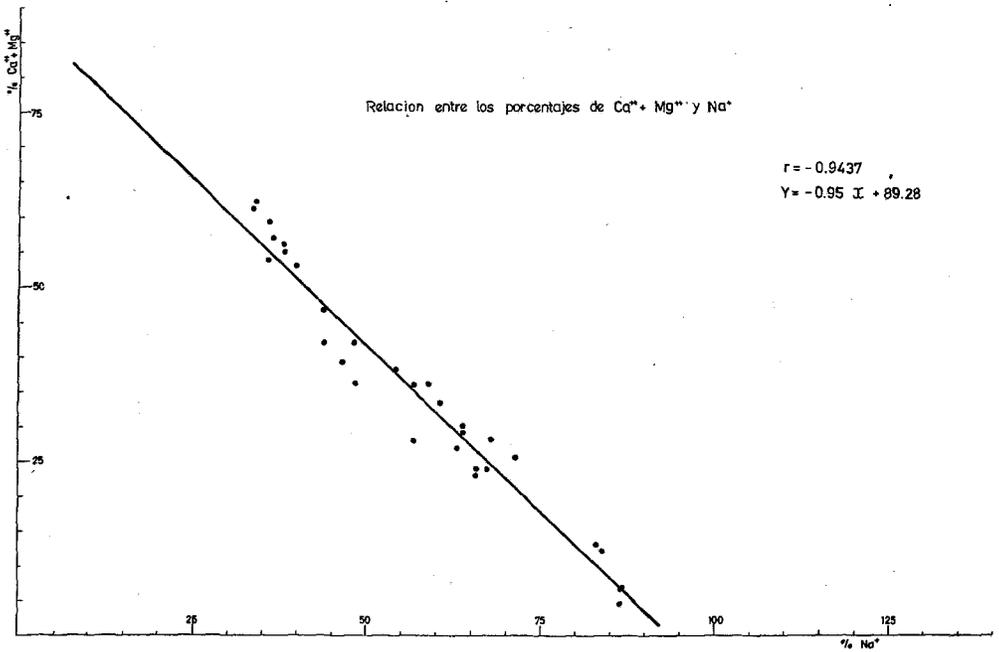
Las aguas de galerías, no varían en su composición cualitativa y cuantitativa, durante todo el período de producción del manantial. Esta constancia en la composición química, es muy característica de estas aguas.

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 frecuente 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 los iones HCO_3^- y Na^+ como el anión y catión predominantes, y su alcalinidad, nos permite considerarlas, por su composición, como aguas bicarbonatadas sódicas alcalinas.

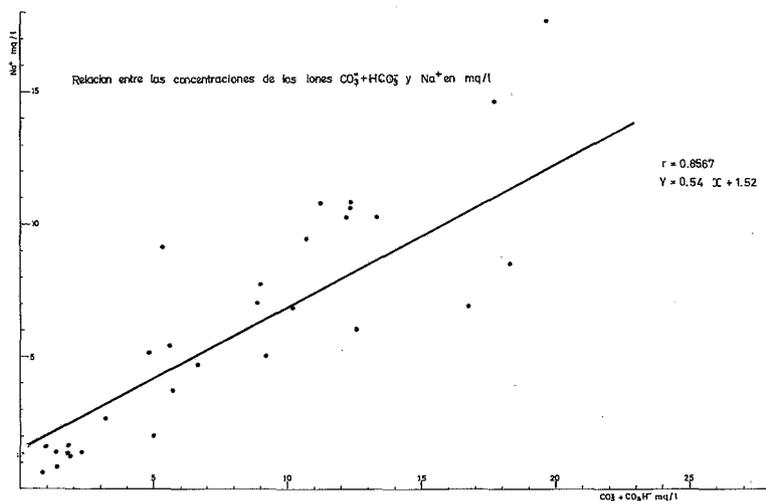


GRAFICA N.º 3



GRAFICA N.º 4

Un estudio de la correlación entre las concentraciones de $\text{CO}_3^{=}$ + HCO_3^{-} y Na^{+} , con un valor para el índice de correlación $r = +0.8567$, altamente significativo a nivel superior al 0.1%, confirma el carácter predominante del bicarbonato sódico en estas aguas. Gráfica N.º (5).



GRAFICA N.º 5

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

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, estas relaciones deben ser consideradas para poder determinar los valores de carbonato sódico residual. Según este concepto, como ya habíamos indicado, aguas con un porcentaje de sodio aparentemente bajo, en relación con los restantes cationes, pueden incrementar relativamente la concentración de este ión, 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 expresado en la tabla N.º (2), para diferentes muestras representativas de las aguas de galería de la Isla.

Consideraciones sobre la importancia del carbonato sódico residual se incluyen en el capítulo XXVI donde se estudia su influencia en las propiedades del suelo.

En las aguas de galerías, no se observa correlación significativa entre la conductividad eléctrica y las concentraciones de los iones Cl^{-} y $\text{SO}_4^{=}$. No se observa correlación entre las concentraciones de los iones Cl^{-} y $\text{SO}_4^{=}$ con los cationes Ca^{++} , Mg^{+} y Na^{+} .

En las figuras N.º (6) y (7), se encuentran representadas gráficamente, diferentes tipos de aguas de galerías donde se advierte el carácter predominante de los iones HCO_3^{-} y Na^{+} .

TABLA N.º 2

Composición química de aguas de galerías

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/1	Mg ⁺⁺ mq/1	Na ⁺ mq/1	K ⁺ mq/1	CO ₃ ⁼ mq/1	HCO ₃ ⁻ mq/1	SO ₄ ⁼ mq/1	Cl ⁻ mq/1	Na ₂ CO ₃ Residual
1	217	135	0.50	0.00	7.9	0.30	0.42	1.44	0.36	0.00	1.29	0.14	0.86	0.67
2	348	189	0.10	0.20	8.1	0.28	1.62	2.09	0.33	0.54	2.56	0.00	0.45	1.20
3	728	465	0.35	0.00	8.2	0.61	1.48	6.64	0.56	0.00	7.66	0.00	0.64	5.57
4	737	766	1.40	0.00	8.8	0.47	1.05	8.10	0.85	1.18	5.54	2.38	0.92	6.15
5	958	820	0.10	0.00	8.1	1.25	3.11	6.86	0.65	0.00	10.18	0.00	0.98	5.82
6	1082	950	0.35	0.00	8.3	1.45	2.77	10.20	0.96	0.00	13.36	0.50	0.67	9.14
7	1592	1694	1.40	0.00	7.4	1.15	1.49	17.64	0.60	0.00	19.69	0.29	0.24	17.05
8	2412	2374	0.00	0.34	8.8	0.19	20.36	15.40	2.60	10.37	22.49	1.14	0.59	12.31

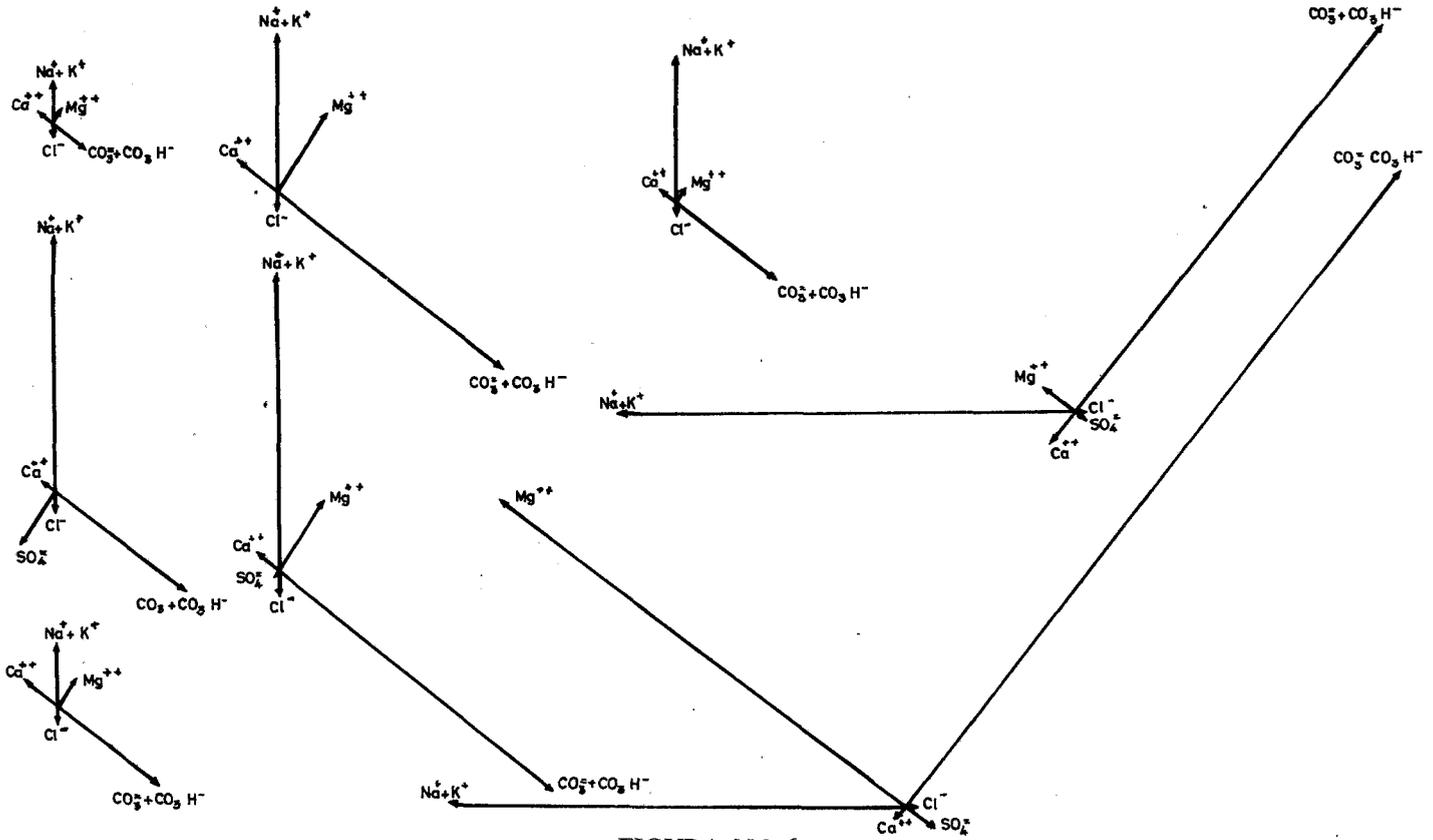
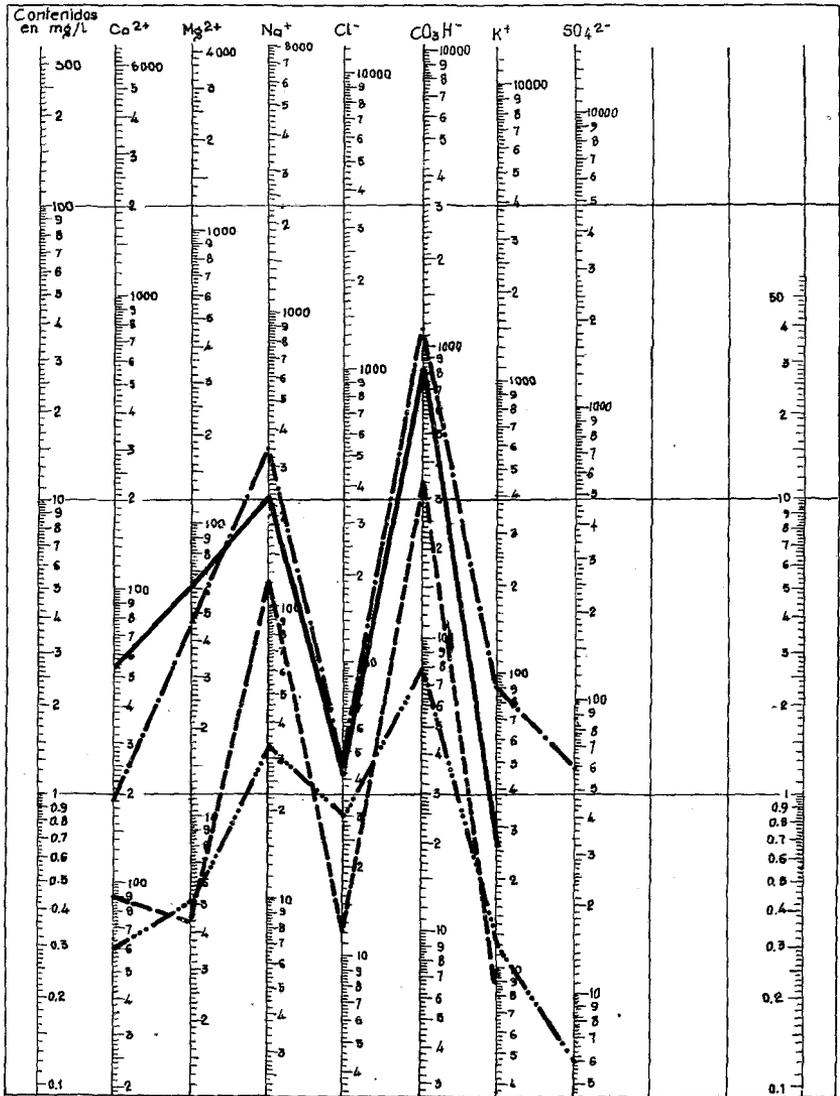


FIGURA N.º 6

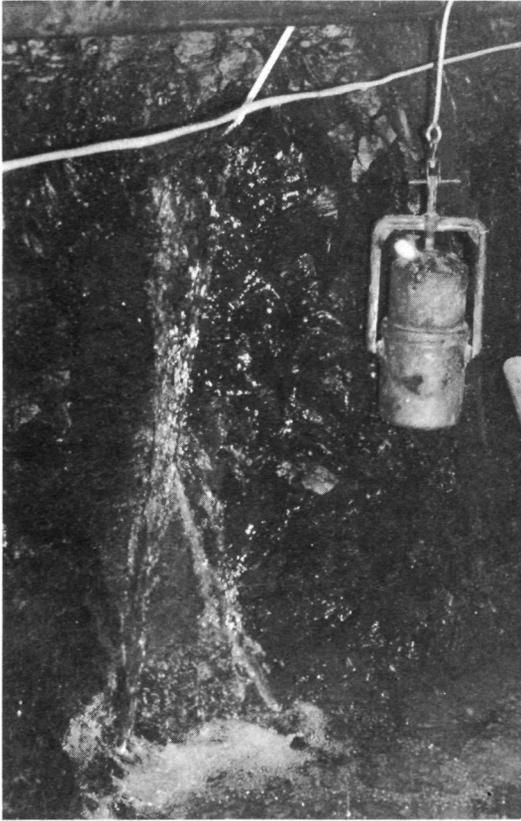
- N° (1) -----
- N° (5) -----
- N° (8) -----
- N° (12) -----



AGUAS DE GALERIAS

DIAGRAMA LOGARITMICO [mg/l] NOMOGRAMA

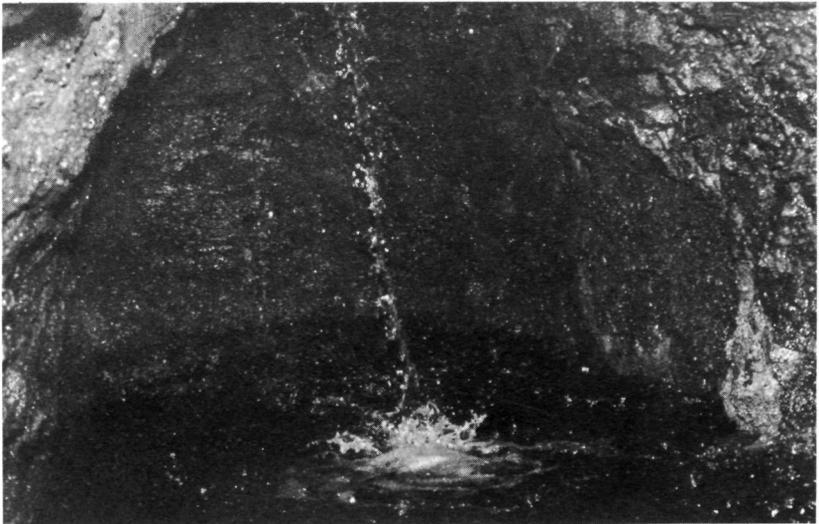
FIGURA N.º 7



◀ MANANTIAL EN PERFORACION
HORIZONTALES DE PEQUEÑO
DIAMETRO

MANANTIAL EN EL FRENTE DE
UNA GALERIA

▼



c) *CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS BASALES O DE POZOS*

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

En los pozos situados en zonas donde el espesor de las aguas basales es considerable, las características químicas de sus aguas es similar a las de galerías. En estos casos, la contaminación por el agua del mar es poco sensible.

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

La conductividad eléctrica está comprendida entre 365 y 1.100 micromhos por cm.

En lo que se refiere a los cationes existe un predominio del ión Na^+ , observándose los siguientes intervalos de concentraciones:

Na^+	1.58	7.40	mq/l.
Mg^{++}	0.94	5.02	"
Ca^{++}	0.26	2.42	"

Los iones Cl^- y HCO_3^- predominan indistintamente en este tipo de aguas basales poco contaminadas.

Las concentraciones de los iones Cl^- y HCO_3^- están comprendidas entre 1.14 mq/l. y 4.24 mq/l. y entre 1.40 mq/l. y 9.02 mq/l. respectivamente.

Las concentraciones del ión $\text{SO}_4^{=}$ es relativamente baja, no alcanzando valores superiores a 1.58 mq/l.

En la tabla N.º (3) y en las figuras N.º (8) y (9), se incluyen análisis representativos y representación gráfica de este tipo de aguas.

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 el agua del mar. Tabla N.º (4).

En las aguas basales contaminadas, las conductividades eléctricas son en general superiores a las aguas de galerías, llegando a alcanzar valores de hasta 4.350 micromhos por cm.

En la composición iónica de estas aguas, los iones Cl^- y Na^+ , se encuentran en una concentración relativamente más elevada que el resto de los aniones y cationes. Al aumentar la concentración iónica total, aumenta la concentración de los iones Cl^- y Na^+ , existiendo una alta correlación entre la conductividad eléctrica en micromhos por cm. y las concentraciones de los iones Cl^- y Na^+ en mq/l. Los coeficientes de correlación respectivos $r = +0.9560$ y $r = +0.9680$, son altamente significantes al nivel del 0.1%. Gráficas N.º (6) y (7).

El ión Cl^- , como hemos indicado, es el anión predominante, y su concentración llega a alcanzar valores de hasta 35.00 mq/l., estando generalmente comprendida entre este valor máximo y un mínimo de 6.08 mq/l.

Las concentraciones del ión Cl^- , se encuentran correlacionados con las correspondientes del ión Na^+ , con un índice de correlación $r = +0.9018$, significativa a nivel del 0.1%. Gráfica N.º (8).

TABLA N.º 3

Aguas basales poco contaminadas

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mg/l.	Mg ⁺⁺ mg/l.	Na ⁺ mg/l.	K ⁺ mg/l.	CO ₃ ⁼ mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ ⁼ mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	365	210	0.15	0.00	45.4	7.3	0.68	0.94	1.80	0.09	0.00	1.86	0.24	1.80	0.00
2	395	210	0.20	0.00	29.1	7.5	0.88	1.28	1.58	0.06	0.24	1.40	0.60	1.84	0.00
3	900	608	0.70	0.20	27.8	7.7	0.26	2.24	7.40	0.30	0.80	5.62	1.28	2.62	3.82
4	1.100	700	0.15	0.00	65.6	8.2	2.42	5.02	5.40	0.28	1.08	7.12	0.00	4.24	0.76
5	435	388	0.15	0.00	46.6	7.3	0.86	1.24	2.04	0.10	0.00	2.08	0.70	2.22	0.00
6	1.000	620	0.25	0.00	69.4	6.8	1.42	2.54	6.90	0.60	0.00	9.02	0.12	1.98	5.06

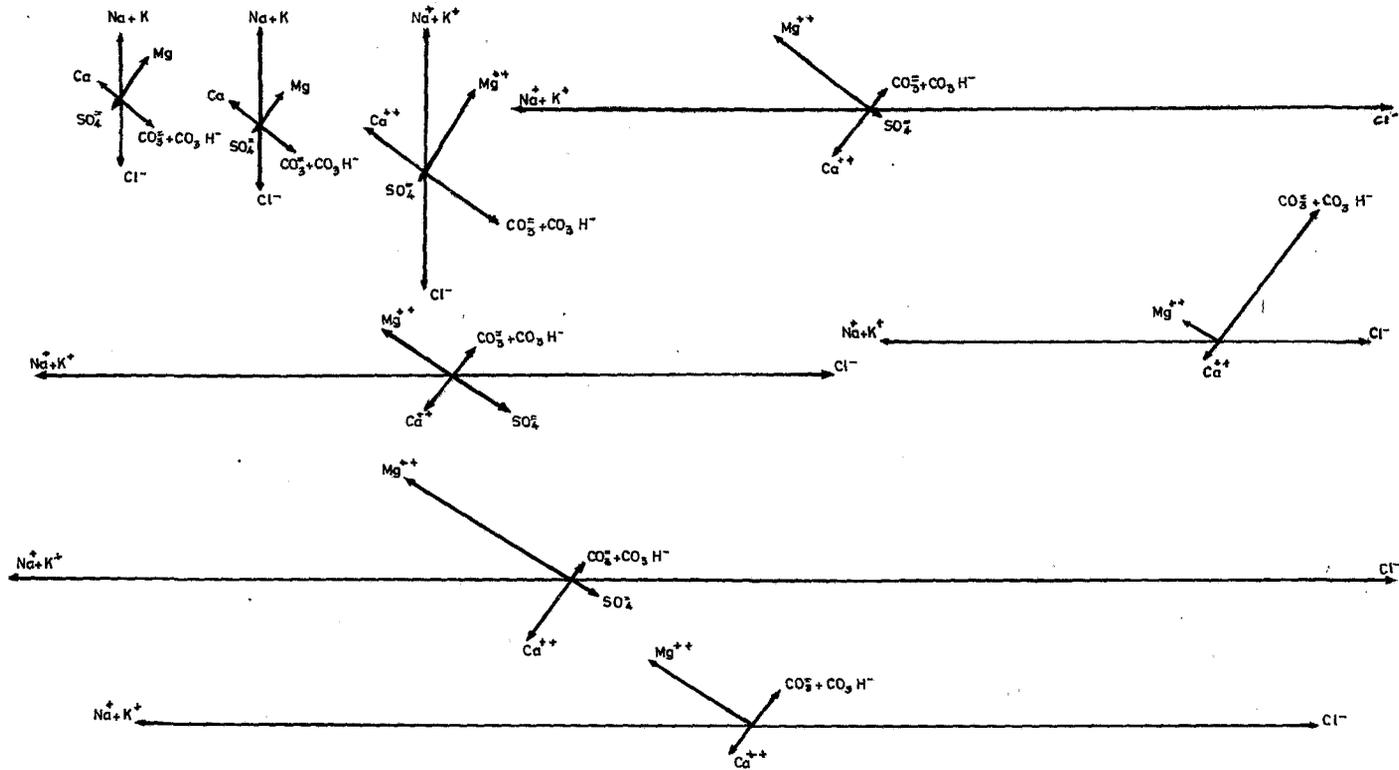
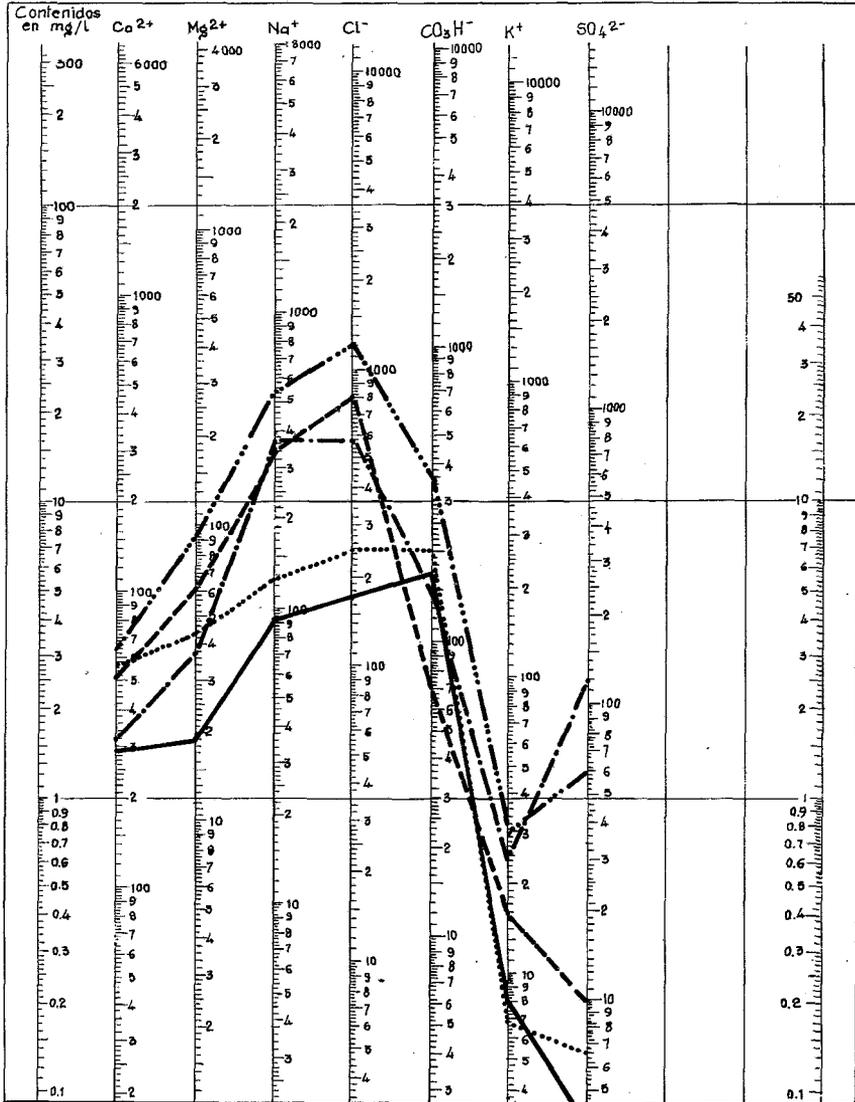


FIGURA N.º 8

- Nº (2) —————
- Nº (3)
- Nº (4) - - - - -
- Nº (5) - · - · - ·
- Nº (7) - · - · - ·



AGUAS BASALES O DE POZOS

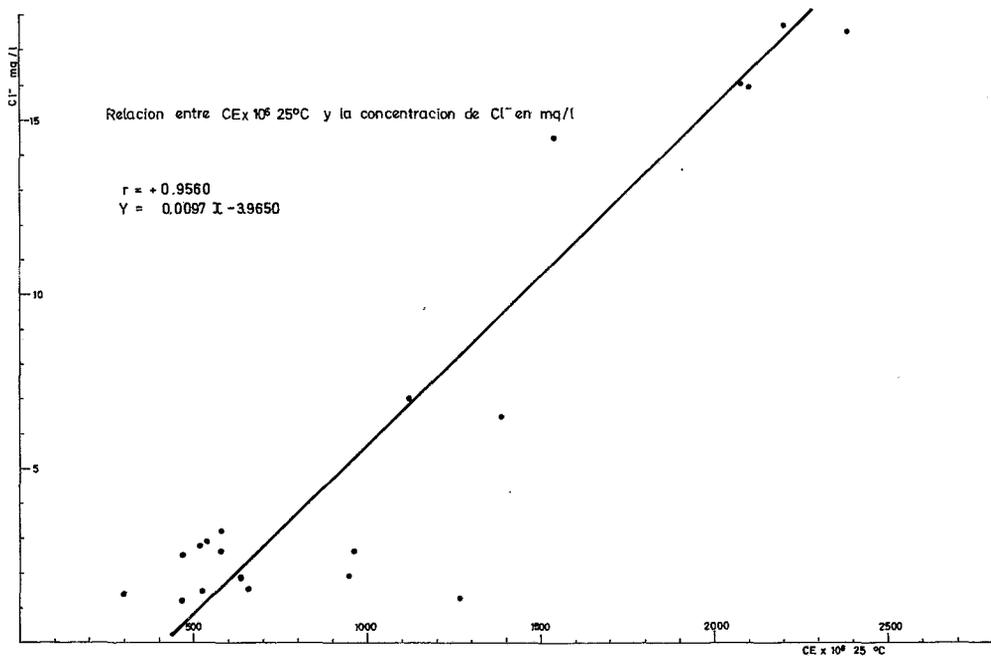
DIAGRAMA LOGARITMICO (mg/l) NOMOGRAMA

FIGURA N.º 9

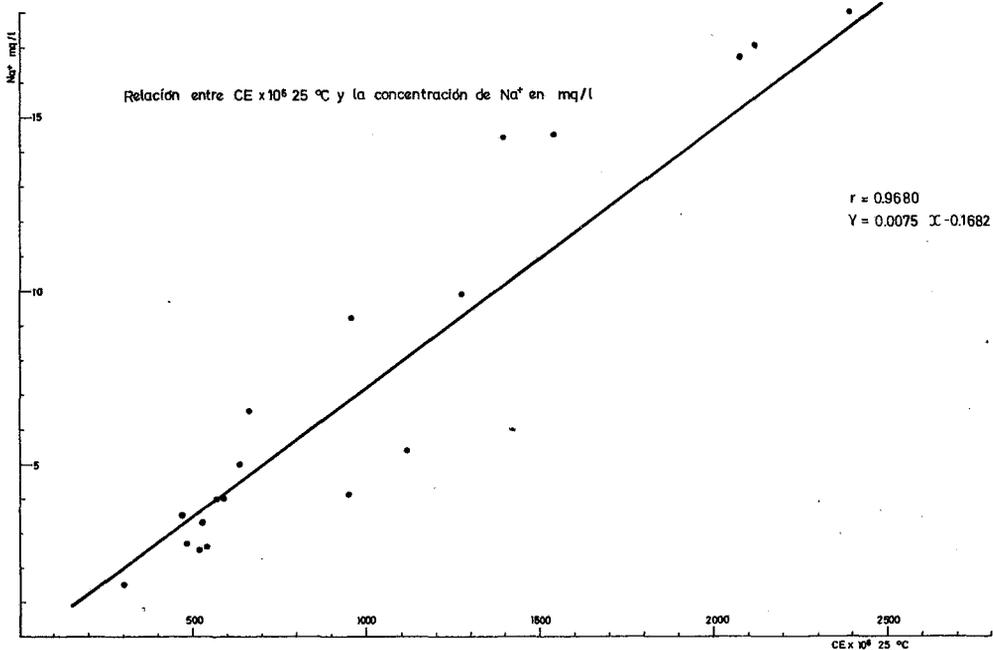
TABLA N.º 4

Aguas basales contaminadas

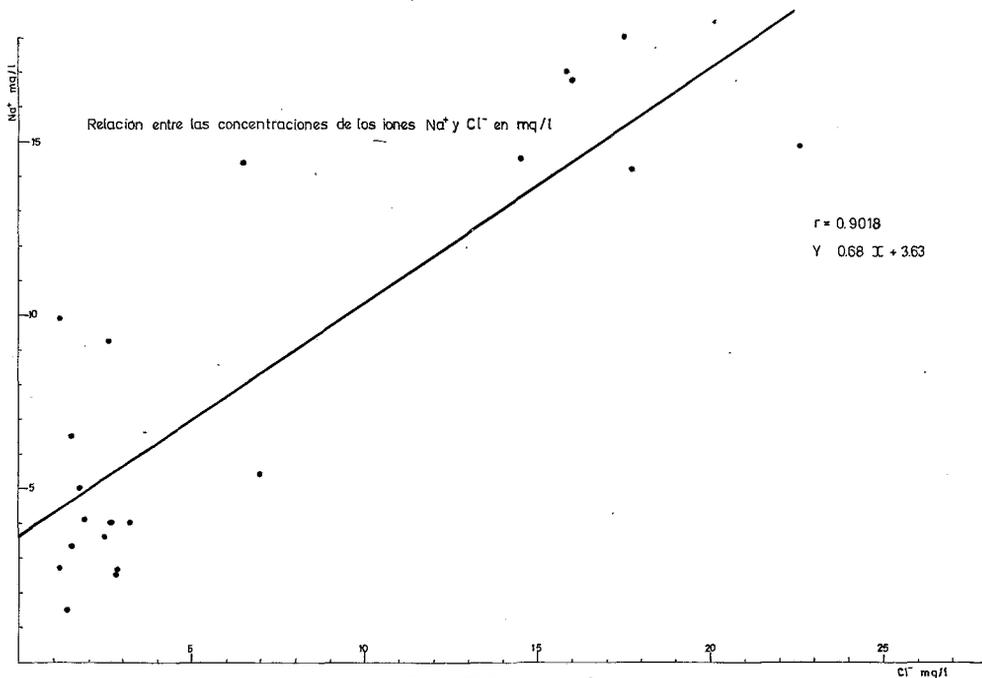
N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	1.550	986	0.60	0.20	24.0	8.0	0.66	2.68	11.80	0.45	1.04	3.84	0.12	9.76	1.54
2	1.750	1.390	0.45	0.10	31.0	7.9	1.64	5.24	10.90	0.46	0.52	4.08	0.38	12.60	0.00
3	2.600	2.000	0.35	0.16	54.6	8.2	4.42	8.74	12.75	0.52	0.40	2.86	3.56	18.56	0.00
4	3.100	2.000	1.75	0.26	26.1	8.4	1.22	6.32	22.20	0.66	0.88	4.30	0.00	24.10	0.00



GRAFICA N.º 6



GRAFICA N.º 7



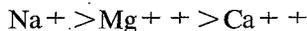
GRAFICA N.º 8

El anión HCO_3^- , se encuentra siempre presente, con valores comprendidos entre 0.63 y 10.36 mg/l .

El ión $\text{SO}_4^{=}$, llega a alcanzar valores de hasta 8.52 mg/l , pero generalmente su concentración es relativamente baja.

En estos manantiales, las correlaciones de los iones $\text{SO}_4^{=}$ y HCO_3^- con los diferentes cationes, no son significativas.

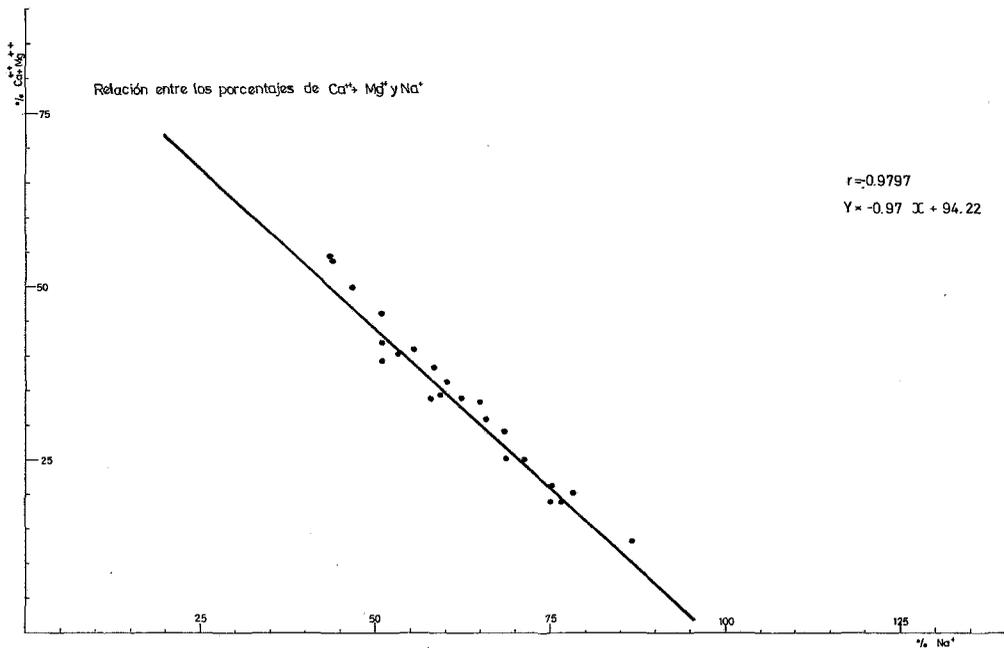
Los iones $\text{CO}_3^{=}$ no son frecuentes, y su concentración es relativamente baja. En lo que se refiere a los cationes, el ión Na^+ continúa siendo el catión predominante, y en general el orden de concentración es el siguiente:



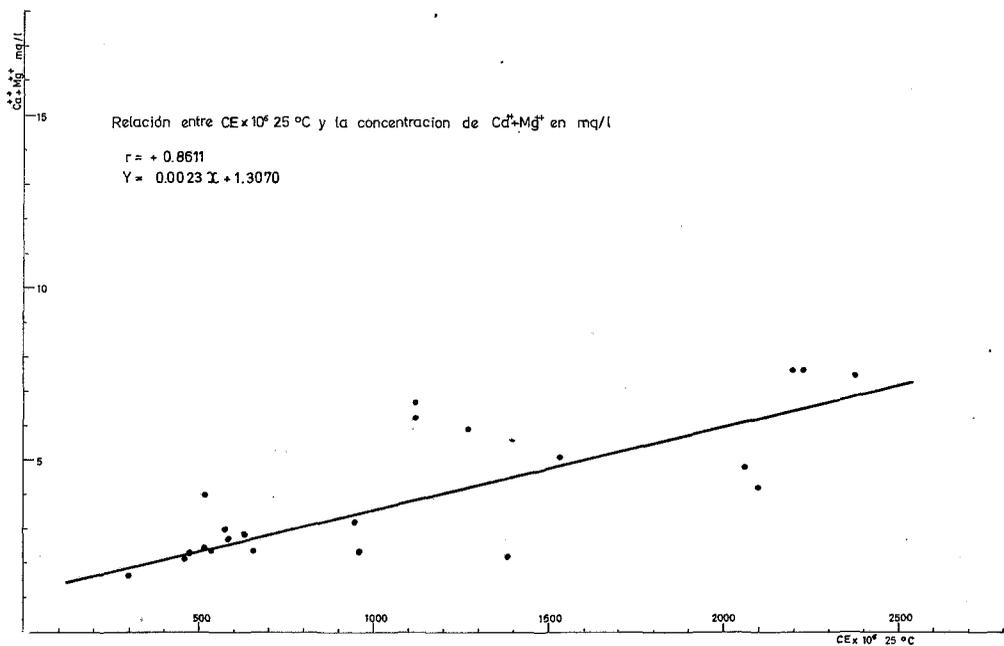
La concentración del ión Na^+ , está comprendida entre 5.00 mg/l y 27.63 mg/l , y las de Ca^{++} y Mg^{++} entre 0.64 mg/l y 4.84 mg/l , y entre 1.10 mg/l y 10.76 mg/l , respectivamente.

En estos manantiales, al igual que en las galerías, existe una correlación negativa entre el % ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) y el % Na^+ , calculados ambos porcentajes sobre la suma total de cationes. El índice de correlación $r = -0.997$ es significativo a nivel del 0.1%. Gráfica N.º (9).

Existe una correlación positiva, entre la conductividad eléctrica y la suma de las concentraciones $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$, con un índice de correlación $r = +0.8611$, significativo a nivel del 0.1%. El índice de correlación en este caso, como es de esperar, es menor que el existente entre la conductividad eléctrica y el ión Na^+ . Gráfica N.º (10).



GRAFICA N.º 9



GRAFICA N.º 10

En las figuras N.º (8) y (9), se representan gráficamente, la composición iónica de diferentes aguas de pozos.

El ión F^- , se encuentra en todas las aguas basales a concentraciones bajas, no alcanzando valores superiores a 2.25 p.p.m.

El Boro generalmente no se encuentra en las aguas de pozos, y donde existe, su concentración no sobrepasa el nivel de 1.10 p.p.m.

El SiO_2 aparece en todas las aguas basales, en cantidades variables, comprendidas entre 24 y 70 p.p.m. Los valores máximos de SiO_2 , se encuentran en los pozos de Valle Guerra, Tejina, Bajamar, Punta del Hidalgo, Guía de Isora y Adeje, donde las concentraciones en SiO_2 nunca son inferiores a 48 p.p.m.

Las principales diferencias, que se observan en la composición química de las aguas de pozos y galerías, puede apreciarse en la figura N.º (10), donde se representa gráficamente la composición iónica de aguas de estos dos tipos de manantiales de igual concentración iónica total.

En la figura N.º (10), se observa el carácter cuantitativamente predominante de los iones cloruro en las aguas de pozo, y de ión bicarbonato en las de galería. Igualmente, la concentración de los iones Na^+ y Mg^{++} , es superior en el agua del pozo.

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.

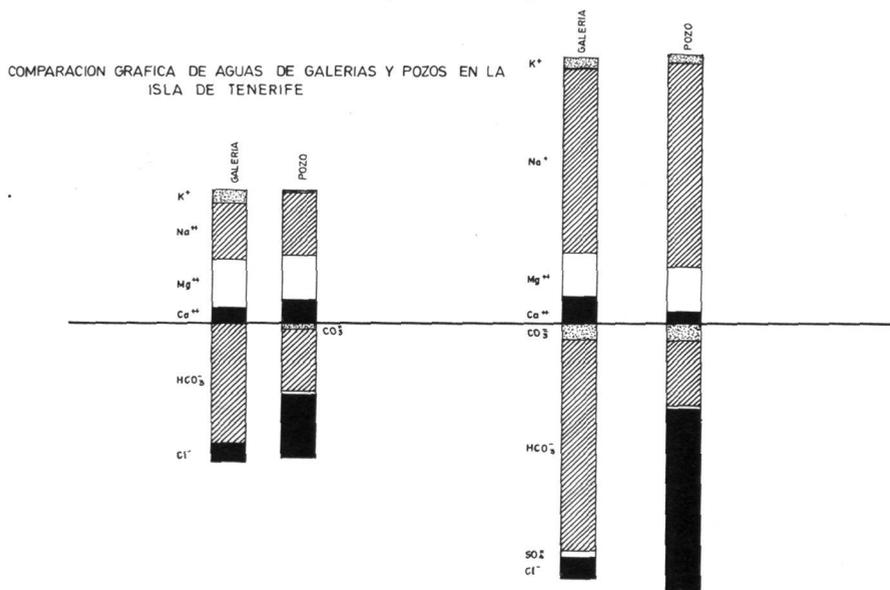


FIGURA N.º 10

Temperaturas y contenidos de O₂ y CO₂ disueltos en las aguas subterráneas de Tenerife.

En la Isla de Tenerife, las temperaturas más elevadas de las aguas de fuentes y galerías, se encuentran siempre en las zonas de materiales compactos, que no permiten la filtración del agua del deshielo.

Las aguas de fuentes y galerías situadas en la zona central y occidental de la Isla, son las que poseen las temperaturas más elevadas, por estar situadas en los materiales del complejo basal. Concretamente, en la parte oriental del Valle de La Orotava, en la zona de Vilaflor, existen aguas de galerías, en las que se han medido temperaturas de hasta 42°C.

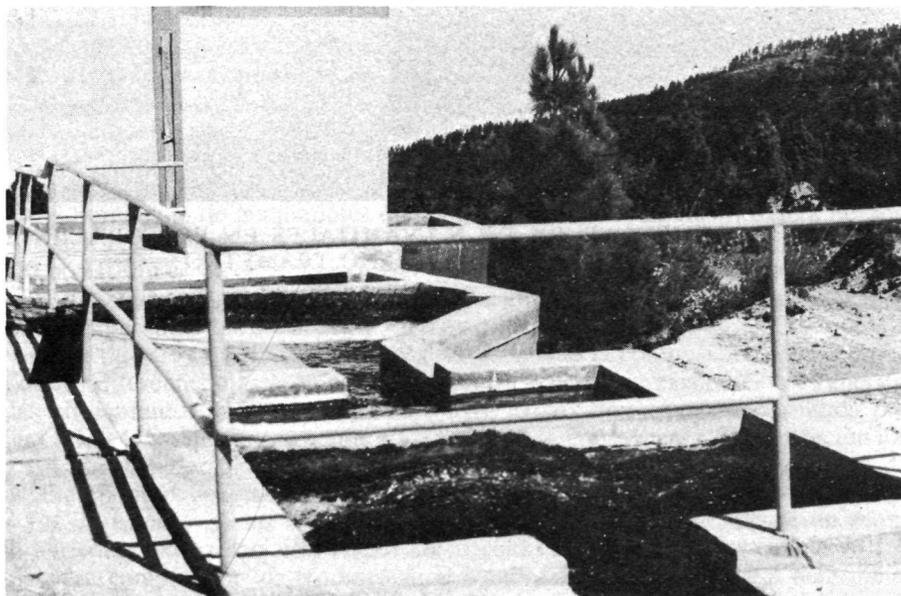
Las temperaturas más bajas, se encuentran en las aguas de fuentes y galerías, situadas en zonas de fractura, que permiten la filtración del agua proveniente del deshielo. En la Cumbre de Pedro Gil y en el Valle de Icod, existen aguas con temperaturas que oscilan entre 10°-15°C.

Las concentraciones de O₂ disuelto, varían entre 9 p.p.m. y 11 p.p.m., que se corresponden en general con las concentraciones de equilibrio con el O₂ atmosférico a las temperaturas registradas.

El CO₂ se encuentra en general, a concentraciones muy bajas. En las aguas de fuentes y galerías las concentraciones de CO₂ varían generalmente entre valores menores de 5 p.p.m. y 10 p.p.m.

En general las temperaturas de las aguas basales, son inferiores a la temperatura ambiente, oscilando alrededor de los 20°C.

Excepcionalmente en la zona de Valle Guerra-Tejina-Tegueste, se encuentran aguas basales, con temperatura de 1° y 2°C más elevadas que la temperatura ambiente.



CASETA DE CAUDALOGRAFO Y TANQUILLA DE AFORO EN LAS PROXIMIDADES DE LA BOCAMINA DE UNA GALERIA

En las aguas basales las concentraciones de O₂ disuelto oscilan entre 8 p.p.m. y 12 p.p.m. Las concentraciones más elevadas de CO₂ disuelto, se encuentran en las aguas basales de dos pozos situados en la zona de Guía de Isora, con valores de 155 p.p.m. y 120 p.p.m.

Le sigue en importancia, en cuanto a concentración de CO₂ disuelto, las aguas basales de las zonas de Valle Guerra-Tejina-Tegueste-Punta del Hidalgo (15-40 p.p.m.), Santiago del Teide (25-30 p.p.m.) y Adeje (15-25 p.p.m.).

En el resto de las aguas basales de la Isla, la concentración de CO₂ está comprendida entre 5 p.p.m. y 15 p.p.m.



MEDICION DE TEMPERATURA DE MANAÑIALES EN PERFORACIONES HORIZONTALES DE PEQUEÑO DIAMETRO

VIII. CLASIFICACION AGRICOLA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE TENERIFE

Para la realización de un estudio sistemático de las aguas procedentes de los diferentes manantiales de la isla, es de importancia considerar separadamente, los dos grupos principales de manantiales existentes: el grupo formado por el conjunto de las aguas procedentes de fuentes y galerías, y el constituido por las aguas basales.

AGUAS DE FUENTES Y GALERIAS

De acuerdo con la clasificación del Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos, la totalidad de las aguas de galerías y fuentes de Tenerife, se pueden agrupar en ocho clases, atendiendo a su salinidad, alcalinidad y concentración total de sales. En la tabla N.º (5), se 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 una de ellas. 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 N.º (5), no podrán alterar sustancialmente su carácter representativo.

En la Tabla N.º (6) y en el mapa de la Isla de Tenerife, se indican como 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 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 figura N.º (11) se representa gráficamente la composición iónica y porcentaje de las diferentes clases de aguas de fuentes y galerías, existentes en Tenerife, tomadas en conjunto. Se observa que la mayor proporción viene representada por las clases C_1S_1 y C_2S_1 , 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 teniendo en cuenta su importancia para comprender los fenómenos de alcalinización del suelo. La determinación del carbonato sódico residual, representa una magnitud complementaria del mayor interés, como veremos en el capítulo XXVI. En la tabla N.º (5), se indican los valores de carbonato sódico residual para cada una de las clases indicadas.

TABLA N.º 5

Composición química de aguas de galería

Clasificación agrícola

Clases	CE × 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 ₃ ⁼ mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ ⁼ mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
C ₁ S ₁	212	183	0.50	0.00	7.9	0.45	0.61	1.27	0.34	0.00	1.76	0.00	0.46	0.70
C ₂ S ₁	481	433	0.40	0.16	8.1	1.48	1.52	2.00	0.48	0.00	5.05	0.00	0.34	2.05
C ₂ S ₂	486	503	0.55	0.16	7.8	0.47	0.38	5.39	0.23	0.00	5.60	0.00	0.40	4.75
C ₂ S ₃	737	766	1.40	0.00	8.8	0.47	0.00	8.10	0.85	1.18	5.44	2.38	0.92	6.15
C ₃ S ₁	1.089	873	1.60	0.00	8.2	1.81	3.56	5.00	0.93	1.59	9.24	0.00	0.86	5.46
C ₃ S ₂	1.166	1.150	1.40	0.00	8.5	0.70	3.12	10.18	1.37	1.97	12.17	0.12	1.00	11.32
C ₃ S ₃	1.592	1.694	1.40	0.00	7.4	1.15	1.49	17.64	0.60	0.00	19.69	0.29	0.24	17.05
C ₄ S ₂	2.412	2.374	0.00	0.34	8.8	0.19	20.36	15.40	2.60	10.37	22.49	1.14	0.59	12.31

TABLA N.º 6

Porcentajes de clases de aguas en diferentes zonas

SITUACION	C ₁ S ₁	C ₂ S ₁	C ₂ S ₂	C ₂ S ₃	C ₃ S ₁	C ₃ S ₂	C ₃ S ₃	C ₁ S ₂
Zona Sur:								
Candelaria	76.9	23.1						
Arafo	30.8	30.8	7.7		7.7	23.0		
Güímar	73.4	13.3	13.3					
Fasnia		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							
Vilaflor	71.5	14.3			7.1		7.1	
Arona	66.6	33.4						
Adeje	66.6	33.4						
Guía de Isora	69.2	23.1	7.7					
Santiago del Teide		80.0			20.0			
Zona Norte:								
La Laguna	66.6	16.7			16.7			
La Esperanza	100.0							
Tegueste		100.0						
Tacoronte	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							

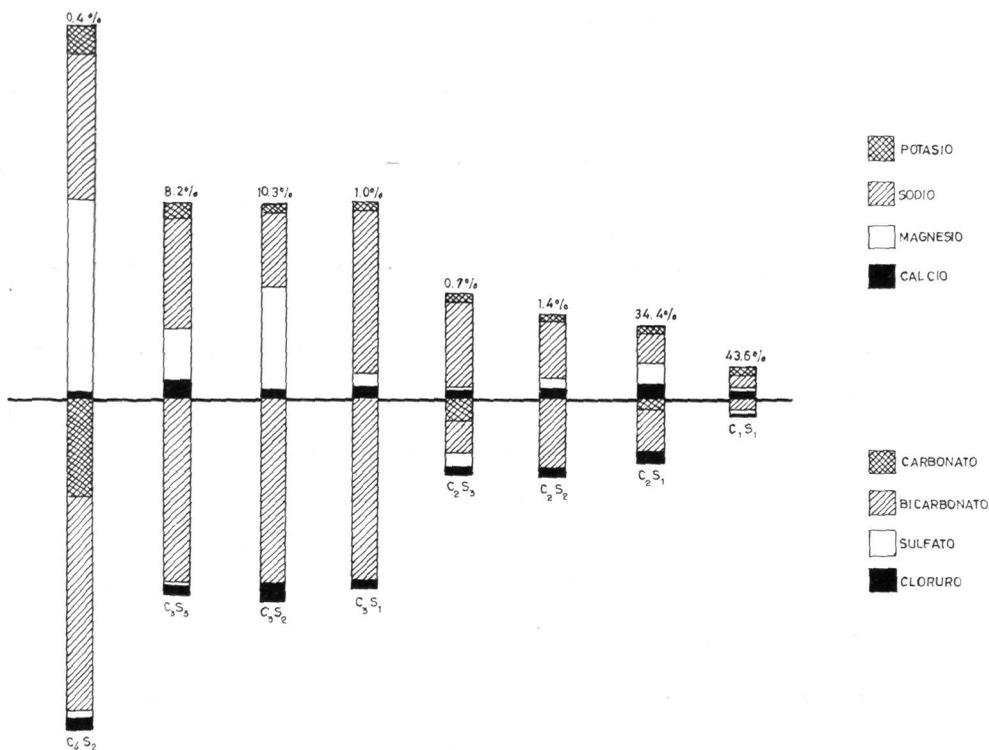


FIGURA N.º 11

AGUAS DE POZOS

De acuerdo con la clasificación agrícola, a que nos estamos refiriendo, las aguas de pozos de la Isla de Tenerife, se pueden agrupar en seis clases diferentes, atendiendo a su salinidad y concentración total de sales.

En la tabla N.º (7), se incluyen análisis representativos de cada una de las muestras, tomadas como tipo dentro de cada clase.

En la tabla N.º (8), se indica como están distribuidas estas diferentes clases de aguas en las distintas zonas de la Isla, en la que se considera el porcentaje de manantiales, que corresponden a cada clasificación.

En la figura N.º (12), se representa gráficamente la composición iónica, así como los porcentajes de estas aguas basales existentes en la Isla, tomadas en conjunto. Se observa que el mayor porcentaje de aguas basales corresponden a las clases C_3S_1 y C_3S_2 .

La variación constante que experimenta la composición de estas aguas, durante el proceso de extracción, no permite precisar áreas de características definidas. La composición tanto cualitativa como cuantitativa, dependerá del régimen de explotación a que son sometidos estos manantiales.

TABLA N.º 7

Composición química de aguas basales

Clasificación agrícola

Clases	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	pH	Ca++ mq/l.	Mg++ mq/l.	Na+ m /l.	K+ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
C ₂ S ₁	450	226	0.35	0.00	7.8	0.92	1.22	2.06	0.11	0.44	2.50	0.34	1.84	0.80
C ₃ S ₁	1.800	1.410	0.30	0.00	8.2	3.26	7.60	8.00	0.37	0.80	2.66	1.90	12.96	0.00
C ₃ S ₂	1.750	1.390	0.45	0.10	7.9	1.64	5.24	10.90	0.46	0.52	4.09	0.38	12.60	0.00
C ₄ S ₂	2.800	1.992	0.35	0.00	8.5	2.12	7.18	18.00	0.68	1.20	3.58	1.40	21.74	0.00
C ₄ S ₃	3.100	2.000	1.75	0.26	8.4	1.22	6.32	22.20	0.66	0.88	4.30	0.00	24.10	0.00
C ₄ S ₄	3.150	2.390	0.40	0.10	8.5	0.98	2.60	26.13	0.73	0.96	6.54	8.52	15.50	3.92

TABLA N.º 8

Porcentajes de clases de aguas basales en diferentes zonas

SITUACION	% C ₂ S ₁	% C ₃ S ₁	% C ₃ S ₂	% C ₄ S ₂	% C ₄ S ₃	% C ₄ S ₄
Santa Cruz de Tenerife	100					
Valle Guerra		75		25		
Tejina		50		50		
Bajamar-Punta del Hidalgo	67			33		
Tegueste	33	67				
Puerto de la Cruz	100					
Los Silos		50				50
Buenavista			50		50	
Candelaria		67		33		
Güímar	13	25	38	12	12	
Arafo			100			
Guía de Isora		50	50			
Adeje			50	50		

Porcentaje de agua basales en diferentes clases (POZOS)

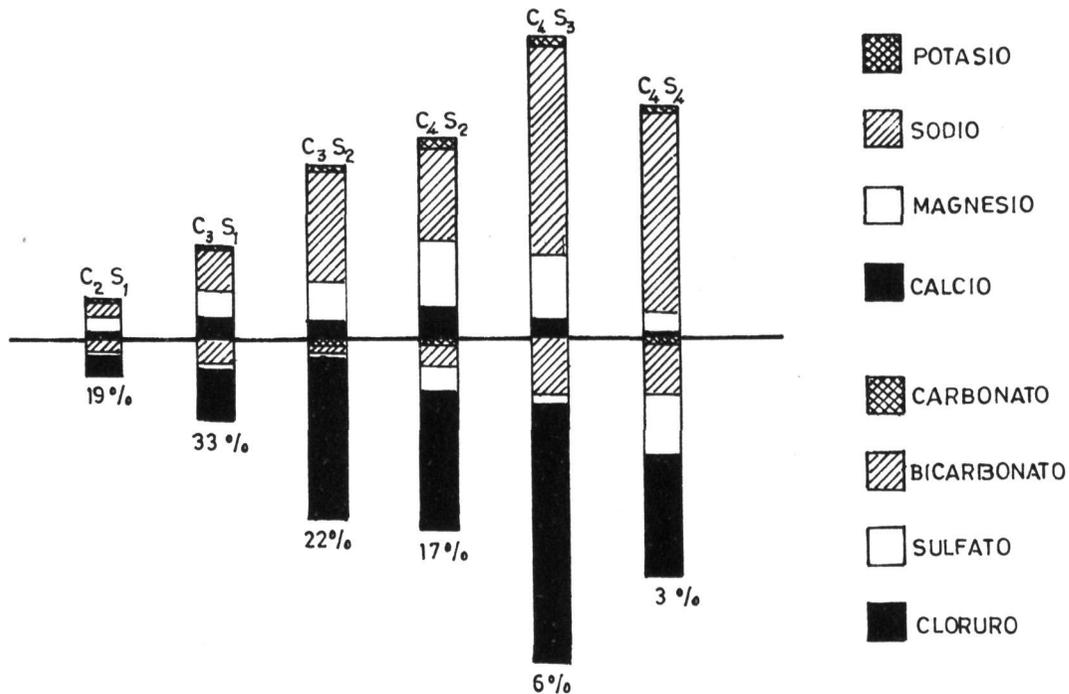
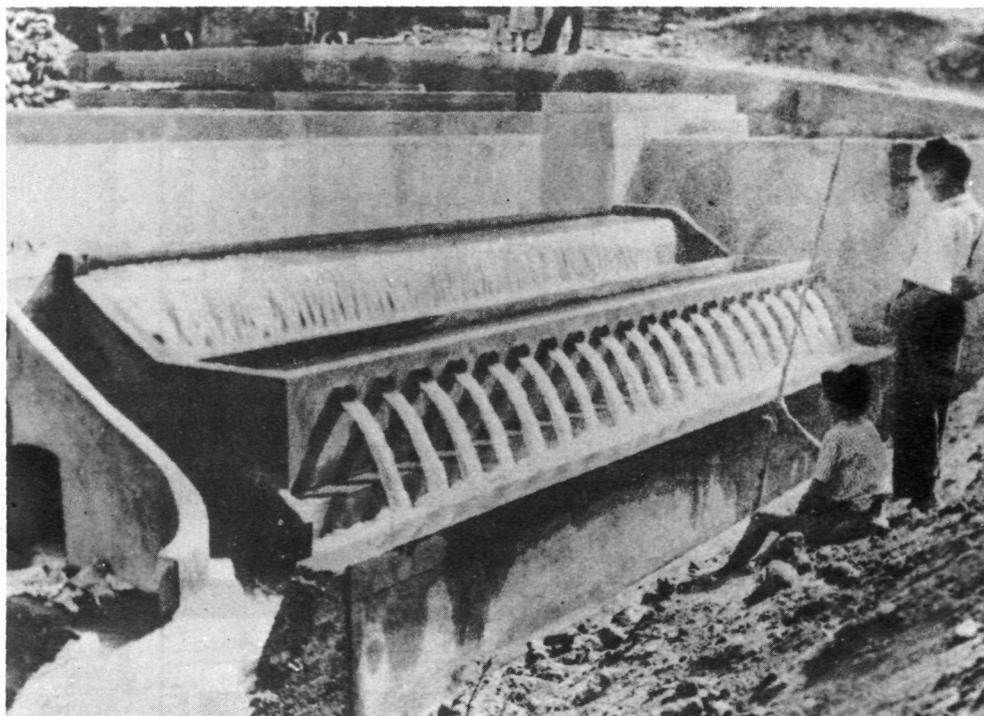


FIGURA N.º 12



«CONTROLADORA» DEL CAUDAL DE AGUA DE UNA GALERIA

IX. CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE GALERIAS Y FUENTES DE TENERIFE

Como ya habíamos indicado, las aguas subterráneas de las Islas Canarias, además de ser clasificadas desde un punto de vista agrícola, siguiendo los criterios propuestos por el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos, han sido también agrupados siguiendo otros sistemas de clasificación que se basan fundamentalmente en el estudio de las concentraciones relativas de los diferentes iones o en las características de las sales que el agua lleva en disolución.

Para la aplicación de estos diferentes sistemas de clasificación, se han elegido diferentes tipos de aguas, que pueden considerarse como representativas de la totalidad de las existentes en la Isla. La composición iónica de estos tipos de aguas, se indica en la tabla N.º (9). Los resultados obtenidos en la clasificación de estas aguas por los diferentes métodos se indican en la tabla N.º (10).

TABLA N.º 9

Composición química de aguas de galerías

Clasificación química

N.º	CE $\times 10^6$ 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 ₃ ⁼ mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ ⁼ mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	217	138	0.50	0.00	7.8	0.30	0.42	1.44	0.36	0.00	1.39	0.14	0.86	0.67
2	712	455	1.60	0.00	8.4	0.63	2.73	4.69	0.88	0.84	6.72	0.00	0.88	4.20
3	486	310	0.55	0.16	7.9	0.47	0.38	5.39	0.23	0.00	5.10	0.00	0.40	4.25
4	1.316	840	0.10	0.20	8.5	2.88	4.96	10.83	0.69	1.59	12.41	0.00	1.10	6.16
5	1.166	740	1.40	0.00	8.6	0.70	3.12	10.18	1.37	1.97	9.87	0.00	1.00	8.02
6	1.592	1.050	1.40	0.00	8.0	1.15	1.49	17.64	0.60	0.00	19.69	0.00	0.24	15.30

TABLA N.º 10

Clasificación de aguas de galerías de Tenerife

N.º	ALEKINE (1)	SCHOELLER (2)	BAZILEVICH (3)	SHCHUKAREY (4)	FILATOV (5)	CHASE PALMER (6)	SOULINE (7)	SAKHARINA (8)
1	T-I (bicarbonatada) C-c (sódica) G-1	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipocarbonatada i c b- T-3 C-c	T-A Bicarbonatada	T-1 T'-3 Bicarbonatadas sódicas	T-II Bicarbonatadas cloruradas de transición	T-1 2 d=2.0 S ¹ 2 (a-d)=1.6 A ¹ a b=1.3 A ²	T-2 Bicarbonatada sódica G-A bicarbonatada C-b	T-2 Bicarbonatada sódica
2	T-I (bicarbonatada) C-c (sódica) G-1	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipercarbonatada i c b- T-3 C-c	T-A Bicarbonatada	T-1 T'-6 Bicarbonatadas- magnésico- sódicas	T-I Bicarbonatada Pura	T-1 2 d=1.8 S ¹ 2 (a-d)=9.4 A ¹ a b=18.7 A ²	T-2 Bicarbonatada sódica G-A bicarbonatada C-b	T-2 Bicarbonatada sódica
3	T-I (bicarbonatada) C-c (sódica) G-1	Composición clorurada normal sulfatada normal carbonatada normal i c b- T-3 C-c	T-A Bicarbonatada	T-1 T'-3 Bicarbonatadas sódicas	T-I Bicarbonatada Pura	T-1 2 d=0.8 S ¹ 2 (a-d)=10.4 A ¹ a b=4.8 A ²	T-2 Bicarbonatada sódica G-A bicarbonatada C-b	T-2 Bicarbonatada sódica
4	T-I (bicarbonatada) C-c (sódica) G-1	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipercarbonatada i c b- T-3 C-c	T-A Bicarbonatada	T-1 T'-6 Bicarbonatadas- magnésico- sódicas	T-I Bicarbonatada Pura	T-1 2 d=2.2 S ¹ 2 (a-d)=20.8 A ¹ a b=90.3 A ²	T-2 Bicarbonatada sódica G-A bicarbonatada C-b	T-2 Bicarbonatada sódica
5	T-I (bicarbonatada) C-c (sódica) G-1	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipercarbonatada i c b- T-3 C-c	T-A Bicarbonatada	T-1 T'-3 Bicarbonatadas sódicas	T-I Bicarbonatada Pura	T-1 2 d=2.2 S ¹ 2 (a-d)=20.9 A ¹ a b=44.1 A ²	T-2 Bicarbonatada sódica G-A bicarbonatada C-b	T-2 Bicarbonatada sódica
6	T-I (bicarbonatada) C-c (sódica) G-1	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipercarbonatada i c b- T-3 C-c	T-A Bicarbonatada	T-1 T'-3 Bicarbonatadas sódicas	T-I Bicarbonatada Pura	T-1 2 d=1.1 S ¹ 2 (a-d)=35.4 A ¹ a b=48.1 A ²	T-2 Bicarbonatada sódica G-A bicarbonatada C-b	T-2 Bicarbonatada sódica

(*) NOTAS ACLARATORIAS A LA TABLA N.º (10).

(1).—T-I: Tipo I.—Aguas bicarbonatadas (predomina el $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-$)

C-c: Clase c.—Aguas sódicas (predomina el ión Na^+)

G-1: Grupo 1.— $r \text{HCO}_3^- + r \text{CO}_3^- > r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++}$

(2).—Clorurada normal.— $r \text{Cl}^- < 10$

Sulfatada normal.— $r \text{SO}_4^{=} < 6$

Hipocarbonatada.— $r \text{HCO}_3^- + r \text{CO}_3^- < 2$

T-3 (i c b⁻): Tipo 3, índice de cambio de bases negativo: $r \text{Cl}^- < r \text{Na}^+ \text{ o } r \text{CO}_3^- + r \text{HCO}_3^- + r \text{SO}_4^{=} > r \text{Mg}^{++} + r \text{Ca}^{++}$

C-c: Clase c.— $r \text{Ca}^{++} < r \text{CO}_3^- + r \text{HCO}_3^-$

(3).—T-A: Tipo A.— $r \frac{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}}{\text{HCO}_3^-}$ comprendido entre 0.1 y 1.2.—Bicarbonatadas.

(4).—T-1: Tipo 1.—(Aguas bicarbonatadas) $r \text{HCO}_3^- > 25\%$ de la suma de aniones.

T-3: Tipo 3.—(Aguas sódicas) $r \text{Na}^+ > 25\%$ de la suma de cationes.

T-6: Tipo 6.—(Aguas magnésico-sódicas) $r \text{Mg}^{++} > 25\%$ y $r \text{Na}^+ > 25\%$ de la suma de cationes.

(5).—Relación del ión predominante a los otros iones.

T-I: Tipo I.—Valor de la relación igual o mayor de 1.9.—Aguas puras (Bicarbonatada pura).

T-II: Tipo II.—Valor de la relación comprendida entre 1 y 1.9. Aguas de transición. (Bicarbonatadas-cloruradas de transición).

(6).—T-1: Tipo 1.— $d < a$

$a = r \text{Na}^+ + r \text{K}^+$

$b = r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++}$

$d = r \text{Cl}^- + r \text{SO}_4^{=}$

2 d = salinidad primaria (S_1)

2 $(a-d)$ = salinidad primaria (A_1)

a b = alcalinidad secundaria (A_2)

(7).—T-2: Tipo 2.— $r \frac{\text{Na}^+ - \text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{=}} > 1$ (Aguas bicarbonatadas sódicas)

G-a: Grupo A.—Aguas bicarbonatadas (predominio del ión HCO_3^-)

C-b: Clase b.—Predominantemente alcalinas.

(8).—T-2: Tipo 2.—Sigue, en cuanto a los tipos, las partes esenciales de la clasificación anterior.

(*) r: indica que los iones están expresados en mq/l.

Las clasificaciones que tienen en cuenta el predominio de unos iones sobre otros (Alekin, Schoeller, Bazilevich, Schukarev y Filatov), permiten clasificar las aguas de galerías de Tenerife, como bicarbonatadas sódicas, por ser los iones HCO_3^- y Na^+ el anión y catión que predominan en su composición. En algunos casos, el ión Mg^{++} tiene una concentración suficientemente elevada, para considerar estas aguas como bicarbonatadas sódico-magnésicas.

Las clasificaciones que tienen en cuenta el tipo de sales que el agua lleva en disolución, (Chase Palmer, Souline y Zakharina), consideran a las aguas de galerías como alcalinas, con una alcalinidad primaria (sales procedentes de ácidos débiles con los metales alcalinos) y una alcalinidad secundaria (sales de los ácidos débiles con los metales alcalino-térreos) que aumenta a medida que lo hace la concentración iónica total.

De acuerdo con los criterios de Souline y Zakharina, el bicarbonato sódico es la sal predominante en este tipo de aguas.

b) *CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE POZOS DE TENERIFE*

Para la aplicación de los diferentes sistemas de clasificación a las aguas de pozos de Tenerife, se ha elegido un número suficiente de muestras de agua, que pueden considerarse representativas de la totalidad de las existencias en la Isla.

La composición iónica de estas aguas, se indica en la Tabla N.º (11). Los resultados obtenidos al aplicar estos sistemas de clasificación a las aguas de pozos de Tenerife se indican en la tabla N.º (12).

TABLA N.º 11

Composición química de aguas basales

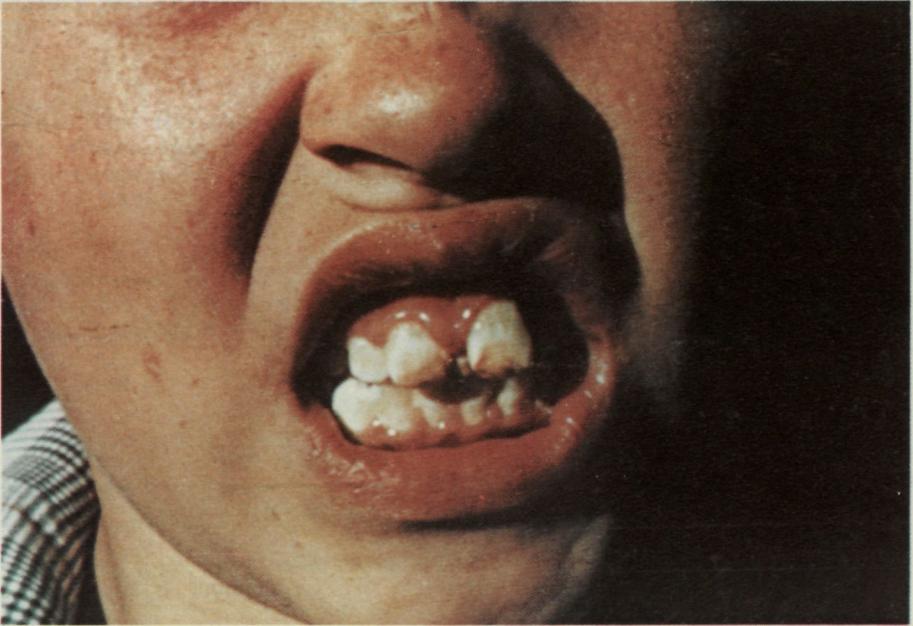
Clasificación química

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	526	340	0.00	0.00	7.1	1.02	2.04	2.50	0.06	0.00	1.95	0.08	2.82	0.00
2	588	370	0.00	0.00	7.7	1.45	1.57	4.09	0.21	0.00	2.79	0.08	4.70	0.00
3	1.120	700	0.50	0.00	6.9	2.91	3.85	5.45	0.17	0.00	3.28	0.14	7.06	0.00
4	2.241	1.450	0.60	0.00	9.2	2.55	5.05	14.92	0.42	0.42	0.63	0.20	22.62	0.00
5	2.076	1.350	0.20	0.66	9.0	1.57	3.22	16.75	0.67	0.41	1.00	2.75	16.02	0.00
6	3.529	2.300	0.00	0.00	7.8	3.06	8.13	23.97	0.78	0.00	0.36	1.32	35.00	0.00
7	3.247	2.100	1.40	0.48	8.2	1.48	5.05	25.40	0.67	0.10	1.44	0.00	29.15	0.00

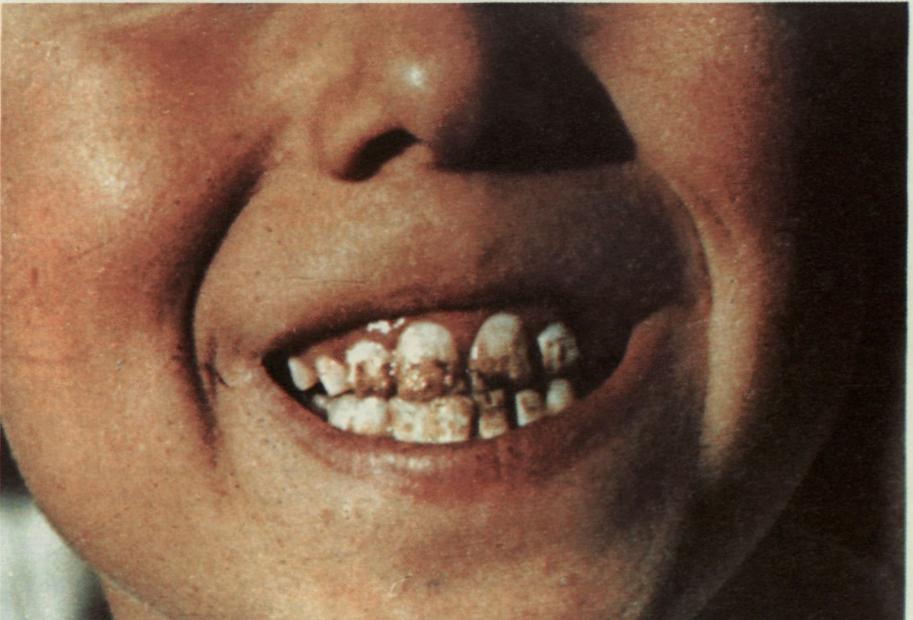
TABLA N.º 12

Clasificación química de aguas basales de Tenerife

N.º	ALEKINE (1)	SCHOELLER (2)	BAZILEVICH (3)	SHCHUKAREV (4)	FILATOV (5)	CHASE PALMER (6)	SOULINE (7)	ZAKHARINA (8)
1	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipocarbonatada i c b+ T-1 C-c	T-B Sulfatada clorurada	T-5 T'-6 Bicarbonatadas cloruradas magnésico-sódicas	T-II Clorurada bicarbonatada de transición	Tipo III 2 a=5.1 S ₁ 2 (d-a)=0.7 S ₂ 2 (a+b-d)=5.4 A ₂	T-3 Clorurada Magnésica G-c (clorurada) C-c	T-3 Clorurada magnésica C-4
2	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición clorurada normal sulfatada normal carbonatada normal i c b+ T-1 C-c	T-B Sulfatada clorurada	T-5 T'-3 Bicarbonatadas cloruradas sódicas	T-II Clorurada bicarbonatada de transición	Tipo III 2 a=8.6 S ₁ 2 (d-a)=0.9 S ₂ 2 (a+b-d)=5.1 A ₂	T-3 Clorurada Magnésica G-c C-c	T-3 Clorurada magnésica C-4
3	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición clorurada normal sulfatada normal carbonatada normal i c b+ T-1 C-c	T-B Sulfatada clorurada	T-5 T'-6 Bicarbonatadas cloruradas sódico-magnésicas	T-I Clorurada Pura	Tipo III 2 a=11.2 S ₁ 2 (d-a)=3.2 S ₂ 2 (a+b-d)=10.4 A ₂	T-3 Clorurada Magnésica G-c (clorurada) C-c	T-3 Clorurada magnésica C-4
4	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición Oligoclorurada sulfatada normal Hipocarbonatada i c b+ T-1 C-a	T-B Sulfatada clorurada	T-3 T'-3 Cloruradas sódicas	T-I Clorurada Pura	Tipo III 2 a=30.7 S ₁ 2 (d-a)=14.9 S ₂ 2 (a+b-d)=0.2 A ₂	T-4 clorurada cálcica G-c (clorurada) C-d	T-4 Clorurada cálcica
5	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición Oligoclorurada sulfatada normal Hipocarbonatada i c b=0 T-2 C-a	T-B Sulfatada clorurada	T-3 T'-3 Cloruradas sódicas	T-I Clorurada Pura	Tipo III 2 a=34.8 S ₁ 2 (d-a)=3.4 S ₂ 2 (a+b-d)=6.8 A ₂	T-1 sulfatada sódica G-c (clorurada) C-a	T-1 Sulfatada sódica C-2
6	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición Oligoclorurada sulfatada normal Hipocarbonatada i c b+ T-1 C-a	T-D Clorurada Sulfatada	T-3 T'-3 Cloruradas sódicas	T-I Clorurada Pura	Tipo IV 2 a=49.5 S ₁ 2 b=22.4 S ₂ 2 (d-a-b)=0.76 S ₃	T-4 clorurada cálcica G-c (clorurada) C-d	T-4 Clorurada cálcica
7	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición Oligoclorurada sulfatada normal Hipocarbonatada i c b+ T-1 C-c	T-B Sulfatada clorurada	T-3 T'-3 Cloruradas sódicas	T-I Clorurada Pura	Tipo III 2 a=52.1 S ₁ 2 (d-a)=6.1 S ₂ 2(a+b-d)=6.9 A ₂	T-3 Clorurada Magnésica G-c (clorurada) C-c	T-3 Clorurada magnésica C-4



DIENTES AFECTADOS DE FLUOROSIS DENTAL



(*) NOTAS ACLARATORIAS A LA TABLA N.º 12.

(1).—T-III: Tipo III.—Aguas cloruradas (Predomina el ión Cl^-).

C-c: Clase.—(pág. 61)

G-3: Grupo 3.— $r \text{CO}_3^{=} + r \text{HCO}_3^- + r \text{SO}_4^{=} < r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++} \text{ o } r \text{Cl}^- > r \text{Na}^+$

(2).—(Pág. 61)

Oligoclorurada.— $r \text{Cl}^-$ de 15 a 40

T-1 (i c b +): Tipo 1, índice de cambio de bases positivo: $r \text{Cl}^- > r \text{Na}^+ \text{ o } r \text{CO}_3^{=} + r \text{SO}_4^{=} < r \text{Mg}^{++} + r \text{Ca}^{++}$

C-a: Clase a.— $r \text{Ca}^{++} > r \text{CO}_3^{=} + r \text{HCO}_3^-$

(3).—T-B: Tipo B.— $r \frac{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}}{\text{HCO}_3^-}$ comprendido entre 1.2 y 80.—Sulfatadas-cloruradas.

(4).—T-5: Tipo 5.—(Aguas bicarbonatadas-cloruradas) $r \text{HCO}_3^- > 25\%$ y $r \text{Cl}^- > 25\%$ de la suma de aniones.

T-3: Tipo 3.—(Aguas cloruradas) $r \text{Cl}^- > 25\%$ de la suma de aniones.

T-3: (pág. 61)

T-6: (pág. 61)

(5).—Relación del ión predominante a los otros iones.

T-I: (pág. 61) (Clorurada pura)

T-II: (pág. 61) (Clorurada-bicarbonatada de transición).

(6).—T-III: Tipo III.— $a + b > s > a$ (pág. 61)

2 a = salinidad primaria (S_1)

2 (d-a) = salinidad secundaria (S_2)

2 (a + b - d) = alcalinidad secundaria (A_2)

T-V: Tipo V.— $d > a + b$

2 a = salinidad primaria (S_1)

2 b = salinidad secundaria (S_2)

2 (d - a - b) = salinidad terciaria (S_3)

(7).—T-1: Tipo 1.— $r \frac{\text{Na}^+ - \text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{=}} < 1$ (Aguas sulfatadas sódicas)

T-3: Tipo 3.— $r \frac{\text{Cl}^- - \text{Na}^+}{\text{Mg}^{++}} < 1$ (Aguas cloruradas magnésicas)

T-4: Tipo 4.— $r \frac{\text{Cl}^- - \text{Na}^+}{\text{Mg}^{++}} > 1$ (Aguas cloruradas cálcicas).

- C-c: Grupo c.—Aguas cloruradas (predominio del ión Cl^-)
- C-a: Clase a.—Predominantemente de salinidad primaria.
- C-c: Clase c.—Predominantemente salinas
- C-d: Clase d.—Predominantemente salinas

- (8).—T-1: Tipo 1
- T-3: Tipo 3
- T-4: Tipo 4

- C-2: Clase 2.— $r \text{Ca}^{++} > r \text{HCO}_3^-$
- C-4: Clase 4.— $4 \text{Ca}^{++} < r \text{HCO}_3^-$

Sigue, en cuanto a los tipos, las partes esenciales de la clasificación anterior

Las aguas basales de Tenerife deben incluirse en el grupo de «aguas cloruradas», existiendo algunos tipos donde la concentración en iones SO_4^{--} , es suficientemente elevada para considerarlas como cloruradas-sulfatadas.

Dentro del tipo de las aguas cloruradas, el ión Na^+ , predomina sobre el resto de los cationes, lo que permite clasificarlas como aguas sódicas.

En cuanto al contenido de sales en disolución, las clasificaciones que se basan en estas características, permiten considerar a las aguas de pozos de Tenerife, como aguas salinas, con una salinidad de carácter primario y secundario, siendo de mayor importancia la salinidad primaria (sales de los ácidos fuertes con los metales alcalinos).

De acuerdo con las clasificaciones de Souline y Zakharina, los cloruros de calcio, magnesio o sodio, son las sales predominantes.

Existen algunas aguas, que pueden considerarse como una excepción dentro del conjunto de las aguas basales, en las que el sulfato sódico es la sal que predomina en solución.

X. EL FLUOR EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE TENERIFE

En las aguas subterráneas de la Isla de Tenerife, el flúor se encuentra en todos los manantiales y su concentración media es del orden de 0.25 p.p.m.

No obstante, en una región muy localizada del Norte de esta Isla, se encuentra un grupo de manantiales, con un contenido en flúor considerablemente superior a la media normal.

Sus concentraciones máximas y mínimas en las aguas de estos manantiales oscilan entre 1 y 6.4 p.p.m.

Como se indica en la Tabla N.º (13), no todas las aguas de esta región contienen flúor a estas elevadas concentraciones, observándose variaciones considerables, dentro de un área relativamente limitada.

El apatito, contenido en las fonolitas y biotitas, presentes en los materiales geológicos de esta Isla, pueden aportar flúor a las aguas subterráneas. Estos minerales se encuentran ampliamente distribuidos, en las diferentes regiones insulares, observándose en los materiales litológicos próximos a estos manantiales, la presencia de ignimbritas ricas en biotitas.

No obstante, la heterogeneidad y variabilidad litológica del subsuelo de la isla, impide especular sobre la posibilidad de una acumulación relativa de este mineral, en las zonas profundas donde se encuentran los depósitos subterráneos.

Por otra parte, en las restantes regiones, no se observa en ningún caso, concentraciones de flúor de esta magnitud, en las aguas subterráneas.

El emplazamiento de estos manantiales, en las proximidades del Teide, nos permite pensar por otra parte, en la presencia en esta región de gases volcánicos conteniendo H F, que pudieran contribuir a esta presencia de F en las aguas.

Las irregularidades que se observan en las concentraciones de F, exclusivas para esta región, podrían corresponder a fenómenos volcánicos muy específicos, asociados a una acumulación profunda de estas aguas meteóricas.

En general se observan en la Tabla (13), que la concentración de F^- , se corresponde con una alcalinidad y salinidad elevada y concentraciones altas del ión HCO_3^- .

EFFECTOS TOXICOS DEL FLUOR

Dosis elevadas de flúor, incorporadas al organismo en los alimentos o en el agua, son absorbidas preferentemente por el tejido óseo, dando lugar a deformaciones.

La dosis letal mínima para animales de laboratorio es de 0.05 a 0.2 gr. de Fluoruro sódico por Kg. de peso (33).

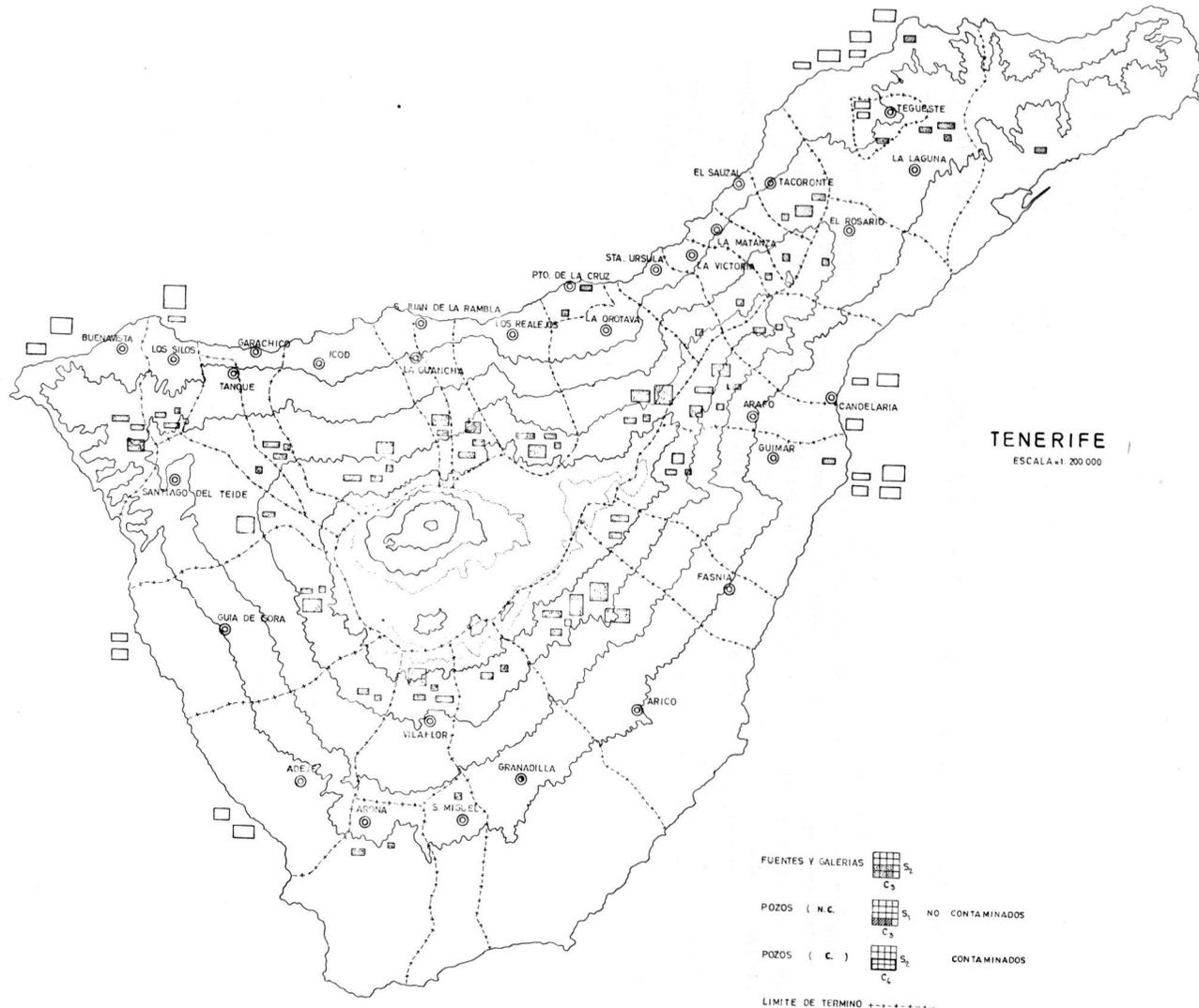


TABLA N.º 13

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	796	510	4.00	0.20	8.2	0.28	0.86	8.13	0.30	0.00	4.36	1.05	2.86	3.22
2	1.230	811	6.40	0.14	8.1	0.60	2.70	9.31	1.49	0.00	12.36	0.75	0.44	9.06
3	1.133	720	1.60	0.00	8.6	0.65	2.86	8.72	1.35	2.23	8.84	0.53	1.22	7.56
4	1.149	740	1.00	0.00	8.4	0.93	3.05	10.18	1.02	1.97	9.41	2.21	0.88	7.40
5	1.166	740	1.40	0.00	8.5	0.70	3.12	10.18	1.37	1.97	9.87	1.95	1.00	8.02
6	1.093	685	1.20	0.00	8.8	0.76	2.03	8.31	1.15	2.85	6.74	0.86	1.36	6.80

En el hombre, la toxicidad crónica por flúor, puede ser clasificada en dos grupos principales, que pueden ser coincidentes: a) osteosclerosis general y b) Cambios dentales degenerativos.

El primer caso, es poco frecuente y corresponde a una forma de toxicidad muy aguda, que puede llegar a producir una calcificación de los ligamentos. Puede producirse en determinadas zonas industriales. El segundo, sin embargo, se presenta con relativa frecuencia, se manifiesta sólo en los dientes permanentes, y se produce cuando se incorporan cantidades excesivas de flúor, durante el período formativo de la segunda dentición.

Esta degeneración dental, se conoce con el nombre de «diente moteado».

Churchill (34) fue el primer en demostrar, la influencia del flúor en esta degeneración dental.

Cuando la concentración del F^- en las aguas es inferior a 1 p.p.m., sus efectos dejan de ser tóxicos. Para concentraciones superiores se forma el «diente moteado», con una intensidad mayor o menor como se indica en la Tabla N.º (14).

Tabla N.º 14

Flúor en agua p.p.m.	Incidencia de «diente moteado»
6	100% intensa
4	90% 1/3 intensa
1.7.-1.8	50% ligera

Pero los efectos del flúor en el agua a concentraciones más bajas, ofrece también un gran interés.

En las investigaciones realizadas sobre esta degeneración dental, se observó que en las regiones donde existe una fluorosis dental endémica, la incidencia de caries dentales es considerablemente más baja, que en zonas próximas, donde las aguas contienen concentraciones muy bajas de F^- .

Trabajos posteriores, han demostrado su acción preventiva en las caries dentales y la conveniencia de añadir F^- a las aguas potables a concentraciones inferiores a 1 p.p.m.

En la región de la Isla de Tenerife, a que nos estamos refiriendo, de igual manera que en las restantes regiones insulares, las aguas se emplean indiscriminadamente, tanto para el riego, como para usos domésticos en los núcleos urbanos.

Las aguas de los manantiales, conteniendo 6.4 p.p.m. y 4 p.p.m. de esta región, han sido utilizadas durante años como aguas potables y han producido una endemia de fluorosis dental muy acusada.

En el núcleo urbano donde se utilizó el agua, que contiene 6.4 p.p.m., se realizó un reconocimiento en la dentición de los niños de un grupo escolar, encontrándose los siguientes porcentajes de «diente moteado».

Incidencia de «diente moteado»

42.40%	fuerte
17.90%	moderada
26.90%	débil
12.80%	dentadura normal

En este reconocimiento se observó igualmente, una ausencia total de pigmentación en los dientes temporales, así como una reducción considerable de caries en las piezas dentales.

En la localidad donde las aguas de consumo público contiene 4 p.p.m. de F^- , se observó igualmente una endemia de fluorosis dental de intensidad variable.

En la lámina (I), se observan diferentes aspectos de «diente moteado» y deformaciones producidas por la ingestión de agua conteniendo 6.4 p.p.m.

XI. ISLA DE LA PALMA

XII. CARACTERISTICAS QUIMICAS Y GEOQUIMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA PALMA

El estudio de las características químicas de las aguas de la Isla de La Palma, fue realizado por el Dr. Enrique Fernández Caldas y Juan J. Bravo Rodríguez en el año 1968 (35).

El origen y distribución de las aguas subterráneas en esta Isla, presenta características comunes con el resto de las Islas Canarias.

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.

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 Isla de 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 baja 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.

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.

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.

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», SAR y por ciento de sodio soluble son igualmente bajos. Los valores alcalinos de pH se deben principalmente a la presencia de HCO_3^- .

No se encuentran iones $\text{SO}_4^{=}$ y Boro, y las concentraciones de flúor son igualmente muy bajas. El ión Cl^- se encuentra presente en todas las muestras, como es normal en las aguas subterráneas en Canarias.

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 1.710 micromhos por cm., en uno de estos manantiales. La concentración total de cationes oscila entre 3.09 y 24.20 mq/l., frente a valores máximos y mínimos de 0.79 y 1.17 mq/l., respectivamente, en las fuentes del Norte. Iones sulfato se encuentran presentes en todas las muestras y las concentraciones de flúor son en general más elevadas.

Los valores de «carbonato sódico residual» y SAR 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 por ciento de sodio soluble varían muy ampliamente, alcanzando concentraciones máximas y mínimas del 66% y 8%, respectivamente.

AGUAS DE GALERIAS

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 galerías más profundas, con aproximadamente 3.000 metros de longitud.

No se aprecian grandes diferencias de carácter cualitativo entre las aguas de galerías situadas en las diferentes regiones de la Isla, excepto para los iones HCO_3^- y $\text{CO}_3^{=}$. 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.

En todos los manantiales se encuentran iones HCO_3^- y Cl^- . Iones $\text{SO}_4^{=}$ aparecen solamente en algunos manantiales, principalmente en los situados en la región Occidental.

AGUAS BASALES O DE POZOS

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 produc-

ción diaria de hasta 12.000 metros cúbicos, y son frecuentes los caudales de 5.000 y 8.000 m³/día.

En las tablas N.º 15 y 16 se indican las características químicas de las aguas de pozos. En las aguas correspondientes al segundo grupo (tabla N.º 16), 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 HCO₃⁻ ($r = 0.69$) (Gráfica N.º 11), lo que nos indica una influencia poco sensible del agua del mar en la ionización de estas aguas basales.

En las aguas basales se encuentran las mayores concentraciones de HCO₃⁻ y Na⁺. Los valores de «carbonato sódico residual» y SAR alcanzan valores de 6.48 mq/l. y 8.84, respectivamente. No obstante el empleo de estas aguas no conducirá a la aparición de efectos alcalinos en los suelos de cultivos de plátanos, como hemos demostrado para situaciones similares en Tenerife.

CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS 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 N.º 17 se indica la composición química en por ciento de las aguas consideradas como representativas de los diferentes manantiales de la Isla, como base para establecer la clasificación geoquímica según el diagrama de Piper (62) que se representa en la figura (N.º 13).

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 sólo caso de agua bicarbonatada clorurada sódico magnésica.

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.

TABLA N.º 15

Aguas basales poco contaminadas

Manantial N.º	Clasificación	pH	CE × 10 ⁶ a 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	Suma de cationes meq/l.	F p.p.m.	B p.p.m.	MILIEQUIVALENTES POR LITRO										
								Ca	Mg	Na	K	CO ₃ =	HCO ₃ -	SO ₄ =	Cl	%Na	SAR*	Na ₂ CO ₃ Residual
22	C ₂ S ₁	7,6	320	220	4,14	0,60	0,00	0,56	0,72	2,35	0,51	0,00	2,28	0,34	1,28	56,8	2,92	1,00
23	C ₂ S ₁	8,2	570	360	7,96	0,30	0,00	1,60	1,60	4,12	0,64	0,24	3,72	2,02	0,80	51,7	3,26	0,76
24	C ₂ S ₁	8,3	600	380	7,81	0,25	0,00	2,32	2,80	2,31	0,38	0,00	3,84	2,74	0,88	29,6	1,45	0,00
25	C ₂ S ₁	8,0	850	540	10,77	0,20	0,00	1,68	3,28	4,31	1,50	0,00	5,00	4,66	1,12	40,0	2,74	0,04
26	C ₂ S ₁	9,1	1.020	680	14,92	0,30	0,00	1,84	3,12	8,75	1,21	1,60	6,36	4,74	2,00	58,7	5,56	3,00
27	C ₂ S ₁	7,7	1.600	1.050	21,21	0,50	0,00	1,68	6,88	9,50	3,15	1,12	4,48	11,06	3,36	44,8	4,60	0,00

* Relación de absorción de Na.

TABLA N.º 16

Aguas basales contaminadas

Manantial N.º	Clasificación	pH	CE × 10 ⁶ a 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	Suma de cationes meq/l.	F p.p.m.	B p.p.m.	MILIEQUIVALENTES POR LITRO										
								Ca	Mg	Na	K	CO ₃ =	HCO ₃ -	SO ₄ =	Cl	%Na	SAR*	Na ₂ CO ₃ Residual
28	C ₃ S ₂	7,7	1.700	1.100	21,29	0,50	0,00	1,20	4,00	14,25	1,84	0,00	2,72	4,82	13,60	66,9	8,84	0,00
29	C ₄ S ₂	8,0	2.400	1.550	32,12	0,00	0,20	1,52	12,00	14,50	4,10	7,20	12,80	7,00	5,20	45,1	5,58	6,48
30	C ₄ S ₂	7,2	2.650	1.700	25,45	0,30	0,00	2,64	0,96	18,25	3,60	0,00	9,68	10,90	11,36	71,7	7,00	6,08

* Relación de absorción de Na.

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 sulfatadas magnésico cálcico sódicas. Como se ve existe un sólo 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 aguas: cloruradas sódicas y cloruradas bicarbonatadas sódicas, donde además el ión Na^+ es también el catión predominante en todos los casos.

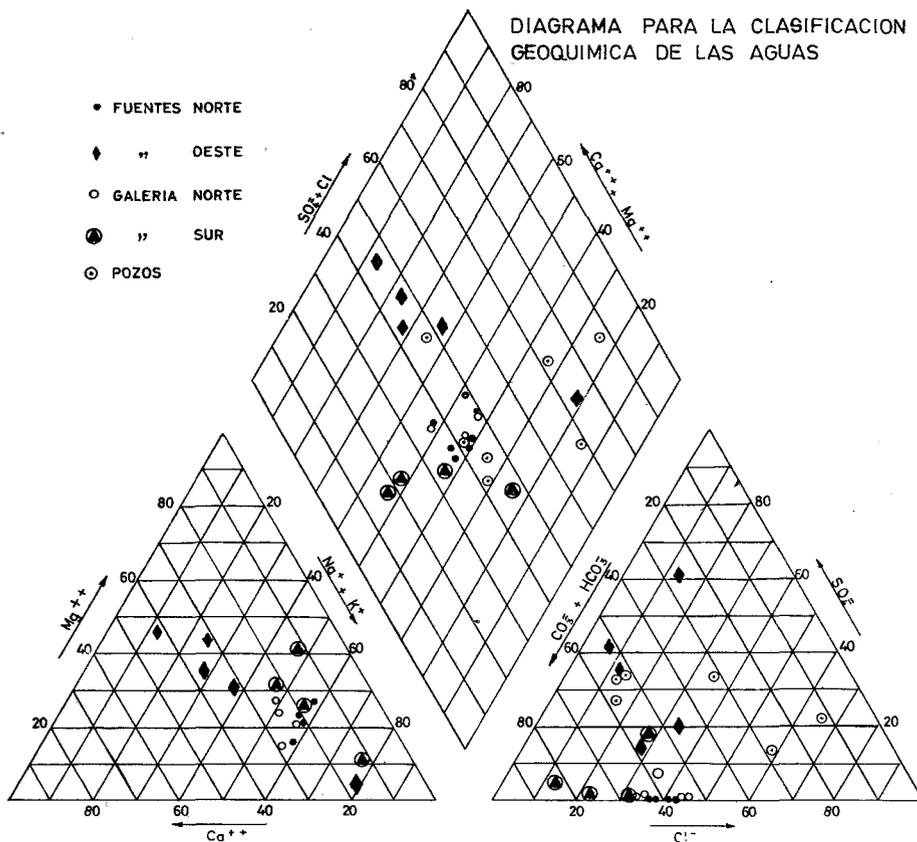


FIGURA N.º 13

TABLA N.º 17

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
7	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	55,30	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

XIII. ESTUDIO COMPARATIVO Y CLASIFICACIONES EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA PALMA

Teniendo en cuenta nuestras observaciones en la Isla de Tenerife, sobre la constancia en la composición de las aguas subterráneas de las zonas montañosas, nos proponemos en el presente capítulo, estudiar las posibles variaciones, que hayan podido experimentar estas aguas, en su composición química, durante el período de tiempo 1968-1971.

Los manantiales estudiados, han permanecido en un régimen de producción continua, durante todo este período de tiempo. Algunos de ellos han experimentado variaciones en sus caudales, mientras otros han permanecido estacionarios en su producción anual.

Por otra parte, hemos completado el estudio de las aguas subterráneas de esta Isla, con nuevas determinaciones in situ y laboratorio de oxígeno y CO₂ disueltos, temperatura del agua en los manantiales y sílice disuelta.

Con los datos obtenidos, hemos establecido nuevos criterios de clasificación química, que nos permitirán conocer con mayor rigor, la variabilidad de la composición iónica de las aguas subterráneas, en las diferentes cuencas hidrográficas de la Isla.

La generalización de los criterios sobre las características químicas de las aguas subterráneas, tendría un valor limitado, si su composición experimentase variaciones amplias en función del tiempo. De ahí la importancia y justificación de este estudio sistemático comparativo, de datos obtenidos en un período de tiempo suficientemente amplio.

En el estudio y clasificación de estas aguas, hemos considerado separadamente los dos grupos principales de manantiales existentes en la Isla. De una parte, el formado por las aguas de nacientes y galerías y de otra parte las aguas basales o de pozos, manteniéndose los mismos criterios anteriores, en lo que se refiere a la subdivisión de las cuencas hidrográficas.

Las principales reservas hidráulicas de las aguas de nacientes y galerías, están situadas en torno al macizo central de la Caldera de Taburiente, que hemos subdividido en dos cuencas hidrográficas, diferenciadas por su situación y características de naturaleza principalmente vulcanológica.

La cuenca situada en la región Norte de esta estribación montañosa, comprende a una zona que se extiende desde Puntallana hasta Puntagorda, y la cuenca hidrográfica que comprende las vertientes Este-Oeste de este macizo y abarca desde Tijarafe hasta Santa Cruz de La Palma.

TABLA N.º 18

Porcentaje del caudal total aportado por diferentes manantiales

VERTIENTE	CAUDAL TOTAL m ³ año	NACIENTES %	GALERIAS %	AGUAS BASALES %
NORTE	22 millones	35	63	2
ESTE-OESTE	49 "	21	21	58

El caudal total de agua de estas regiones, es del orden de 71 millones de m³/año, de los cuales, 22 millones corresponden a los manantiales de la zona Norte y 49 millones a las vertientes Este-Oeste, distribuidos como se indica en la Tabla (18).

Considerando el caudal total de la Isla, y teniendo en cuenta la importancia de los diferentes manantiales, se observa, que la principal aportación corresponde a las aguas basales con un 41% del caudal total. Las aguas de galerías contribuyen con un 34% y por último, los nacientes representan el 25% del caudal total.

En las Tablas N.º (19) y (20), se indican las características químicas de las aguas de nacientes y galerías en las regiones Norte y Este-Oeste, correspondiente a la toma de muestras realizadas en los años 1968 y 1971 en los mismos manantiales.

Las variaciones de concentración iónica observadas, durante este período de tiempo, no alcanzan un valor significativo, que implique una modificación apreciable en las características generales, de cada una de las muestras estudiadas.

Las propiedades esenciales de estos manantiales, permanecen invariables en función del tiempo.

Una concentración significativamente superior de los iones HCO_3^- y $\text{SO}_4^{=}$ y una concentración más elevada de los cationes Na^+ , Mg^{++} y Ca^{++} en las aguas de la región Este-Oeste, representan las principales diferencias con las aguas procedentes de la vertiente Norte.

Por otra parte, se observa en ambas regiones, que la composición aniónica y catiónica absoluta y relativa, así como los valores de pH, carbonato sódico residual y concentración de F^- , no han experimentado variaciones sensibles durante este período de tiempo.

En el caso del F^- , su concentración es significativamente más elevada, en la región Este-Oeste y está asociada a un aumento en la concentración del ión bicarbonato. En ningún caso se observan en esta Isla, valores de F^- tan elevadas como en Tenerife.

En las aguas de pozos, habíamos observado en el capítulo anterior, que no existe una correlación significativa, entre la concentración de los iones Na^+ y Cl^- ($r=0.22$), apreciándose sin embargo, una alta correlación para los iones Na^+ y HCO_3^- ($r=0.69$). Gráfica N.º 11.

Por otra parte la concentración absoluta de iones Cl^- , es relativamente baja, en la mayor parte de estos manantiales.

TABLA N.º 19

Composición química de aguas de nacientes

Año	N.º	Situación	CE × 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 ₃ ≡ mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ ≡ mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual	Clases
1968	1	N	82	50	0.20	0.00	7.6	0.16	0.32	0.52	0.14	0.00	0.76	0.00	0.48	0.28	C ₁ S ₁
	2	N	64	40	0.25	0.00	8.0	0.24	0.16	0.47	0.12	0.00	0.68	0.00	0.48	0.28	C ₁ S ₁
	3	N	64	45	0.25	0.00	8.0	0.24	0.24	0.55	0.14	0.00	0.64	0.00	0.48	0.16	C ₁ S ₁
	4	E—W	340	215	0.45	0.00	8.1	1.60	1.60	0.90	0.26	0.42	2.00	0.58	1.12	0.00	C ₂ S ₁
	5	E—W	555	320	0.40	0.00	8.3	2.10	3.20	1.40	0.33	0.72	2.92	2.82	0.64	0.00	C ₂ S ₁
	6	E—W	1.700	1.000	0.45	0.00	7.7	10.24	11.36	1.95	0.65	1.68	10.56	9.70	0.96	0.00	C ₃ S ₁
1971	1	N	80	49	0.21	0.00	7.4	0.20	0.30	0.50	0.10	0.00	0.69	0.00	0.43	0.19	C ₁ S ₁
	2	N	66	42	0.25	0.00	7.9	0.24	0.19	0.49	0.09	0.00	0.70	0.00	0.46	0.27	C ₁ S ₁
	3	N	64	50	0.25	0.00	8.0	0.28	0.28	0.52	0.10	0.00	0.66	0.00	0.45	0.10	C ₁ S ₁
	4	E—W	338	210	0.40	0.00	8.1	1.43	1.62	0.86	0.11	0.39	1.90	0.61	1.00	0.00	C ₂ S ₁
	5	E—W	557	324	0.41	0.00	8.2	2.20	3.25	1.35	0.30	0.24	3.72	2.62	0.53	0.00	C ₂ S ₁
	6	E—W	1.710	1.100	0.42	0.00	7.7	10.82	11.50	1.97	0.60	1.30	11.50	10.10	0.89	0.00	C ₃ S ₁

TABLA N.º 20

Composición química de aguas de galerías

Año	N.º	Situación	CE × 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 ₃ = mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ = mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual	Clases
1968	1	N	95	60	0.30	0.00	8.2	0.32	0.40	0.57	0.14	0.00	0.84	0.00	0.48	0.12	C ₁ S ₁
	2	N	65	40	0.30	0.00	8.1	0.32	0.16	0.50	0.09	0.00	0.72	0.00	0.32	0.24	C ₁ S ₁
	3	N	85	54	0.30	0.00	8.1	0.32	0.32	0.52	0.13	0.00	0.92	0.00	0.36	0.28	C ₁ S ₁
	4	E—W	190	120	0.45	0.00	8.1	0.32	1.12	1.00	0.24	0.00	1.92	0.00	0.56	0.48	C ₁ S ₁
	5	E—W	350	220	0.40	0.00	8.5	0.96	1.52	1.85	0.44	0.48	3.44	0.34	0.56	1.44	C ₂ S ₁
	6	E—W	565	325	0.45	0.00	8.5	1.28	2.16	3.35	0.65	0.80	4.16	1.22	1.04	1.52	C ₂ S ₁
1971	1	N	104	68	0.26	0.00	8.0	0.32	0.40	0.51	0.09	0.00	0.90	0.00	0.40	0.18	C ₁ S ₁
	2	N	71	47	0.27	0.00	8.0	0.32	0.32	0.35	0.05	0.00	0.66	0.00	0.33	0.02	C ₁ S ₁
	3	N	95	60	0.26	0.00	8.2	0.32	0.40	0.44	0.06	0.00	0.88	0.00	0.34	0.16	C ₁ S ₁
	4	E—W	210	130	0.46	0.00	8.4	0.32	1.27	0.87	0.11	0.00	1.92	0.00	0.59	0.33	C ₁ S ₁
	5	E—W	370	240	0.42	0.00	8.3	0.96	1.55	1.72	0.11	0.00	3.90	0.00	0.47	1.39	C ₂ S ₁
	6	E—W	600	380	0.45	0.00	8.3	1.28	2.31	3.30	0.11	0.00	4.76	1.26	0.85	1.17	C ₂ S ₁

Entre las aguas basales de las vertientes Este y Oeste, se observa una composición diferente, que está directamente influenciada por una mayor concentración de HCO_3^- , en los manantiales situados en la región occidental.

Estas características químicas observadas, hacen pensar en la existencia de grandes masas de aguas meteóricas en las zonas basales, si tenemos en cuenta la naturaleza de estos depósitos subterráneos, donde por una diferencia de densidades, las aguas de origen meteórico menos densas, flotan sobre las aguas del mar infiltradas en la zona de saturación.

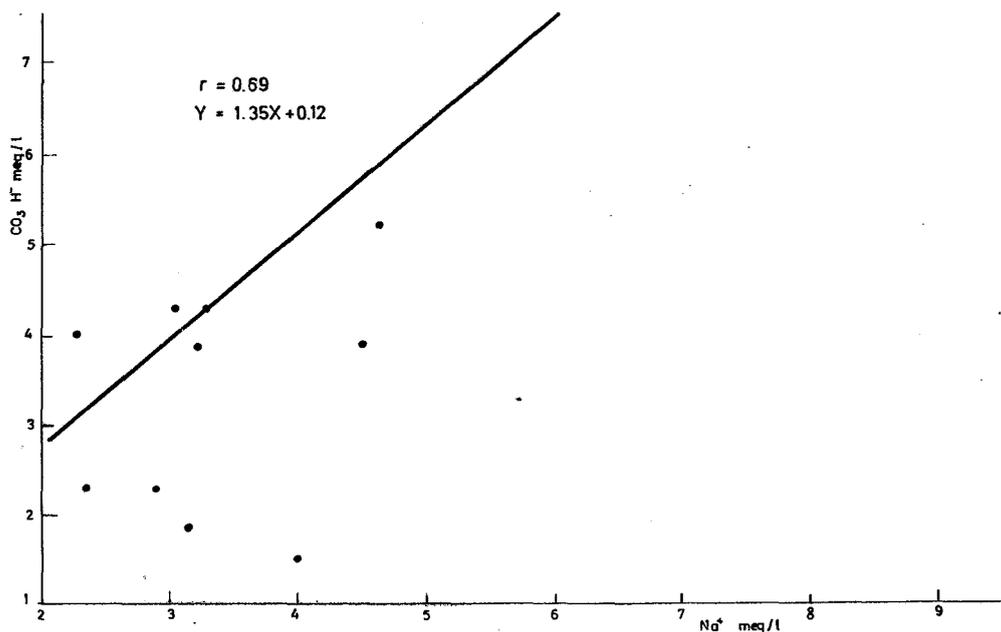
La importancia relativa de estos dos tipos de aguas, en la lente que forman las aguas basales, implica necesariamente una mayor o menor concentración de los iones Cl^- .

Además, es frecuente en estas Islas, que las aguas de pozos experimenten una progresiva mineralización durante los procesos de extracción, en las regiones con escasas reservas de aguas basales y que conducen a concentraciones muy elevadas de Cl Na , en períodos de tiempo relativamente cortos.

Como se observa en la Tabla N.º (21), las características de estas aguas, han permanecido poco alteradas en su composición química, a pesar de que estos pozos han estado sometidos a un régimen de producción continua, durante todo este período de tiempo.

Esta circunstancia, nos permite así comprobar prácticamente, la gran magnitud de estas reservas de aguas basales en las zonas costeras de esta Isla.

Las características químicas de estas aguas, fueron consideradas ampliamente en el capítulo anterior, y la constancia que se observa en su composición, según los datos obtenidos en el presente estudio, no alteran las consideraciones y conclusiones generales a que hicimos referencia.



GRAFICA N.º 11

TABLA N.º 21

Composición química de aguas basales

Año	N.º	Situación	CE × 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 ₃ ⁼ mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ ⁼ mg/l.	Cl ⁻ mg/	Na ₂ CO ₃ Residual	Clases
1968	1	E—W	500	280	0.30	0.00	8.2	0.64	1.12	5.55	0.87	0.00	1.60	0.34	3.28	0.00	C ₂ S ₁
	2	E—W	690	440	0.40	0.00	8.0	1.20	2.32	4.00	0.75	0.24	1.52	3.78	2.72	0.00	C ₂ S ₁
	3	E—W	880	560	0.04	0.00	8.2	1.40	2.36	5.38	1.10	0.40	2.50	1.40	5.92	0.00	C ₃ S ₁
	4	E—W	570	365	0.30	0.00	8.2	1.60	1.60	4.12	0.64	0.24	3.72	2.02	0.80	0.76	C ₂ S ₁
	5	E—W	1.020	650	0.30	0.00	9.1	1.84	3.12	8.75	1.21	1.60	6.36	4.74	2.00	3.00	C ₃ S ₁
1971	1	E—W	470	300	0.25	0.00	7.2	0.39	1.26	3.05	0.16	0.00	1.34	0.00	3.10	0.00	C ₂ S ₁
	2	E—W	750	475	0.30	0.20	7.2	1.67	2.40	3.50	0.32	0.28	1.60	2.76	2.37	0.00	C ₂ S ₁
	3	E—W	760	460	0.20	0.20	7.5	0.84	1.83	4.37	0.30	0.32	2.02	1.30	4.03	0.00	C ₃ S ₁
	4	E—W	840	530	0.80	0.00	8.0	1.95	1.87	5.62	0.27	0.76	5.68	2.06	1.19	0.00	C ₂ S ₁
	5	E—W	1.050	680	0.70	0.20	7.9	1.75	2.93	8.12	0.44	0.56	6.78	4.20	1.55	2.66	C ₃ S ₁

No obstante, con los datos actuales, hemos establecido nuevas correlaciones, que contribuyen a una mejor interpretación y comprensión de sus características químicas.

En las aguas de fuentes y galerías, se observa una correlación significativa a un nivel superior al 0.1%, entre la conductividad eléctrica y los cationes Na^+ ($r=0.5518$) y $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ($r=0.9417$). Gráficas N.º (12) y (13).

De acuerdo con estos coeficientes de correlación, el aumento de la salinidad total de las aguas, está más influida por las concentraciones de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ que por el Na^+ .

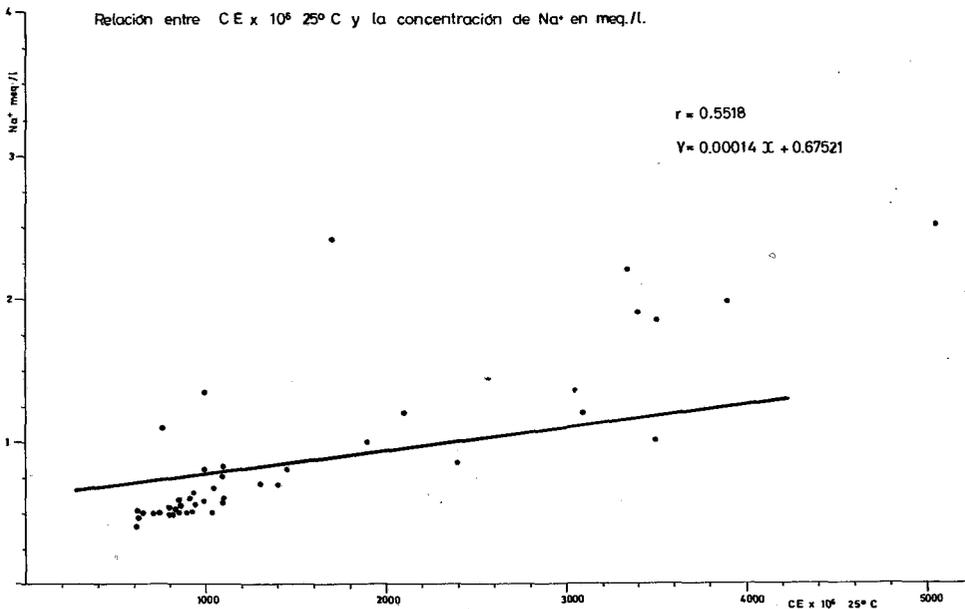
Esta característica se comprueba igualmente en las figuras N.º (14) y N.º (15), donde se hace una representación gráfica vectorial y logarítmica de estos tipos de aguas.

En las aguas de pozos, se observa este mismo tipo de correlaciones, pero en este caso, el coeficiente de correlación para el Na^+ ($r=0.9422$), es superior al encontrado para el $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ($r=0.6299$) Gráficas N.º (14) y (15).

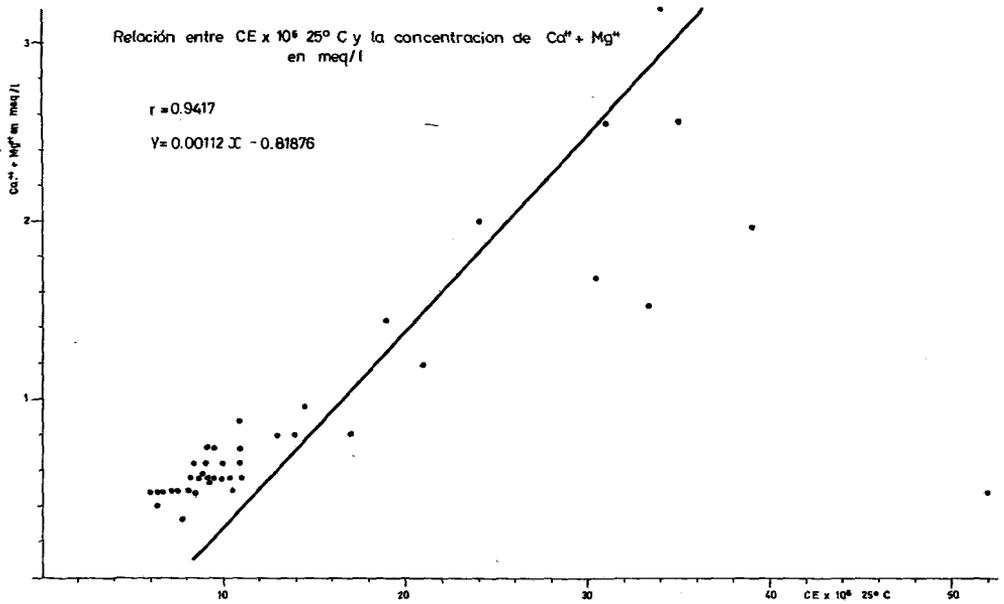
La salinidad en este tipo de aguas, estará influida principalmente por un aumento o disminución de la concentración de Na^+ .

La conductividad está igualmente muy correlacionada con la concentración de $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^{-}$, tanto en las aguas de fuentes y galerías ($r=0.9411$), como en las aguas basales ($r=0.6743$). En este último caso se observa también una correlación altamente significativa con el ión $\text{SO}_4^{=}$ ($r=0.8206$). Gráficas N.º (16), (17) y (18).

La significación estadística de estos valores, en las aguas de pozos, está de acuerdo con las diferentes clasificaciones químicas establecidas para estas aguas, que permiten agruparlas principalmente como bicarbonatadas o bicarbonatadas sulfatadas.



GRAFICA N.º 12



GRAFICA N.º 13

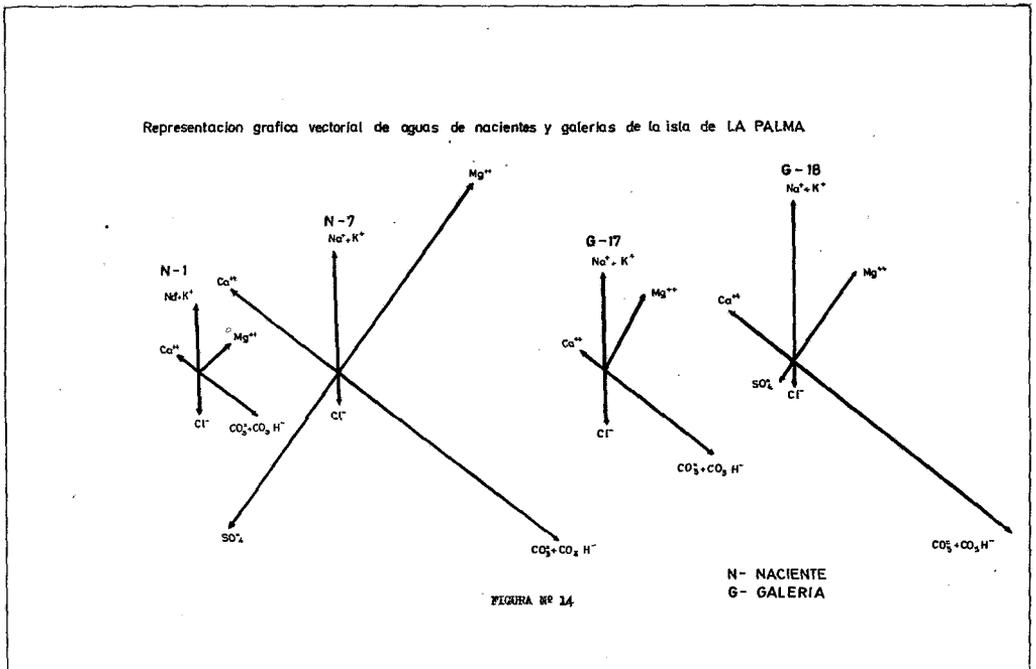


FIGURA N.º 14

- (1) N
- . - . - . (17) G
- ===== (18) G
- (7) N

Representación grafica logarítmica de aguas de nacientes y galerías en la isla de LA PALMA

N.- NACIENTE
G.- GALERIA

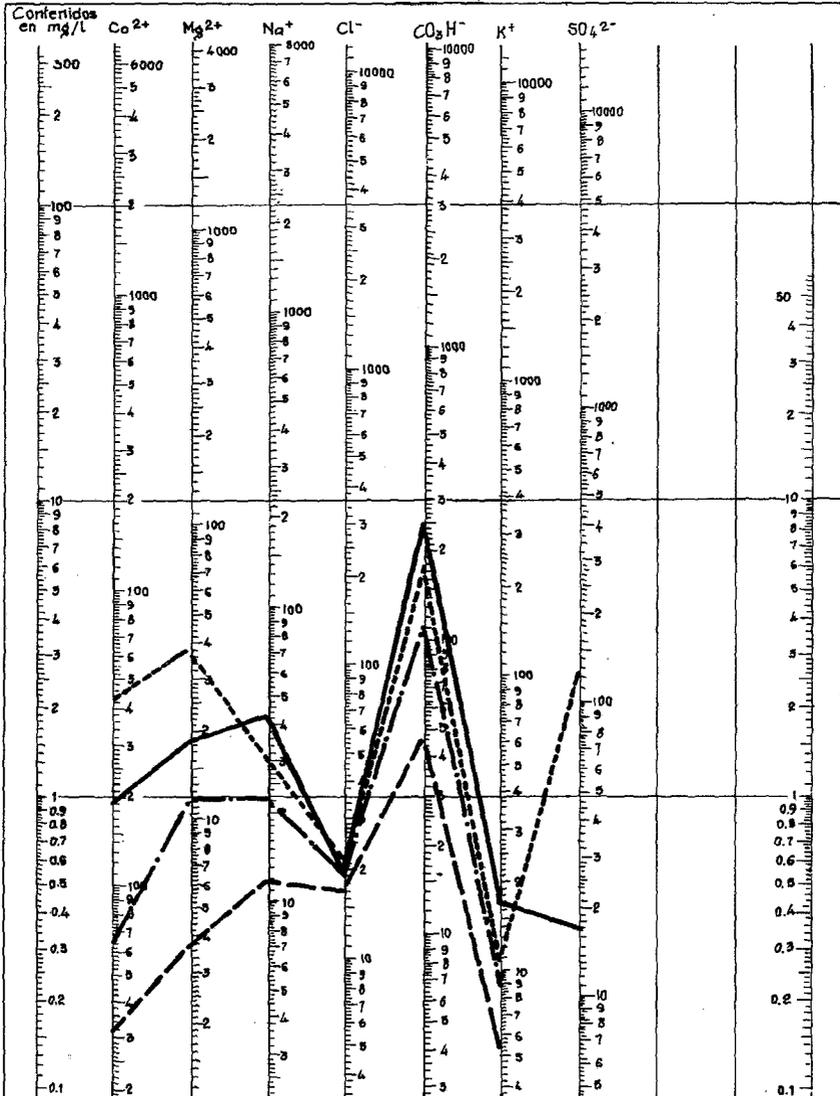
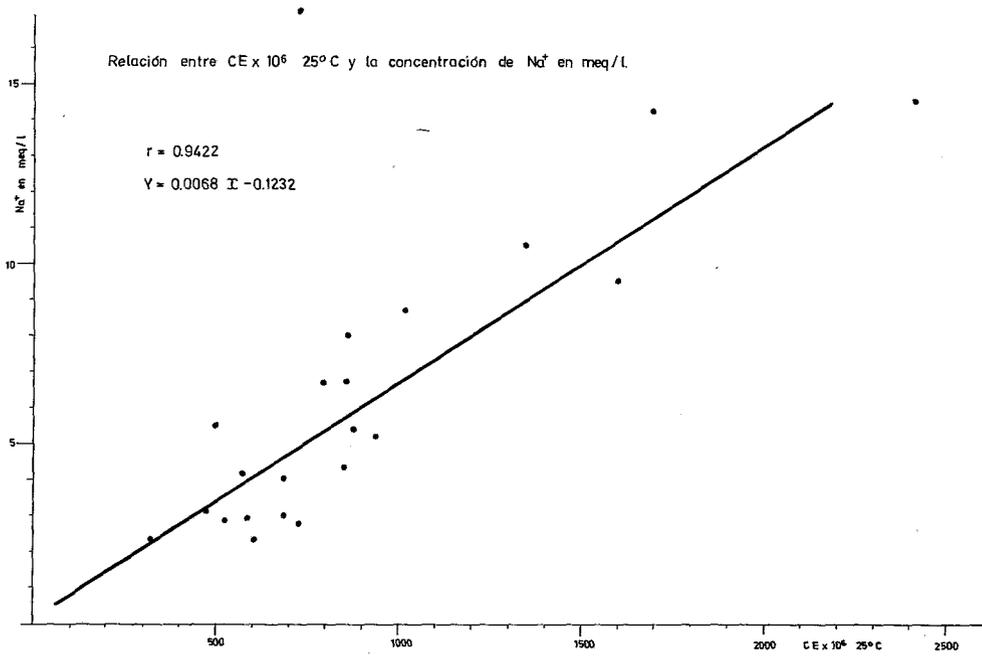
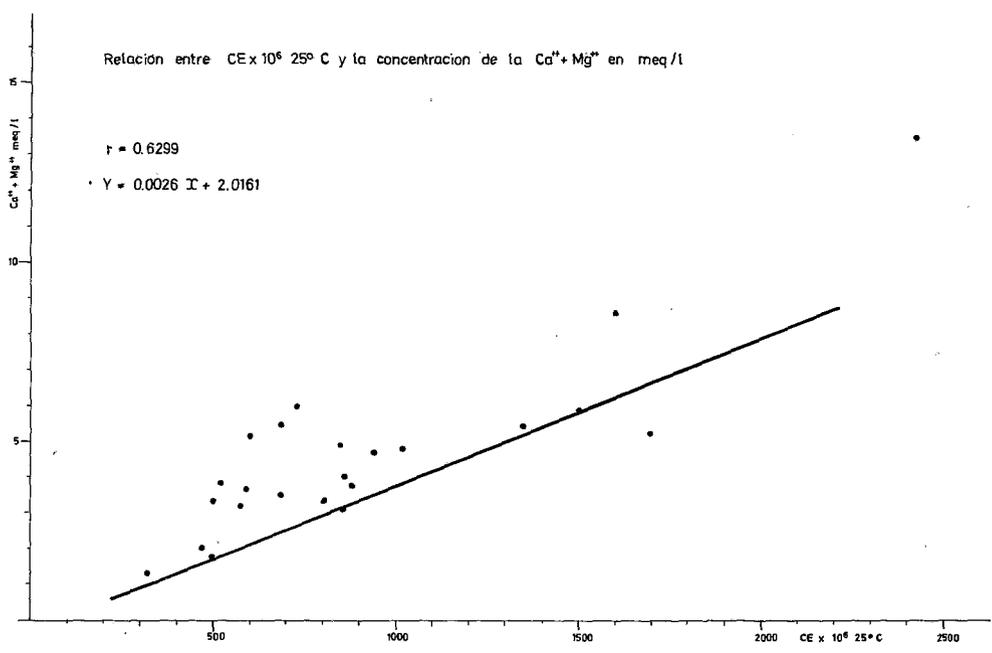


FIGURA N.º 15



GRAFICA N.º 14



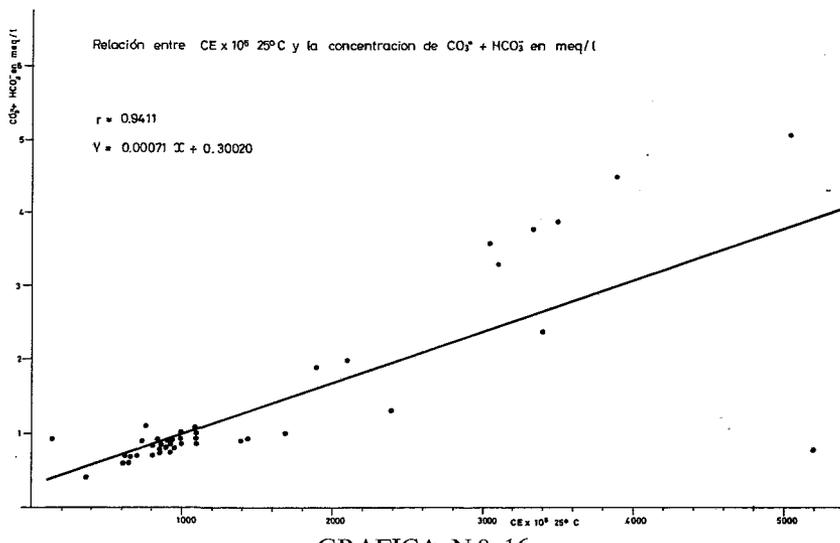
GRAFICA N.º 15

En las aguas de galerías y fuentes, los aniones $\text{CO}_3^{=}$ + HCO_3^{-} , se encuentran también altamente correlacionados con el Na^+ ($r=0.6817$) y Ca^{++} + Mg^{++} ($r=0.9053$). Gráficas N.º (19) y (20).

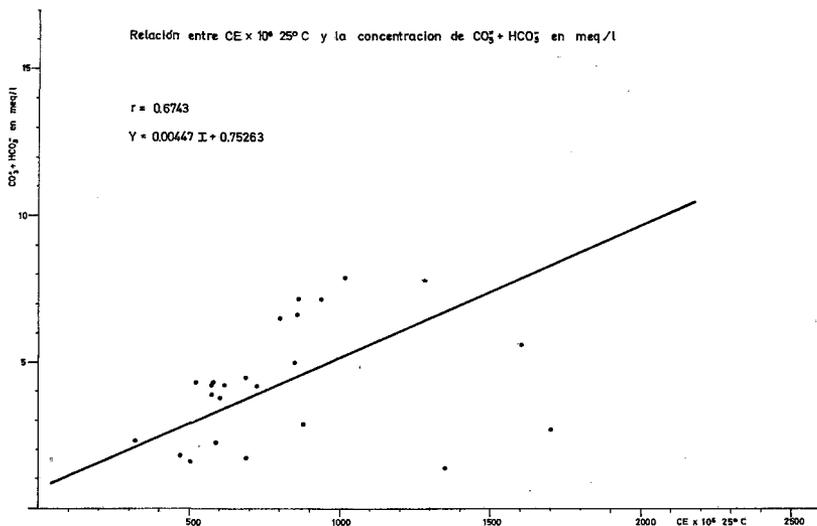
En este último caso, si bien cabría esperar una correlación negativa, hemos de tener en cuenta que se trata de soluciones muy diluidas que corresponden a concentraciones de equilibrio en solución.

En las aguas basales los iones $\text{SO}_4^{=}$ y Na^+ , se encuentran también altamente correlacionados a nivel superior al 0.1% ($r=0.7502$). Gráfica N.º (21).

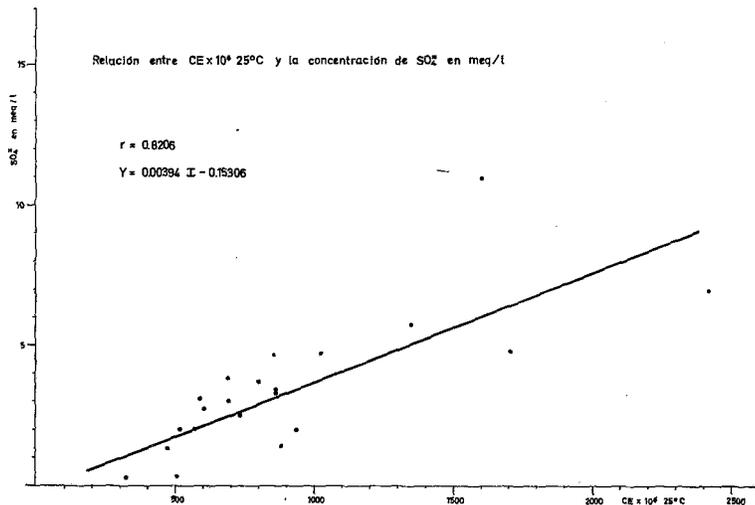
En las figuras N.º (16) y (17) se encuentran representadas gráficamente diferentes tipos de aguas basales.



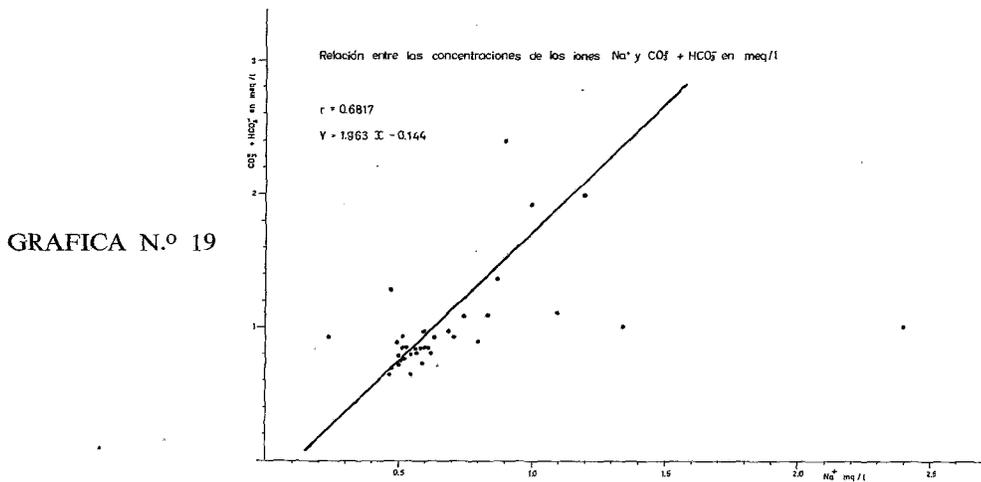
GRAFICA N.º 16



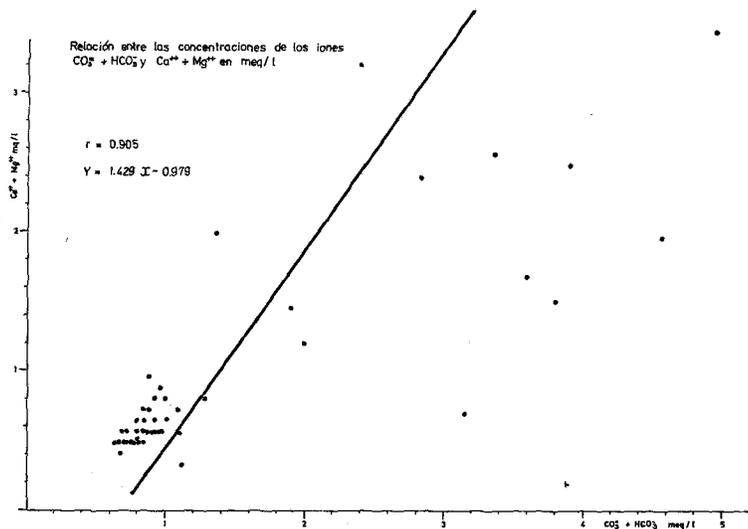
GRAFICA N.º 17



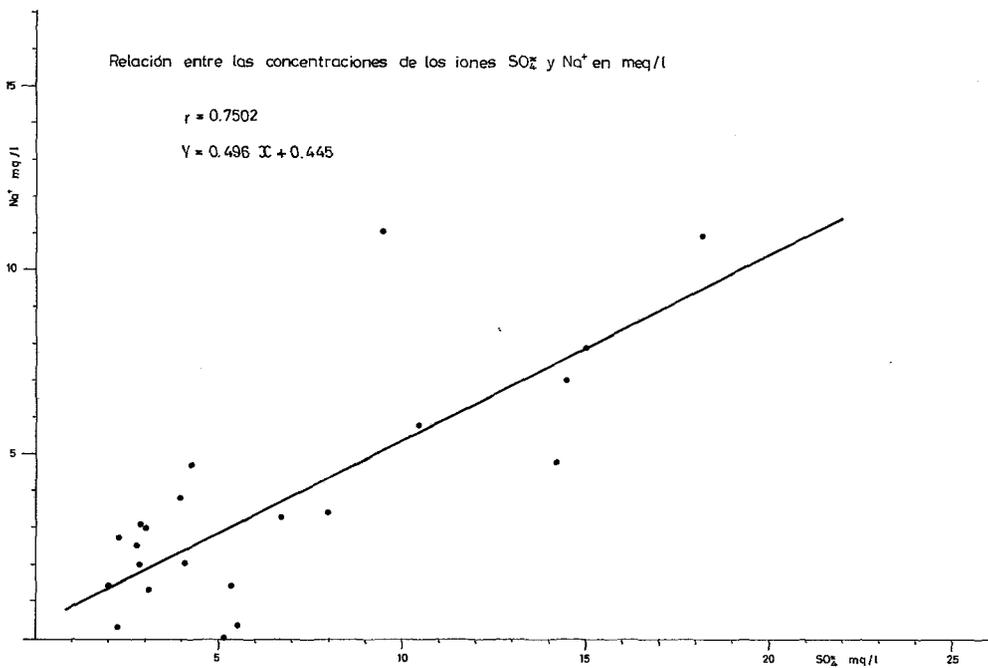
GRAFICA N.º 18



GRAFICA N.º 19



GRAFICA N.º 20



GRAFICA N.º 21

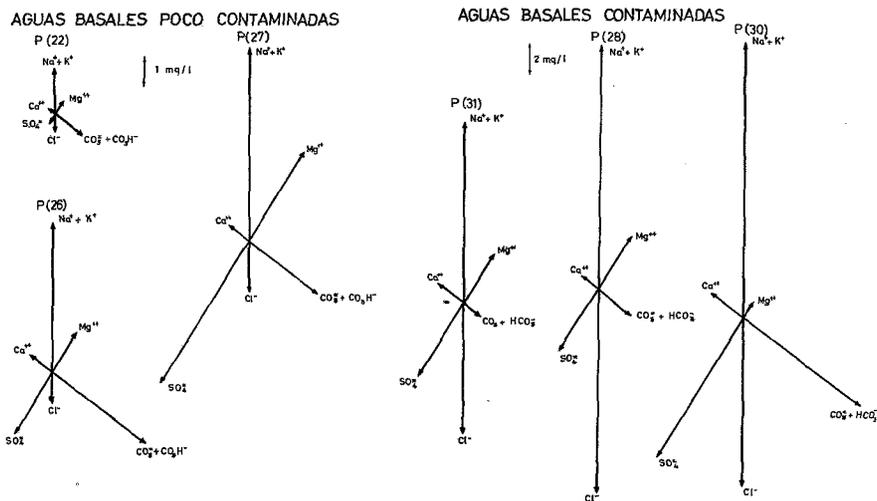


FIGURA N.º 16

- (27) P
- (31) P
- (26) P
- (28) P
- (30) P
- (22) P

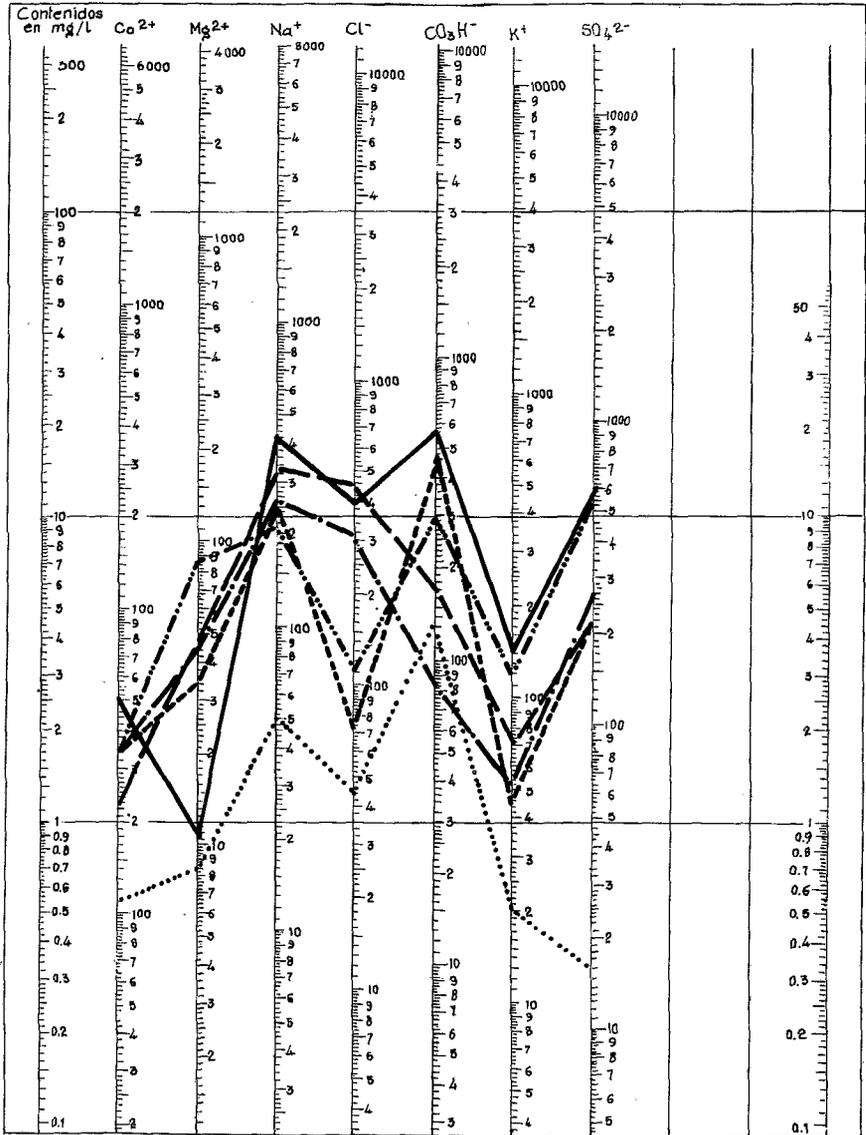


FIGURA N.º 17

CONTENIDO DE SiO₂

En el conjunto de aguas de fuentes y galerías, las mayores concentraciones de SiO₂, se encuentran en los manantiales situados en el interior de la Caldera de Ta-buriente.

Su concentración es siempre superior a 50 p.p.m. con un valor máximo de 55.2 p.p.m.

En el resto de fuentes y galerías de la Isla, el 85% de los manantiales contienen concentraciones más bajas de SiO₂ y sus valores oscilan entre 30 y 40 p.p.m.

Excepcionalmente, en algunos manantiales, se encuentran valores más elevados en la zona Norte (64.2 p.p.m.) y en la región oriental y occidental (61.2 p.p.m.).

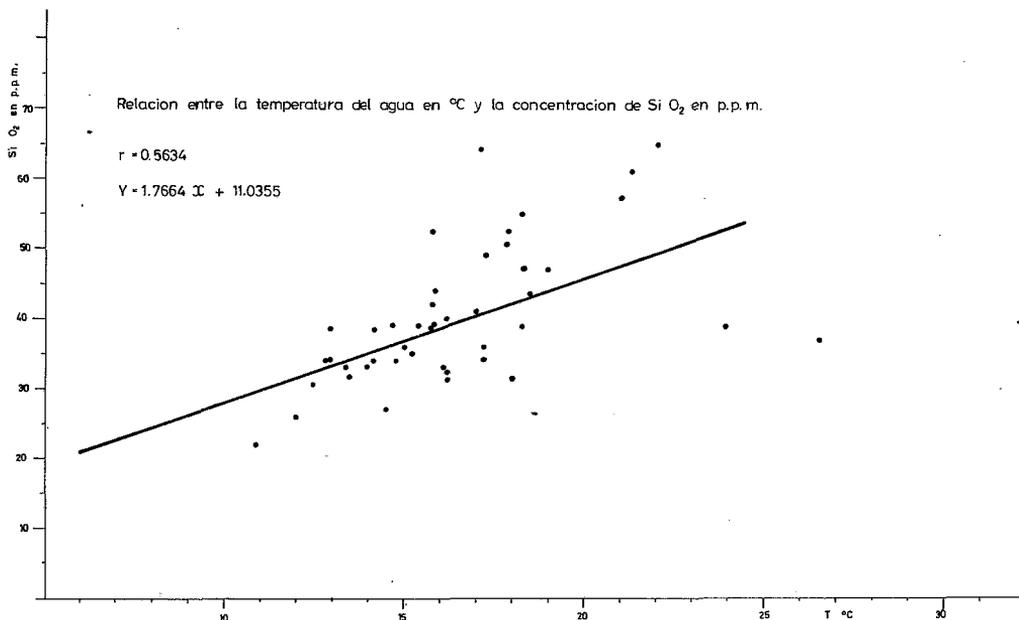
En las aguas basales, la mayor concentración de SiO₂, se encuentra en los pozos situados en la zona Occidental y Sur y sus valores están comprendidos entre 35.5 y 64.8 p.p.m.

En los pozos de la región Norte y Oriental, los valores son más bajos, y oscilan entre 30.8 y 39.4 p.p.m.

Se observa una correlación significativa a un nivel superior al 0.1% entre la temperatura del agua en el origen del manantial y la concentración de SiO₂, tanto en las aguas de fuentes como de galerías. Gráfica N.º (22).

Las concentraciones de SiO₂ observadas en las aguas subterráneas de esta Isla, se corresponden con los valores señalados para las aguas subterráneas en regiones basálticas.

En la Isla de La Palma, los materiales geológicos están constituídos predominantemente por basaltos.



GRAFICA N.º 22

OXIGENO, CO₂ DISUELTO Y TEMPERATURA DE LAS AGUAS BASALES

En las aguas de fuentes y galerías, los valores de O₂ disuelto, oscilan entre 10 y 14 p.p.m. y entre 9 y 13 p.p.m. en las aguas basales, no observándose variaciones definidas entre las aguas que corresponden a las distintas cuencas hidrográficas.

Estos valores se corresponden en general, con las concentraciones de equilibrio con el O₂ atmosférico, a las temperaturas registradas.

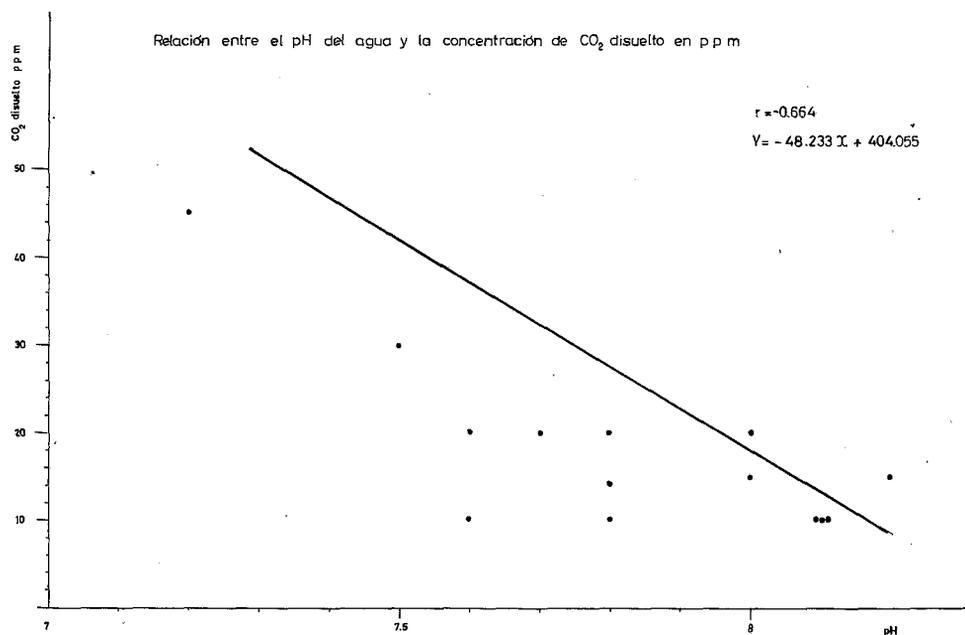
El CO₂ se encuentra en general, a concentraciones muy bajas. En las aguas de fuentes y galerías sus valores oscilan entre 5 y 15 p.p.m. En un sólo manantial situado en la Caldera de Taburiente, hemos encontrado una concentración de 60 p.p.m.

En las aguas de pozos, hemos encontrado excepcionalmente, una concentración de 130 p.p.m. en un manantial situado en la región Occidental, en situación próxima a la Caldera de Taburiente.

Como cabría esperar, existe una correlación negativa entre el CO₂ disuelto y pH de las aguas con una significación superior al 0.1% ($r = -0.6644$) Gráfica N.º (23).

Las concentraciones de CO₂ encontradas en estas aguas, son siempre superiores a las concentraciones de equilibrio atmosférico ($M = 10^{-5}M$) y corresponden por lo tanto a una disolución de CO₂ en un medio con un gradiente de concentración más elevado, como cabe esperar en las regiones subterráneas de naturaleza volcánica. Sin embargo, la concentración relativamente baja en CO₂, se debe a la alcalinidad del medio, que desplaza el equilibrio hacia la formación de HCO₃⁻.

En la Isla de La Palma, las temperaturas más elevadas se encuentran en los nacientes de la Caldera de Taburiente, por tener su nacimiento en los materiales que constituyen el complejo basal de la Isla.

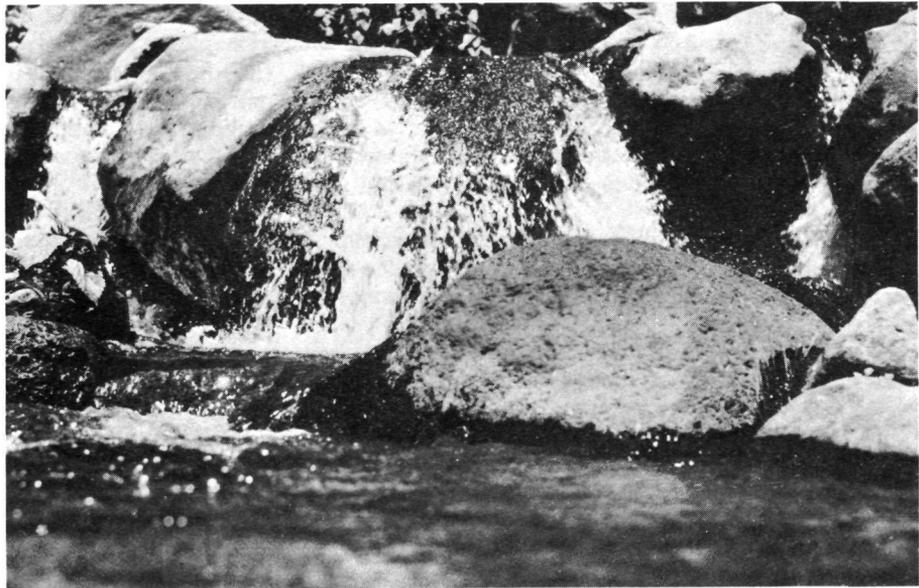
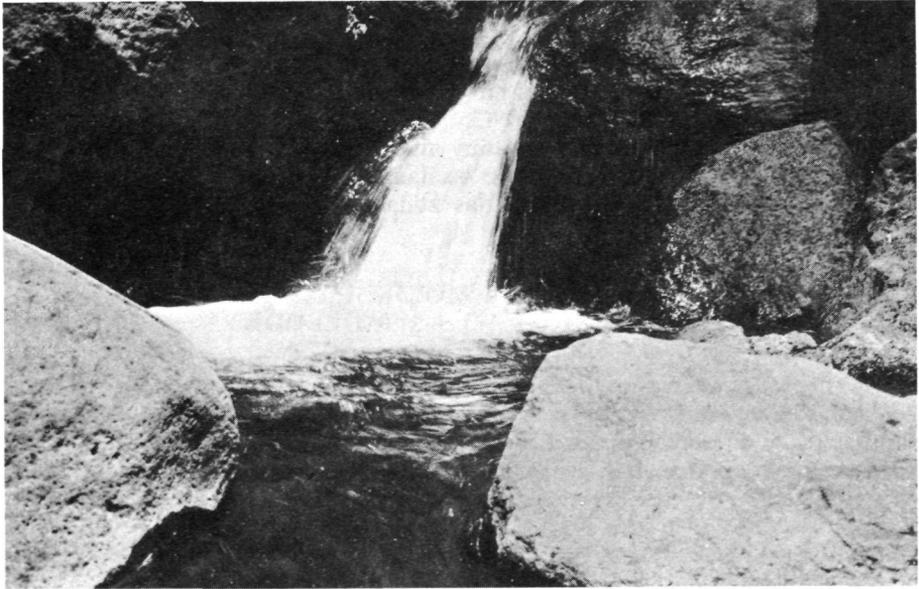


GRAFICA N.º 23



CALDERA DE TABURIENTE (LA PALMA)





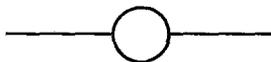
NACIENTES DE LA CALDERA DE TABURIENTE
ISLA DE LA PALMA

Por lo general, la temperatura de las aguas aumenta, al penetrar en los complejos basales, por ser muy compactos y no permitir la filtración de aguas procedentes del deshielo.

En ciertas galerías de esta Isla se han medido temperaturas, que varían desde 28°C en la bocamina hasta 34.5°C en el frente de la galería.

En el resto de la Isla, es normal en las aguas subterráneas encontrar valores de temperaturas de aproximadamente 20°C.

Existen galerías situadas en cotas muy altas (sobre los 1.000 m.), en las que sus aguas se encuentran a temperaturas que oscilan entre los 10°-15°C, debido al agua del deshielo que se filtra a través de las zonas de fractura.



XIV. CLASIFICACION AGRICOLA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE LA PALMA

Las consideraciones anteriores, nos permiten establecer una clasificación definitiva de estas aguas, tanto desde un punto de vista agrícola, como en lo que se refiere a su composición iónica, que responden a unas características definidas y permanentes en la alteración de los materiales geológicos.

CLASIFICACION AGRICOLA

Siguiendo los criterios de clasificación establecidos por el Laboratorio de Salinidad de E.E.U.U., la totalidad de las aguas de galerías y fuentes existentes en la Isla de La Palma, pueden agruparse en tres clases diferentes: C_1S_1 , C_2S_1 y C_3S_1 .

En la Tabla N.º (22), se indica cómo están distribuidas estas clases de aguas en las diferentes zonas de la Isla, considerando los porcentajes de manantiales que corresponden a cada clasificación.

La composición iónica y porcentaje de las diferentes clases de aguas de fuentes y galerías, se indican en la Figura N.º (18), calculadas sobre la totalidad de este tipo de manantiales.

Se observa en esta gráfica, que el mayor porcentaje de aguas de fuentes y galerías (78%), corresponden a la clase C_1S_1 . La clase C_2S_1 , viene representada sólo por un 20% de los manantiales, correspondiéndole el porcentaje menor (2%) a las aguas de la clase C_3S_1 .

En la tabla N.º (23), se indica la composición iónica de estas diferentes clases.

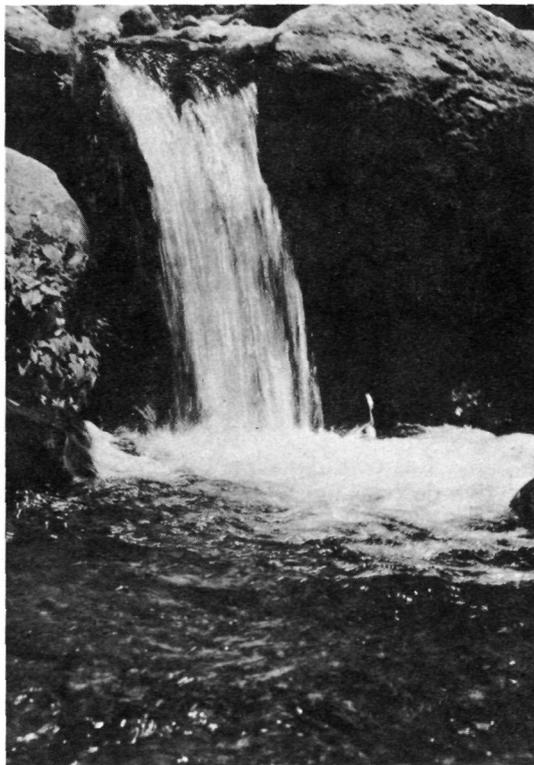
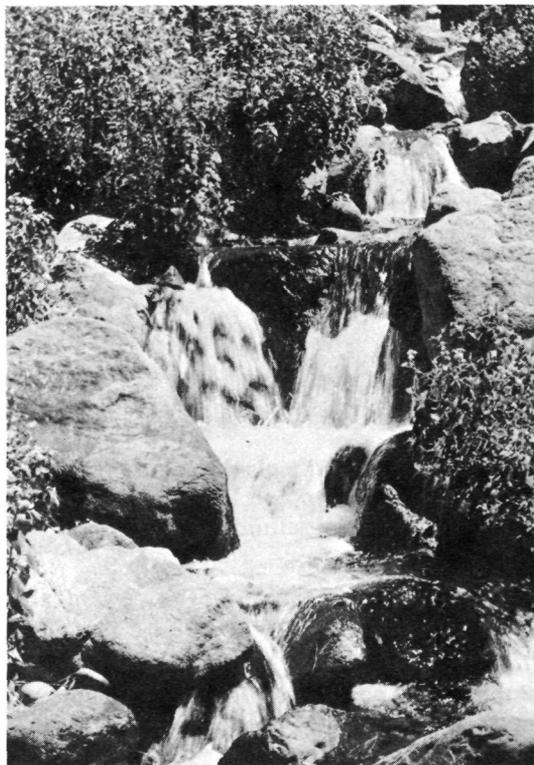
En las aguas basales, este sistema de clasificación, permite agruparlas en las siguientes clases: C_2S_1 , C_3S_1 , C_3S_2 y C_4S_2 .

Análisis representativos de estas clases, se indican en la Tabla N.º (24).

La distribución en las diferentes regiones hidrográficas, viene indicada en la Tabla N.º (25), basándonos en las mismas consideraciones establecidas para las aguas de fuentes y galerías.

Igualmente, los porcentajes y composición iónica de estas aguas, consideradas en conjunto se indican en la Figura N.º (19).

De los datos obtenidos, se deduce que en esta Isla, son muy abundantes los manantiales conteniendo aguas de baja salinidad y alcalinidad (C_1S_1 , C_2S_1), delimitándose dos cuencas hidrográficas de características salinas y alcalinas, bien diferenciadas y que se corresponden con la subdivisión que hemos adoptado.



NACIENTES DE LA CALDERA DE TABURIENTE - ISLA DE LA PALMA

TABLA N.º 22

Porcentajes de clases de aguas en diferentes zonas
Aguas de fuentes y galerías

SITUACION	Vertiente	% C ₁ S ₁	% C ₂ S ₁	% C ₃ S ₁
BARLOVENTO	N	100		
SAN ANDRES Y SAUCES	N	100		
PUNTALLANA	N	100		
GARAFIA	N	100		
SANTA CRUZ DE LA PALMA ...	E—W	100		
BREÑA ALTA	E—W	100		
EL PASO	E—W	47	47	6
TIJARAFE	E—W		100	

TABLA N.º 23

Composición química de aguas de fuentes y galerías
Clasificación agrícola

Clases	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
C ₁ S ₁	91	56	0.30	0.00	64.2	7.3	0.32	0.24	0.55	0.12	0.00	0.92	0.00	0.48	1.04
C ₂ S ₁	310	200	0.45	0.00	50.7	8.0	0.64	1.92	1.20	0.30	0.40	2.96	0.00	0.68	1.06
C ₃ S ₁	1.700	1.100	0.45	0.00	50.0	7.7	10.24	11.36	1.95	0.65	1.68	10.56	9.70	0.96	0.59

TABLA N.º 24

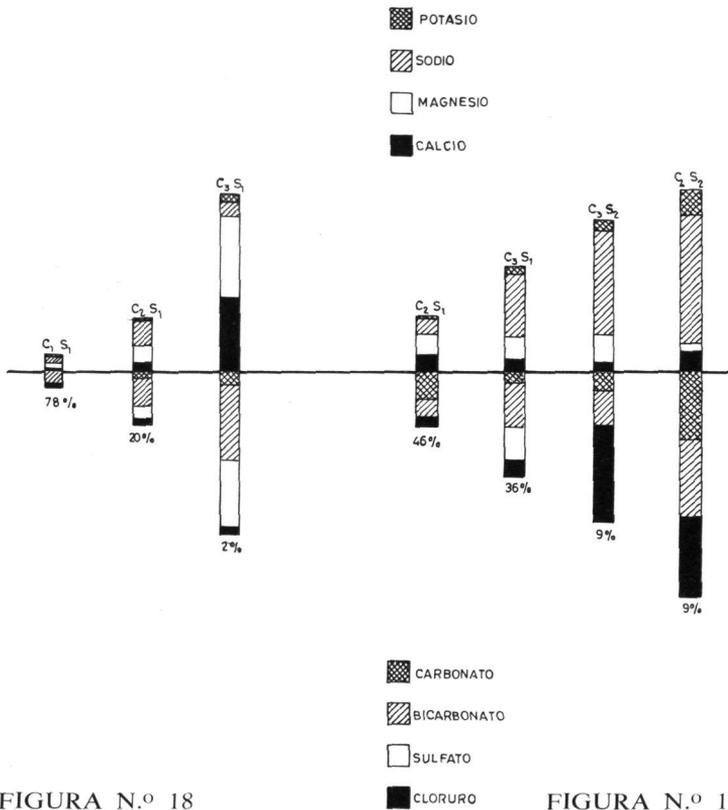
Composición química de aguas basales
Clasificación agrícola

Clases	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
C ₂ S ₁	570	365	0.30	0.00	49.0	8.2	1.60	1.60	4.12	0.64	0.24	3.72	2.02	0.80	0.76
C ₃ S ₁	805	520	0.40	0.00	40.2	8.6	1.20	2.16	6.75	1.30	1.04	5.52	3.70	1.20	3.20
C ₃ S ₂	1.700	1.100	0.50	0.00	33.8	7.7	1.20	4.00	14.25	1.84	0.00	2.72	4.82	13.60	0.00
C ₄ S ₂	2.420	1.550	0.01	0.20	64.8	8.0	1.52	12.00	14.50	4.10	7.20	12.80	7.00	5.20	6.48

TABLA N.º 25

Porcentajes de clases de aguas en diferentes zonas
Aguas basales o de pozos

SITUACION	Vertiente	% C ₂ S ₁	% C ₃ S ₁	% C ₃ S ₂	% C ₄ S ₂
SAN ANDRES Y SAUCES	N	100			
SANTA CRUZ DE LA PALMA ...	E—W	100			
BREÑA ALTA	E—W	68	17	17	
LOS LLANOS DE ARIDANE	E—W	50	50		
TAZACORTE	E—W	30	60		10
TIJARAFE	E—W	100			



XV. CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE LA PALMA

Para la aplicación de los diferentes sistemas adoptados (pág. 45), hemos elegido diferentes muestras representativas de la totalidad de estos manantiales, que incluyen aguas pertenecientes a las cuencas hidrográficas principales. Tabla N.º (26).

Su clasificación, de acuerdo con los diferentes sistemas empleados, se indica en la Tabla N.º (27).

Como puede apreciarse en la Tabla indicada, estas aguas corresponden principalmente al tipo «bicarbonatadas magnésico-sódicas» o «bicarbonatadas sulfatadas calcio-magnésicas», predominando los iones $\text{CO}_3^{=}$ + HCO_3^{-} , $\text{SO}_4^{=}$, Ca^{++} , Mg^{++} y Na^{+} .

Las clasificaciones que se basan en criterios cuantitativos absolutos, considerando separadamente cada uno de los iones presentes, frente a la concentración total, agrupa estas aguas simultáneamente como hipocarbonatadas, carbonatadas normales e hipercarbonatadas.

Cuando las sales en disolución, constituyen los criterios básicos de clasificación, podemos considerar estas aguas como alcalinas, con una alcalinidad primaria y secundaria que aumenta con la concentración iónica total.

En este grupo de manantiales, se encuentran algunos tipos de aguas, no representativas del conjunto, que difieren de las características anteriores y se clasifican como salinas (muestras 2 y 3), en la Tabla N.º (26).

El sulfato sódico representa en estas aguas la sal disuelta predominante.

En el caso anterior de aguas alcalinas, el bicarbonato sódico, corresponde a la combinación salina más significativa.

(*) NOTAS ACLARATORIAS A LA TABLA N.º 27

(1).—Tipo I: (pág. 61)

C-b: Clase b.—Aguas magnésicas (predomina el ión Mg^{++})

C-c: (pág. 61)

G-1: (pág. 61)

G-2: Grupo 2.— $r \text{HCO}_3^{-} + r \text{CO}_3^{=} < r \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} < r \text{HCO}_3^{-} + r \text{CO}_3^{=} + r \text{SO}_4^{=}$

(2).—Clorurada normal.—(pág. 61)

Sulfatada normal.—(pág. 61)

Oligosulfatadas.— $r \text{SO}_4^{=}$ comprendido entre 6 y 24

Hipocarbonatada.—(pág. 61)

Carbonatada normal.—(pág. 61)

Hipercarbonatada.—(pág. 61)

(3).—T-A: (pág. 61)

- (4).—T-1: (pág. 61)
 T-4: Tipo 4.—(Aguas bicarbonatadas-sulfatadas)
 $r \text{HCO}_3^- > 25\%$ y $r \text{SO}_4^{=} > 25\%$ de la suma de aniones
 T-5: Tipo 5.—(Aguas bicarbonatadas-cloruradas)
 $r \text{HCO}_3^- > 25\%$ y $r \text{Cl}^- > 25\%$ de la suma de aniones
 T-4: Tipo 4.—(Aguas calcio-magnésicas) $r \text{Ca}^{++} > 25\%$ y $r \text{Mg}^{++} > 25\%$ de la suma de cationes.
 T-6: (pág. 61)
- (5).—T-1: (pág. 61).—(Bicarbonatada pura)
 T-2: (pág. 61).—(Bicarbonatada clorurada de transición)
 (Bicarbonatada sulfatada de transición)
- (6).—T-1: (pág. 61)
 T-3: (pág. 65)
- (7).—T-1: (pág. 65)
 T-2: (pág. 61)
 G-A: (pág. 61)
 C-a: Clase a.—Predominantemente de alcalinidad secundaria
 C-b: (pág. 61)
- (8).—T-1: (pág. 65)
 T-2: (pág. 61)
 C-1: Clase 1.— $r \text{Ca}^{++} < r \text{HCO}_3^-$

b) CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE POZOS DE LA PALMA

Por su composición iónica, las aguas basales de esta Isla, pueden ser clasificadas como «bicarbonatadas sódicas o magnésicas», «cloruradas sódicas» y «sulfatadas sódicas», y de acuerdo con otros sistemas de clasificación como «bicarbonatadas sulfatadas sódicas, magnésico-sódicas o calcio magnésico-sódicas», «bicarbonatadas cloruradas sódicas» y «sulfato-cloruradas-bicarbonatadas sódicas», teniendo en cuanto la importancia relativa en la concentración total, de los iones HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- , Mg^{++} y Na^+ . Tablas N.º (28) y (29).

Las clasificaciones que se basan en criterios de sales en disolución, agrupan estas aguas indistintamente en salinas o alcalinas, sin que se observe un carácter preferente de unas sobre otras.

Las concentraciones de los iones $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- y HCO_3^- son muy próximas.

En las aguas salinas, la salinidad primaria es superior a la secundaria, y esta diferencia se aumenta a medida que lo hace la concentración iónica total. La alcalinidad secundaria, por el contrario, disminuye con la concentración iónica total.

(*) NOTAS ACLARATORIAS A LA TABLA N.º 29

- (1).—Tipo I.—(pág. 61)
 Tipo II.—Aguas sulfatadas (predomina el ión $\text{SO}_4^{=}$)
 Tipo III.—(pág. 65)
 C-b: Clase b.—Aguas magnésicas (predomina el ión Mg^{++})
 C-c.—(pág. 61)
 G-1.—(pág. 61)
 G-2.—Grupo 2.— $r \text{CO}_3^{=} + r \text{HCO}_3^- + r \text{SO}_4^{=} < r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++}$ o
 $r \text{Cl}^- > r \text{Na}^+$

- (2).—Clorurada normal.—(pág. 61)
 Oligoclorurada.—(pág. 65)
 Sulfatada normal.—(pág. 61)
 Oligosulfatada.— $r \text{SO}_4^{=}$ comprendido entre 6 y 24
 Hipocarbonatada.—(pág. 61)
 Carbonatada normal.—(pág. 61)
 Hipercarbonatada.—(pág. 61)
 T-3.—(pág. 61)
 C-c.—(pág. 61)
- (3).—T-A.—(pág. 61)
 T-B.—(pág. 65)
- (4).—T-3.—(pág. 65)
 T-4: Tipo 4.—(Aguas bicarbonatadas sulfatadas)
 $r \text{HCO}_3^{-} > 25\%$ y $r \text{SO}_4^{=} > 25\%$ de la suma de aniones
 T-5.—(pág. 65)
 T-7: Tipo 7.—(Aguas sulfato-cloruradas-bicarbonatadas)
 $r \text{SO}_4^{=} > 25\%$, $r \text{Cl}^{-} > 25\%$ y $r \text{HCO}_3^{-} > 25\%$ de la suma de aniones
 T-3.—(pág. 61)
 T-6.—(pág. 61)
 T-7.—(Aguas calcio-magnésico-sódicas) $r \text{Ca}^{++} > 25\%$, $r \text{Mg}^{++} > 25\%$ y
 $r \text{Na}^{+} > 25\%$.
- (5).—T-1.—(pág. 61) (sulfatada pura) (clorurada pura)
 T-2.—(pág. 61) (bicarbonatada-clorurada de transición)
 (bicarbonatada sulfatada de transición).
- (6).—T-I.—(pág. 61)
 T-III.—(pág. 65)
- (7).—T-1.—(pág. 65)
 T-2.—(pág. 61)
 G-A.—(pág. 61)
 G-B: Grupo B.—Aguas sulfatadas (predominio del ión $\text{SO}_4^{=}$)
 G-C.—(pág. 66)
 C-a.—(pág. 66)
 C-b.—(pág. 61)
- (8).—T-1.—(pág. 66)
 T-2.—(pág. 61)
 C-1: Clase 1.— $r \text{Ca}^{++} < r \text{HCO}_3^{-}$

En las aguas alcalinas, también la alcalinidad secundaria, es superior a la alcalinidad primaria, y su diferencia se hace mayor a medida que aumenta la concentración total.

En cuanto a la salinidad primaria, experimenta un aumento en función de la concentración total.

De acuerdo con las clasificaciones de Souline y Zakharina, las aguas alcalinas corresponden a sales bicarbonatadas sódicas y las salinas a disoluciones donde predomina el sulfato sódico.

TABLA N.º 26

Composición química de aguas de fuentes y galerías
Clasificación química

N.º	CE $\times 10^6$ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mg/l.	Mg ⁺⁺ mg/l.	Na ⁺ mg/l.	K ⁺ mg/l.	CO ₃ ⁼ mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ ⁼ mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	82	50	0.20	0.00	38.5	7.6	0.16	0.32	0.52	0.14	0.00	0.76	0.00	0.48	0.28
2	555	320	0.40	0.00	55.2	8.3	2.16	3.20	1.40	0.33	0.72	2.92	2.82	0.64	0.00
3	1.700	1.000	0.45	0.00	50.0	7.7	10.24	11.36	1.95	0.65	1.68	10.56	9.70	0.96	0.00
4	190	120	0.45	0.00	43.6	8.1	0.32	1.12	1.00	0.24	0.00	1.92	0.00	0.56	1.18
5	350	220	0.40	0.00	47.1	8.5	0.96	1.52	1.85	0.44	0.48	3.44	0.34	0.56	1.44
6	565	325	0.45	0.00	61.2	8.5	1.28	2.16	3.35	0.65	0.80	4.16	1.22	1.04	1.52

TABLA N.º 27

Clasificación química de aguas de galerías de la Isla de La Palma

N.º	ALEKINE (1)	SCHOELLER (2)	BAZILEVICH (3)	SHCHUKAREV (4)	FILATOV (5)	CHASE PALMER (6)	SOULINE (7)	ZAKHARINA (8)
1	Tipo I (Bicarbonatada) C—c (Sódica) G—1	Composición Clorurada normal Hipocarbonatadas i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—5 T—6 Bicarbonatadas cloruradas Magnésico Sódicas	T—2 Bicarbonatadas cloruradas de transición	T—1 2 d=0.9 S ¹ 2 (a—d)=0.4 A ¹ a b=0.32 A ²	T—2 Bicarbonatada Sódica G—A Bicarbonatada C—b	T—2 Bicarbonatada Sódica
2	Tipo I (Bicarbonatada) C—b (Magnésica) G—2	Composición Clorurada normal Sulfatada normal Carbonatada normal i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—4 T—4 Bicarbonatadas Sulfatadas calcio magnésicas	T—2 Bicarbonatada Sulfatada de transición	T—3 2 a=3.5 S ¹ 2 (d—a)=3.5 S ² 2 (a+b—d)=7.3 A ²	T—1 Sulfatada Sódica G—A Bicarbonatada C—a	T—1 Sulfatada Sódica C—1
3	Tipo I (Bicarbonatada) C—b (Magnésica) G—2	Composición Clorurada normal Oligosulfatadas Hipercarbonatadas i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—4 T—4 Bicarbonatadas sulfatadas calcio magnésicas	T—2 Bicarbonatada Sulfatada de transición	T—3 2 a=5.2 S ¹ 2 (d—a)=16.1 S ² 2 (a+b—d)=13.5 A ²	T—1 Sulfatada Sódica G—A Bicarbonatada C—a	T—1 Sulfatada Sódica C—1
4	Tipo I (Bicarbonatada) C—b (Magnésica) G—1	Composición Clorurada normal Hipocarbonatada i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—1 T—6 Bicarbonatadas Magnésico Sódicas	T—1 Bicarbonatada pura	T—1 2 d=1.1 S ¹ 2 (a—d)=1.2 A ¹ a b=1.8 A ²	T—2 Bicarbonatada Sódica G—A Bicarbonatada C—b	T—2 Bicarbonatada Sódica
5	Tipo I (Bicarbonatada) C—c (Sódica) G—1	Composición Clorurada normal Sulfatada normal Carbonatada normal i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—1 T—6 Bicarbonatadas Magnésico Sódicas	T—1 Bicarbonatada pura	T—1 2 d=1.8 S ¹ 2 (a—d)=2.8 A ¹ a b=5.7 A ²	T—2 Bicarbonatada Sódica G—A Bicarbonatada C—b	T—2 Bicarbonatada Sódica
6	Tipo I (Bicarbonatada) C—c (Sódica) G—1	Composición Clorurada normal Sulfatada normal Carbonatada normal i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—1 T—6 Bicarbonatadas Magnésico Sódicas	T—1 Bicarbonatada pura	T—1 2 d=4.5 S ¹ 2 (a—d)=3.5 A ¹ a b=13.8 A ²	T—2 Bicarbonatada Sódica G—A Bicarbonatada C—b	T—2 Bicarbonatada Sódica

TABLA N.º 28

Composición química de aguas basales
Clasificación química

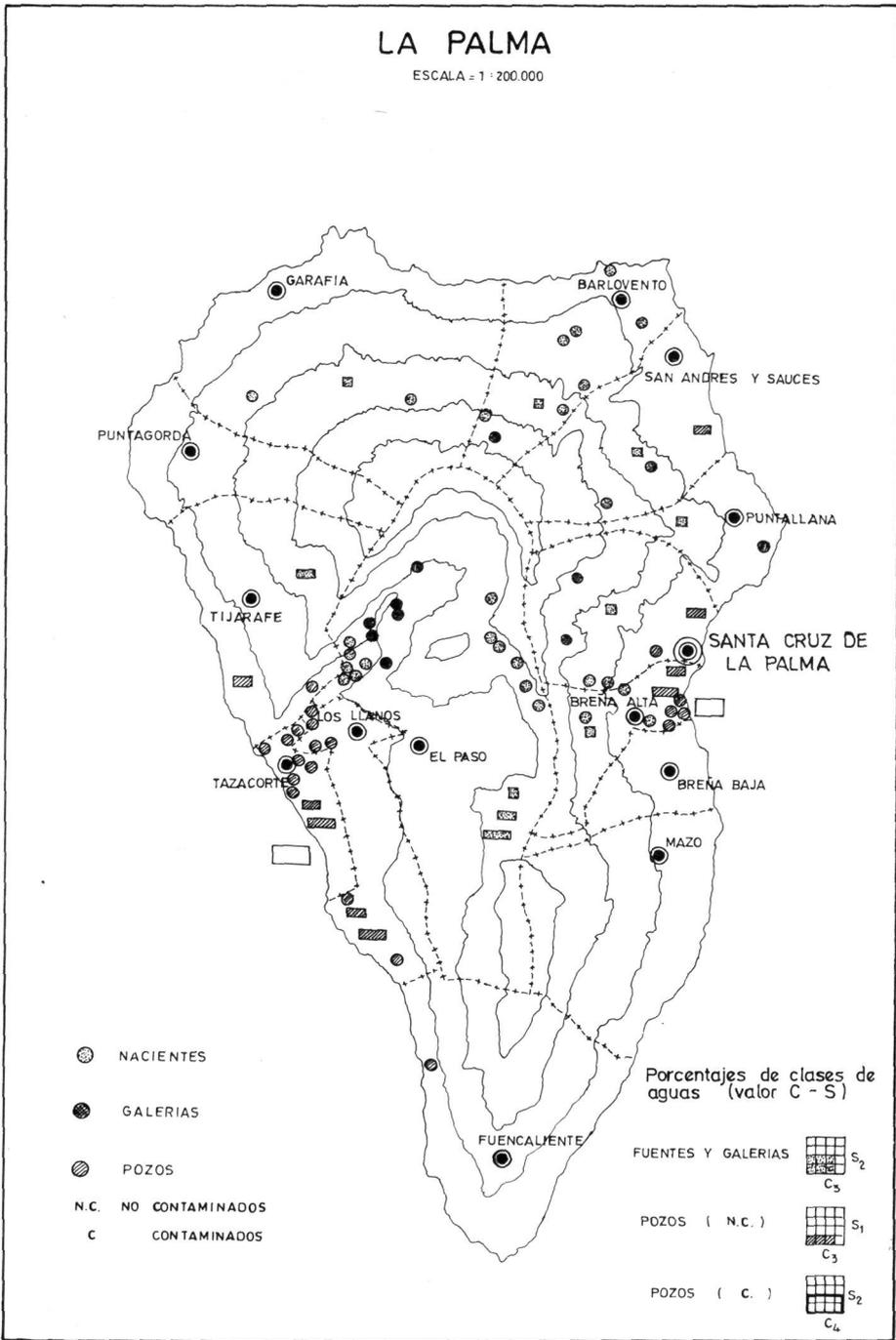
N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	320	220	0.60	0.00	39.4	7.6	0.56	0.72	2.35	0.51	0.00	2.28	0.34	1.28	1.00
2	600	380	0.25	0.00	38.5	8.3	2.32	2.80	2.31	0.38	0.00	3.84	2.74	0.88	0.00
3	1.020	680	0.30	0.00	41.9	9.1	1.84	3.12	8.75	1.21	1.60	6.36	4.74	2.00	3.00
4	1.600	1.050	0.50	0.00	44.5	7.7	1.68	6.88	9.50	3.15	1.12	4.48	11.06	3.36	0.00
5	1.700	1.100	0.50	0.00	33.8	7.7	1.20	4.00	14.25	1.84	0.00	2.72	4.82	13.60	0.00
6	2.650	1.700	0.30	0.00	43.7	7.2	2.64	0.96	18.25	3.60	0.00	9.68	10.90	11.36	6.08

Clasificación química de aguas basales de la Isla de La Palma

N.º	ALEKINE (1)	SCHOELLER (2)	BAZILEVICH (3)	SHCHUKAREV (4)	FILATOV (5)	CHASE PALMER (6)	SOULINE (7)	ZAKHARINA (8)
1	Tipo I (Bicarbonatada) C—c (Sódica) G—1	Composición clorurada normal sulfatada normal carbonatada normal i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—5 T—3 Bicarbonatada clorurada sódica	T—2 Bicarbonatada clorurada de transición	T—I 2 d=3.2 S ₁ 2 (a—d)=2.5 A ₁ a b=3.7 A ₂	T—2 Bicarbonatada sódica G—A Bicarbonatada C—b	T—2 Bicarbonatada sódica
2	Tipo I (Bicarbonatada) C—b (magnésica) G—2	Composición clorurada normal sulfatada normal carbonatada normal i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—4 T—7 Sulfatada calcio-magnésico Sódica	T—2 Bicarbonatada sulfatada de transición	T—III 2 a=5.4 S ₁ 2 (d—a)=1.9 S ₂ 2 (a+b—d)=8.4 A ₂	T—1 Sulfatada sódica G—A Bicarbonatada C—a	T—1 sulfatada sódica C—1
3	Tipo I (Bicarbonatada) C—c (sódica) G—1	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipercarbonatada i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—4 T—3 Bicarbonatada sulfatada sódica	T—2 Bicarbonatada sulfatada de transición	T—I 2 d=13.4 S ₁ 2 (a—d)=6.4 A ₁ a b=49.4 A ₂	T—2 Bicarbonatada sódica G—A Bicarbonatada C—b	T—2 Bicarbonatada sódica
4	Tipo II (sulfatada) C—c (sódica) G—2	Composición clorurada normal Oligosulfatada carbonatada normal i c b— T—3 C—c	T—B Sulfatada clorurada	T—4 T—6 Bicarbonatada sulfatada magnésico-sódico	T—1 Sulfatada pura	T—III 2 a=25.3 S ₁ 2 (d—a)=3.5 S ₂ 2 (a+b—d)=13.6 A ₂	T—1 Sulfatada sódica G—B sulfatada C—a	T—1 sulfatada sódica C—1
5	T—III (clorurada) C—c (sódica) G—2	Composición Oligoclorurada sulfatada normal carbonatada normal i c b— T—3 C—c	T—B Sulfatada clorurada T—3 C—c	T—3 T—3 cloruradas sódicas	T—1 clorurada pura	T—III 2 a=32.2 S ₁ 2 (d—a)=4.7 S ₂ 2 (a+b—d)=5.7 A ₂	T—1 Sulfatada sódica G—c clorurada C—a	T—1 sulfatada sódica C—1
6	Tipo III (clorurada) C—c (sódica) G—1	Composición Oligoclorurada Oligosulfatada hipercarbonatada i c b— T—3 C—c	T—B Sulfatada clorurada	T—7 T—3 Sulfato-clorurada- bicarbonatada sódica	T—2 clorurada- bicarbonatada sulfatada de transición	T—III 2 a=43.7 S ₁ 2 (d—a)=0.8 S ₂ 2 (a+b—d)=6.4 A ₂	T—1 Sulfatada sódica G—c clorurada C—a	T—1 Sulfatada sódica C—1

LA PALMA

ESCALA = 1 : 200.000



XVI. *ISLA DE LA GOMERA*

XVII. LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA GOMERA

Para realizar un estudio de las características químicas de las aguas subterráneas de la Isla de La Gomera, se puede dividir en dos mitades: Norte y Sur, de características litológicas diferentes (36), subdivididas a su vez en diez cuencas hidrográficas.

Según Bravo (36), la mitad Norte, presenta como característica principal, el predominio de manantiales de agua colgada de gran caudal, y numerosas fuentes de ladera de pequeño caudal, muy difundidas por toda la plataforma central.

En la mitad Norte, son escasas las aguas basales en toda la faja costera, por lo que esta zona es bastante pobre, en lo que se refiere a estos recursos de aguas subterráneas.

La característica principal de la región Sur, corresponde a la existencia de aguas colgadas, de caudal menor que las existentes en la vertiente Norte, fuentes difusas de escaso caudal principalmente en los bosques, y aguas basales en la faja costera, que representan el principal recurso hidrológico de esta zona.

Se han realizado intentos de prospección de aguas, mediante la construcción de galerías, con resultados poco alentadores. En la actualidad, el volumen más importante de aguas en esta Isla, corresponde a los manantiales que hemos indicado.

Es muy difícil señalar un número exacto de nacientes en la Isla de La Gomera, por su amplia difusión en toda la Isla. En nuestro trabajo, hemos estudiado las aguas que manan de 32 nacientes, que consideramos representativos de la totalidad de la Isla.

De estos nacientes, 18 pertenecen a la vertiente Norte y 14 a la vertiente Sur.

La misma dificultad que existe en señalar un número exacto de nacientes, se presenta al intentar establecer sus caudales particulares. En la Tabla N.º (30), se indican los caudales totales correspondientes a las diez cuencas hidrográficas a que nos hemos referido.

En cuanto a las aguas de pozos, hemos estudiado 15 manantiales, distribuidos en las vertientes Norte (seis) y Sur (nueve).

La situación tanto de los nacientes como de los pozos, se encuentra señalado en el Plano (1), donde se indican las vertientes Norte y Sur, así como las cuencas hidrográficas en que Bravo divide la Isla de La Gomera.

TABLA N.º 30

CAUDALES EN LAS DIFERENTES CUENCAS HIDROGRAFICAS DE LA ISLA DE LA GOMERA

CUENCA HIDROGRAFICA	VERTIENTE	NACIENTES m ³ /año	POZOS m ³ /año	TOTAL m ³ /año
1.—HERMIGUA	Norte	1.300.000	100.000	1.400.000
2.—AGULO	"	470.000		470.000
3.—NORTE	"	94.500		94.500
4.—VALLEHERMOSO	"	800.000		800.000
5.—NOROESTE	"	621.500		621.500
6.—VALLE GRAN REY	"	1.500.000	1.000.000	2.500.000
7.—SUROESTE	Sur	216.500	450.000	666.500
8.—SUR	"	720.000	850.000	1.570.000
9.—BCO. LA VILLA	"	532.000	700.000	1.232.000
10.—NORDESTE	Norte			

CAUDAL NACIENTES = 6.254.500 m³/año

CAUDAL POZOS = 3.100.000 m³/año

CAUDAL TOTAL = 9.354.500 m³/año

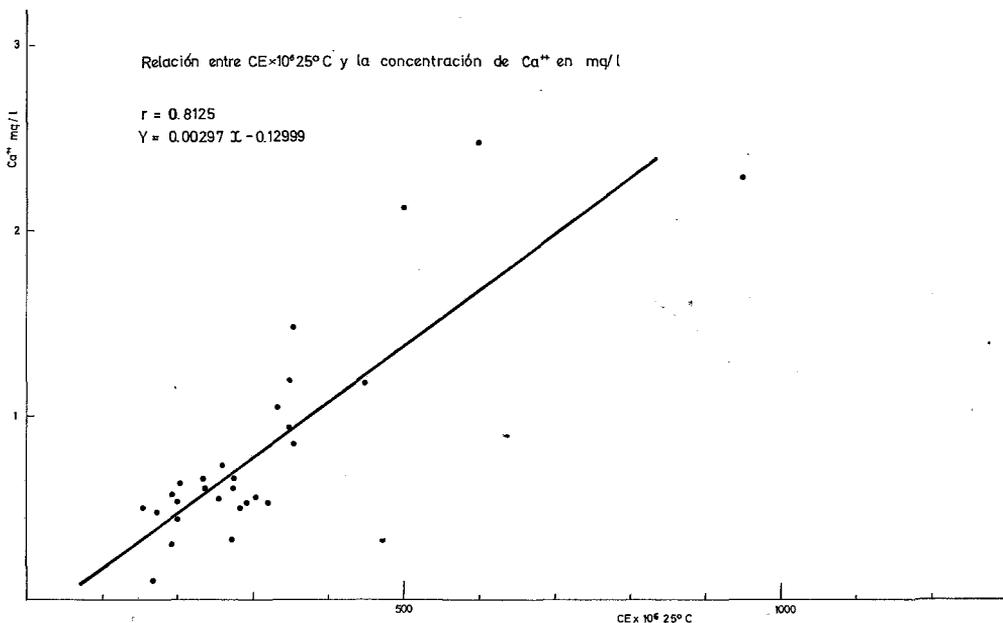
XVIII. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA GOMERA

Las aguas de nacientes en la Isla de La Gomera, son en general de baja salinidad, con valores para la conductividad eléctrica, comprendidos entre 155 y 950 micromhos por cm. a 25°C. Los valores de conductividad más frecuentes, están comprendidos entre 155 y 500 micromhos por cm.

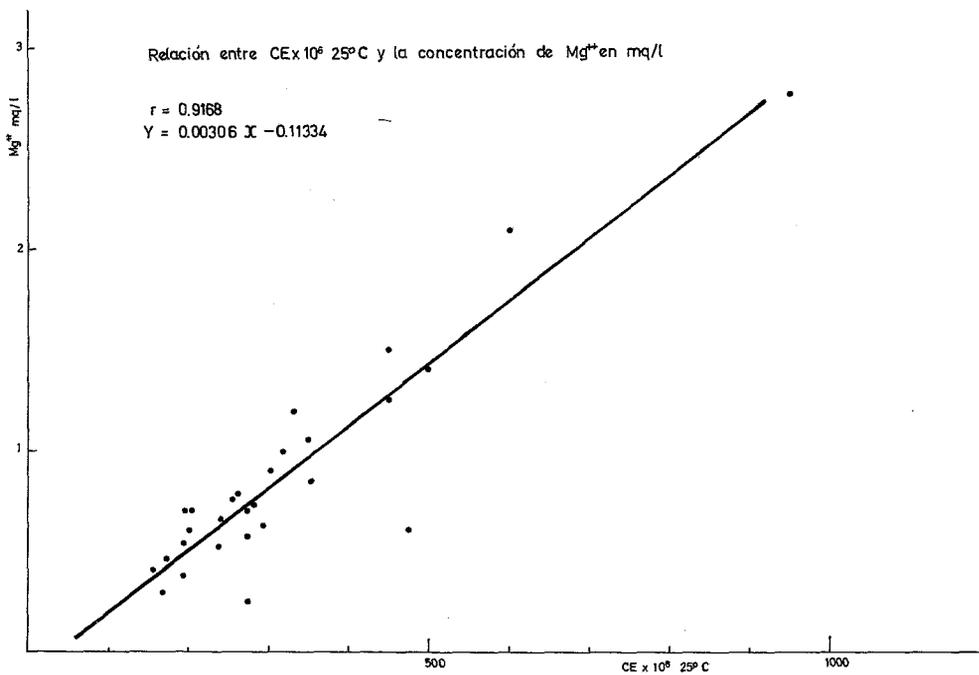
En estas aguas, las concentraciones de los cationes guardan generalmente la relación $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$, encontrándose algunos manantiales donde $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$ y $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+$.

En estos manantiales, existe una correlación positiva significativa al 0.1%, entre la conductividad eléctrica en micromhos por cm. y las concentraciones de los iones Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ en mq/l. Los coeficientes de correlación respectivos son del orden de $r=0.8125$, $r=0.9168$ y $r=0.8024$. Gráficas N.º (24), (25) y (26).

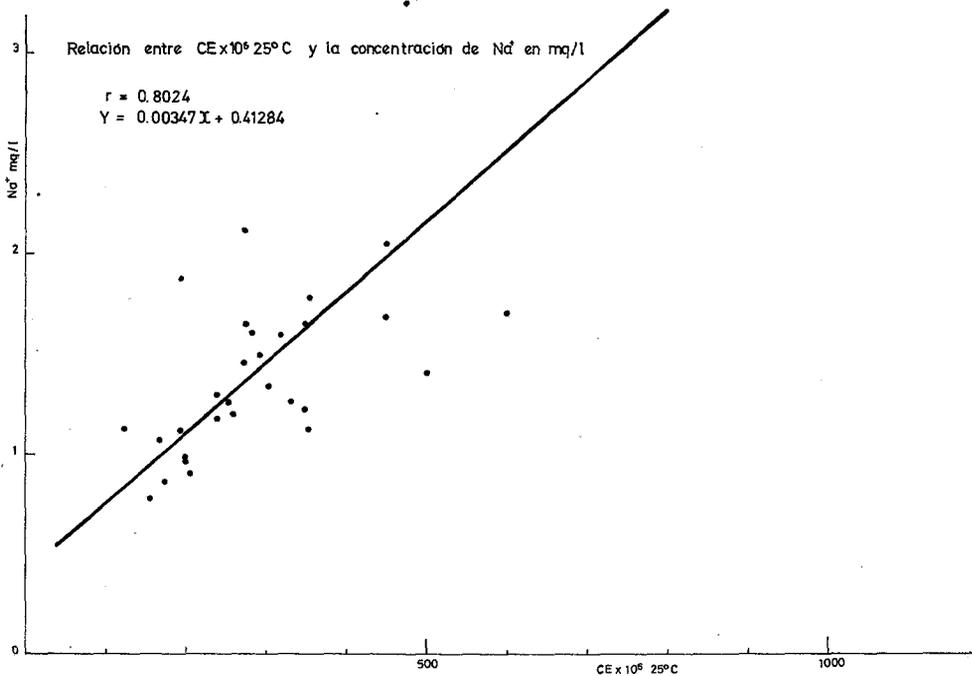
Las concentraciones del ión Na^+ , es en general, superior a cada uno de los restantes cationes separadamente, sin embargo, esta diferencia es de escasa magnitud, como puede observarse en las representaciones gráficas de estas aguas en las Figuras N.º (20) y (21).



GRAFICA N.º 24



GRAFICA N.º 25



GRAFICA N.º 26

Por otra parte, esta relativa igualdad en la concentración de los cationes Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ , justifica el que los coeficientes de correlación sean aproximadamente de igual orden de magnitud.

Las concentraciones de los iones Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ , están comprendidas entre 0.10-2.48 mq/l., 0.24-2.78 mq/l. y 0.70-4.16 mq/l. respectivamente.

La concentración de K^+ , es baja en general y oscila entre 0.01 mq/l. y 0.30 mq/l.

El ión HCO_3^- , es generalmente el anión predominante, encontrándose algunas aguas de nacientes, con una concentración de Cl^- , superior a la correspondiente de HCO_3^- .

La concentración del ión HCO_3^- , está comprendida entre 0.12 mq/l. y 3.44 mq/l.

En estos manantiales, la conductividad eléctrica se encuentra correlacionada significativamente a nivel del 0.1%, con las concentraciones de $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$ en mq/l. Gráfica N.º (27).

El ión $\text{CO}_3^{=}$, sólo se encuentra en cinco manantiales y en valores no superiores a 1.52 mq/l.

El ión Cl^- aparece en todos los manantiales y su concentración está comprendida entre 0.70 mq/l. y 3.36 mq/l.

Existe una correlación significativa a nivel del 0.1%, entre la conductividad eléctrica y la concentración de Cl^- en mq/l. Gráfica N.º (28).

En estas aguas de nacientes, se observa también una correlación significativa a nivel del 0.1%, entre las concentraciones de $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$ en mq/l. y cada uno de los iones Ca^{++} y Mg^{++} en mq/l. Gráficas N.º (29) y (30).

No existe correlación significativa entre las concentraciones de $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$ en mq/l. y el ión Na^+ en mq/l.

Este último caso, puede ser considerado como una excepción en las características químicas de las aguas subterráneas de las Islas Canarias Occidentales, donde siempre hemos encontrado correlaciones positivas entre los iones $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$ y Na^+ .

Diagrama de Rezzo Mancha... Aguas de nacientes

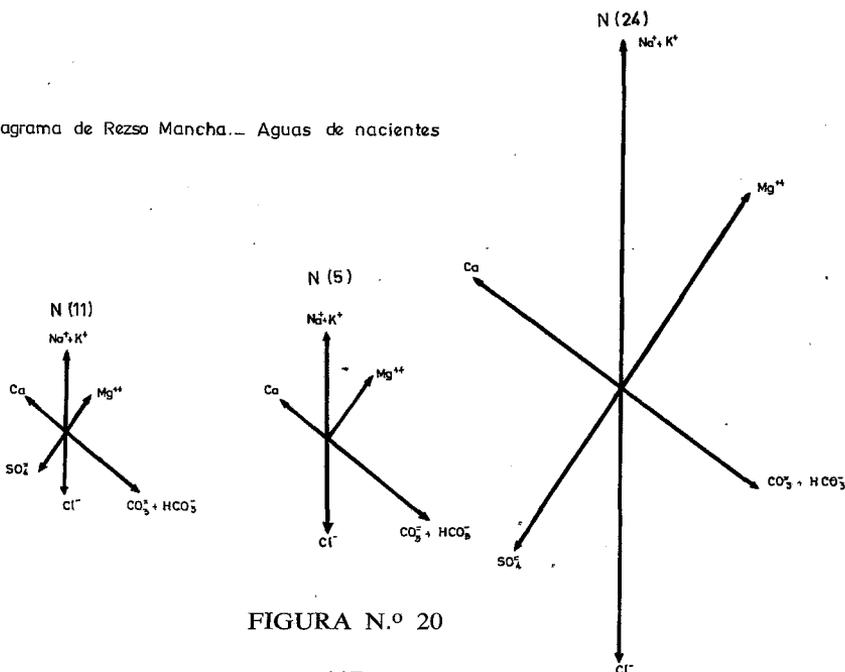


FIGURA N.º 20

- - - - - N(11)
 - . - . - N(5)
 _____ N(24)

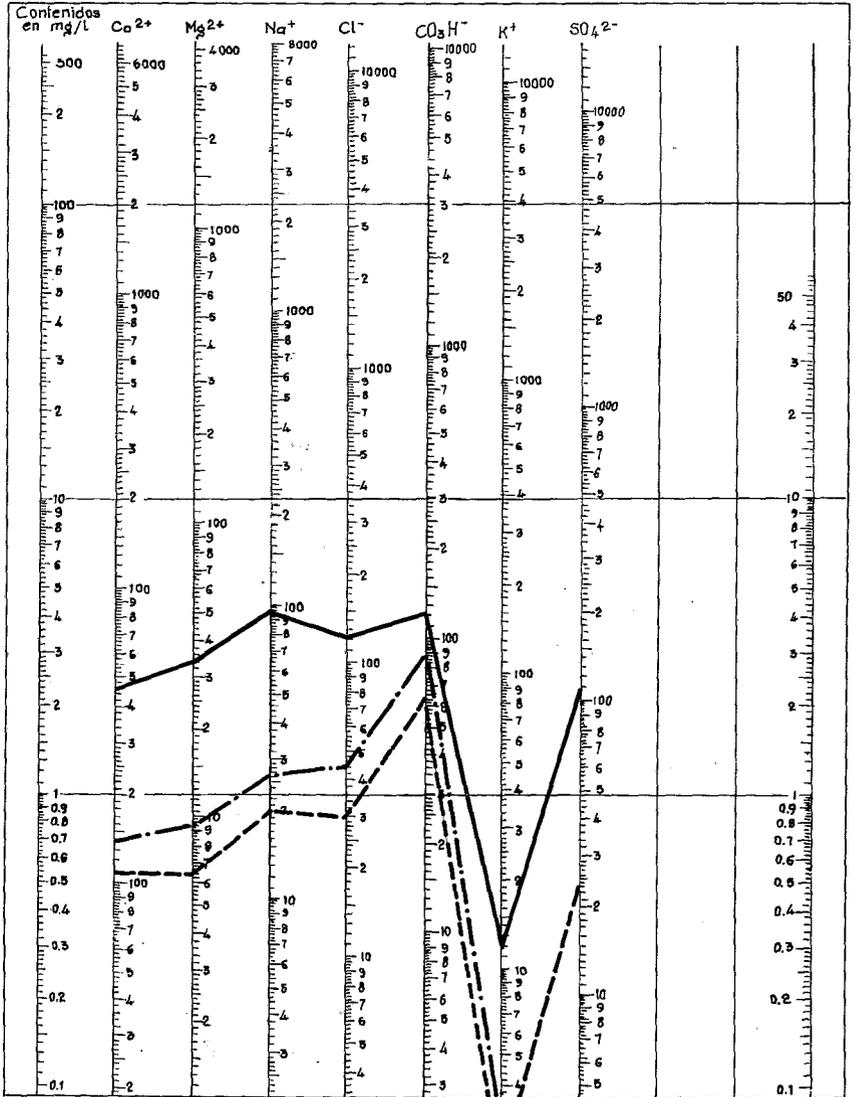
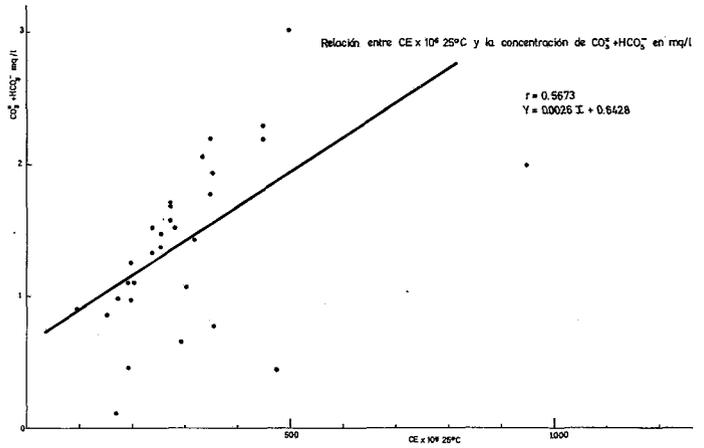
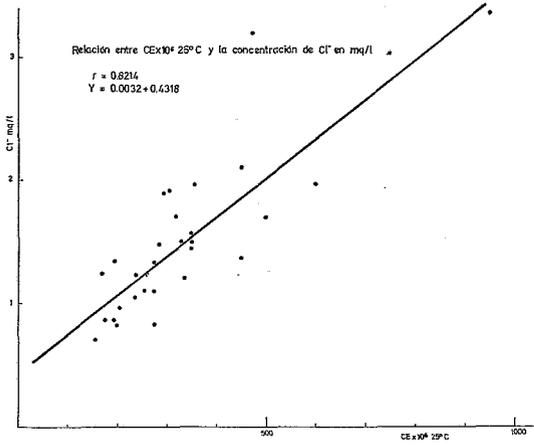


FIGURA N.º 21

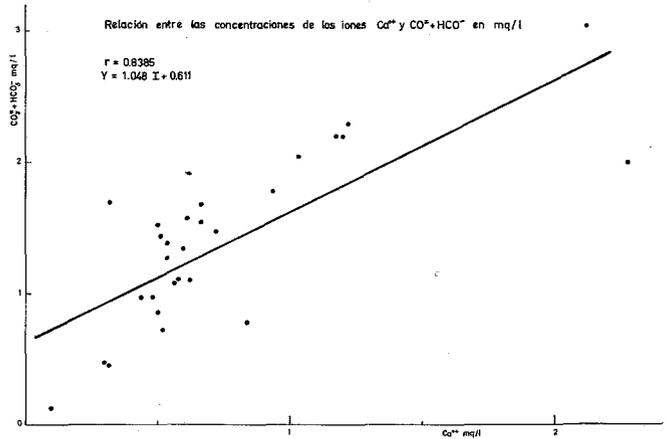
GRAFICA N.º 27

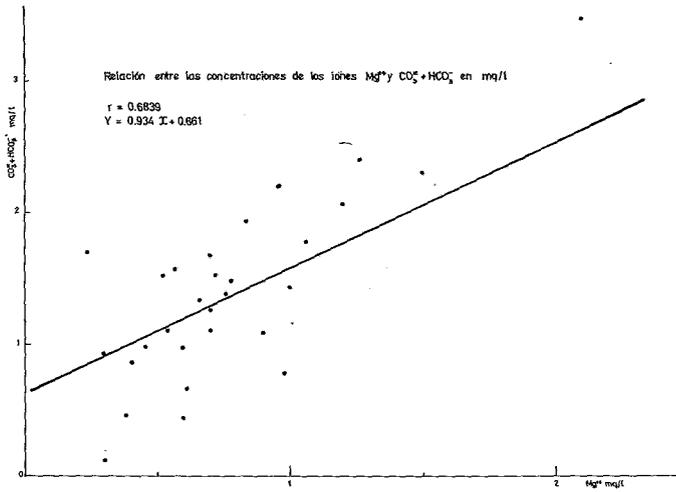


GRAFICA N.º 28

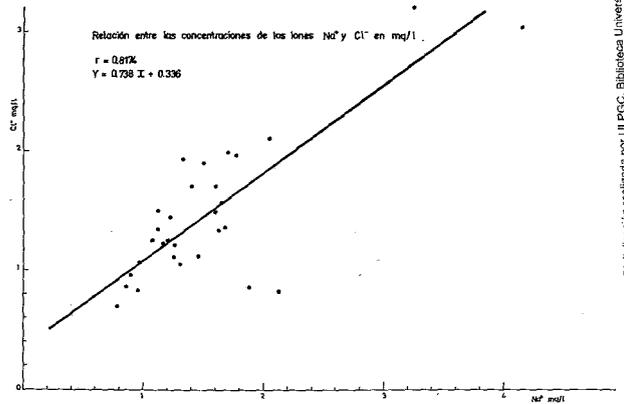


GRAFICA N.º 29

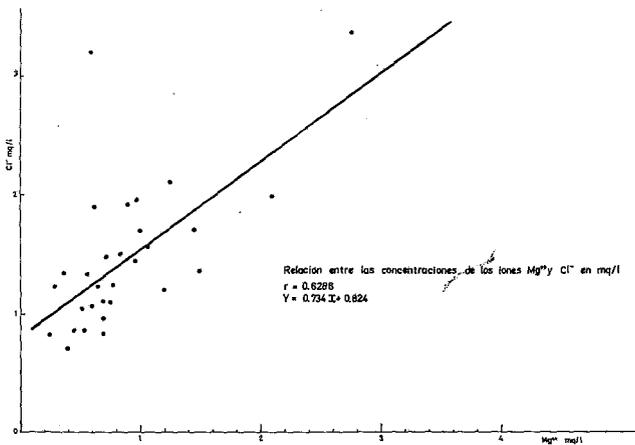




GRAFICA N.º 30



GRAFICA N.º 31



GRAFICA N.º 32

Estas correlaciones significativas a nivel superior al 0.1%, entre el $\text{CO}_3 = + \text{HCO}_3^-$ y cada uno de los iones Ca^{++} y Mg^{++} , nos indica que las principales sales que forma el ión HCO_3^- es con estos iones, lo que da lugar, a que en la clasificación química de estos manantiales, la alcalinidad secundaria (sales de los iones $\text{CO}_3 =$ y HCO_3^- con los metales alcalino-térreos Ca^{++} y Mg^{++}), sea superior a la alcalinidad primaria (sales de los iones $\text{CO}_3 =$ y HCO_3^- con los metales alcalinos Na^+ y K^+), superioridad que se manifiesta en mayor grado, en las aguas de nacientes de mayor concentración salina.

En las aguas de nacientes, no se observan grandes diferencias entre las concentraciones de los iones Cl^- y HCO_3^- , como se observa en las representaciones gráficas de estos tipos de aguas.

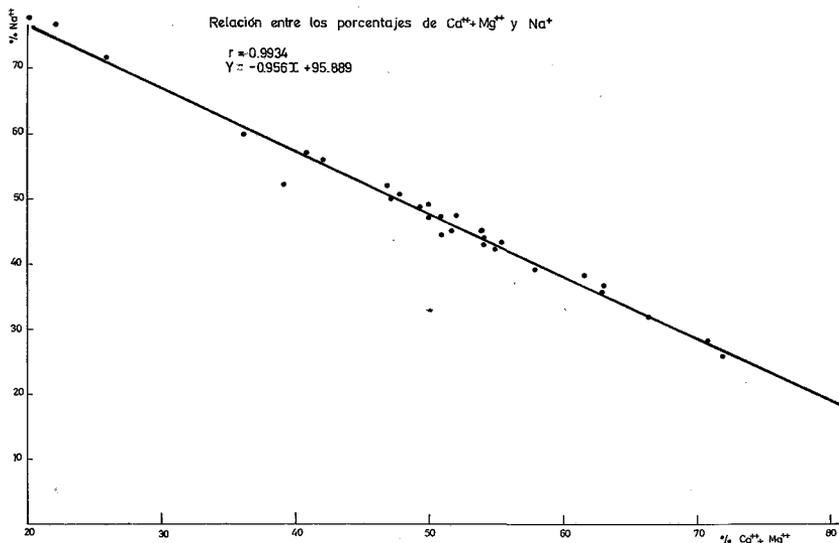
En estos manantiales, existe una correlación significativa a nivel del 0.1% entre las concentraciones del ión Cl^- y las correspondientes a cada uno de los iones Na^+ y Mg^{++} , expresados en mq/l. Los índices de correlación respectivos son del orden de $r=0.8174$ y $r=0.6286$. Gráficas N.º (31) y (32).

En el caso de la correlación entre los iones Cl^- y Ca^{++} en mq/l., aunque es significativa, lo es solamente a nivel del 1% y por tanto inferior a la que existe entre el ión Cl^- y cada uno de los iones Na^+ y Mg^{++} .

Todas estas correlaciones anteriores, están de acuerdo con los diversos sistemas de clasificación química, que consideran la salinidad primaria de estas aguas, superior a la secundaria. La salinidad primaria, la origina las combinaciones del ión Cl^- con los metales alcalinos (Na^+) y la secundaria con los metales alcalino-térreos (Ca^{++} y Mg^{++}).

El ión $\text{SO}_4 =$, es poco frecuente en la mayor parte de estos manantiales y su concentración está comprendida entre 0.06 mq/l. y 2.42 mq/l., siendo generalmente su valor medio inferior a la unidad.

En estas aguas de nacientes, existe una correlación significativa a nivel del 0.1% entre los porcentajes de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ y Na^+ , calculados sobre la suma total de cationes. Gráfica N.º (33).



GRAFICA N.º 33

Por lo general, el pH de estas aguas, está comprendido entre 7 y 8. Valores de pH inferiores a 7, solamente se encuentran en tres nacientes de la región de Agulo y pH superiores a 9, en tres manantiales situados en las regiones de Vallehermoso y San Sebastián.

Los valores de SiO_2 , están comprendidos entre 15.0 p.p.m. y 68.7 p.p.m.

En las aguas procedentes de los nacientes orientados hacia el Sur, se encuentran las mayores concentraciones de SiO_2 , superiores generalmente a 30 p.p.m., y una concentración máxima de 68.7 p.p.m. en la cuenca hidrográfica N.º 9.

En la región Norte, excepcionalmente el SiO_2 alcanza valores elevados (65.3 p.p.m.) en la cuenca hidrográfica N.º 1, en un manantial situado en la región de Hermigua. Tabla N.º (31).

Entre el pH de estas aguas y la concentración de SiO_2 en p.p.m., existe una correlación significativa a nivel del 2%.

La concentración de SiO_2 en p.p.m., está igualmente muy poco correlacionada con la temperatura de las aguas en el origen del manantial. Esta correlación es sólo significativa a nivel del 10%.

En este caso, la baja correlación observada, se debe fundamentalmente, al origen poco profundo de estas aguas, en regiones de improbable actividad geotérmica y a un contacto muy limitado con los materiales del subsuelo.

La concentración del ión F^- en estos manantiales, no alcanza valores superiores a 0.35 p.p.m.

El Boro no se encuentra presente en las aguas de nacientes de esta Isla.

El carbonato sódico residual es muy bajo. Sólo en un manantial se alcanza el valor de 1.30 mq/l.

En la Tabla N.º (32), se indica la composición iónica de aguas de nacientes, consideradas como representativas de la Isla.

TEMPERATURA Y CONTENIDO DE O_2 Y CO_2 EN LAS AGUAS DE NACIENTES

En estas aguas de nacientes, hemos efectuado determinaciones in situ, de temperatura, O_2 y CO_2 , en el origen del manantial. Estas determinaciones fueron realizadas en el mes de agosto de 1971.

En general la temperatura de las aguas, es inferior a la temperatura ambiente, oscilando entre 14°C y 25°C. Las temperaturas inferiores fueron registradas en las aguas de la región de Hermigua (14.5°C y 15°C) y las más altas en dos nacientes de la zona de San Sebastián (25°C).

En general, las temperaturas más elevadas corresponden a los nacientes orientados al Sur.

En cuanto al O_2 disuelto, sus valores máximos y mínimos son del orden de 13 y 9 p.p.m. respectivamente, y los más frecuentes corresponden a 10, 11 y 12 p.p.m.

En estas aguas de nacientes no existe correlación entre el pH y el O_2 disuelto, como tampoco existe una relación entre el contenido de este elemento y la situación de los manantiales en las diferentes cuencas hidrográficas.

Los valores de CO_2 disuelto, son generalmente inferiores a 5 p.p.m. En sólo ocho nacientes, hemos encontrado una concentración de 10 p.p.m.

Como caso excepcional, dentro del conjunto de aguas de nacientes de la Isla, podemos considerar el nacimiento de Las Hayas, en la cuenca hidrográfica N.º 6, cuyas aguas contienen 1.020 p.p.m. de CO_2 disuelto.

TABLA N.º 31

<i>N.º de muestras</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Media</i>	<i>Cuenca hidrográfica</i>	<i>Vertiente</i>
4	65.3	17.1	41.2	1	Norte
4	43.9	15.0	28.6	2	"
2	56.7	38.5	47.6	3	"
5	34.2	21.4	28.0	4	"
—	—	—	—	5	"
2	55.6	25.7	40.6	6	"
1	65.3	—	—	10	"
2	51.4	58.8	55.1	7	Sur
4	66.3	39.6	48.7	8	"
5	68.7	30.4	47.5	9	"

TABLA N.º 32

Composición química de aguas de nacientes

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mg/l.	Mg ⁺⁺ mg/l.	Na ⁺ mg/l.	K ⁺ mg/l.	CO ₃ ⁼ mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ ⁼ mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	195	194	0.15	0.00	42.8	7.1	0.58	0.54	1.88	0.04	0.00	1.10	0.62	0.86	0.00
2	260	198	0.15	0.00	42.8	7.3	0.72	0.78	1.20	0.15	0.00	1.48	0.00	1.24	0.00
3	500	390	0.15	0.00	34.2	7.6	2.12	1.46	1.40	0.02	0.28	2.74	0.00	1.70	0.00
4	950	806	0.15	0.00	34.2	7.1	2.28	2.78	4.16	0.30	0.00	2.00	2.42	3.36	0.00

b) CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS BASALES O DE POZOS

En la Isla de La Gomera, los aprovechamientos más importantes de las aguas basales, se encuentran en la región Sur.

Los estudios hidrológicos de aguas basales, en la región Norte, realizados por Bravo, confirman la escasez de este tipo de manantiales subterráneos en esta zona.

Los pozos situados al Norte de la Isla, corresponden principalmente a depósitos de escasa magnitud, formados por la infiltración de aguas superficiales, generalmente de nacientes, que discurren por los barrancos donde están situados estos pozos. Como consecuencia, la reserva hidráulica de estos manantiales es escasa y de rápido agotamiento durante el proceso de extracción, y depende de la capacidad total de estas perforaciones.

Las características químicas de estas aguas, Tabla N.º (33), están influenciadas por infiltraciones procedentes de aguas de drenaje de las explotaciones agrícolas próximas, y no responden a una composición definida, que pueda considerarse característica de un grupo de aguas subterráneas.

Como se observa en esta tabla, para concentraciones de Cl^- , relativamente próximas, la variación de la conductividad son muy amplias, fenómeno poco frecuente en las aguas basales.

En los pozos situados en la faja costera del Sur de la Isla, se pueden distinguir diferentes cuencas hidrográficas bien definidas y caracterizadas por un aumento en la concentración salina, al pasar de la región oriental a la zona más occidental.

En la cuenca hidrográfica N.º 9, de orientación Sur-Este, los pozos situados en el estuario del barranco de San Sebastián alcanzan las aguas basales a poca profundidad (las perforaciones no suelen ser superiores a 30 metros) y sus características químicas son muy semejantes a las aguas de nacientes. Baja salinidad, conductividad eléctricas no superiores a 545 micromhos por cm. a 25°C, y unos valores muy próximos en las concentraciones de aniones y cationes. Tabla. N.º (34).

Mas hacia el Sur, en las cuencas hidrográficas N.º 7 y 8, se encuentran los pozos situados en La Rajita y Puerto Santiago, que suelen ser más profundos.

En estos pozos, la concentración salina aumenta, y la conductividad eléctrica alcanza valores de 1.050 micromhos por cm., en los pozos más próximos a las costas. Los valores mínimos de conductividad (400 micromhos por cm.), corresponden a las aguas procedentes de los pozos más alejados del mar.

Los iones Na^+ y Cl^- , predominan sobre los restantes cationes y aniones siguiendo estos iones, las mismas variaciones que la conductividad, aumentando o disminuyendo en función de la distancia a las costas de estos manantiales. Las características químicas de estas aguas se indican en la Tabla N.º (35).

En la cuenca hidrográfica N.º 6, de orientación Sur-Oeste, en la región de Valle Gran Rey, se encuentran los pozos, cuyas aguas presentan el mayor contenido en sólidos totales disueltos, con valores de conductividad eléctrica, comprendidos entre 1.050 y 3.500 micromhos por cm.

En estas aguas la concentración del ión Cl^- , es comparativamente más elevada, que los restantes aniones: $\text{CO}_3^{=}$ + HCO_3^- y $\text{SO}_4^{=}$. Su concentración está comprendida entre 4.42 y 28.18 mq/l.

El ión HCO_3^- , es frecuente en estas aguas, pero su concentración nunca es superior a 3.32 mq/l.

TABLA N.º 33

Composición química de aguas basales en el Norte de la Isla

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ = mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ = mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	850	604	0.35	0.00	38.5	7.1	2.60	2.66	4.45	0.07	0.00	2.60	2.06	2.36	0.00
2	1.300	1.006	0.45	0.00	52.4	7.5	2.92	3.68	7.30	0.13	0.52	3.28	3.04	3.14	0.00

TABLA N.º 34

Composición química de aguas basales en la Cuenca Hidrográfica N.º 9

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ = mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ = mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	500	396	0.30	0.00	32.1	7.3	1.34	1.68	2.04	0.06	0.00	1.98	1.20	1.74	0.00
2	500	396	0.20	0.00	26.7	7.2	1.37	1.52	1.62	0.05	0.00	1.56	1.12	1.70	0.00
3	500	376	0.15	0.00	31.0	7.1	1.36	1.62	1.68	0.05	0.00	1.46	1.20	2.36	0.00

TABLA N.º 35

Composición química de aguas basales en las Cuencas Hidrográficas N.º 7 y 8

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	700	416	0.20	0.00	55.6	7.1	0.96	1.94	4.60	0.10	0.00	2.32	0.48	4.30	0.00
2	1.000	610	0.20	0.00	58.0	7.2	1.40	2.30	5.85	0.11	0.00	2.04	0.52	6.80	0.00
3	1.050	614	0.15	0.00	55.8	7.1	2.10	3.20	5.50	0.12	0.00	2.83	1.30	5.98	0.00
4	400	384	0.30	0.00	64.2	7.5	0.82	1.26	1.96	0.07	0.00	2.64	0.50	1.42	0.56

TABLA N.º 36

Composición química de aguas basales en la Cuenca Hidrográfica N.º 6

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	1.050	790	0.15	0.00	32.1	7.2	3.20	3.28	3.52	0.11	0.00	3.32	0.22	4.42	0.00
2	2.600	2.178	0.05	0.00	47.1	7.2	8.50	8.34	10.80	0.25	0.36	2.92	2.16	20.36	0.00
3	2.700	2.214	0.00	0.00	32.1	7.1	7.54	11.88	5.70	0.36	0.00	3.24	0.86	22.72	0.00
4	3.500	2.588	0.10	0.00	30.0	7.1	10.50	11.40	13.00	0.29	0.00	2.60	5.90	28.18	0.00

En cuanto al ión $\text{SO}_4^{=}$, su concentración media es relativamente baja, con excepción de un sólo manantial, muestra N.º 4 de la Tabla N.º (36), en el que la concentración es de 5.90 mg/l.

En lo que se refiere a los cationes, no se observan grandes diferencias en sus concentraciones máximas y mínimas como se indica a continuación:

	conc. máxima	conc. mínima
Ca++	10.50 mg/l.	3.20 mg/l.
Mg++	11.88 "	3.28 "
Na+	13.00 "	3.52 "

En las Figuras N.º (22) y (23) se representan gráficamente la composición química de aguas basales, consideradas como características en las diferentes cuencas hidrográficas a que hemos hecho referencia, y en los que se observan gráficamente, el aumento de la concentración iónica total y las concentraciones de los iones Cl^- y Na^+ al pasar de la región oriental a la zona más occidental.

En las aguas basales de la Isla de La Gomera, se observa igual significación al 0.1%, en las correlaciones entre la conductividad eléctrica y los cationes solubles Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ . Gráficas N.º (34), (35) y (36).

Sin embargo, en el caso de los aniones, estas correlaciones varían considerablemente de unos a otros. Las más elevadas corresponden a los iones Cl^- , con una significación del 0.1% y las más bajas a los iones $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$, con una significación sólo al nivel del 10%. Con el ión $\text{SO}_4^{=}$ es intermedia, con una significación al nivel del 2%. Gráfica N.º (37).

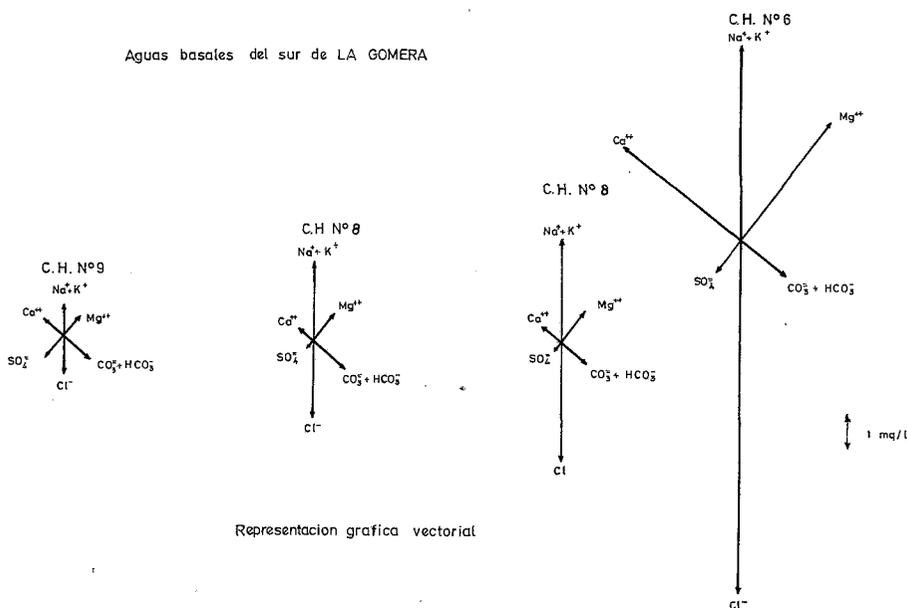
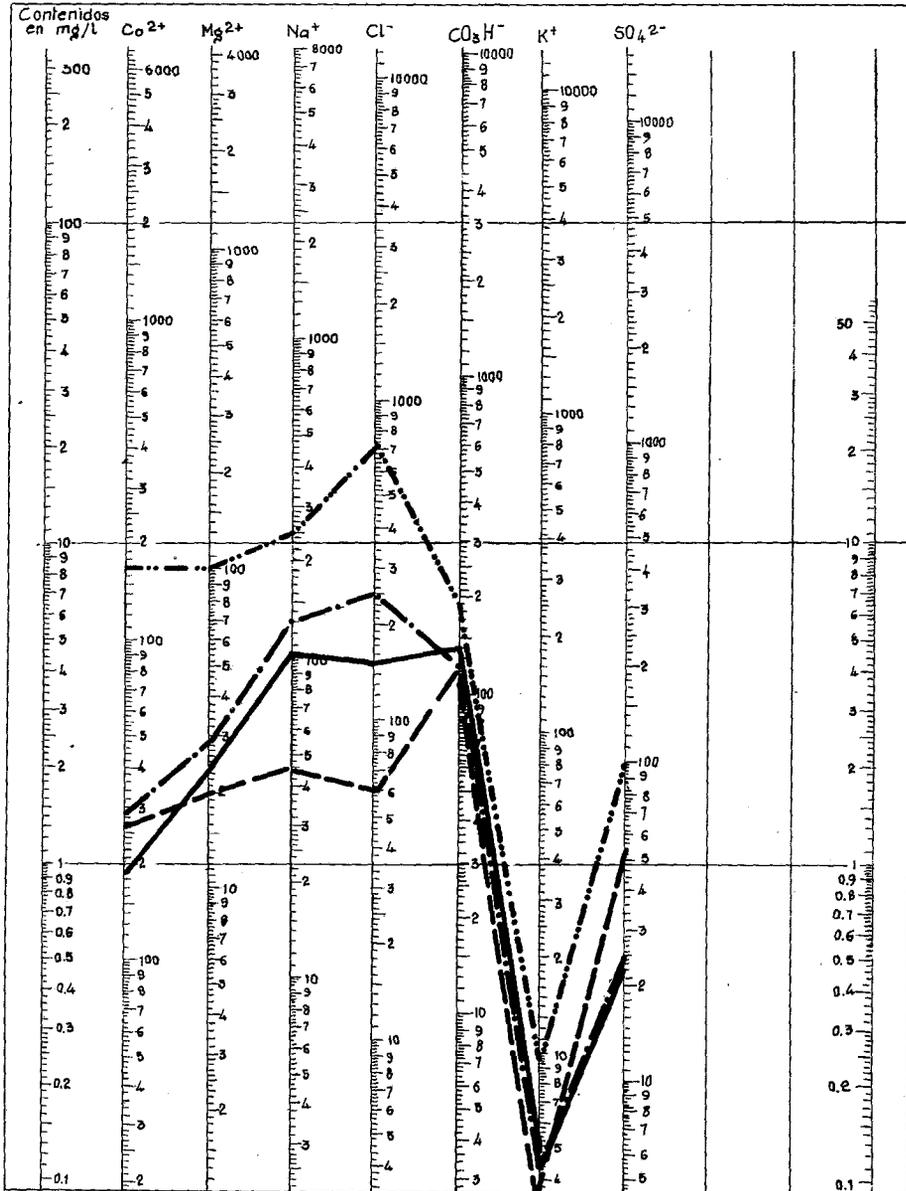


FIGURA N.º 22

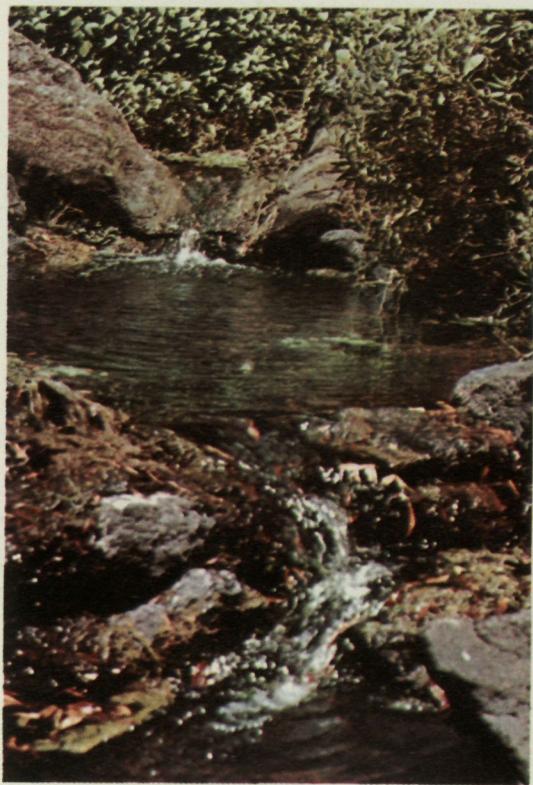
- C. H. N° 6
- C. H. N° 8
- C. H. N° 8
- C. H. N° 9

Aguas basales del sur de LA GOMERA



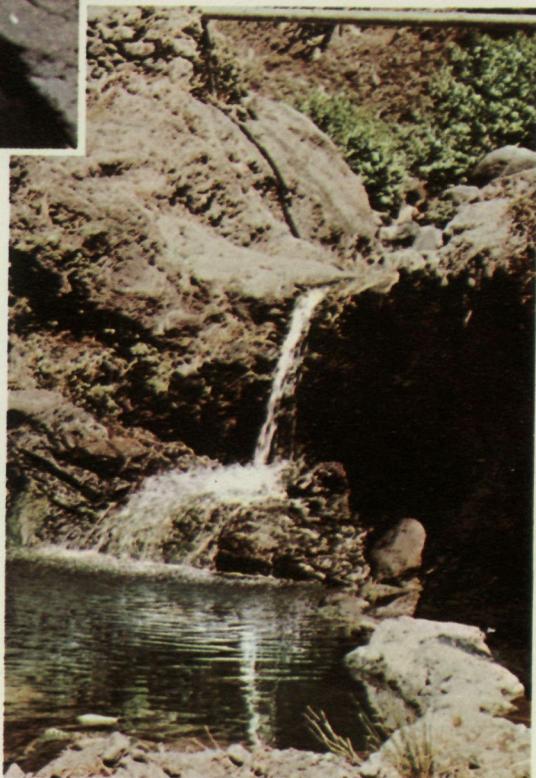
Representación grafica logaritmica

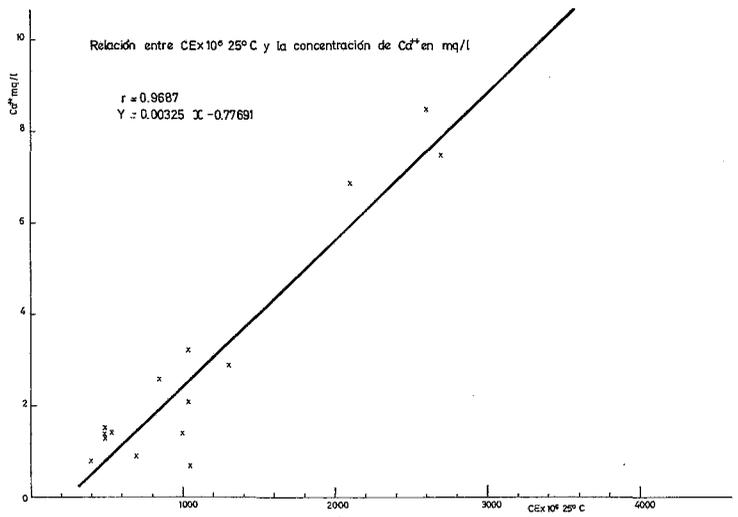
FIGURA N.º 23



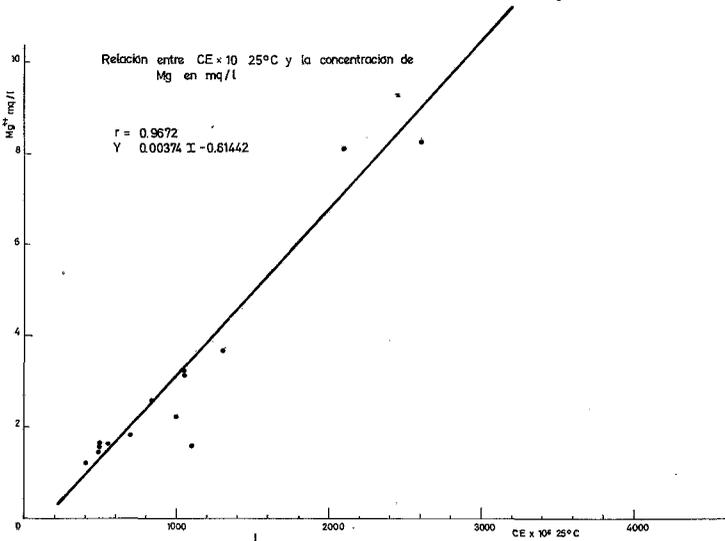
NACIENTES DEL
MONTE DEL CEDRO

ISLA DE LA GOMERA

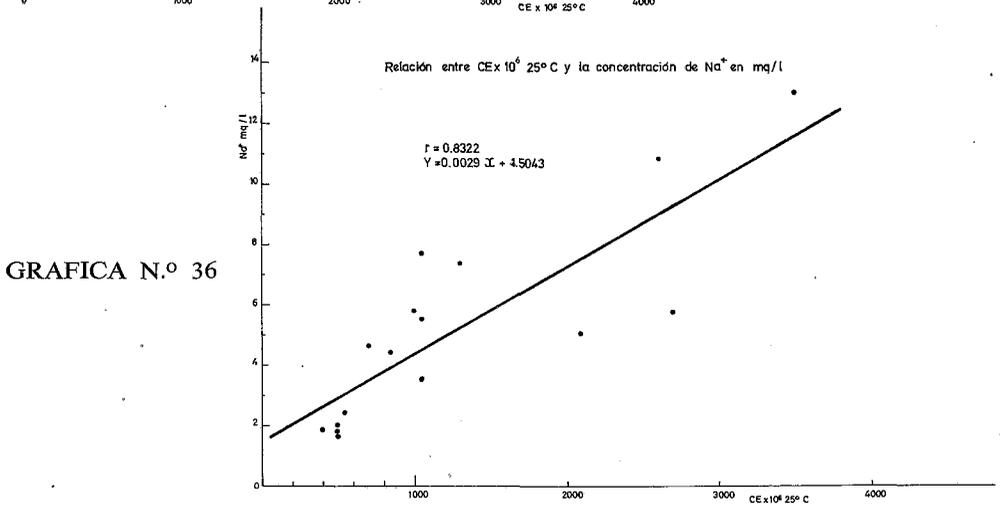




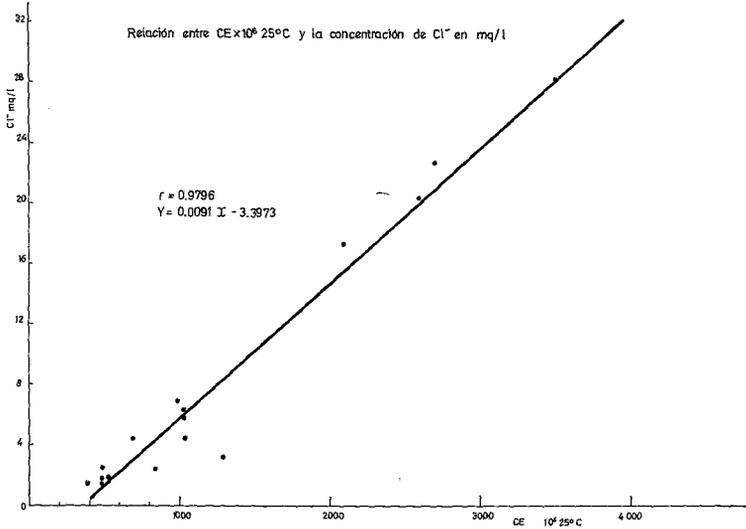
GRAFICA N.º 34



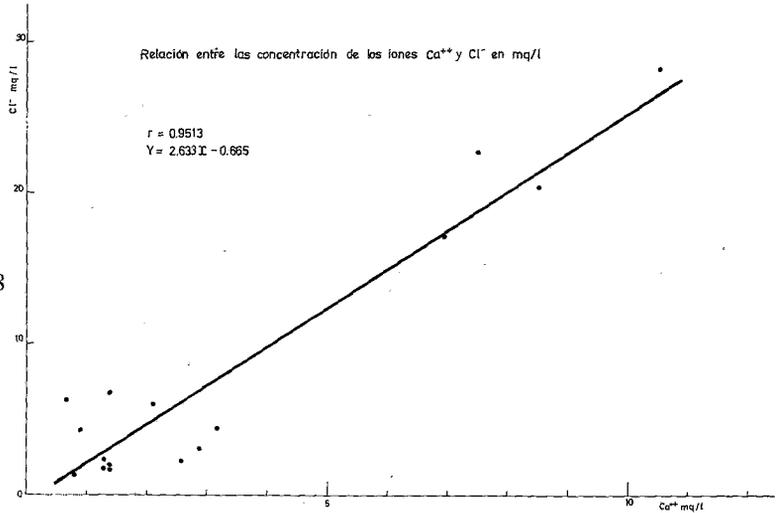
GRAFICA N.º 35



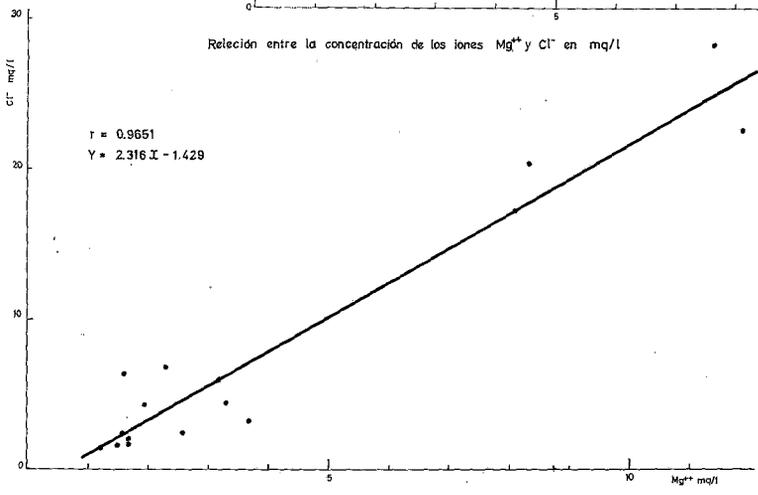
GRAFICA N.º 36



GRAFICA N.º 37



GRAFICA N.º 38



GRAFICA N.º 39

Estas diferencias en los niveles de correlación, justifica la clasificación de estas aguas, principalmente como cloruradas.

Por otra parte el ión Cl^- , se encuentra también significativamente correlacionado a un nivel superior al 0.1% con los cationes Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ , como se observa en las gráficas N.º (38), (39) y (40).

Estos valores de correlación, confirman el carácter predominante de las sales cloruradas sódicas-cálcico-magnésicas, en estos manantiales.

El ión HCO_3^- , no sigue estas correlaciones con los iones Ca^{++} , Mg^{++} y solamente es significativa para el ión Na^+ , sólo a un nivel superior al 5%.

El ión $\text{SO}_4^{=}$, está correlacionado con el ión Na^+ , significativamente a un nivel superior al 0.1%, y con los restantes cationes, Ca^{++} y Mg^{++} , a niveles superiores al 1% y 2% respectivamente. Gráfica N.º (41).

En estas aguas basales también se observa una correlación significativa al 0.1% entre los porcentajes de ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) y Na^+ , calculados como siempre, a partir de la concentración catiónica total. Gráfica (42).

El pH en las aguas de pozos, de las diferentes regiones de la Isla, se mantiene aproximadamente constante ($\text{pH} \approx 7$).

Los valores de F^- , son bastante bajos, y generalmente inferiores a 0.45 p.p.m.

El Boro no se encuentra presente en estas aguas.

El carbonato sódico residual, es extremadamente bajo, como consecuencia del contenido relativamente alto de los iones Ca^{++} y Mg^{++} frente al $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$.

En cuanto al contenido en SiO_2 , los valores más elevados corresponden a las aguas de las cuencas hidrográficas N.º 7 y 8 (64.2 p.p.m. y 58.0 p.p.m. respectivamente). En las restantes cuencas hidrográficas estudiadas, estos valores son relativamente más bajos (32.1 p.p.m. en la cuenca hidrográfica N.º 9 y 47.1 p.p.m. en la N.º 6).

En estos manantiales, no se observa correlación, entre las concentraciones de SiO_2 en p.p.m. con las temperaturas y concentración iónica total de estas aguas.

TEMPERATURA Y CONTENIDO DE O_2 Y CO_2 EN LAS AGUAS BASALES

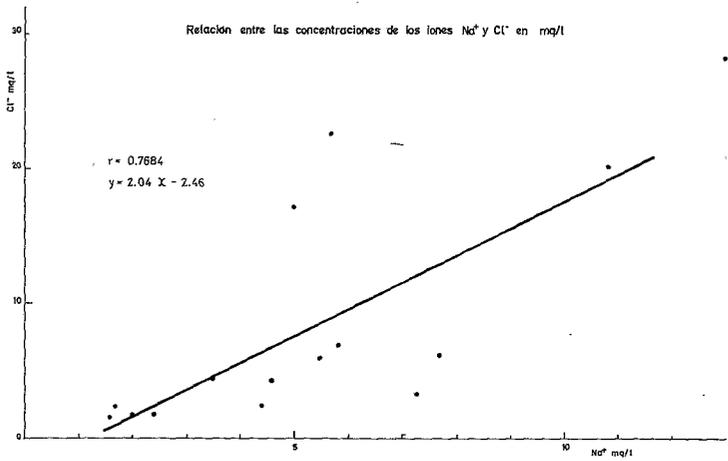
En las aguas basales, se efectuaron determinaciones in situ, de temperatura, oxígeno y CO_2 , en el origen del manantial y en igual fecha que se realizó en las aguas de nacientes.

La temperatura de las aguas basales, son inferiores a la temperatura ambiente, variando entre 20°C y 24.5°C.

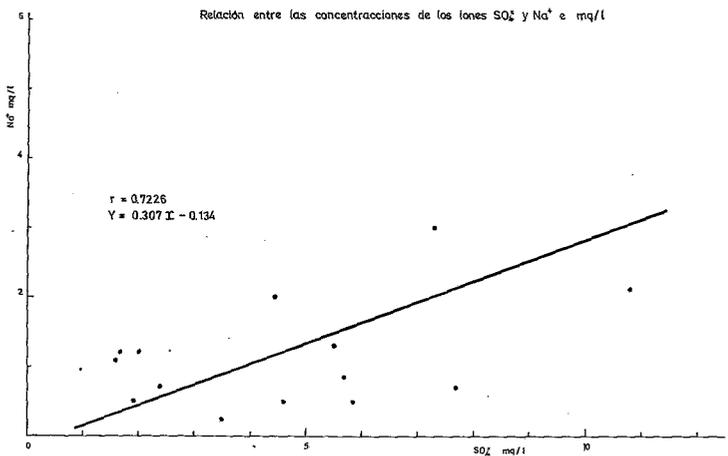
De igual forma que en los nacientes, estas temperaturas son más elevadas en los pozos situados en el Sur de la Isla.

Como es de esperar, no se observa correlación entre la conductividad eléctrica y la temperatura de las aguas basales, si tenemos en cuenta, que en este tipo de aguas, el aumento o disminución de su salinidad total, se debe fundamentalmente a impurificaciones por el agua del mar.

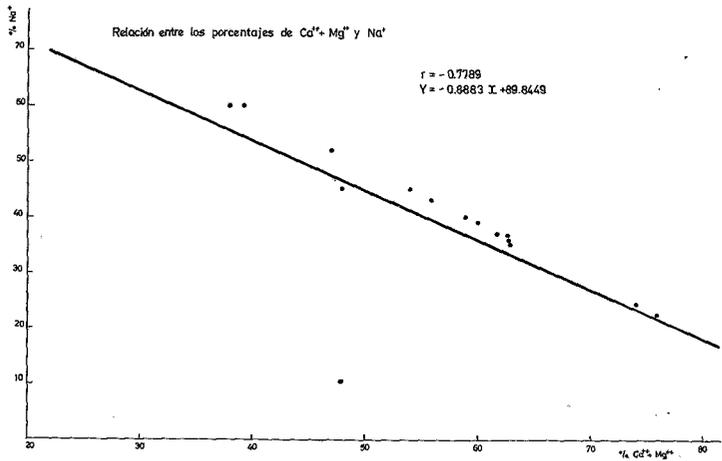
Las concentraciones de CO_2 disuelto, son en general más elevadas que en las aguas de nacientes, oscilando en general entre 10 p.p.m. y 20 p.p.m., encontrándose solamente una muestra con valor inferior a 5 p.p.m. Las concentraciones más inferiores de CO_2 , corresponden a los pozos situados en la región Sur.



GRAFICA N.º 40



GRAFICA N.º 41



GRAFICA N.º 42

XIX. CLASIFICACION AGRICOLA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE LA GOMERA

De acuerdo con la clasificación establecida por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, la totalidad de las aguas de nacientes de La Gomera, se pueden agrupar en cuatro clases diferentes: C_1S_1 , C_2S_1 , C_3S_1 y C_3S_2 .

En la Tabla N.º (37), se indica como se encuentran distribuidas estas clases de aguas en los nacientes de las diferentes cuencas hidrográficas de la Isla, considerando el porcentaje de manantiales que corresponden a cada clasificación.

Se observa, que con excepción de las cuencas hidrográficas N.º 2 y 10, el mayor porcentaje de manantiales, proporcionan aguas de la clase C_1S_1 y C_2S_1 , que corresponden a las clases, que según esta clasificación no presentan limitación en su empleo con fines agrícolas.

En la cuenca hidrográfica N.º 2, existe un nacimiento cuyas aguas corresponden a la clase C_3S_1 , considerada por esta clasificación como aguas de alta salinidad.

En la cuenca hidrográfica N.º 10, el agua que proporciona el único nacimiento existente, corresponde a la clase C_3S_2 , agua de alta salinidad y de alcalinidad media, según los criterios establecidos por esta clasificación.

En la Figura N.º (24), se indica la composición iónica y porcentajes de las diferentes clases de aguas de nacientes existentes en la Isla, porcentajes calculados sobre la totalidad de estos manantiales. Se observa que el mayor porcentaje de nacientes, proporcionan aguas de la clase C_2S_1 (60%) y C_1S_1 (34%) que según esta clasificación, corresponden a los de mejores características para su empleo con fines agrícolas.

En la Tabla N.º (38), se incluyen análisis de aguas consideradas representativas de las diferentes clases.

Según este mismo sistema, las aguas de pozos, pueden agruparse en cinco clases diferentes: C_2S_1 , C_3S_1 , C_4S_1 y C_4S_2 .

En la Tabla N.º (39), se indica cómo se encuentran distribuidas estas clases de aguas basales, en las diferentes cuencas hidrográficas de la Isla. Se observa, que en la cuenca hidrográfica N.º 9, la totalidad de las aguas basales, corresponden a la clase C_2S_1 .

Actualmente, la cuenca hidrográfica N.º 6, es la que proporciona aguas basales de las clases C_4S_1 y C_4S_2 , únicas en esta Isla, que se consideran por esta clasificación, como aguas de muy alta salinidad.

En la Figura N.º (25), se indica la composición iónica y porcentajes de las diferentes clases de aguas basales existentes en la Isla, porcentajes calculados sobre la totalidad de estos manantiales.

En la Tabla N.º (40), se incluyen análisis de aguas basales, consideradas representativas de las diferentes clases.

TABLA N.º 37

Porcentaje de clases de aguas de nacientes en las diferentes Cuencas Hidrográficas

Cuenca Hidrográfica	% C_1S_1	% C_2S_1	% C_3S_1	% C_3S_2
1	25	75		
2	34	33	33	
3	50	50		
4		100		
6	50	50		
7	50	50		
8	71	29		
9	20	80		
10				100

Porcentaje de clases de aguas de nacientes en el total de manantiales

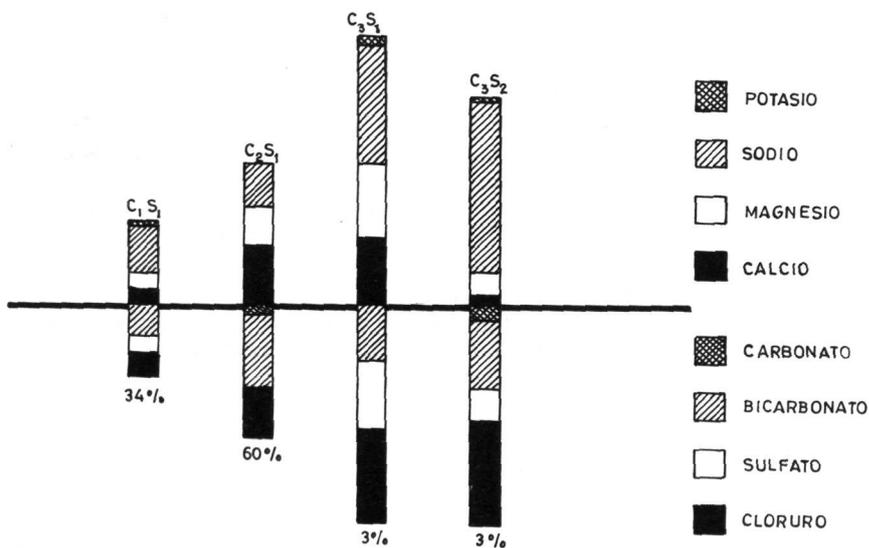


FIGURA N.º 24

TABLA N.º 38

Composición química de aguas de nacientes
Clasificación agrícola

CLASES	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mg/l.	Mg ⁺⁺ mg/l.	Na ⁺ mg/l.	K ⁺ mg/l.	CO ₃ = mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ = mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
C ₁ S ₁	195	194	0.15	0.00	42.8	7.1	0.58	0.54	1.88	0.04	0.00	1.10	0.62	0.86	0.00
C ₂ S ₁	500	390	0.15	0.00	34.2	7.6	2.12	1.46	1.40	0.02	0.28	2.74	0.00	1.70	0.00
C ₃ S ₁	950	806	0.16	0.00	34.2	7.1	2.28	2.78	4.16	0.30	0.00	2.00	2.42	3.36	0.00
C ₃ S ₂	750	580	0.55	0.00	65.3	7.9	0.36	0.80	6.10	0.11	0.40	2.48	1.16	3.82	1.72

TABLA N.º 40

Composición química de aguas basales
Clasificación agrícola

CLASES	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mg/l.	Mg ⁺⁺ mg/l.	Na ⁺ mg/l.	K ⁺ mg/l.	CO ₃ = mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ = mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
C ₂ S ₁	545	408	0.15	0.00	55.6	7.4	1.40	1.72	2.37	0.07	0.00	2.76	0.70	1.82	0.00
C ₃ S ₁	2.100	1.592	0.15	0.00	47.1	7.3	6.94	8.16	5.00	0.20	0.32	2.32	0.00	17.10	0.00
C ₄ S ₁	2.600	2.178	0.05	0.00	47.1	7.2	8.50	8.34	10.80	0.25	0.36	2.92	2.16	20.36	0.00
C ₄ S ₂	3.500	2.588	0.10	0.00	30.0	7.1	10.50	11.40	13.00	0.29	0.00	2.60	5.90	28.18	0.00

TABLA N.º 39

Porcentaje de clases de aguas basales en las diferentes Cuencas Hidrográficas

Cuenca Hidrográfica	% C_2S_1	% C_3S_1	% C_4S_1	% C_4S_2
1		100		
6		25	25	50
7	50	50		
8	33	67		
9	100			

Porcentaje de clases de aguas basales en el total de manantiales

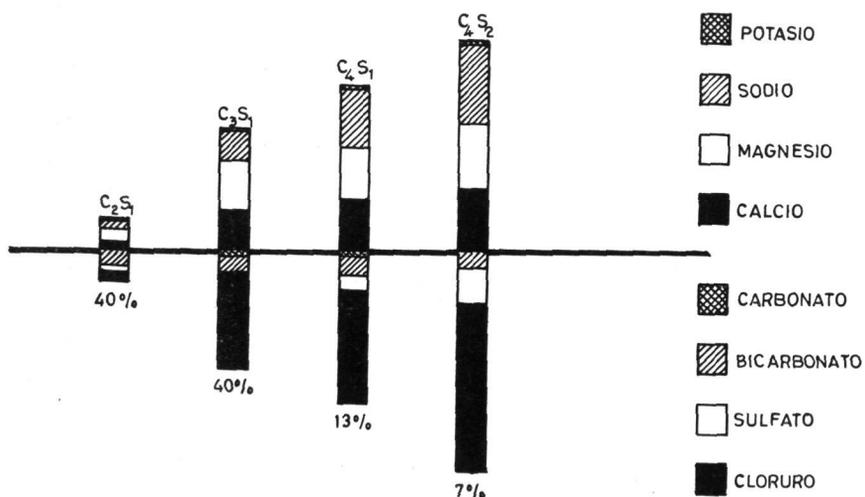


FIGURA N.º 25

XX. CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE LA GOMERA

En la aplicación de los diferentes sistemas de clasificación química adoptados, se han elegido diferentes tipos de aguas de nacientes, que pueden considerarse como representativas de las existentes en las distintas cuencas hidrográficas en que se divide la Isla.

Tanto la composición química de estas aguas, así como los resultados obtenidos en la aplicación de los diferentes sistemas de clasificación, se indican en las Tablas N.º (41) y (42).

Como se indica en la Tabla de clasificación, estas aguas corresponden principalmente al tipo «cloruradas sódicas», «cloruradas bicarbonatadas sódicas, magnésico-sódicas o calcio-magnésico-sódicas» y «Sulfato-cloruradas magnésico-sódicas», por el predominio de los iones $\text{CO}_3^{=}$ + HCO_3^{-} , Cl^{-} , $\text{SO}_4^{=}$, Ca^{++} , Mg^{++} y Na^{+} .

Cuando los criterios de clasificación se basan en las sales que el agua lleva en disolución, podemos considerar como aguas salinas las que pertenecen a las cuencas hidrográficas N.º 1, 2, 3, 9 y la de tipo (b) en la cuenca hidrográfica N.º 4, y como aguas alcalinas las existentes en las cuencas hidrográficas N.º 6, 7, 8, 10 y la de tipo (a) en la N.º 4.

En las salinas es el cloruro magnésico o el sulfato sódico, la sal disuelta predominante y en las alcalinas el bicarbonato sódico.

(*) NOTAS ACLARATORIAS A LA TABLA N.º (42)

(1).—Tipo I.—(pág. 61)

Tipo III.—(pág. 65)

C-a: Clase a.—Aguas cálcicas (predomina el ión Ca^{++})

G-c: Clase c.—(pág. 61)

G-1: Grupo 1.—(pág. 61)

G-2: Grupo 2.— $r \text{CO}_3^{=} + r \text{HCO}_3^{-} < r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++} < r \text{CO}_3^{=} + r \text{HCO}_3^{-} + r \text{SO}_4^{=}$

G-3: Grupo 3.—(pág. 65)

(2).—Clorurada normal.—(pág. 61)

Sulfatada normal.—(pág. 61)

Hipocarbonatada.—(pág. 61)

Carbonatada normal.—(pág. 61)

T-1: Tipo 1 (i c b +).—(pág. 65)

T-3: Tipo 3 (i c b -).—(pág. 61)

C-a: Clase a.—(pág. 65)

C-c: Clase c.—(pág. 61)

- (3).—T-A: Tipo A.—(pág. 61)
 T-B: Tipo B.—(pág. 65)
- (4).—T-3: Tipo 3.—(pág. 65)
 T-5: Tipo 5.—(pág. 65)
 T-3: Tipo 3.—(pág. 61)
 T-5: Tipo 5.—(aguas calcio-sódicas) $4 \text{ Ca}^{\pm\pm} > 25\%$ y $\text{r Na}^{\pm} > 25\%$ de la suma de cationes.
 T-6: Tipo 6.—(pág. 61)
 T-7: Tipo 7.—(Aguas calcio-magnésico-sódicas)
 $\text{r Ca}^{++} > 25\%$, $\text{r Mg}^{++} > 25\%$ y $\text{r Na}^{+} > 25\%$ de la suma de cationes.
 T-4: Tipo 4.—(Aguas calcio-magnésicas) $\text{r Ca}^{++} > 25\%$ y $\text{r Mg}^{++} > 25\%$.
- (5).—T-1: Tipo 1.—(pág. 61).—(Clorurada pura)
 T-2: Tipo 2.—(pág. 61).—(Clorurada bicarbonatada de transición) (Clorurada sulfatada de transición).
- (6).—T-I.—Tipo I.—(pág. 61)
 T-III.—Tipo III.—(pág. 65)
- (7).—T-1.—Tipo 1.—(pág. 65)
 T-2.—Tipo 2.—(pág. 61)
 T-3.—Tipo 3.—(pág. 65)
 G-a: Grupo a.—(pág. 61)
 G-c: Grupo c.—(pág. 65)
 C-a: Clase a.—(pág. 65)
 C-b: Clase b.—(pág. 61)
 C-c: Clase c.—(pág. 65)
- (8).—T-1: Tipo 1.
 T-2: Tipo 2.—En cuanto a los tipos, sigue las partes
 T-3: Tipo 3.—esenciales de la clasificación anterior
 C-2: Clase 2.—(pág. 66)
 C-4: Clase 4.—(pág. 66)

TABLA N.º 41

Composición química de aguas de nacientes
Clasificación química

Cuenca hidrográfica	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B pp.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	305	212	0.10	0.00	17.1	7.2	0.56	0.90	1.34	0.02	0.00	1.08	0.00	1.92	0.00
2 (a)	200	198	0.15	0.00	21.4	7.1	0.44	0.60	0.98	0.05	0.00	0.98	0.00	1.06	0.00
2 (b)	950	806	0.15	0.00	34.2	7.1	2.28	2.78	4.16	0.30	0.00	2.00	2.42	3.36	0.00
3	475	412	0.35	0.00	56.7	6.6	0.32	0.60	3.24	0.06	0.00	0.44	0.08	3.50	0.00
4 (a)	350	208	0.35	0.00	38.5	7.3	0.94	1.06	1.64	0.05	0.00	1.78	0.00	1.56	0.00
4 (b)	600	406	0.15	0.00	26.7	7.6	2.48	2.10	1.70	0.05	0.00	3.44	0.52	1.98	0.00
6	450	390	0.15	0.00	55.6	7.5	1.22	1.50	1.68	0.02	0.00	2.30	0.00	1.36	0.00
7	240	200	0.35	0.00	51.4	9.5	0.66	0.52	1.30	0.01	1.52	0.00	0.00	1.04	0.34
8	195	194	0.15	0.00	42.8	7.1	0.58	0.54	1.88	0.04	0.00	1.10	0.62	0.86	0.00
9	260	194	0.15	0.00	42.8	7.3	0.72	0.78	1.20	0.15	0.00	1.48	0.00	1.24	0.00
10	750	580	0.55	0.00	65.3	7.9	0.36	0.80	6.10	0.11	0.40	2.48	1.16	3.82	1.72

TABLA N.º 42

Clasificación química de aguas de nacientes de la Isla de La Gomera

N.º	ALEKINE (1)	SCHOELLER (2)	BAZILEVICH (3)	SHCHUKAREV (4)	FILATOV (5)	CHASE PALMER (6)	SOULINE (7)	ZAKHARINA (8)
1	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición Clorurada normal Hipocarbonatada i c b+ T-1 C-c	T-B Sulfatada Clorurada	T-5 T'-6 Bicarbonatada clorurada magnésico- sódicas	T-2 Clorurada Bicarbonatada de transición	Tipo III 2 a=2.72 S ₁ 2 (d-a)=0.56 S ₂ 2 (a+b-d)=1.80 A ₂	T-3 clorurada- magnésica G-c clorurada C-c	T-3 Clorurada magnésica C-4
2 (a)	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición Clorurada normal Hipocarbonatada i c b+ T-1 C-c	T-A Bicarbonatada	T-5 T'-6 Bicarbonatada- clorurada magnésico- sódicas	T-2 Clorurada Bicarbonatada de transición	Tipo III 2 a=2.06 S ₁ 2 (d-a)=0.06 S ₂ 2 (a+b-d)=2.02 A ₂	T-3 clorurada- magnésica G-c clorurada C-c	T-3 Clorurada magnésica C-4
2 (b)	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición Clorurada normal Sulfatada normal Hipocarbonatada i c b- T-3 C-a	T-B Sulfatada Clorurada	T-7 T'-6 Sulfatoclorurada magnésico- sódicas	T-2 Clorurada Sulfatada de transición	Tipo III 2 a=8.92 S ₁ 2 (d-a)=2.64 S ₂ 2 (a+b-d)=7.48 A ₂	T-1 sulfatada sódica G-c clorurada C-a	T-1 Sulfatada sódica C-2
3	Tipo III (clorurada) C-c (sódica) G-3	Composición Clorurada normal Sulfatada normal Hipocarbonatada i c b+ T-1 C-c	T-B Sulfatada Clorurada	T-3 T'-3 Cloruradas sódicas	T-1 Clorurada pura	Tipo III 2 a=6.60 S ₁ 2 (d-a)=0.56 S ₂ 2 (a+b-d)=1.28 A ₂	T-3 clorurada magnésica G-c clorurada C-c	T-3 Clorurada magnésica G-4
4 (a)	Tipo I (Bicarbonatada) C-c (sódica) G-3	Composición Clorurada normal Hipocarbonatada i c b- T-3 C-c	T-A Bicarbonatada	T-5 T'-6 Bicarbonatada- clorurada magnésico- sódicas	T-2 Clorurada- bicarbonatada de transición	Tipo I 2 d=3.02 S ₁ 2 (a-d)=0.26 A ₁ a b=3.38 A ₂	T-2 Bicarbonatada sódica G-a bicarbonatada C-b	T-2 Bicarbonatada sódica
4 (b)	Tipo I (Bicarbonatada) C-a (cálcica) G-3	Composición Clorurada normal Sulfatada normal Carbonatada normal i c b+ T-1 C-c	T-A Bicarbonatada	T-5 T'-7 Bicarbonatada clorurada calcio-magnésico sódicas	T-2 Clorurada- bicarbonatada de transición	Tipo III 2 a=3.50 S ₁ 2 (d-a)=1.50 S ₂ 2 (a+b-d)=7.66 A ₂	T-3 clorurada- magnésica G-a bicarbonatada C-c	T-3 clorurada Magnésica C-4

TABLA N.º 42 (Continuación)

N.º	ALEKINE (1)	SCHOELLER (2)	BAZILEVICH (3)	SHCHUKAREV (4)	FILATOV (5)	CHASE PALMER (6)	SOULINE (7)	ZAKHARINA (8)
6	Tipo I (Bicarbonatada) C—c (sódica) G—3	Composición Clorurada normal Carbonatada normal i c b+ T—1 C—c	T—A Bicarbonatada	T—5 T'—7 Bicarbonatada clorurada calcio-magnésico sódicas	T—2 Clorurada- carbonatada de transición	T—1 2 d=2.72 S ₁ 2 (a—d)=0.68 A ₁ a b=4.62 A ₂	T—2 Clorurada- bicarbonatada de transición	T—2 Bicarbonatada sódica
7	Tipo I (Bicarbonatada) C—c (sódica) G—1	Composición Clorurada normal Hipocarbonatada i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—5 T'—5 Bicarbonatada clorurada calcio-sódicas	T—2 Clorurada- carbonatada de transición	T—1 2 d=2.08 S ₁ 2 (a—d)=0.54 A ₁ a b=1.54 A ₂	T—2 Clorurada- bicarbonatada de transición	T—2 Bicarbonatada sódica
8	Tipo I (Bicarbonatada) C—c (sódica) G—2	Composición Clorurada normal sulfatada normal Hipocarbonatada i c b— T—3 C—c	T—B Sulfatada Clorurada	T—5 T'—3 Bicarbonatada clorurada sódica	T—2 Clorurada- bicarbonatada de transición	T—1 2 d=2.96 S ₁ 2 (a—d)=0.88 A ₁ a b=2.15 A ₂	T—2 Bicarbonatada sódica G—a Bicarbonatada C—b	T—2 Bicarbonatada sódica
9	Tipo I (Bicarbonatada) C—c (sódica) G—3	Composición Clorurada normal Hipocarbonatada i c b+ T—1 C—c	T—A Bicarbonatada	T—5 T'—7 Bicarbonatada clorurada calcio-magnésico sódicas	T—2 Clorurada- bicarbonatada de transición	T—1 2 d=2.48 S ₁ 2 (a—d)=0.22 A ₁ a b=2.02 A ₂	T—3 Clorurada- Magnésica G—a Bicarbonatada C—c	T—3 Clorurada Magnésica C—4
10	Tipo III (clorurada) C—c (sódica) G—1	Composición Clorurada normal sulfatada normal carbonatada normal i c b— T—3 C—c	T—B Sulfatada Clorurada	T—5 T'—3 Bicarbonatada clorurada sódica	T—2 Clorurada- bicarbonatada de transición	T—1 2 d=9.96 S ₁ 2 (a—d)=2.46 A ₁ a b=7.20 A ₂	T—2 Bicarbonatada sódica G—c clorurada C—b	T—2 Bicarbonatada sódica

b) CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE POZOS

Por su composición iónica, las aguas basales de esta Isla, pueden clasificarse como «cloruradas sódicas o magnésicas» y «bicarbonatadas sódicas» y de acuerdo con otros sistemas de clasificación como «cloruradas calcio-magnésicas o calcio-magnésico-sódicas» y «cloruradas bicarbonatadas magnésico-sódicas o calcio-magnésico-sódicas», teniendo en cuenta la importancia relativa, en la concentración total, de los iones Cl^- , HCO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ .

Las clasificaciones que tienen en cuenta las sales en disolución consideran como alcalinas, las aguas de la cuenca hidrográfica N.º 7 y como salinas las que pertenecen a las cuencas hidrográficas N.º 6, 8 y 9.

Las aguas de la cuenca hidrográfica N.º 6, son extremadamente salinas, con valores elevados tanto para la salinidad primaria como secundaria, ya que en estas aguas el ión Cl^- alcanza concentraciones muy altas.

De acuerdo con las clasificaciones de Souline y Zakharina, el cloruro cálcico o magnésico y el sulfato sódico es la sal predominante en las aguas salinas y el bicarbonato sódico en las alcalinas.

La composición química de las aguas consideradas como representativas y los resultados obtenidos en la aplicación de los diferentes sistemas de clasificación se encuentran señalados en las Tablas N.º (43) y (44).

(*) NOTAS ACLARATORIAS A LA TABLA N.º (44)

- (1).—T-I: Tipo I.—(pág. 61)
T-III: Tipo III.—(pág. 65)
C-b: Clase b.—Aguas magnésicas (predomina el ión Mg^{++})
C-c: Clase c.—(pág. 61)
G-1: Grupo 1.—(pág. 61)
G-2: Grupo 2.—(pág. 137)
G-3: Grupo 3.—(pág. 65)
- (2).—Clorurada normal.—(pág. 61)
Oligoclorurada.—(pág. 65)
Sulfatada normal.—(pág. 61)
Hipocarbonatada.—(pág. 61)
Carbonatada normal.—(pág. 61)
T-1: (i c b -).—(pág. 65)
T-3: (i c b +).—(pág. 61)
C-a: Clase a.—(pág. 65)
C-c: Clase c.—(pág. 61)
- (3).—T-A: Tipo A.—(pág. 61)
T-B: Tipo B.—(pág. 65)
- (4).—T-3: Tipo 3.—(pág. 65)
T-5: Tipo 5.—(pág. 65)
T-3: Tipo 3.—(pág. 61)
T-4: Tipo 4.—(pág. 138)
T-6: Tipo 6.—(pág. 61)
T-7: Tipo 7.—(pág. 138)

TABLA N.º 43

Composición química de aguas basales
Clasificación química

Cuenca hidrográfica	CE × 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 ₃ ⁼ mg/l.	HCO ₃ ⁻ mg/l.	SO ₄ ⁼ mg/l.	Cl ⁻ mg/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
6 (a)	2.700	2.214	0.00	0.00	7.1	7.54	11.88	5.70	0.36	0.00	3.24	0.86	22.72	0.00
6 (b)	3.500	2.588	0.10	0.00	7.1	10.50	11.40	13.00	0.29	0.00	2.60	5.90	28.18	0.00
7	400	384	0.30	0.00	7.5	0.82	1.26	1.96	0.07	0.00	2.64	0.50	1.42	0.56
8 (a)	700	416	0.20	0.00	7.1	0.96	1.94	4.60	0.10	0.00	2.32	0.48	4.30	0.00
8 (b)	1.000	610	0.20	0.00	7.2	1.40	2.30	5.85	0.11	0.00	2.04	0.52	6.80	0.00
9	500	396	0.30	0.00	7.3	1.34	1.68	2.04	0.06	0.00	1.98	1.20	1.64	0.00

- (5).—T-1: Tipo 1.—(pág. 61).—Clorurada pura
 T-2: Tipo 2.—(pág. 61).—Clorurada bicarbonatada de transición.
- (6).—T-I: Tipo I.—(pág. 61)
 T-III: Tipo III.—(pág. 65)
- (7).—T-1: Tipo 1.—(pág. 65)
 T-2: Tipo 2.—(pág. 61)
 T-3: Tipo 3.—(pág. 65)
 T-4: Tipo 4.—(pág. 65)
- (8).—T-1: Tipo 1
 T-2: Tipo 2.—En cuanto a los tipos sigue las partes esenciales de la clasificación
 T-3: Tipo 3.—anterior.
 T-4: Tipo 4
 C-1: Clase 1.— $r \text{Ca}^{++} < r \text{HCO}_3^-$
 C-4: Clase 4.—(pág. 66)



NACIENTE DEL
MONTE DEL CEDRO
(ISLA DE LA GOMERA)

EXPLORACION DE AGUAS BASALES
(ISLA DE LA GOMERA)

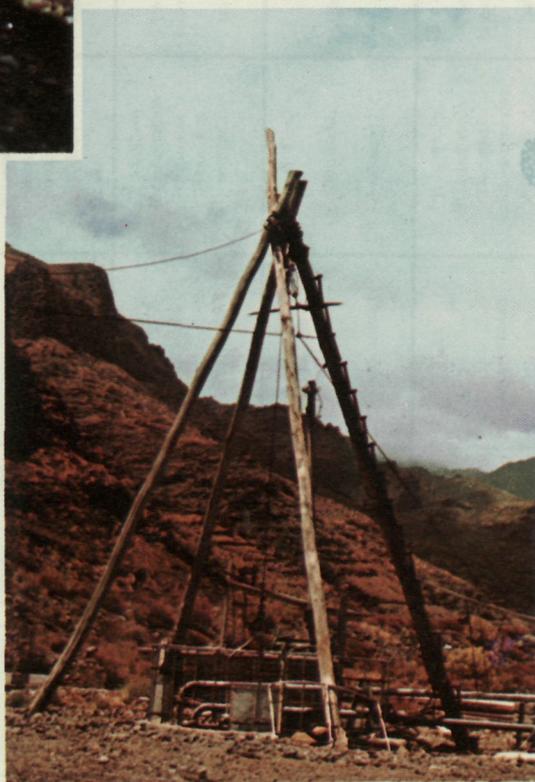
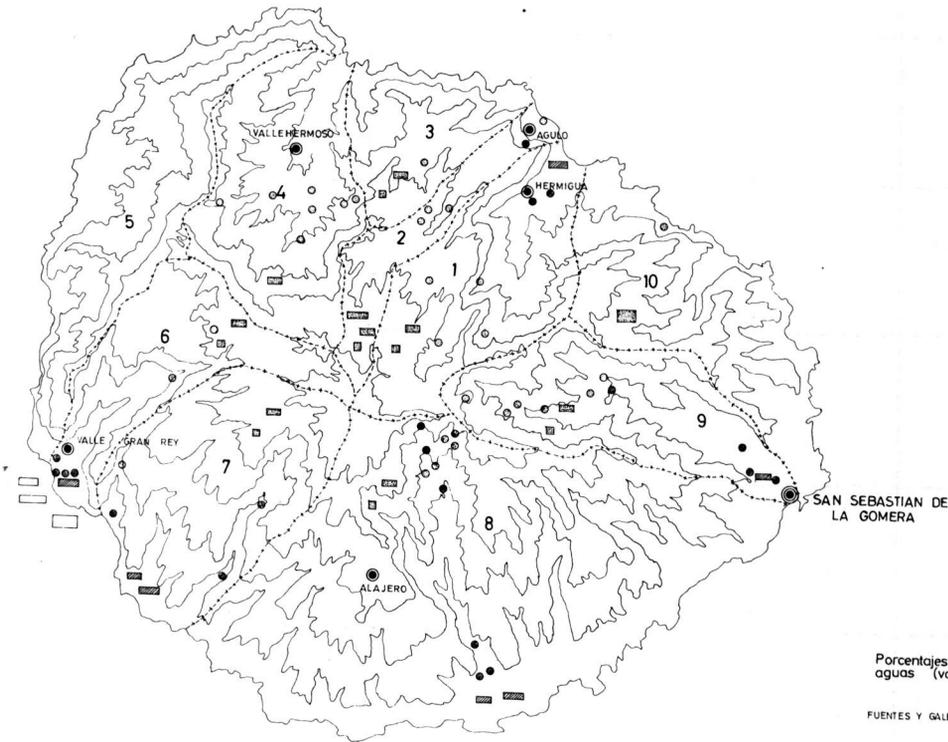


TABLA N.º 44

Clasificación química de aguas de basales de la Isla de La Gomera

CUENCA	ALEKINE (1)	SCHOELLER (2)	BAZILEVICH (3)	SHCHUKAREV (4)	FILATOV (5)	CHASE PALMER (6)	SOULINE (7)	ZAKHARINA (8)
6 (a)	T—III (cloruradas) C—b (magnésicas) G—3	Composición Oligoclorurada sulfatada normal carbonatada normal i c b+ T—1 C—a	T—B Sulfatada clorurada	T—3 T—4 clorurada calcio magnésicas	T—1 Clorurada pura	T—III 2 a=11.12 S ₁ 2 (d-a)=35.00 S ₂ 2 (a+b-d)=1.90 A ₂	T—4 clorurada cálcica G—c clorurada C—d	T—4 Clorurada cálcica
6 (b)	T—III (cloruradas) C—c (sódicas) G—3	Composición Oligoclorurada sulfatada normal carbonatada normal i c b+ T—1 C—a	T—B Sulfatada clorurada	T—3 T—7 clorurada calcio magnésico sódicas	T—1 Clorurada pura	T—III 2 a=26.58 S ₁ 2 (d-a)=20.79 S ₂ 2 (a+b-d)=1.11 A ₂	T—4 clorurada cálcica G—c clorurada C—d	T—4 Clorurada cálcica
7	T—1 (Bicarbonatada) C—c (sódicas) G—1	Composición Clorurada normal sulfatada normal carbonatada normal i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—5 T—6 Bicarbonatada clorurada Magnésico sódicas	T—2 Clorurada bicarbonatada de transición	T—I 2 d=3.84 S ₁ 2 (a-d)=0.11 A ₁ a b=4.22 A ₂	T—2 bicarbonatada sódica G—a bicarbonatada C—b	T—2 Bicarbonatada sódica
8 (a)	T—III (clorurada) C—c (sódicas)	Composición clorurada normal sulfatada normal carbonatada normal i c b=0 T—2 C—c	T—B Sulfatada clorurada	T—5 T—6 Bicarbonatada clorurada Magnésico sódicas	T—2 Clorurada bicarbonatada de transición	T—III 2 a=9.40 S ₁ 2 (d-a)=0.20 S ₂ 2 (a+b-d)=5.60 A ₂	T—1 Sulfatada sódica G—c C—a	T—1 Sulfatada sódica C—1
8 (b)	T—III (clorurada) C—c (sódica) G—3	Composición clorurada normal sulfatada normal carbonatada normal i c b+ T—1 C—c	T—B Sulfatada clorurada	T—3 T—3 Cloruradas sódicas	T—1 Clorurada pura	T—III 2 a=11.90 S ₁ 2 (d-a)=2.70 S ₂ 2 (a+b-d)=4.70 A ₂	T—3 clorurada magnésica G—c clorurada C—c	T—3 Clorurada Magnésica C—4
9	T—I (Bicarbonatada) C—c (sódica) G—2	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipocarbonatada i c b— T—3 C—c	T—A Bicarbonatada	T—5 T—7 Bicarbonatada clorurada calcio-magnésico sódica	T—2 Clorurada bicarbonatada de transición	T—III 2 a=4.20 S ₁ 2 (d-a)=1.68 S ₂ 2 (a+b-d)=4.36 A ₂	T—1 sulfatada sódica G—a Bicarbonatada C—a	T—1 Sulfatada sódica C—4



LA GOMERA

ESCALA 1:100.000

Porcentajes de clases de
aguas (valor C-S)

FUENTES Y GALERIAS S₂
C₃

POZOS (N.C.) S₁
C₃

POZOS (C.) S₂
C₄

LIMITE DE CUENCA - - - - -

NACIENTES

GALERIAS

POZOS

N.C. NO CONTAMINADOS

C CONTAMINADOS

- 1 - HERMIGUA
 - 2 - AGULO
 - 3 - NORTE
 - 4 - VALLEHERMOSO
 - 5 - NOROESTE
 - 6 - VALLE GRAN REY
 - 7 - SUROESTE
 - 8 - SUR
 - 9 - BARRANCO DE LA VILLA
 - 10 - NORDESTE
- MUNICIPIO

XXI. ISLA DEL HIERRO

XXII. LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DEL HIERRO

Según Bravo (37), en la Isla del Hierro, no existen aguas subterráneas de capas o diques, ni aún en cotas elevadas sobre el nivel del mar. Estas afirmaciones han sido demostradas por la búsqueda de aguas mediante perforaciones en cotas elevadas y de varios kilómetros de longitud, sin resultados positivos.

Sin embargo son importantes las reservas de aguas basales en las zonas costeras de la Isla.

Este camino de captación de aguas basales, es el que se ha seguido actualmente y los resultados han sido altamente satisfactorios.

Los recursos hidráulicos con que cuenta la Isla, se basan fundamentalmente en la explotación de las aguas basales y en el aprovechamiento de dos nacientes principales, uno situado en la región de Valverde y otro en la zona de Frontera, en cotas de 620 m. y 1.300 m. sobre el nivel del mar respectivamente.

En nuestro estudio hemos considerado los ocho principales pozos que actualmente se encuentran en explotación. De estos ocho pozos, siete se encuentran en la región de Frontera, en cotas comprendidas entre los 51 y 138 m. sobre el nivel del mar, y uno en la zona de Valverde a 77 m. sobre este mismo nivel. La situación de estos manantiales en la Isla, se señalan en el plano N.º 1.

En estos pozos la altura del agua sobre el nivel del mar, varía de 0.30 a 0.50 m., lo que según el principio de Gyben Herzberg poseen una reserva de agua basal, hasta una profundidad comprendida entre 12 y 20 m. bajo el nivel marítimo.

Los recursos hidráulicos que proporcionan los nacientes y pozos de esta Isla, son del orden de 2.245.000 m³/año, de los que 57.000 m³/año provienen de los nacientes y el resto (2.188.000 m³/año), lo proporcionan los pozos actualmente en explotación.

XXIII. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS DE LA ISLA DEL HIERRO

Las aguas de nacientes existentes en la Isla, son de baja salinidad, con una conductividad de 280 micromhos por cm. en el nacimiento de Valverde y 350 micromhos por cm. en el nacimiento de Frontera.

En estas aguas, se observa la relación catiónica $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$. Las concentraciones máximas y mínimas de los iones Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ son del orden siguiente:

Ca ⁺⁺	0.68-0.96 mg/l.
Mg ⁺⁺	0.60-0.70 "
Na ⁺	1.22-1.40 "
K ⁺	0.19-0.23 "

En lo que se refiere a los aniones, el nacimiento de Valverde presenta la concentración más elevada de Cl⁻ (1.40 mg/l.) y en el de Frontera se encuentra el ión HCO₃⁻ como el anión predominante (1.74 mg/l.).

El ión SO₄⁼ no alcanza valores superiores a 0.96 mg/l.

La concentración de carbonato sódico residual, es extremadamente baja en el nacimiento de Frontera (0.08 mg/l.), siendo nulo en el de Valverde.

El ión F⁻ no alcanza valores superiores a 0.15 p.p.m. y el Boro no se encuentra presente en las aguas de nacientes de esta Isla.

La concentración de SiO₂, en el nacimiento de Valverde (40.7 p.p.m.) es superior al valor de SiO₂ en el nacimiento de Frontera (34.2 p.p.m.).

Los valores de pH, son ligeramente superiores a 7.

La temperatura de las aguas, son inferiores a la temperatura ambiente y no existen diferencias sensibles en la temperatura de estos dos manantiales. (17°C).

La concentración de O₂ disuelto varía entre 8 p.p.m. y 10 p.p.m., correspondiendo el valor máximo al nacimiento de Frontera.

El CO₂ disuelto, presenta en ambos manantiales una concentración inferior a 5 p.p.m.

En la Tabla N.º (45), y en las Fig. N.º (26) y (27), se indican la composición iónica y representación gráfica de estos manantiales.

Representación grafica vectorial de aguas de nacientes

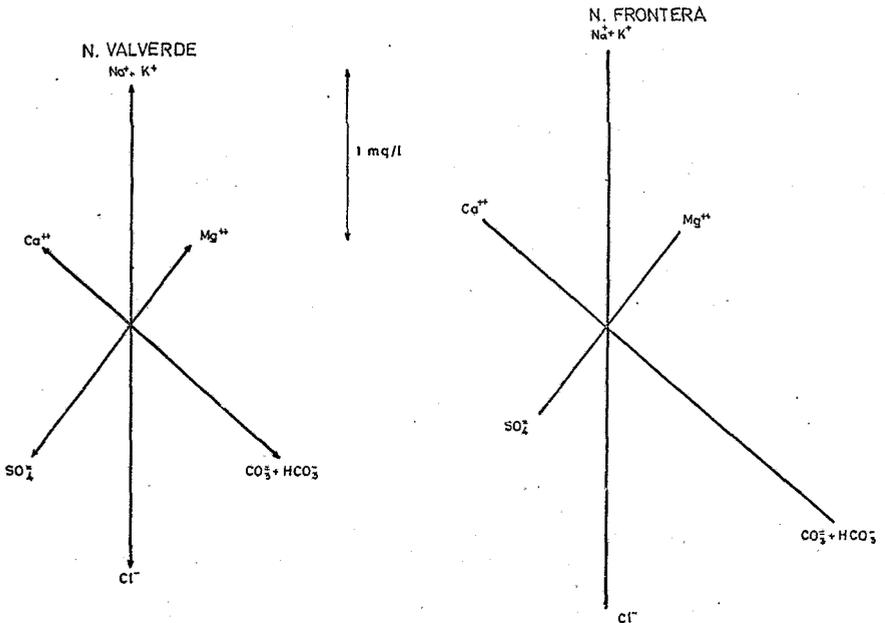


FIGURA N.º 26

TABLA N.º 45

Composición química de aguas de nacientes

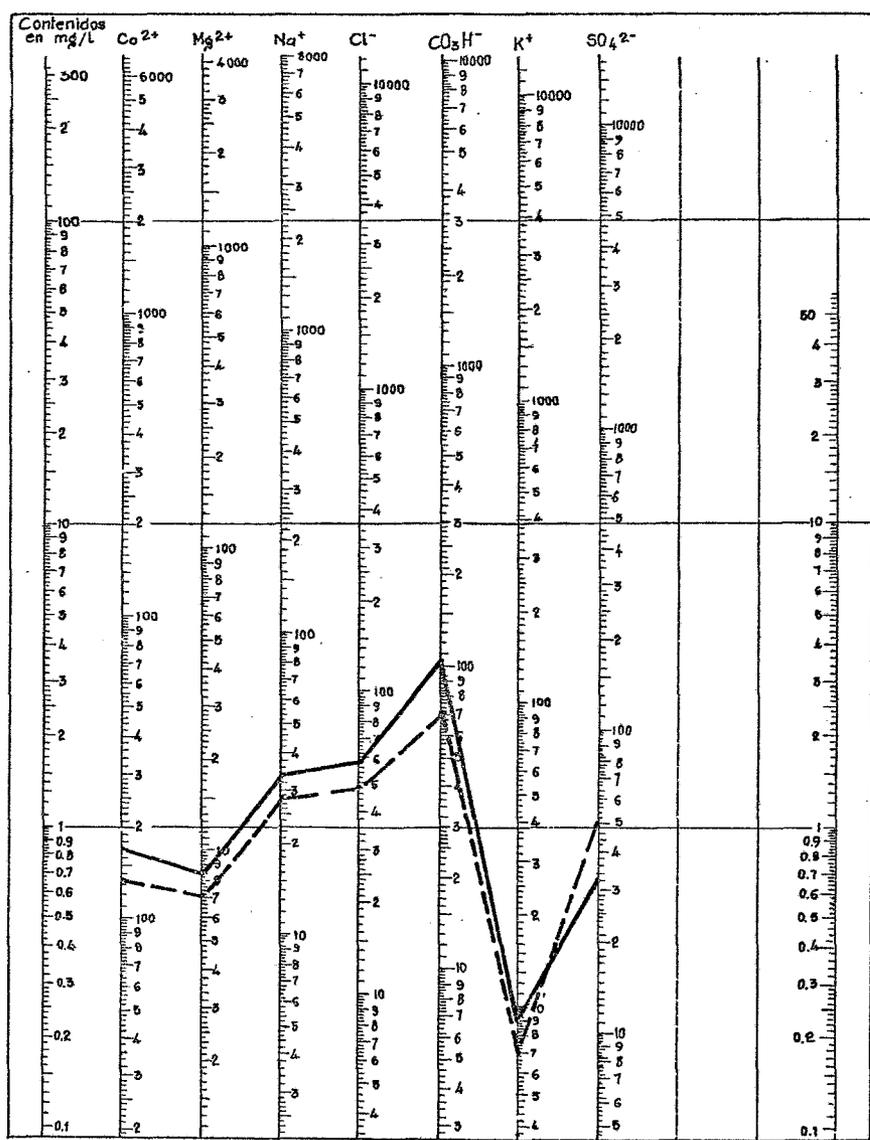
SITUACION	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
Valverde*	280	200	0.15	0.00	40.7	7.2	0.68	0.60	1.22	0.19	0.00	1.21	0.96	1.40	0.00
Frontera	350	210	0.15	0.00	34.2	7.1	0.96	0.70	1.40	0.23	0.00	1.74	0.66	1.66	0.08

TABLA N.º 46

Composición química de aguas basales

N.º	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
1	1.500	986	0.35	0.00	50.3	7.6	1.56	3.94	8.10	0.48	1.08	3.20	0.14	10.20	0.00
2	1.850	1.004	0.40	0.00	30.0	7.7	1.40	3.24	11.12	0.64	0.76	1.80	0.52	14.34	0.00
3	1.900	1.030	0.35	0.00	25.7	7.8	1.44	3.28	11.80	0.62	0.72	2.02	0.70	14.28	0.00
4	1.350	806	0.50	0.00	40.7	7.8	1.18	2.82	8.10	0.48	0.60	4.40	0.00	7.38	1.00
5	2.700	1.800	0.30	0.00	53.3	7.8	0.38	3.62	19.40	0.90	2.36	7.46	0.92	14.20	5.82
6	1.250	822	0.80	0.00	49.2	7.6	1.46	3.36	6.80	0.20	0.32	1.74	0.34	9.38	0.00

_____ N.- FRONTERA
 - - - - - N - VALVERDE



Representacion grafica logaritmica de aguas de nacientes

FIGURA N.º 27

b) *CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS BASALES*

Las aguas basales de esta Isla son de alta salinidad, con valores para la conductividad eléctrica, comprendidos entre 1.250 y 2.700 micromhos por cm.

En estos manantiales, el Na^+ es el catión predominante, con valores comprendidos entre 6.80 mq/l. y 19.40 mq/l.

Las concentraciones de los restantes cationes, varían entre los siguientes límites:

Ca^{++}	0.38-1.56 mq/l.
Mg^{++}	2.82-3.94 "
K^+	0.20-0.90 "

En todas las aguas basales, se mantiene la relación $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$.

En lo que se refiere a los aniones, el ión Cl^- es el que predomina, oscilando sus valores entre 7.38 mq/l. y 14.34 mq/l.

El ión HCO_3^- , en todas las aguas basales, se encuentra a concentraciones inferiores, a las correspondientes de Cl^- , y sus valores están comprendidos entre 1.74 mq/l. y 7.46 mq/l. Este valor máximo se encuentra en un pozo de la región de Frontera y situado en la parte más occidental de la Isla.

El ión $\text{CO}_3^{=}$ se encuentra en todas las aguas basales, en concentraciones comprendidas entre 0.32 mq/l. y 2.36 mq/l., valor máximo correspondiente al agua basal de mayor concentración de HCO_3^- .

Representación grafica vectorial de aguas basales

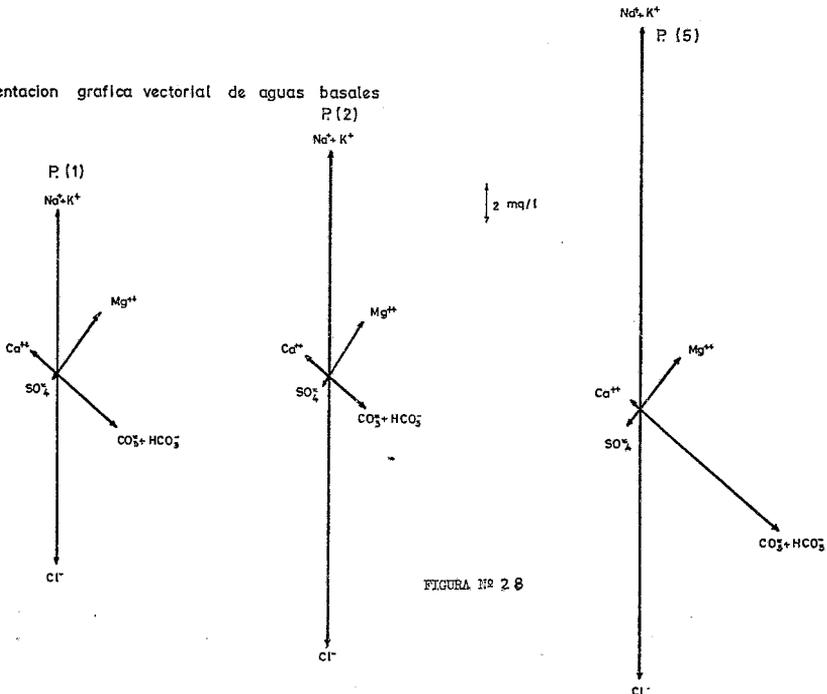


FIGURA N.º 28

FIGURA N.º 28

El ión $\text{SO}_4^{=}$ se encuentra en cinco de los seis pozos estudiados. Su concentración es baja y está comprendida entre 0.14 mq/l. y 0.92 mq/l.

El carbonato sódico residual es nulo en cuatro de los seis pozos estudiados. En los dos restantes sus valores están comprendidos entre 1 mq/l. y 5.82 mq/l.

Los valores de pH varían entre 7.6 y 7.8.

La concentración de F^- es baja, con valores inferiores a 0.80 p.p.m.

El Boro no se encuentra presente en estas aguas de pozos.

Las concentraciones de SiO_2 , están comprendidos entre 25.7 p.p.m. y 53.5 p.p.m., valor máximo correspondiente al agua basal de mayor concentración de HCO_3^- y temperatura más elevada.

Las temperaturas de las aguas, son en general inferiores a la temperatura ambiente.

Solamente existe un manantial en el que la temperatura del agua es de 28°C , superior en 5°C a la temperatura ambiente. Este valor de temperatura, corresponde al agua basal de mayor concentración iónica total y concentración más elevada de $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$ (10.82 mq/l.), y situado en la parte más occidental de la Isla.

Las concentraciones de O_2 disuelto, están comprendidos entre 6 y 12 p.p.m. y las de CO_2 disuelto entre valores menores de 5 p.p.m. y 10 p.p.m.

En la Tabla N.º (46) y en las Figuras N.º (28) y (29), se indican la composición iónica y representaciones gráficas de varios tipos de aguas basales.

- P (1)
- ==== P (2)
- P (5)

Representacion grafica logaritmica de aguas basales

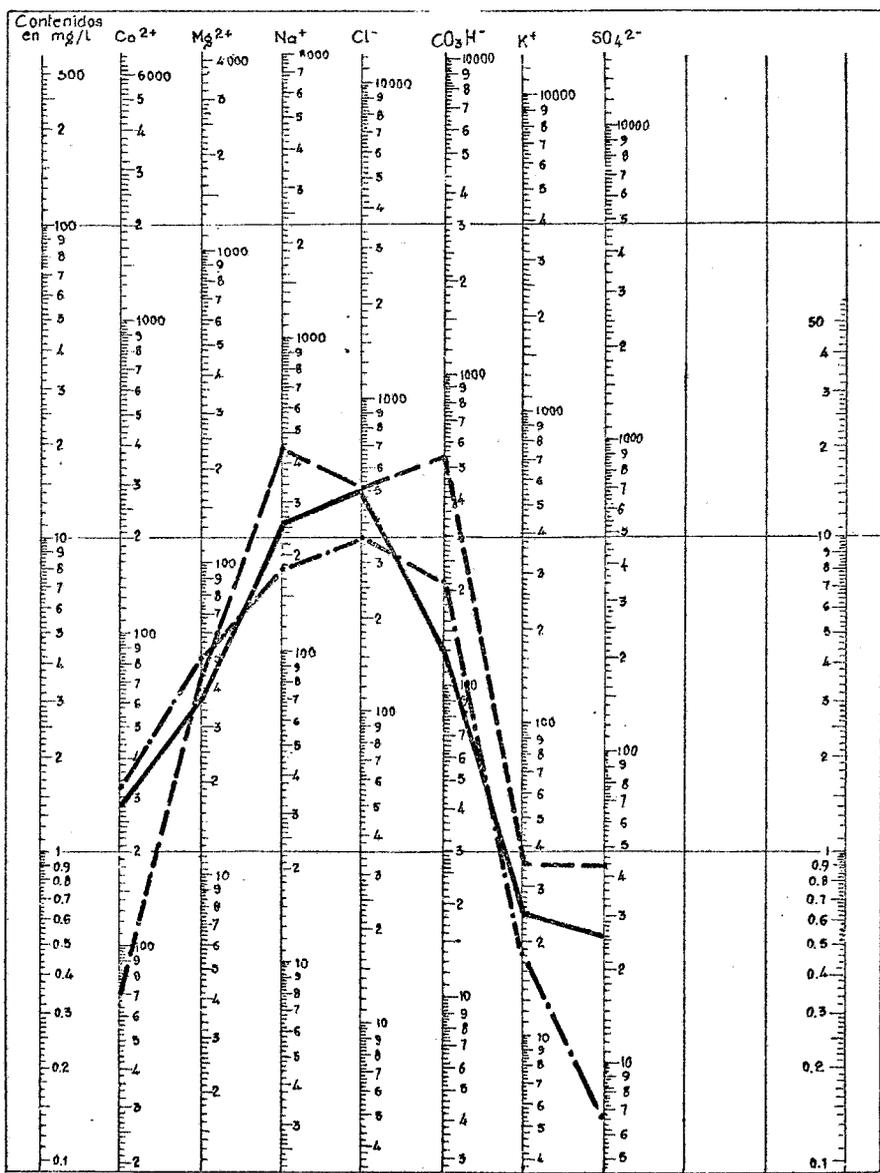


FIGURA N.º 29

TABLA N.º 47

Composición química de aguas de la Isla del Hierro
Clasificación agrícola

Manantial	Clases	CE × 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	F ⁻ p.p.m.	B p.p.m.	SiO ₂ p.p.m.	pH	Ca ⁺⁺ mq/l.	Mg ⁺⁺ mq/l.	Na ⁺ mq/l.	K ⁺ mq/l.	CO ₃ ⁼ mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ ⁼ mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	Na ₂ CO ₃ Residual
Naciente	C ₂ S ₁	280	200	0.15	0.00	40.7	7.2	0.68	0.60	1.22	0.19	0.00	1.21	0.96	1.40	0.00
Naciente	C ₂ S ₁	350	210	0.15	0.00	34.2	7.1	0.96	0.70	1.40	0.23	0.00	1.74	0.66	1.66	0.08
Pozo	C ₃ S ₁	1.500	986	0.35	0.00	50.3	7.6	1.56	3.94	8.10	0.48	1.06	3.20	0.14	10.20	0.00
Pozo	C ₃ S ₂	1.850	1.004	0.40	0.00	30.0	7.7	1.40	3.24	11.12	0.64	0.76	1.80	0.52	14.34	0.00
Pozo	C ₄ S ₃	2.700	1.800	0.30	0.00	53.5	7.8	0.38	3.62	19.40	0.90	2.36	7.46	0.92	14.20	5.82

XXIV. CLASIFICACION AGRICOLA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DEL HIERRO

De acuerdo con la clasificación agrícola, que hemos venido empleando en el estudio de las aguas subterráneas de las Islas Canarias Occidentales, las aguas de la Isla del Hierro, tanto de nacientes como de pozos, se pueden agrupar en cuatro clases diferentes: C_2S_1 , C_3S_1 , C_3S_2 y C_4S_3 .

La clase C_2S_1 , corresponde a las aguas de nacientes y las restantes a las aguas de pozos.

La composición iónica de cada una de estas aguas, tanto de nacientes como de pozos, se encuentra señalada en la Tabla N.º (47).

La distribución de las diferentes clases de aguas basales, en las dos zonas de la Isla se indican en la Tabla N.º (48).

En la figura N.º (30), se indica la composición iónica y porcentajes de las diferentes clases de aguas existentes en la Isla del Hierro, porcentajes calculados sobre la totalidad de los manantiales, tanto de nacientes como de pozos.

Se observa, que el mayor porcentaje corresponde a las aguas de la clase C_3S_2 (38%). Las clases C_2S_1 y C_3S_1 , aparecen en un 25% de la totalidad de los manantiales y por último la clase C_4S_3 , que corresponde al agua basal de mayor concentración iónica total, situado en la zona Occidental de la Isla.

Las aguas de nacientes, al clasificarse en la clase C_2S_1 , son las que presenta las mejores características para su uso con fines agrícolas.

TABLA N.º 48

Porcentaje de clases de aguas basales en la
Isla del Hierro

SITUACION	% C_3S_1	% C_3S_2	% C_4S_3
Valverde	100		
Frontera	40	40	20

% de clases en el total de manantiales (nacientes y pozos)

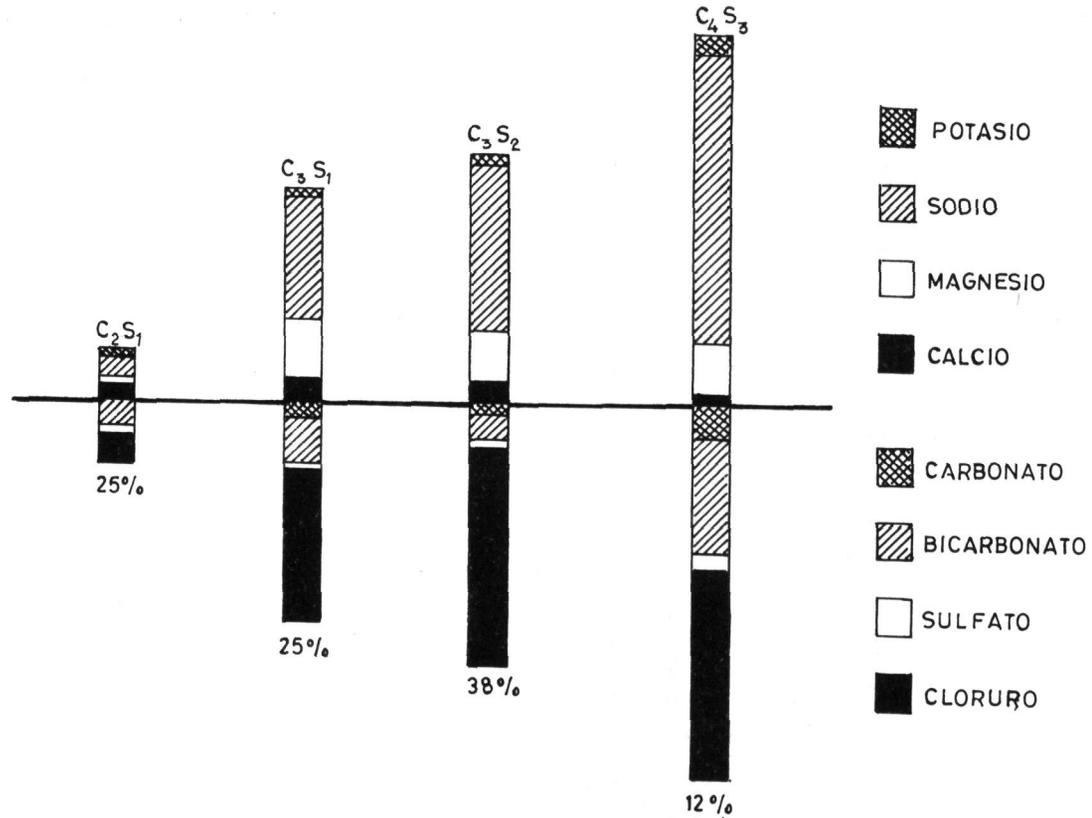


FIGURA N.º 30

XXV. CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS DE LA ISLA DEL HIERRO

En la aplicación de los diferentes sistemas de clasificación a las aguas de la Isla del Hierro, tanto de nacientes como de pozos, se han tomado como representativas, las indicadas en la Tabla N.º (47), y los resultados de la aplicación de los diferentes sistemas de clasificación en la Tabla N.º (49).

De acuerdo con las clasificaciones, que tienen en cuenta el predominio de unos iones sobre otros, el agua de nacimiento de la zona de Valverde, se clasifica principalmente como «clorurada sódica», y la existente en la zona de Frontera como «bicarbonatada sódica».

Según otros sistemas de clasificación, también pueden considerarse como «Sulfato clorurada» o «Sulfato-cloruradas-bicarbonatadas cálcico-sódicas» a la primera, y como «Sulfato-clorurada» o «Sulfato-clorurada-bicarbonatada cálcico-sódicas», a la segunda, al existir en estas aguas una relativa igualdad entre las concentraciones de los cationes Ca^{++} y Na^+ y entre los aniones HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$ y Cl^- .

Según el contenido de las sales en disolución, las aguas de nacientes pueden considerarse como salinas, con una salinidad primaria superior a la salinidad y alcalinidad secundarias.

En el agua de nacimiento de la zona de Frontera, la alcalinidad secundaria es superior a la salinidad secundaria, siendo inferior en el agua de nacimiento de la zona de Valverde.

Según las clasificaciones de Souline y Zakharina, el cloruro magnésico es la sal disuelta predominante.

En lo que se refiere a las aguas basales, los diferentes sistemas de clasificación consideran a estos manantiales como de tipo «clorurado sódico» al ser los iones Cl^- y Na^+ los que predominan en la composición química de estas aguas.

Según otras clasificaciones pueden considerarse como «cloruradas magnésico-sódicas» y «bicarbonatadas-cloruradas sódicas o magnésico-sódicas».

Según las sales disueltas, se consideran como aguas salinas, con una salinidad primaria muy superior a la salinidad y alcalinidad secundarias.

El cloruro magnésico, es la sal disuelta que predomina.

Dentro del conjunto de las aguas basales de esta Isla, se encuentra la excepción del manantial existente en la zona occidental, en el que sus aguas, son consideradas como «cloruradas sódicas» principalmente, aunque también se clasifican como «cloruradas-bicarbonatadas sódicas» al ser los iones Cl^- , HCO_3^- y Na^+ los que predominan.

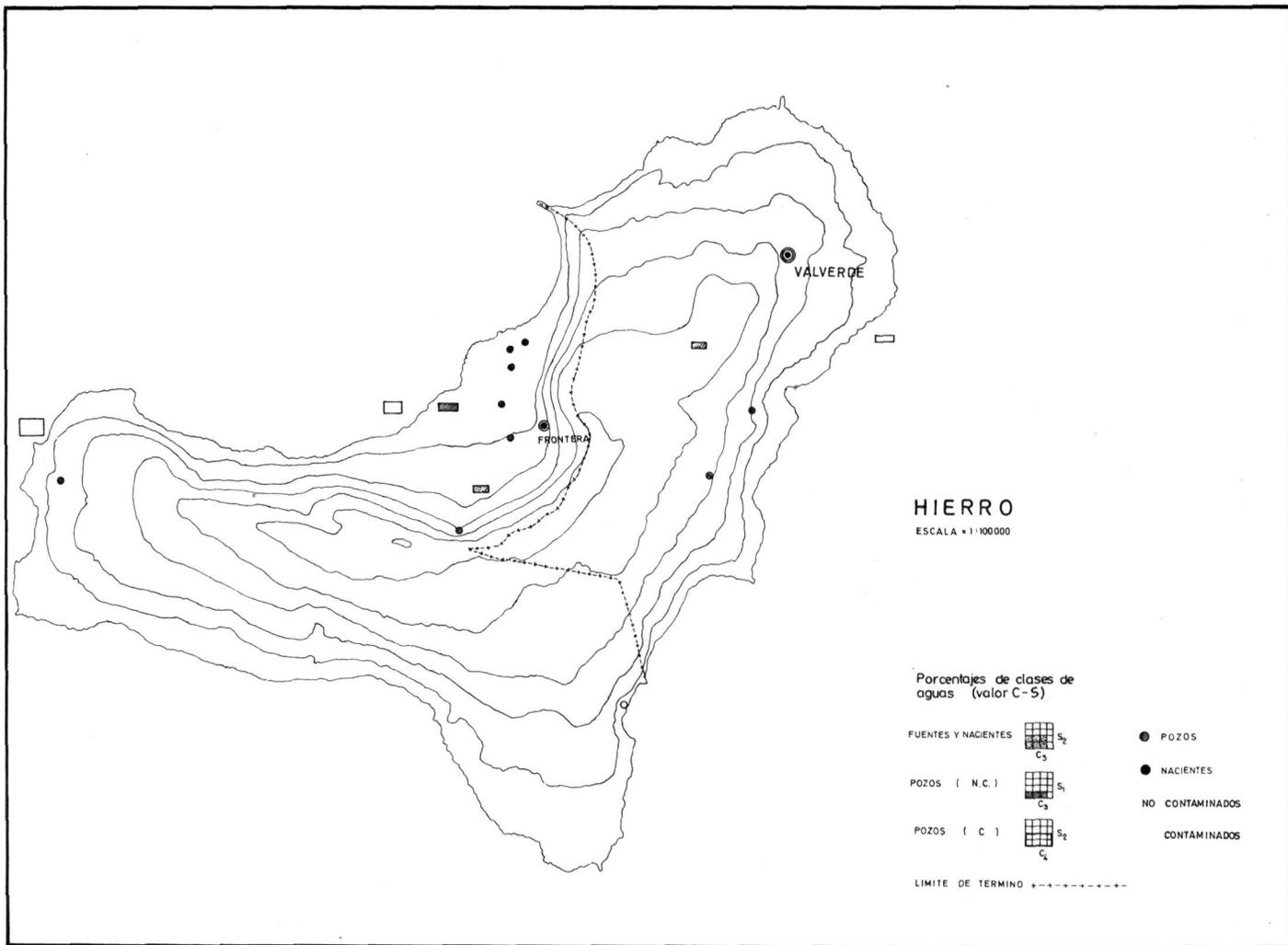
Según las sales en disolución, se clasifica como agua predominantemente alcalina, con una alcalinidad secundaria de valor muy superior a la salinidad y alcalinidad primarias. La salinidad primaria es superior a la alcalinidad primaria.

De acuerdo con la clasificación de Souline y Zakharina, el bicarbonato sódico es la sal disuelta que predomina en este tipo de aguas.

TABLA N.º 49

Clasificación química de aguas de nacientes (N) y basales (p) en la Isla del Hierro

N.º	ALEKINE (1)	SCHOELLER (2)	BAZILEVICH (3)	SHCHUKAREV (4)	FILATOV (5)	CHASE PALMER (6)	SOULINE (7)	ZAKHARINA (8)
1 N	T—III (clorurada) C—c (sódica) G—2	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipocarbonatada i c b— T—3 C—c	T—B Sulfatada clorurada	T—7 T—5 Sulfato-cloruradas- bicarbonatadas- cálcico sódicas	T—2 Bicarbonatadas cloruradas de transición	T—III 2 a=2.8 S ₁ 2 (d-a)=0.9 S ₂ 2 (a+b-d)=0.7 A ₂	T—3 Clorurada magnésica G—C clorurada C—c	T—3 Clorurada magnésica C—4
2 N	T—I (Bicarbonatada) C—c (sódica) G—1	Composición clorurada normal sulfatada normal Hipocarbonatada i c b+ T—I C—c	T—B Sulfatada clorurada	T—5 T—5 Bicarbonatadas cloruradas cálcico sódicas	T—2 Bicarbonatadas cloruradas de transición	T—III 2 a=3.3 S ₁ 2 (d-a)=1.4 S ₂ 2 (a+b-d)=1.9 A ₂	T—3 Clorurada magnésica G—A Bicarbonatada C—c	T—3 Clorurada magnésica C—4
3 p	T—III (clorurada) C—c (sódica) G—3	Composición Oligoclorurada sulfatada normal carbonatada normal i c b+ T—I C—c	T—B Sulfatada clorurada	T—5 T—6 Bicarbonatadas cloruradas Magnésico- sódicas	T—I Clorurada pura	T—III 2 a=17.2 S ₁ 2 (d-a)=3.5 S ₂ 2 (a+b-d)=3.7 A ₂	T—3 Clorurada magnésica G—C clorurada C—c	T—3 Clorurada magnésica C—4
4 p	T—III (clorurada) C—c (sódica) G—3	Composición Oligoclorurada Sulfatada normal carbonatada normal i c b+ T—I C—c	T—B Sulfatada clorurada	T—3 T—6 Cloruradas Magnésico- sódicas	T—I Clorurada pura	T—III 2 a=23.5 S ₁ 2 (d-a)=6.2 S ₂ 2 (a+b-d)=1.5 A ₂	T—3 Clorurada magnésica G—C clorurada C—c	T—3 Clorurada magnésica C—4
5 p	T—III (clorurada) C—c (sódica) G—1	Composición Oligoclorurada sulfatada normal Hipercarbonatada i c b— T—3 C—c	T—B Sulfatada clorurada	T—5 T—3 Bicarbonatadas cloruradas sódicas	T—2 Clorurada bicarbonatada de transición	T—I 2 d=30.2 S ₁ 2 (a-d)=10.4 A ₁ a b=81.2 A ₂	T—2 Bicarbonatada sódica G—C clorurada C—b	T—2 Bicarbonatada sódica



XXVI. LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LAS ISLAS CANARIAS OCCIDENTALES

Estudios sobre el empleo de aguas bicarbonatadas

En determinadas regiones hidrográficas de la Isla de Tenerife, se observa el predominio de manantiales con concentraciones elevadas de ión HCO_3^- .

Las concentraciones en HCO_3^- y Na^+ en estas aguas se mantienen relativamente elevadas frente a los niveles de Ca^{++} y Mg^{++} , dando lugar a valores altos de « Na_2CO_3 residual». Los valores máximos y mínimos oscilan entre 4 mq/l. y 9 mq/l.

El exceso de HCO_3^- presente altera el equilibrio entre el Na^+ y Ca^{++} + Mg^{++} , contribuyendo a aumentar la concentración relativa de Na^+ en la solución del suelo por precipitación del Ca^{++} y Mg^{++} como carbonatos (38), (39), (40), (41), (42).

Estas reacciones favorecen la alcalinización del suelo, pudiendo modificar la composición de los constituyentes adsorbidos en el complejo de cambio. (43), (44), (45).

Por otra parte, la concentración de sales de estas aguas puede conducir igualmente a la aparición de fenómenos de salinidad, como consecuencia de modificaciones en la concentración de la solución del suelo. (46), (47).

No obstante las características indicadas, estas aguas vienen empleándose satisfactoriamente para el riego, principalmente en cultivos de plátanos, en una extensión superior a 1.000 Ha. en la zona Norte de la isla de Tenerife, coincidiendo con una región donde abundan los manantiales de aguas bicarbonatadas de alta concentración.

Algunas de las plantaciones más antiguas de esta zona han estado bajo riego con estas aguas por períodos de tiempo superiores a cuarenta años, aunque en general el período medio de riego para la totalidad de la zona oscila entre veinte y treinta años.

Teniendo en cuenta el desarrollo normal de los cultivos de plátanos de esta zona, nos interesa conocer en que medida se han podido producir alteraciones en las propiedades físico-químicas de estos suelos, una vez alcanzado un estado de equilibrio suelo-agua, o la existencia de fenómenos de salinidad o alcalinidad que pueden ser tolerables por estas plantas (48).

Los resultados obtenidos en este estudio, podrían ser generalizados a las restantes Islas, teniendo en cuenta la presencia constante del ión HCO_3^- , en todas las aguas subterráneas en Canarias.

TABLA N.º 50

N.º	pH	CE - 10 ⁶ 25°C	Sólidos disueltos p.p.m.	Ca++ mq/l.	Mg++ mq/l.	Na+ mq/l.	K+ mq/l.	CO ₃ = mq/l.	HCO ₃ ⁻ mq/l.	SO ₄ = mq/l.	Cl ⁻ mq/l.	%Na	SAR	Na ₂ CO ₃ Residual	Clasificación
1	8.0	1.230	1.122	0.60	2.70	9.31	1.49	0.00	12.36	0.75	0.44	66.0	7.2	9.06	C ₃ S ₂
2	7.3	1.206	1.331	2.32	4.00	10.40	1.19	0.00	15.19	0.00	0.68	58.0	5.8	8.87	C ₃ S ₂
3	8.5	1.166	1.066	0.70	3.12	10.18	1.37	1.97	9.87	0.62	1.00	66.0	7.3	8.02	C ₃ S ₂
4	8.4	1.200	941	0.56	2.58	8.45	1.40	3.16	8.76	0.00	0.58	65.0	6.8	8.78	C ₃ S ₂
5	8.5	1.149	1.128	0.93	3.05	10.18	1.02	1.97	9.41	2.79	0.88	67.0	7.2	7.40	C ₃ S ₂
6	8.8	1.133	987	0.65	2.86	8.72	1.35	2.23	8.84	0.77	1.22	64.0	6.5	6.55	C ₃ S ₂
7	8.8	1.000	866	0.83	2.93	8.73	1.00	2.18	7.87	0.00	0.80	64.7	6.2	6.29	C ₃ S ₂
8	8.5	794	727	0.76	1.32	8.80	0.80	1.25	6.38	0.00	1.00	75.3	8.5	5.55	C ₃ S ₂
9	7.4	909	862	0.92	2.00	6.00	0.78	0.00	9.20	1.01	0.86	56.6	4.4	5.38	C ₃ S ₁

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS

En la Tabla N.º (50), se indican las características químicas de las aguas bicarbonatadas de esta región.

Igualmente se encuentran en esta zona manantiales con aguas bicarbonatadas de menor concretración que las indicadas en la Tabla N.º (50), pero no las incluimos en este estudio por su escasa aportación a la totalidad de las aguas de esta zona.

Si estudiamos los datos analíticos indicados en la Tabla N.º (50), siguiendo cualquiera de los criterios de clasificación más aceptados para la valoración agrícola de las aguas de riego, nos encontraríamos con serias limitaciones para el empleo de estas aguas, principalmente considerando los altos valores del « Na_2CO_3 residual» y desequilibrio Na/Ca.

Concretándonos al método de clasificación más aceptado en la actualidad y propuesto por el U.S. Salinity Laboratory (Riverside), el conjunto de estas aguas deben ser clasificadas en la clase C_3S_2 , que impone las siguientes limitaciones:

C_3 . Aguas de alta salinidad.—No pueden ser empleadas en suelos con mal drenaje. Aun en los casos de un drenaje satisfactorio deben tomarse las máximas precauciones para el control de la salinidad del suelo. Se recomienda cultivar solamente plantas tolerantes a las sales.

S_2 . Aguas de concentración media en sodio.—Los efectos del Na^+ pueden ser muy importantes en suelos de textura fina y alta capacidad de cambio catiónico, especialmente cuando el drenaje es defectuoso. Este tipo de aguas puede ser empleado en suelos de textura arenosa o suelos orgánicos de alta permeabilidad.

De acuerdo con las consideraciones anteriores hemos de esperar que el empleo de estas aguas conducirá a la aparición de fenómenos de salinidad o alcalinidad en los suelos regados.

Por otra parte, es necesario considerar que en la clasificación anterior no se tiene en cuenta el « Na_2CO_3 residual» y su significación en el aumento de la concentración relativa de Na^+ en la solución del suelo, intensificando sus efectos alcalinos.

Los límites máximos y mínimos de « Na_2CO_3 residual» admisible en las aguas de riego han quedado establecidos por Eaton (22) y Wilcox (41), considerando como valor máximo 2,5 mq/l. y un valor umbral mínimo de 1,25 mq/l.

En experimentos realizados por Wilcox (41), con aguas bicarbonatadas a diferentes niveles de « Na_2CO_3 residual», encuentra que en suelos bien drenados el % de Na^+ de cambio alcanza valores de 52% y 72%, para una concentración total de sales en el agua de 20 mq/l. y un « Na_2CO_3 residual», de 5 mq/l. Cuando las aguas empleadas tienen una concentración total de 10 mq/l. y el « Na_2CO_3 residual» es del orden de 2.5 mq/l., el % de Na^+ de cambio puede elevarse hasta 20% y 42%, respectivamente.

En nuestro caso las aguas empleadas tienen un « Na_2CO_3 residual», que oscila entre 4 y 9 mq/l., y la concentración total de sales oscila entre 11 y 17 mq/l. Otra característica importante de las aguas de riego es la relación Na/Ca. Según Mc George (48), la adsorción del ión Na^+ por el suelo en función de la salinidad de las aguas de riego está íntimamente relacionada con los valores de Na/Ca (50), (51).

Cuando esta relación en las aguas es del orden de 5 ± 5 , el % de sodio de cambio puede llegar a alcanzar valores de 25 ± 5 . En las aguas de los manantiales objeto de este estudio esta relación se mantiene aproximadamente alrededor de 10.

Por otra parte, Hausenbuieller (52) ha podido comprobar una tendencia a la acumulación del Na en los horizontes superiores de columnas de suelo, cuando son sometidas a un tratamiento con aguas conteniendo una relación Na/Ca=9.

Según Kelly (53), tiene mucho más interés considerar el contenido en Ca^{++} de las aguas de riego que su concentración en Na^+ . Aguas conteniendo un mínimo de 35% de Ca^{++} y una concentración total de 15 a 18 mq/l. no presentan dificultades en su empleo, siempre que las cantidades de agua empleadas y el drenaje de los suelos sean satisfactorios. En nuestro caso, las aguas que estudiamos contienen Ca^{++} en proporciones que oscilan entre 4% y 18%, con unos valores medios del orden del 5%.

El pH es alcalino en todos los casos, y sus valores máximos y mínimos corresponden a 8.85 y 7.26, respectivamente, aunque el 80% de las muestras corresponden a valores de pH superiores a 8.

Los valores de Cl^- son bajos, como es normal en los manantiales de zonas montañosas.

Los % de Na^+ soluble oscilan entre aproximadamente 56% y 75%.

EXPERIMENTAL

Con el fin de poder estudiar con mayor precisión el efecto de estas aguas, en los distintos suelos de esta zona, hemos considerado separadamente algunos de estos manantiales, distinguiendo los dos casos siguientes:

a) Suelos regados permanentemente con aguas del mismo manantial.

b) Suelos regados con mezclas de los diferentes tipos de aguas de la zona.

Al primer caso corresponde la muestra N.º (1) de la Tabla N.º (50). Este manantial tiene sus aguas parcialmente canalizadas hacia determinadas plantaciones, que se han regado exclusivamente con sus aguas durante más de veinticinco años. Es de interés destacar aquí que una característica muy importante de las aguas de galerías es la constancia de su composición, cualquiera que sea el período de producción del manantial. Esta propiedad nos permite afirmar que los suelos regados con el manantial N.º (1), han recibido siempre aguas de la misma composición química.

Las plantaciones correspondientes al segundo caso se riegan indiferentemente con las distintas aguas de esta región, que se mezclan en diferentes proporciones en los canales de riego, por lo que su concentración es incierta y muy variable.

Los efectos de estas aguas en los suelos estarán, naturalmente, influenciados muy directamente por estas variaciones en su composición.

No obstante, de igual manera que en el caso anterior, las concentraciones de $\text{CO}_3^{=}$ y HCO_3^- en estas mezclas de aguas son siempre superiores al $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ y los valores de « Na_2CO_3 residual» nunca inferiores a 2.5 mq/l.

TOMA DE MUESTRAS Y METODOS DE ANALISIS

Se tomaron muestras superficiales y profundas en perfiles, entre 0-20 cm. y 20-50 cm., respectivamente.

Se realizaron las siguientes determinaciones en suelos: pH (suelo-agua 1: 2.5), conductividad eléctrica del extracto saturado, análisis cuantitativo de Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , Cl^- y $\text{SO}_4^{=}$ en el extracto saturado, capacidad total de cambio, Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} de cambio, carbonato cálcico equivalente y conductividad hidráulica.

TABLA N.º 51

					EXTRACTO SATURADO							IONES DE CAMBIO							
N.º	% Saturación	% CO ₃ Ca	pH	CE × 10 ³ 25°C	Ca++	Mg++	Na+	K+	CO ₃ =+ CO ₃ H ⁻	Cl ⁻	SO ₄ =	PSS	SAR	Ca+Mg	Na	K	CTS	PSC	PPC
							mg/l.							mg/100 gr.					
1	52.2	0.90	8.5	2.45	8.50	8.20	19.12	3.20	13.20	8.30	7.00	49.0	6.6	27.68	2.81	5.36	35.85	7.8	14.9
2	46.3	0.60	8.6	2.12	7.10	6.70	19.25	3.10	16.50	6.80	1.70	53.2	7.3	20.61	3.12	4.37	28.10	11.1	15.5
3	45.8	1.00	8.0	4.05	29.30	19.40	26.00	3.35	9.10	9.40	49.00	33.3	5.2	20.90	2.61	5.36	28.87	9.0	18.6
4	50.5	0.20	8.5	3.57	8.40	13.50	27.75	3.22	21.20	11.00	9.50	52.5	8.3	24.16	2.45	3.70	30.31	8.1	12.2
5	55.9	1.00	8.4	2.32	7.60	7.00	19.50	3.30	16.40	9.40	1.80	52.1	7.2	24.05	2.94	5.68	32.67	9.0	17.4
6	47.6	0.30	8.3	3.29	13.60	13.10	23.62	4.65	18.00	8.10	26.50	43.0	6.4	19.97	2.68	5.36	28.01	9.6	19.1
7	40.0	0.60	8.7	3.12	7.70	8.10	25.75	3.40	16.50	12.80	7.50	57.3	9.1	18.48	2.97	5.51	26.96	11.0	20.4
8	44.2	0.60	8.2	2.82	8.40	9.20	21.87	2.60	13.50	19.60	1.30	52.0	7.3	25.10	2.73	3.70	31.53	8.6	11.7
9	40.2	0.60	8.6	3.65	11.90	12.70	27.50	4.95	13.50	11.70	13.50	48.2	7.8	17.51	3.35	3.61	24.47	13.7	14.7
10	42.1	1.00	8.8	3.85	10.70	9.70	24.12	3.22	16.60	8.10	9.00	50.5	7.5	17.50	3.03	6.09	26.62	11.4	22.9

PSS = Por ciento sodio soluble
 CTS = Capacidad total de cambio
 PSC = Por ciento sodio de cambio
 PPC = Por ciento potasio de cambio

A partir de estos análisis se han calculado S A R, porcentaje de Na y K de cambio y % de Na soluble.

En los análisis de aguas se determinó: pH, conductividad eléctrica, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , $CO_3^{=}$, $SO_4^{=}$ y Cl^- .

Se han empleado los métodos de análisis recomendados por el U.S. Salinity Laboratory Staff (Riverside), Agriculture Handbook, N.º 60.

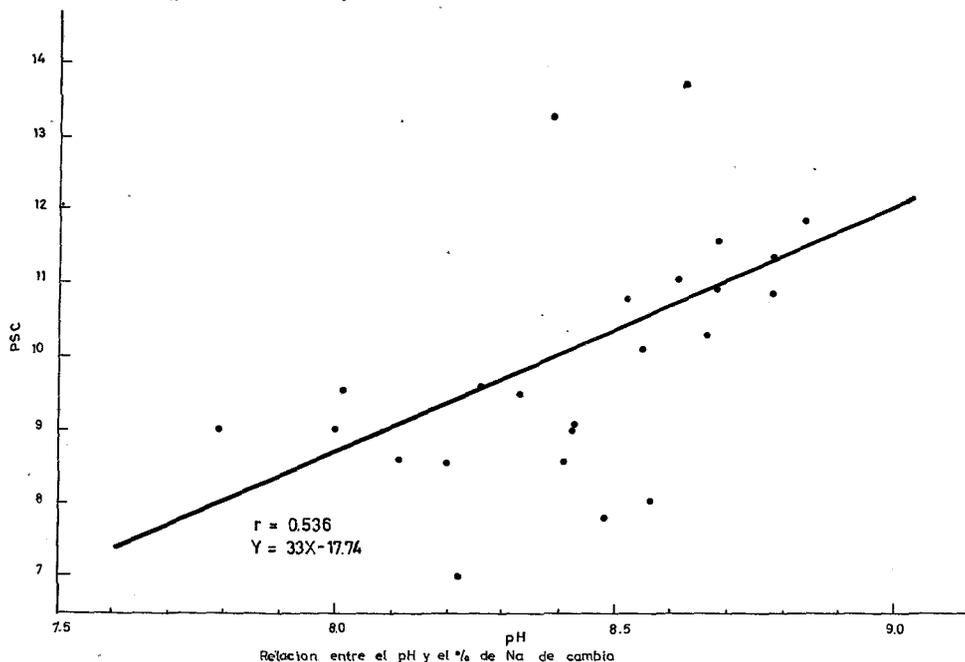
CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

La composición química de los suelos regados con las aguas correspondientes a la muestra N.º (1) se indica en la Tabla (51).

Teniendo en cuenta las características de las aguas de este manantial, principalmente en lo que se refiere a la relación Na/Ca y carbonato sódico residual, cabría esperar una alcalinización intensa en estos suelos, con unos valores muy elevados para el Na adsorbido (54). No obstante, en ningún caso se alcanza el valor mínimo (15%) de Na de cambio, a partir del cual un suelo puede considerarse alcalino.

Los niveles del % de sodio de cambio oscilan entre 13% y 7%, con unos valores medios que se aproximan a un 10%.

Sólo los valores de pH se aproximan a los niveles mínimos característicos de los suelos alcalinos (pH 8.5). En este caso, teniendo en cuenta los valores relativamente bajos encontrados para el Na adsorbido, pensamos que el pH de los suelos debe estar mucho más directamente influido por el HCO_3^- del agua que por el Na^+ del suelo. Sin embargo, se observa en la gráfica N.º (43) que existe una buena correlación entre el pH del suelo y el % de Na^+ de cambio.



GRAFICA N.º 43

Es interesante observar en estos suelos los valores extraordinariamente elevados del % de K^+ de cambio, muy superiores en todos los casos a los valores correspondientes de Na^+ , alcanzando niveles del orden del 22.9% en la muestra N.º (10).

Según Heimamm y al. (55) los suelos tienen, en general, una mayor preferencia para la adsorción del K^+ que para el Na^+ . La gran abundancia de K^+ en los suelos de Tenerife, en formas fácilmente solubles, puede contribuir en cierto modo a interferir en la fijación del Na^+ por el complejo de cambio. En la Tabla (51) se indica la magnitud de estos valores para el K^+ soluble y de cambio.

Tampoco se observan fenómenos de salinidad en estos suelos, a pesar de la clasificación de las aguas de este manantial en el grupo C_3S_2 . Solamente en la muestra N.º (3), de la Tabla (51), se aprecian concentraciones salinas ligeramente altas.

No obstante, en todas las muestras superficiales de estos suelos la concentración de sales es superior a la que corresponde a las aguas de riego. En las muestras profundas las concentraciones salinas son relativamente menores (tabla N.º 52).

Como es de esperar, en los suelos regados con mezclas de aguas, con una concentración total de sales y « Na_2CO_3 residual» menores que para la muestra de agua N.º 1, los fenómenos de alcalinidad y salinidad en los suelos son aún menos intensos (Tabla N.º 53).

No se observa acumulaciones de CO_3Ca en estos suelos, a pesar de la concentración elevada de HCO_3^- en el agua de riego y $Ca^{++} + Mg^{++}$ en la solución del suelo. Por otra parte, los índices de Langelier (56), calculados para todas estas aguas, son igualmente positivos, lo que indica una tendencia a precipitar CO_3Ca .

No obstante, y de acuerdo con nuestros resultados experimentales, es muy difícil la estimación de las cantidades de HCO_3^- , que precipitarán en el suelo (52).

Para suelos bien drenados, en ausencia de una capa freática, como es el caso presente, influirán en este proceso: el exceso de agua de riego aplicada, la producción de CO_2 por las raíces de las plantas y microorganismos, frecuencia de riego, etc.

Además, según Kelley (53), la precipitación del $CaCO_3$ puede ser evitada por el empleo de fertilizantes amoniacales. Estos tipos de abonos se emplean muy abundantemente en la fertilización del plátano en Canarias.

La conductividad hidráulica (57) de los suelos de la Tabla (51) varía entre 16.2 cm./hora y 158.4 cm./hora, con un valor medio de aproximadamente 80 cm./hora. En los suelos correspondientes a la tabla (53), la conductividad hidráulica oscila entre 14.4 cm./hora y 72.00 cm./hora, con valores medios de 20 cm./hora. Estos valores son muy elevados, si se comparan con los que se encuentran normalmente en los suelos alcalinos. Según el U.S. Salinity Laboratory, valores de conductividad hidráulica del orden de 0.1 cm./hora conduce a dificultades en las prácticas de riego.

Aparte de otras consideraciones relacionadas con las propiedades de textura y estructura del suelo, la aplicación regular de cantidades considerables de materia orgánica (30.000 Kg./Ha./año), contribuirá considerablemente a mejorar la permeabilidad hidráulica de estos suelos.

De acuerdo con los resultados experimentales encontrados en este estudio, podemos afirmar que no se cumplen en estos suelos, bajo cultivos de plátanos, los procesos de alcalinización o salinización que cabría esperar, dadas las características químicas de las aguas de riego.

Es evidente que el sistema de riego por inundación que se sigue en estas plantaciones, a intervalos frecuentes, y aplicando volúmenes de agua considerable (58), cuando todavía la humedad del suelo se encuentra próxima a la capacidad de campo, ha impedido un aumento de la concentración de sales en el suelo necesaria para que se produzcan los procesos de salinización y alcalinización a que antes aludíamos.

TABLA N.º 52

					EXTRACTO SATURADO									IONES DE CAMBIO					
N.º	Saturación	CO ₃ Ca	pH	CE × 10 ³ 25°C	Ca++	Mg++	Na+	K+	CO ₃ ⁼ + CO ₃ H ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	PSS	SAR	Ca+Mg	Na	K	CTC	PSC	PPC
							mq/l.							mq/100 gr.					
1	40.5	0.00	8.7	2.38	4.40	5.50	16.25	1.95	9.00	9.50	1.90	57.8	7.3	18.78	2.94	3.60	25.32 ¹	11.6	14.2
2	40.4	0.70	8.8	1.90	5.30	5.80	16.12	1.71	8.50	10.00	1.40	55.7	6.8	21.69	3.51	4.25	29.45	11.9	14.4
3	41.8	0.60	8.7	3.12	5.50	8.20	20.75	2.37	7.20	11.80	10.50	56.3	7.9	21.08	2.80	3.39	27.27	10.3	12.4
6	41.1	0.30	8.5	2.55	5.70	6.70	16.37	2.35	10.60	6.30	3.60	52.6	6.6	17.95	2.57	3.32	23.84	10.84	13.9
8	40.5	0.30	8.4	2.30	8.40	6.70	18.25	2.25	12.20	11.50	0.30	51.3	6.6	22.33	2.42	3.22	27.97	8.6	11.5

PSS = Por ciento sodio soluble

CTC = Capacidad total de cambio

PSC = Por ciento sodio de cambio

PPC = Por ciento potasio de cambio

TABLA N.º 53

				EXTRACTO SATURADO									IONES DE CAMBIO	
N.º	% Saturación	pH	CE × 10 ³ 25°C	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼ + CO ₃ H ⁻	Cl ⁻	% CO ₃ Ca	PSS	SAR	Na	Na
						mq/l.							mq/100 gr.	%
1	53.3	8.2	2.43	4.88	15.28	17.64	1.77	9.55	12.70	0.21	44.6	5.6	2.63	6.49
2	42.4	8.0	1.81	3.64	5.40	11.02	1.70	4.67	10.90	0.21	50.6	5.2	2.21	5.99
3	53.2	8.3	2.27	3.53	6.03	15.00	2.35	6.72	13.40	0.60	55.7	6.9	2.95	8.13
4	38.2	8.4	1.93	2.91	5.56	14.12	1.50	4.93	11.35	0.20	58.6	4.9	2.82	5.56
5	54.8	8.2	2.09	5.20	5.77	14.46	1.80	2.57	12.35	0.40	53.1	4.3	3.16	4.89
6	45.5	7.9	1.29	3.03	5.66	9.18	1.16	5.56	6.20	0.80	48.2	4.4	3.26	4.98
7	44.7	7.9	1.19	1.80	3.19	11.47	1.17	3.41	4.60	0.00	65.1	4.6	2.99	5.24
8	51.8	8.3	1.62	4.27	4.37	10.59	1.20	5.09	6.15	1.00	51.8	5.1	4.49	5.88

Sólo en las muestras superficiales, correspondientes a la Tabla (51), se observa un ligero aumento en la concentración salina, justamente en la zona de mayor abundancia radicular, debido fundamentalmente a pérdidas de humedad por procesos de transpiración muy intensos en estas plantas, y a fenómenos de evaporación superficial.

Todas las consideraciones anteriores, en las que se pone de manifiesto unas grandes desviaciones en el comportamiento de estos suelos frente a los resultados previsibles, nos hace pensar que las técnicas de cultivo utilizadas y naturaleza de los minerales que determinan las características del complejo de cambio hayan influido considerablemente en los resultados observados.

Por otra parte, es necesario destacar que la solución del suelo se encuentra en equilibrio con las aguas de riego, como veremos a continuación, principalmente en los suelos de la tabla (51), regados con un sólo tipo de aguas. Esta condición de equilibrio es esencial que llegue a producirse, para que puedan ponerse de manifiesto los fenómenos que normalmente se derivan del uso de aguas de esta clase.

Bower (59), basándose en la ecuación de Erickson (60), estableció una fórmula que nos permite calcular con bastante aproximación el volumen de agua necesario para que se alcance el equilibrio agua-suelo. La fórmula propuesta por Bower es:

$$H = F \times (C. T. C.) \times D \times P \quad (*)$$

Según las características de los suelos de la Tabla (51), y a un perfil de $P = 100$ cm., se calcula que el equilibrio teórico, según esta fórmula, se alcanza en un período de seis a diez años aproximadamente, para los diferentes suelos, con el régimen de riegos normal en estos cultivos utilizando un volumen de agua de 1.200 mm. anuales por Ha. Los suelos estudiados han estado bajo riego durante un período de más de veinte años.

La contribución de las aguas de lluvia en esta zona al volumen total de aguas de riego es, normalmente, del orden de 200 mm., aunque eventualmente puede llegar algunos años a 500 mm. Según Chapman (61), las aguas de lluvia no modifican la salinidad de los suelos cuando esta precipitación es del orden de 250 mm. anuales. Estas aguas de lluvia no suelen ser de carácter torrencial, y generalmente no producen fenómenos de lixiviación.

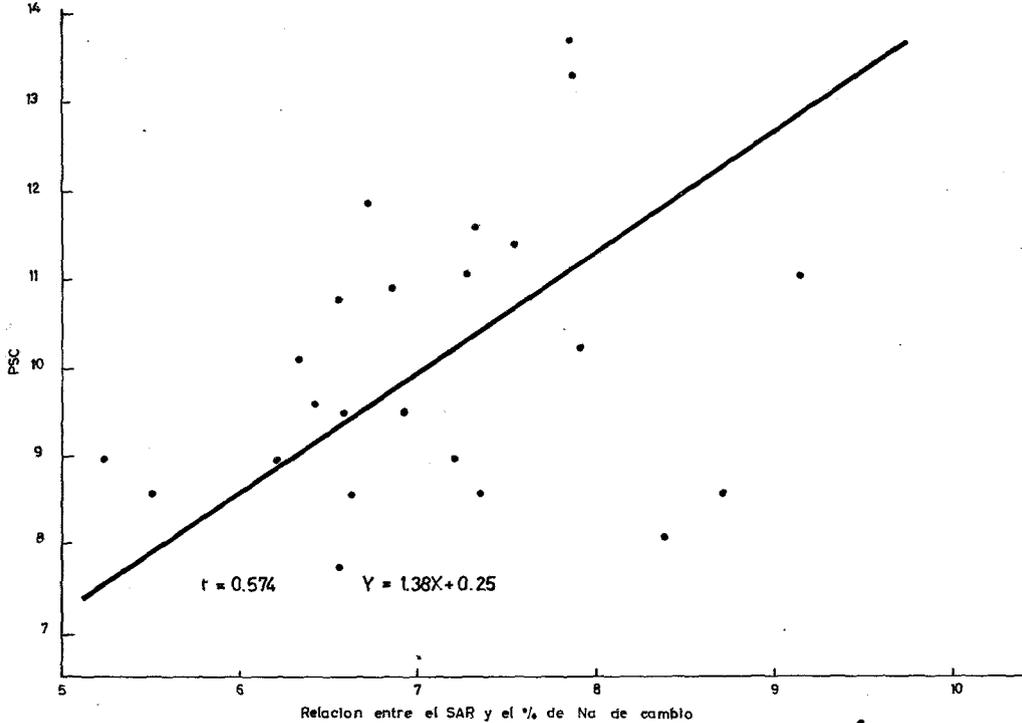
(*) H: Altura de agua requerida en cm.

F: Factor experimental de relación entre $Na^{+} / \sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}$ (mol/l) $^{1/2}$ y la concentración total de cationes en el agua de riego en mq/l.

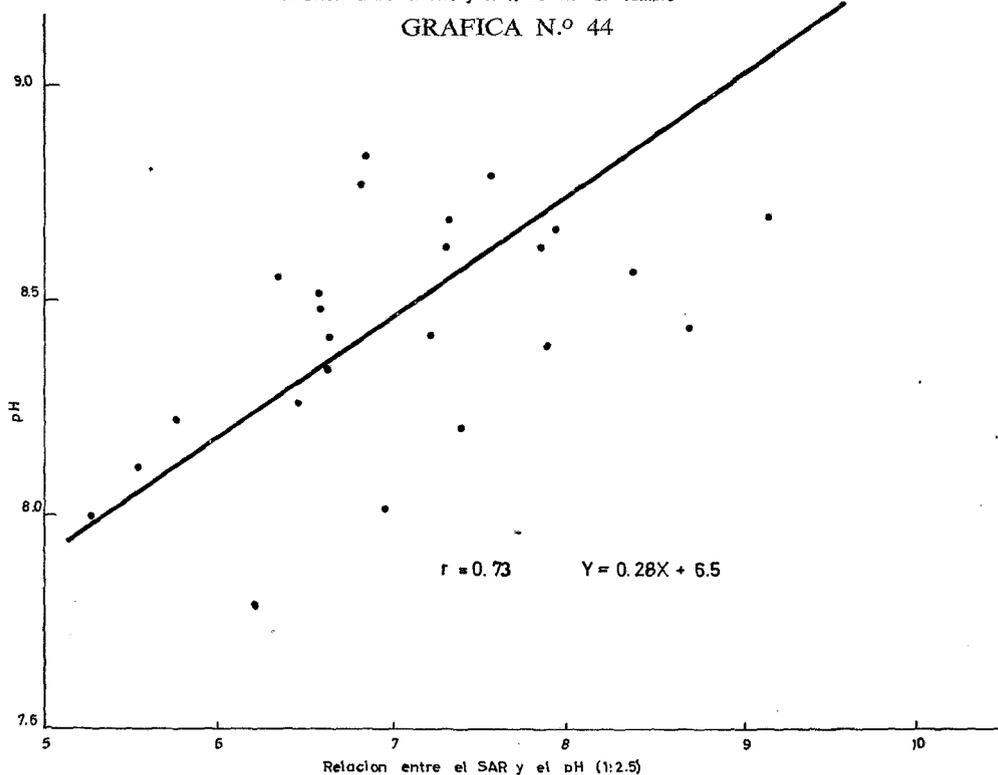
C.T.C.: Capacidad de cambio catiónico en mq/100 gr.

D: Densidad del suelo en gr./cm³

P: Perfil del suelo en cm.



GRAFICA N.º 44



GRAFICA N.º 45

Por otra parte, el estado de equilibrio agua-suelo, ha sido también confirmado mediante el cálculo del S A R del agua y de los suelos bajo riego. El S A R para el agua de la muestra N.º (1), en la Tabla (50), tiene un valor de 7.2 y los S A R para los suelos de la Tabla (51), se corresponden en magnitud con el valor obtenido para el agua. Esta condición de equilibrio nos permite, además, confirmar la influencia que ha tenido el agua de riego en los niveles del % de Na de cambio del suelo, al observarse una buena correlación entre el S A R (*) del extracto saturado y el % de Na de cambio, como puede apreciarse en la gráfica N.º (44). De igual manera existe una buena correlación entre el S A R del extracto saturado y el pH del suelo (gráfica N.º 45).

(*)

$$\text{S A R} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}} (\text{mq/l})^{1/2}$$

XXVII. RESUMEN

Los recursos hidráulicos de Canarias, están constituidos por tres tipos de manantiales subterráneos: aguas de fuentes, galerías y basales o de pozos. El volumen de aguas aportadas por estos manantiales en las Islas Canarias Occidentales, es del orden de 265.1 millones de $\text{m}^3/\text{año}$. El 68% de este volumen corresponde a las aguas subterráneas de Tenerife, el 26.8% a los manantiales de la Isla de La Palma, el 3.5% a la Isla de La Gomera, y el 0.9% a la Isla del Hierro.

En este trabajo se estudian las características químicas de las aguas subterráneas, considerando separadamente los tres tipos de manantiales indicados que corresponden a un total de 500 puntos de agua.

Las aguas de fuentes y galerías, se caracterizan por la constancia de su composición tanto absoluta como relativa, durante el tiempo de producción del manantial.

Las zonas de emplazamiento influyen en la composición química del manantial, lo que permite establecer cuencas hidrográficas con aguas de características semejantes. En la región central y Noroccidental de la Isla de Tenerife, se encuentran las fuentes y galerías de mayor concentración iónica total de las Islas Canarias Occidentales, con valores de conductividad generalmente superiores a 1.000 micromhos por cm. y altas concentraciones de Na^+ , HCO_3^- y carbonato sódico residual. Las aguas de menor concentración iónica total de las Islas Canarias Occidentales, corresponden a los manantiales situados en las zonas Norte y Este de la Isla de La Palma, con valores de conductividad eléctrica inferior a 100 micromhos por cm. El resto de las aguas de fuentes y galerías de las Islas Canarias Occidentales, tienen una concentración iónica total intermedia, con valores de conductividad eléctrica, generalmente comprendidos entre 100 y 500 micromhos por cm.

En las aguas de fuentes y galerías de las Islas Canarias Occidentales, las concentraciones más elevadas de SiO_2 , se encuentran generalmente en los manantiales orientados al Sur de las diferentes Islas, y las temperaturas más elevadas, se registran en los manantiales situados en los complejos basales.

En la vertiente Norte de la región central de la Isla de Tenerife, se encuentran localizados un grupo de manantiales con niveles tóxicos de Flúor, que han dado origen a fenómenos de fluorosis dental.

De acuerdo con la clasificación agrícola del Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos, el mayor porcentaje de aguas de fuentes y galerías, se encuentran clasificadas en las clases C_1S_1 y C_2S_1 y según los diferentes sistemas de clasificación química estudiados, las aguas de fuentes y galerías de Tenerife, se consideran como aguas alcalinas, predominando indistintamente los tipos de aguas salinas y alcalinas en el resto de las Islas. En las aguas alcalinas el Na HCO_3 , es la sal disuelta que predomina y en las salinas, indistintamente el Mg Cl_2 y Na_2SO_4 .

La composición química de las aguas basales, depende de la altura a que se encuentren sobre el nivel del mar. Los pozos situados en cotas altas, donde el espesor de las aguas basales es considerable, son las de menor concentración iónica total, predominando el Na^+ entre los cationes y el HCO_3^- y Cl^- , indistintamente entre los aniones. En los pozos próximos a las costas, donde el espesor de las aguas basales es menor, la concentración iónica total es elevada, predominando los iones Na^+ y Cl^- . En las zonas de saturación donde el espesor del agua basal es poco elevado, la composición de las aguas experimentan una variación constante, cuando se someten a un régimen intenso de explotación.

En la Isla de La Palma, las reservas más importantes de aguas basales, se encuentran en las vertientes Este y Oeste del macizo central. Se diferencian los pozos de ambas vertientes, por una mayor concentración iónica total y concentraciones más elevadas de Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- y Cl^- , en los pozos situados en la vertiente Oeste.

En la Isla de La Gomera, las zonas más importantes de aguas basales se encuentran en la faja costera de la vertiente Sur. La concentración iónica total y las concentraciones de Cl^- y Na^+ , aumentan en dirección Este-Oeste.

En la Isla del Hierro, las aguas basales tienen una alta concentración iónica total y concentraciones elevadas de Cl^- y Na^+ .

En las aguas basales, las concentraciones más elevadas de SiO_2 , se encuentran generalmente en las regiones Occidental y Sur de las diferentes Islas.

De acuerdo con la clasificación agrícola del Laboratorio de Salinidad de E.E.U.U. el mayor porcentaje de aguas basales corresponden a las clases C_2S_1 (30%) y C_3S_1 (22%), y de acuerdo con los diferentes sistemas de clasificación química estudiados, las aguas basales de las Islas de Tenerife, Gomera y Hierro pueden ser consideradas como salinas y las correspondientes a la Isla de La Palma, indistintamente como aguas salinas y alcalinas. En las alcalinas el Na HCO_3 es la sal disuelta predominante y en las salinas indistintamente el Cl Na , Mg Cl_2 y $\text{Na}_2 \text{SO}_4$.

Las aguas bicarbonatadas con un alto contenido de carbonato sódico residual, pueden ser utilizadas satisfactoriamente para el riego en cultivos de plátanos.

XXVIII. BIBLIOGRAFIA

XXVII. BIBLIOGRAFIA

- 1.—DAVID, A. Geochemistry in mineral exploration. H. E. HAWKES y J. S. WEBB. (Harper's Geoscience Series).
- 2.—BRAMLETTE, M. N. The Monterey formation of California and the origin of its siliceous rocks. —«U. S. Geol. Survey Prof. Paper», 212 (1946).
- 3.—FRANCK, E. U. Hochverdichteter Wasserdampf. —«Zeitschr. Physikal. Chemie», 192-206. (1956).
- 4.—BRAVO, T. Comunicación privada.
- 5.—GUNTZ, A. A. Détermination de l'extrait sec d'une eau. —«Chimie et Industrie», 67 (2 Bis): 174 (1952).
- 6.—HATCHER, J. T., and WILCOX, L. V. Colorimetric determination of boron using carmine. —«Analyt. Chem.», 22: 567-569.
- 7.—RETTEMEIER, R. F. Semicroanalysis of saline sol solutions. —«Indus. and Engin. Chem., Analyt. Ed.», 15: 393-402. (1943).
- 8.—United States Salinity Laboratory Staff. Handbook n.º 60.
- 9.—American Public Health Association and American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and sewage. Ed. 9. 286 — (1946).
- 10.—RODIER, J. L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Ed. 13: 149 (1966).
- 11.—Apha. Awwa. W P C F. Métodos estandard para el examen de aguas y aguas de desecho. Ed. 11: 43. (1960).
- 12.—Instrucciones para el análisis de tierras, formuladas por la Estación de Química Agrícola. Ministerio de Agricultura.
- 13.—WALKELEY, A. An examination of a rapid method for determining organic carbon and nitrogen in soils. —«Jour. Agr. Sci.», (England) 25: 598-609 (1935).
..... A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils. Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. —«Soil Sci.», 63: 251-264 (1947).
- 14.—RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of Saline and Alkali soils. —«Agricultural Handbook». N.º 60: 100. U. S. D. A. 1954. (1949).

- 15.—CHENG, K. L., and BRAY, R. H. Determination of calcium and magnesium in soil and plant material. —«Soil Sci.», 72: 449-458. (1951).
DIEHL, H. and COWORKERS. The versenate titration for total hardness. —«Amer. Water Works Assoc. Jour.», 42: 40-48. (1950).
- 16.—BOWER, C. A., RETTEMEIER, R. F., and FIREMAN, M. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. —«Soil Sci.», 73: 251-261. (1952).
- 17.—WILCOX, L. V. The quality of water for irrigation use. —«U. S. Sept. Agr. Tech. Bul.», 962. (1948).
- 18.—THORNE, J. P. and THORNE, D. W. The irrigation waters of Utah. —«Utah Agr. Expt. Sta. Bul.», 346. (1951).
- 19.—EATON, F. M. Boron in soils and irrigation waters and its effect on plants with particular reference to the San Joaquín Valley of California. —«U. S. Dept. Agr. Tech. Bul.», 448. (1935).
- 20.—SCOFIELD, C. S. The salinity of irrigation water. —«Smithsn. Inst. Ann. Rpt.», 1935: 275-287. (1936).
- 21.—SCOFIELD, C. S. and HEADLEY, F. B. Quality of irrigation water in relation to land reclamation. —«Journal Agr. Res.», 21: 265-278. (1921).
- 22.—EATON, F. M. Significance of carbonates in irrigation waters. —«Soil Sci.», 69: 123-133. (1950).
- 23.—CATALAN LAFUENTE, J. Química del agua. Ed. 1: 320-326. (1969).
- 24.—REISTLE, C. E., Jr. Identification of oil-field waters by chemical analysis. —«U. S. Bur. Mines Tech. Paper», 404 (1927).
- 25.—MAUCHA, R. The graphical symbolization of the chemical composition of natural waters. —«Hidrol. Közölny.», Vol. 13: 117-118. (1949).
- 26.—SCHOELLER, H. Utilité de la notion des échanges de bases pour la comparaison des eaux souterraines. —«France. Soc. Géol. Comptes rendus Sommaires et Bull.», Ser. 5. vol. 5: 651-657. (1935).
- 27.—BRAVO, T. Origen de las aguas de Tenerife y sus depósitos subterráneos. Conferencias. Goya. Ediciones. Santa Cruz de Tenerife (1952).
- 28.—HAUSEN, H. On the ground water conditions in the Canary Islands and their irrigation cultures. —«Acta Geographica», 12, n.º 2, Helsingfors (1951).
- 29.—AMIGO DE LARA, J. Comunicación privada.
- 30.—STEARNS, H. T. and MAC DONALD, G. A. Geology and Ground water resources of the Island of Molokai, Hawaii. —«Bulletin 11, Hawaii-División of Hydrography», (1947).
- 31.—STEARNS, H. T. and VAKSVIK, K. N. Geology and ground-water resources of the islands of Oahu. —«Hawaii Div. of Hydrography», Bull 1: 235-239. (1935).
- 32.—STEARNS, H. T. Geology and ground-water resources of the islands of Lanai and Kahoolawe, Hawaii. —«Hawaii Div. of Hydrography, Bull», 6: 76-77.

- 33.—GREENWOOD, D. A. Fluoride intoxication *Physiol.* —«Revs.», 20, p. 582. (1940).
- 34.—CHURCHILL, H. V. Occurrence of fluorides in some waters of the United States. —«*Ind. Eng. Chem.*», 23, p. 996 (1931).
- 35.—FERNANDEZ CALDAS, E. y BRAVO RODRIGUEZ, J. J. Las aguas subterráneas de la Isla de La Palma. —«*Anales de Edafología y Agrobiología*», C. S. I. C., Tomo XXIX, Nos. 5-6, pág. 360-367. (1970).
- 36.—BRAVO, T. Plano litológico de la Isla de La Gomera. (1964).
- 37.—BRAVO, T. Comunicación privada.
- 38.—BOWER, C. A., OGATA, G. and TUCKER, J. M. (1967). Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation or solution of calcium carbonate. —«*Soil Science*», Vol. 106: 29-34.
- 39.—BOWER, C. A. and WILCOX, L. V. (1965). Precipitation and solution of calcium carbonate in irrigations operations. —«*Soil Science. Soc. Am. Proc.*», 29: 93-94.
- 40.—BOWER, C. A., WILCOX, L. V. AKIN, G. W., and KEYES, MARY G. (1965). An index of the tendency of CaCO_3 to precipitate from irrigation waters. —«*Soil Science Am. Proc.*», 29: 91-92.
- 41.—WILCOX, L. V., BLAIR, George, Y., and BOWER, C. A. (1954). Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. —«*Soil Science*», 77: 259-266.
- 42.—EATON, F. M. (1954). Formulas for estimating leaching gypsum requirements of irrigation waters. —«*Texas Agr. Expt. Sta. Misc. Publ.*», 111.
- 43.—ATKINSON, H. J., BISHOP, R. F., and LEAHEY, A. (1950). Estudios on strongly alkaline soils of the Salt River Plains in Northwestern Canada. —«*Sci. Agr.*», 30: 30-37.
- 44.—KELLEY, W. P. (1948). Cation Exchange in soils. —«*Reinhold Publishing Corp.*», New York.
- 45.—SCOFIELD, C. S., and HEADLEY, F. B. (1921). Quality of irrigation water in relation to land reclamation. —«*J. Agr. Research*», 21: 265-278.
- 46.—HAYWOOD, H. E., and MAGISTAD, O. C. (1946). The salt problem in irrigated soils. —«*U. S. Dept. Agr. Misc. Publ.*», 607.
- 47.—GARDNER, R. (1945). Some soil properties related to the sodium salt problem in irrigated soils. —«*U. S. Dept. Agr. Tech. Bull.*», 902.
- 48.—LEWIS, G. C., and JUVE, R. L. (1955). Some effects of irrigation water quality on soil characteristics. —«*Soil Science*», Vol. 81: 125-137.
- 49.—MC. GEORGE, W. T. (1952). The salinity problem. Safford Experiment farm laboratory Studies. —«*University of Arizona, Technical Bulletin*», 125.
- 50.—GAPON, E. N. (1933). Theory of exchange adsorption in soils. —«*Zhur. Obschchel Klim.*», 3: 144-152.
- 51.—SCHOEFIELD, R. K. (1950). A ratio law governing the equilibrium of cations in the soil solution. —«*Proc. 11th Intern. Cong. Pure and Appl. Chem.*», London (1947) 3: 257-261.

- 52.—HANSENBULLER, R. L., HAGYE, M. A. and ABDUL WAKHAB (1960). Some effects of irrigation waters of differing quality on soil properties. —«Soil Science», Vol. 90: 357-364.
- 53.—KELLEY, W. P. (1963). Use of saline irrigation water. —«Soil Science», Vol. 95: 385-391.
- 54.—THOMAS, G. W. and YARON B. (1967). Adsorption of sodium from irrigation water by four Texas soils. —«Soil Science», Vol. 106: 213-219.
- 55.—HEIMAMM et al. (1958). Irrigation with saline water and the ionic environment. —«Potassium Symp.», 5: 173-220. Berna.
- 56.—LANGELIER, W. E. (1936). The analytical control of anticorrosion water treatment. —«I. Am. Water Works Assn.», 28: 1500-1521.
- 57.—YARON, B. and THOMAS, G. W. (1968). Soil hydraulic conductivity as affected by sodic water. —«Water Resources Research», 4: 545-552.
- 58.—FERNANDEZ CALDAS, E. y FERNANDEZ-TRUJILLO MARTINEZ, F. (1962). Plátanos, fertilización y técnicas de cultivo en Canarias. Acta I, Reunión Plenaria del Instituto de Edafología y Agrobiología, Universidad de Salamanca.
- 59.—BOWER, C. A. (1961). Prediction of the effects of irrigation waters on soils. —«Proc. Unesco Arid Zone Symposium. Salinity problems in the Arid Zones». (Teheran, Iran). 215-222.
- 60.—ERICKSON, E. (1952). Cation-Exchange equilibria in clay minerals. —«Soil Science», N.º 74: 103-113.
- 61.—CHAPMAN, H. D., LAURENCE, B. M. and BUGHAM, F. T. (1952). Salinity changes in irrigated soils. —«Calif. Citrograph», 38: 48-58.
- 62.—PIPER, A. M. (1944). Agraphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. —«Amer. Geophys. Union Trans.», 25: 914-923.