

Nº 44
Enero
1.985

**El agua en
Canarias**

MOPU

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo

SERVICIO
GEOLOGICO **Sg**
Boletín de
Informaciones y Estudios

Nº 44
Enero
1.985



**El agua en
Canarias**

MADRID 1985

El texto de esta monografía es sustancialmente el mismo que compone el tema 10, volumen primero, de la GEOGRAFIA de CANARIAS (Ed. Interinsular: Tenerife, 1984).

El número de ilustraciones es aquí menor, pero se ha profundizado más en algunas consideraciones técnicas, aunque sin alterar el carácter divulgativo de la exposición.

Depósito Legal: M. 29209 - 1983

ARGES, S. L. - LA CORUÑA, 24 - 28020 MADRID

MOPU SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
SERVICIO DE PUBLICACIONES

El agua en Canarias

SOLER LICERAS, Carlos
LOZANO GARCIA, Octavio

El agua en Canarias

INDICE

EL HOMBRE Y EL AGUA	9
CUESTIONES HIDROLOGICAS INSULARES	
Ciclo Hidrológico	11
Condiciones climáticas del archipiélago.....	15
Definiciones y parámetros hidrológicos.....	16
Acuífero	17
Acuicludo; Acuífugo; Porosidad; Coeficiente de almacenamiento; Permeabilidad; Transmisividad .	18
Hidroquímica insular	19
Relaciones agua dulce-agua salada	21
Contaminaciones del agua subterránea	22
Labores agrícolas.....	22
Contaminación urbana.....	25
Intrusión marina	25
Contaminación volcánica.....	27
Captaciones de agua	28
Nacientes	28
Galerías	29
Pozos	31
Evaluación de las captaciones.....	32
EMBALSES EN CANARIAS	37
CONSIDERACIONES GENERALES	39
Bibliografía.....	47

EL HOMBRE Y EL AGUA

EL agua, desde el comienzo de la Historia del Hombre, condicionó su existencia y su progreso al provocar sus asentamientos. Con el desarrollo de la agricultura (octavo milenio a. C.) y de la industria, las necesidades se multiplicaron, y fue preciso una mayor facilidad en la adquisición de agua. De esta forma comenzó la adaptación del medio a las necesidades del hombre, y desde entonces no ha cesado de incrementarse.

A lo largo de la Historia, el agua ha sido fundamental para la fijación y desarrollo de la población. Las primeras grandes civilizaciones surgieron junto al curso de los ríos (Tigris, Éufrates, Nilo, Indo, etc) o en las costas de un mar (Grecia, Cartago, etc.), lo que dio lugar a la llamada «revolución urbana», de enormes consecuencias en la evolución de la humanidad.

Muchos fueron los grandes pensadores que teorizaron sobre el agua, en base a su origen y transformación en su ciclo hidrológico; entre ellos cabe citar por su contribución, más teórica que páctica, a Tales, Platón y Aristóteles, entre los griegos, y a Vitrubio entre los romanos. Más tarde, y ya en el Renacimiento, es necesario mencionar a Palissy y Leonardo da Vinci, que contribuyeron y ampliaron la teoría enunciada por Vitrubio sobre el ciclo hidrológico.

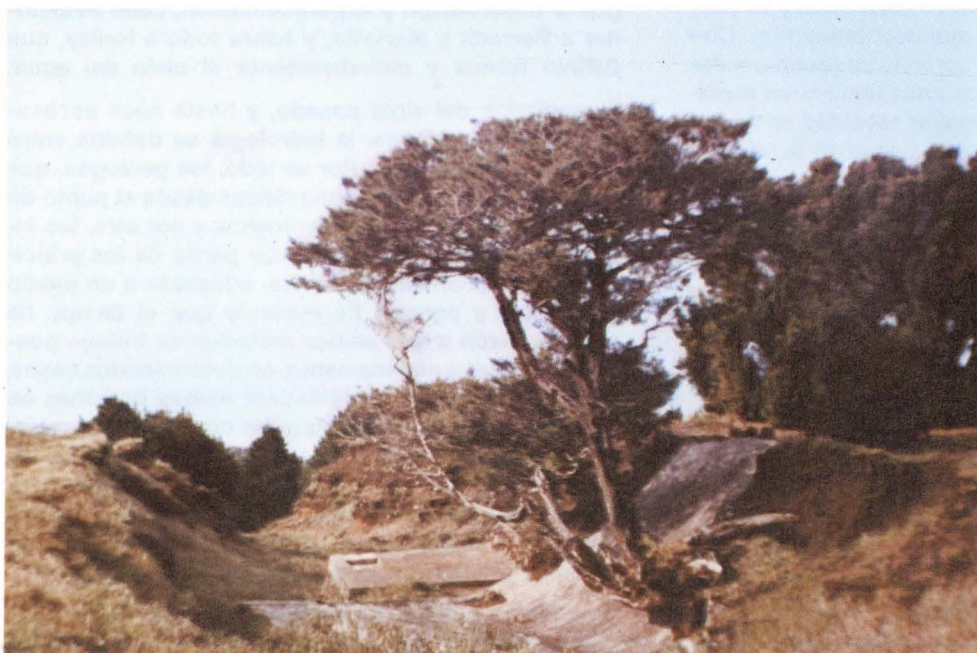
En el siglo XVII, y en base a los estudios respaldados por la observación y experimentación, cabe mencionar a Perrault y Mariotte, y sobre todo a Halley, que definió formal y definitivamente el ciclo del agua.

A mediados del siglo pasado, y hasta hace escasamente unas décadas, la hidrología se debatía entre dos tipos de técnicos. Por un lado, los geólogos, que estudiaban las aguas subterráneas desde el punto de vista de su sustentación geológica; y por otro, los ingenieros hidráulicos, cuya tesis partía de los principios de la dinámica de fluidos, adaptada a un medio permeable y poroso. Es evidente que el tiempo ha dado la razón a que ambos métodos de trabajo pueden ser buenos aisladamente, en determinados casos, pero que lo idóneo es sintetizar ambas opciones en una hipótesis más amplia que las contenga, y tratar el problema en conjunto. Por esa razón, un equipo de expertos en agua está en la actualidad formado por geólogos, ingenieros, físicos, biólogos, meteorólogos, químicos y legisladores. Todos ellos aportan sus conocimientos particulares a un mismo fin común.

La relación entre el hombre y el agua pasa a ser, en cierta forma, un tipo de antagonismo para mejorar las disposiciones que le ofrecía la Naturaleza y que eran inferiores o, en otros casos, inseguras para las necesidades que iban creándose. Al principio, el hombre

usaba el agua allí donde se hallaba, posteriormente logró llevar el agua para su uso a su lugar de asentamiento, y actualmente usa y abusa de ella, ya que devuelve agua, después de su aprovechamiento, en condiciones inservibles para su posterior utilización. Las llamadas de alerta se suceden y muchos Organismos pertenecientes a todos los países están condenando esta utilización, que cabe calificar de abusiva. Cuan-

do el hombre contamina el agua debe darse cuenta que contamina su vida en una medida aún mayor. En su mano tiene la técnica para usarla a su comodidad y beneficio, y con ella puede devolverla, posteriormente a su uso, en condiciones similares, o incluso mejor, para que el ciclo del agua siga siendo un ciclo de eterno retorno de la vida y no un desgaste lineal progresivo y polucionador.



f. 1.—Captación de agua por condensación en las sabinas (Garoe). En la parte inferior puede observarse el dispositivo de recogida y almacenamiento (Isla de El Hierro)

CUESTIONES HIDROLOGICAS INSULARES

Ciclo Hidrológico

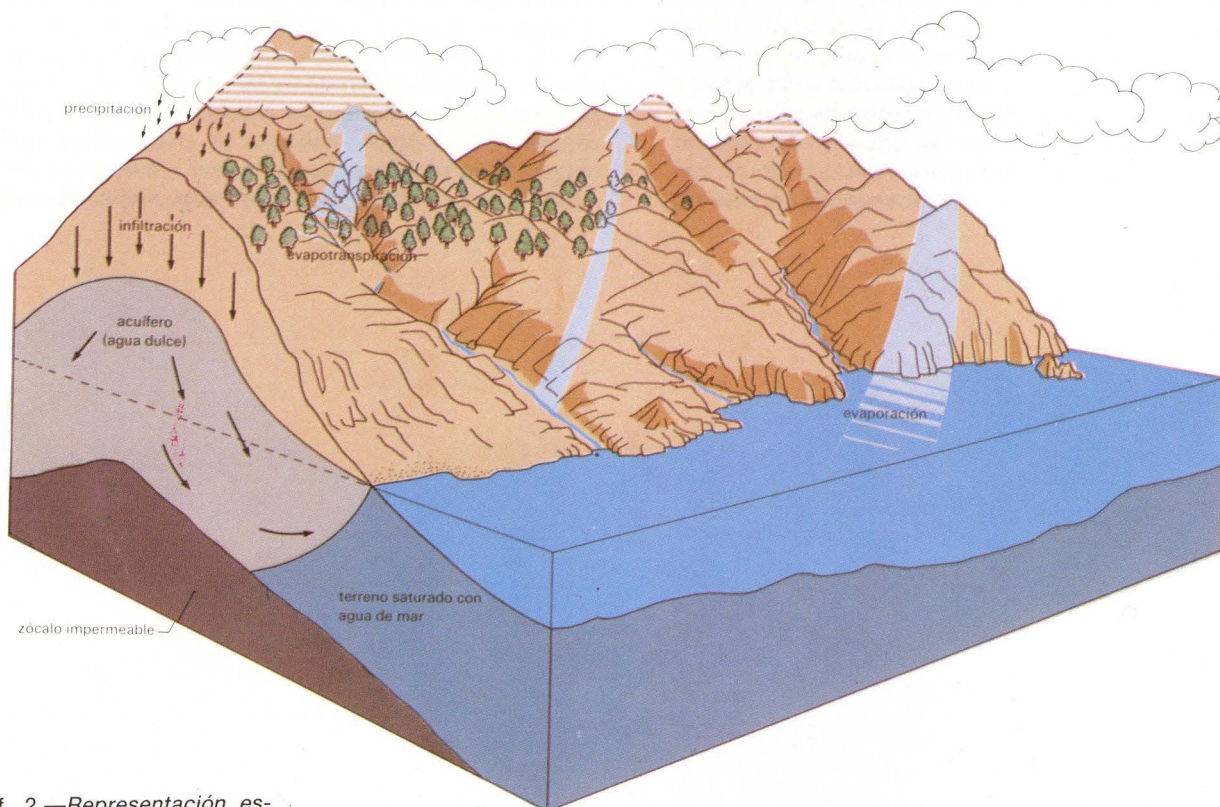
Una de las primeras cuestiones que cualquier técnico en labores hidráulicas debe tener en cuenta es que las aguas subterráneas y superficiales no son independientes. Ambas tienen un origen común y antes unas y después otras, se unirán en el mar donde completarán el ciclo físico a que por ley de naturaleza se deben.

Es opinión casi unánime de los hidrólogos que la cantidad total de agua en cualquiera de sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso, ha permanecido prácticamente constante en los últimos tiempos geológicos. (Davies y De Wiest, 1966). En la década de los 60 se mantuvo una controversia por la asignación de la preponderancia que se le debía asignar a las «aguas juveniles». Estas aguas proceden de zonas profundas puestas en contacto con la superficie por medio de erupciones volcánicas. Actualmente se ha minimizado esta participación de las «aguas juveniles» en la cantidad total de agua al comprobarse que los magmas raras veces proceden de zonas tan profundas para que este hecho se pudiera producir. (Salzman en 1960 fue un defensor de esta teoría de «aguas juveniles» mientras que MacGuinness en 1963 y con él el «California Department of Water Resources» se opusieron a ello. Hoy en día prevalece la hipótesis de este último).

Una vez definida como constante la masa total del agua que se halla en la Tierra, el ciclo hidrológico nos explica el movimiento de la masa de agua cambiando ésta de lugar y de estado físico.

En la figura n.º 2 se esquematiza, en una hipotética zona de alguna isla Canaria, el ciclo hidrológico completo. Partimos de que en un momento dado el vapor de agua existente en la atmósfera por efecto de la condensación origina una caída de agua bien en forma líquida (lluvia), o sólida (nieve o granizo). De esta cantidad de agua (precipitación) no toda alcanza la superficie de la tierra ya que, parte se vuelve a evaporar a lo largo de su trayectoria de caída.

De la precipitación que alcanza la superficie, otra se vuelve a evaporar, aquella que se almacena en charcos, terrazas de edificios, en la vegetación, etc. y la otra restante puede tener dos destinos: discurrir por el terreno (escorrentía superficial) hasta alcanzar un cauce más general que a su vez engrosará a otro hasta que su destino sea finalmente el mar o bien, se infiltrará hacia el interior de la tierra aprovechando las grietas y oquedades que ella presenta. Este agua (infiltración) puede producirse en la Tierra por tres fenómenos físicos diferentes: percolación, filtración y fisuración. Cada uno de ellos viene definido e impuesto por la estructura geológica que la reci-



f. 2.—Representación esquemática del CICLO HIDROLÓGICO

ba. El agua una vez en el interior del subsuelo, puede ser asimilada por las raíces de las plantas o quedarse en la zona superficial y húmeda del terreno. En ambos casos, sus destinos serán de nuevo la atmósfera por un proceso de evaporación algo más complicado que en los casos anteriores. Este proceso se denomina evapotranspiración.

Por último, la masa de agua que se introduce en la tierra y no sufre el proceso de evapotranspiración, tiende, bajo un movimiento lento, a engrosar la zona de subsuelo saturada de agua. Esta zona denominada acuífero se define como «todo aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades» (Custodio, Llamas, 1975). El aspecto cuantitativo que encierra esta definición es muy variable, sobre todo en nuestro archipiélago, ya que obtener menos de 1 l/seg. en una zona árida pero con población puede ser más rentable que 50 l/seg. en una zona de gran demanda agrícola.

Estos acuíferos pueden alcanzar la superficie, cuando la topografía así lo hace posible o bien porque ciertas capas geológicas, debido a condiciones particulares de permeabilidad, drenan o conducen las aguas en esa dirección. Este es el caso de fuentes o nacientes tan peculiares en las islas occidentales de Canarias. Cuando estos nacientes tienen un cierto caudal es debido, generalmente, al contacto del agua con una formación más impermeable que rechazando el flujo que recibe, la conduce por el plano de contacto geológico hasta la superficie. En cualquiera de estos casos el agua, al surgir del subsuelo, vuelve a repetir los caminos posibles definidos para la escorrentía superficial. Una vez que el agua pasa a formar parte del acuífero comienza, en general, un proceso lento de circulación, por el cual llega hasta el mar donde sufrirá un proceso de evaporación para repetir de nuevo el ciclo.

A lo largo de todo el ciclo hidrológico se observan dos tendencias generales del agua. Estas tendencias traducidas a movimientos son: uno ascendente al elevarse el agua en forma de vapor, inducido por la energía que propor-

ciona el Sol y otro descendente, que obliga a la precipitación a alcanzar la superficie, discurrir por ella e infiltrarse en el terreno, condicionada por la fuerza de gravedad. Resulta evidente que ambos movimientos quedan condicionados por el medio que en cada momento sustenta el agua. En el caso de la escorrentía superficial, la topografía, o más bien la orografía, definirá el camino a seguir por el agua. En el caso de la infiltración y dependiendo del fenómeno físico, condicionado por el terreno soporte del agua, el movimiento se verá alterado en velocidad y en dirección. En el caso de estructuras volcánicas menos permeables, el agua se canalizará en el subsuelo bordeando el contacto con dicha formación. En cambio, si la estructura presenta mayor permeabilidad, que la existente en su entorno, actuará en forma de dren canalizando el flujo hacia su masa.

Debido a la escasez del agua, que algunas zonas del Planeta padecen, se han hecho diversos estudios evaluando las cantidades totales y su posible disponibilidad. Uno de estos balances, realizado por el U. S. Geological Survey, es el que sigue, y de él se deduce que actualmente las cuatro quintas partes del agua consumida por el hombre proceden de aguas superficiales. En el futuro, si la demanda sigue aumentando deberá basarse en la extracción y consumo de las aguas subterráneas.

Aguas superficiales

	% en el Planeta
Lagos de agua dulce	0,009
Lagos Salados y mares interiores	0,008
Almacenamiento temporal en ríos y canales	0,0001
total parcial	0,0171

Aguas subterráneas

Aguas vadasas (incluida humedad del suelo)	0,005
Aguas subterráneas almacenada hasta una profundidad de 1 Km. (algunas son saladas)	0,33
Aguas subterráneas más profundas (salada e im potable)	0,29
total parcial	0,625

Otras aguas

Casquetes polares y glaciares.....	2,15
Atmósfera	0,001
Océanos	97,2
total parcial.....	99,351



f. 3.—Precipitación de nieve sobre el Teide

En párrafos anteriores se han definido los conceptos de pluviometría, evaporación, evapotranspiración e infiltración. Veamos a continuación estos valores para cada una

de las Islas del Archipiélago junto con los valores de la infiltración que se deducen de este balance hidráulico anual:

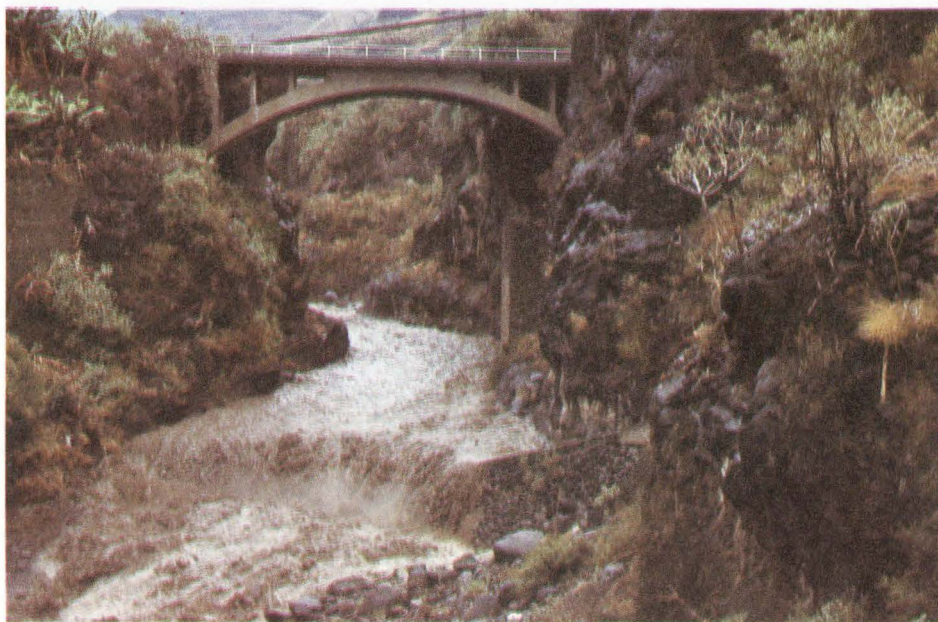
ISLA	PRECIPITACION		EVAPOTRANSPIRACION		ESCORRENTIA		INFILTRACION	
	P mm/m ²	Hm ³ /S.total	Hm ³	E_v (%)	Hm ³	E_s (%)	Hm ³	I (%) $I = P - E_v - E_s$
TENERIFE	450	926	531	(57)	133	(15)	262	(28)
FUERTEVENTURA	140	242	217	(90)	10	(4)	15	(6)
GRAN CANARIA	370	576	374	(65)	92	(16)	110	(19)
LA PALMA	660	480	236	(49)	90	(19)	154	(32)
LANZAROTE	140	111	99	(89)	2	(2)	10	(9)
GOMERA	490	185	122	(66)	26	(14)	37	(20)
HIERRO	390	108	84	(77)	3	(3)	21	(20)
TOTAL	336	2.628	1.663	(63)	356	(14)	609	(23)

Estos valores deben considerarse como una aproximación y con las reservas propias de la metodología empleada. Bajo el término evapotranspiración se ha englobado lo definido en este apartado como evaporación y evapotranspiración propiamente dicha. (Fuente SPA-15).

Estos datos indican que los porcentajes de infiltración son variables de una isla a otra en función de su morfología, vegetación, geología e hidrología superficial. Por este motivo el mayor porcentaje radica en una isla como San Miguel de la Palma, donde existe una mayor vegetación que tiende a anular la escorrentía y está constituida en superficie, en su mayor parte, por materiales permeables que permiten o no ponen obstáculo a la infiltración. Por este mismo motivo el porcentaje de evapotranspiración, en dicha Isla, es lógicamente el menor de todos. Las is-

las que siguen a ésta con mayores valores de infiltración, proporcionalmente a la precipitación, son Tenerife con un 28% y la Gomera, el Hierro y Gran Canaria con valores próximos al 20%.

Las islas con menor porcentaje de infiltración son Fuerteventura y Lanzarote con valores del 6 y 9% respectivamente; ello es debido a que los valores de la evapotranspiración son muy altos, del 90%. Es evidente que estos resultados están influidos altamente por el grado de desertización de ambas islas.



f. 4.—Escorrentía superficial por un barranco

Condiciones climáticas del archipiélago

Según el ciclo hidrológico descrito se observa que una de sus partes esenciales es el clima como generador de ese volumen de agua que forma la precipitación y que posteriormente será, potencialmente, un agua aprovechable para el consumo urbano o agrícola.

El archipiélago canario presenta un clima esencialmente definido por las Altas Presiones Subtropicales del Atlántico Norte debidas a los vientos alisios, que conforman en porcentaje muy alto la circulación atmosférica local. Tres son las condiciones climáticas generales, con marcada influencia o preponderancia entre ellas según sea la estación, zona del archipiélago y de la isla en que nos encontramos. Ellas son: efecto de brisa marina, el anticiclón de las Azores y la especial configuración vertical de la Troposfera.

Brisa Marina. La temperatura del agua del mar que baña las costas canarias (18° en enero y 23° en agosto) es relativamente baja si la comparamos con las costas americanas. En efecto Cuba situado más o menos en el mismo paralelo presenta una temperatura del agua de mar, continua durante todo el año, de unos 26°. Esto es debido a que la preponderancia de vientos del N E, a partir del continente africano, empuja las capas superficiales del océano hacia el centro y produce en nuestras latitudes un ascenso de aguas más profundas y frías (fenómeno «upwelling») y con ello el nacimiento de corrientes marítimas.

La inercia térmica del océano, que opone resistencia a estos hechos descritos, es asimismo la responsable de que en zonas costeras, se retrase el mínimo de temperaturas y en vez de producirse estas en los meses de diciembre y enero, se produzcan entre febrero y marzo (Pedelaborde 1968, Lemps 1969). En las zonas altas donde esta influencia de la brisa marina está amortiguada por estos factores climáticos, se mantiene enero como el mes más frío.

Este retraso en temperaturas mínimas también se produce en las máximas siendo, en las regiones costeras, el mes de agosto el más caliente pero siendo las temperaturas de septiembre y octubre más calientes que las de julio y junio respectivamente.

A efectos de lluvia, se observa que el aire más frío y por consiguiente el más pesado, por todo lo comentado, se encuentra a cotas bajas produciéndose con ello un gradiente térmico estable, desfavorable para que se produzcan lluvias.

El Anticiclón de las Azores. La presencia de un anticiclón situado entre Canarias, las Azores y Madeira durante la casi totalidad del año ha sido constatada a lo largo de este siglo por diversos autores. Únicamente se desplaza según los meses y siempre dentro del entorno descrito, más cerca de las Azores que de los otros archipiélagos. Los vientos alisios que definen en gran medida el clima canario tienen su origen en este anticiclón. La frecuencia del alisio puede alcanzar valores del 90 al 95% en el mes de junio. La dirección del viento puede ser muy variable, ya que en las zonas costeras está en parte enmascarado por la brisa marina y de tierra, mientras que a cotas más altas y debido al relieve montañoso esta superposición se incrementa con brisas de valle.



f. 5.—Formación de nubes debida a los alisios y al relieve insular

La troposfera; su estructura vertical. Gracias a estaciones meteorológicas como las situadas en Los Rodeos e Izaña en Tenerife se ha podido estudiar la estructura de la troposfera que ha sido útil para comprender los mecanismos del clima en una zona tan montañosa como son las islas del archipiélago, exceptuando Fuerteventura y Lanzarote.

Con ello se pudo constatar en 1930, por Von Ficker, la existencia de dos capas de alisios superpuestas. Una, la más baja, de aire fresco y húmedo de dirección N E y la otra encima de ella y separada por una superficie de discontinuidad e inversión de temperatura, con aire caliente y seco de dirección N O. La humedad y frescor de la capa inferior habría que asignársela al aire polar marítimo (Lemps 1969). Esta capa presenta generalmente una potencia de 900 a 1.600 mts. y en su parte superior, los movimientos de turbulencia y convección debidos al alisio provocan la formación de extensos bancos de nubes en forma de estratocúmulos. El desarrollo de nubes en altura está impedido por la presencia del aire seco situado por encima de la superficie de inversión. Por todo ello el «mar de nubes», tan característico de este archipiélago, marca prácticamente el límite superior de la zona inferior húmeda. Este mar, y con él el espesor de la zona húmeda, es variable con las estaciones, situándose a mayor altura en invierno que en verano. En ocasiones, debido a la aparición de aire continental sahariano caliente, se produce un descenso de altitud en esta capa de nubes.

El mar de nubes no es de composición homogénea. Existen dos zonas netamente diferenciadas (Ceballos 1961): una situada encima del océano y alejada de las islas montañosas —en ella se forman los bancos de estratocúmulos por enfriamiento de la parte superior de la capa—, y otra sobre el relieve de las islas que se forma cuando las nubes generadas en el océano chocan con las montañas, —estas nubes aumentan de tamaño debido a que los alisios al remontar las laderas originan una disminución de presión, efecto que se ve combinado por la brisa marina y la brisa del valle en toda la cara norte de las islas que superan los 1.600 m. de altitud.

En algunos casos, durante la noche y con la aparición de la brisa de montaña por enfriamiento del suelo, llega incluso a desaparecer este «mar de nubes» en la proximidad de las islas. Otras veces, esta brisa de montaña sólo hace que el «mar de nubes» descienda unos centenares de metros, hecho que explica que al amanecer, en las zonas insulares orientadas al cuadrante norte, el cielo esté completamente descubierto, para luego ir entoldándose a medida que avanza el día. En ocasiones, el mar de nubes empujado por el alisio remonta una ladera hasta llegar a la cumbre e inicia su descenso por la ladera orientada al sur. Con ello, al invertirse el proceso, se produce la disipación de los bancos de nubes y sólo se volverán a reconstruir a diez o veinte kilómetros de la ladera sur los estratocúmulos, que pertenecerán ya a la zona oceánica. (Tullot 1921).

Es típico de las islas con altitudes superiores a esta superficie de inversión que las laderas norte estén la mayor

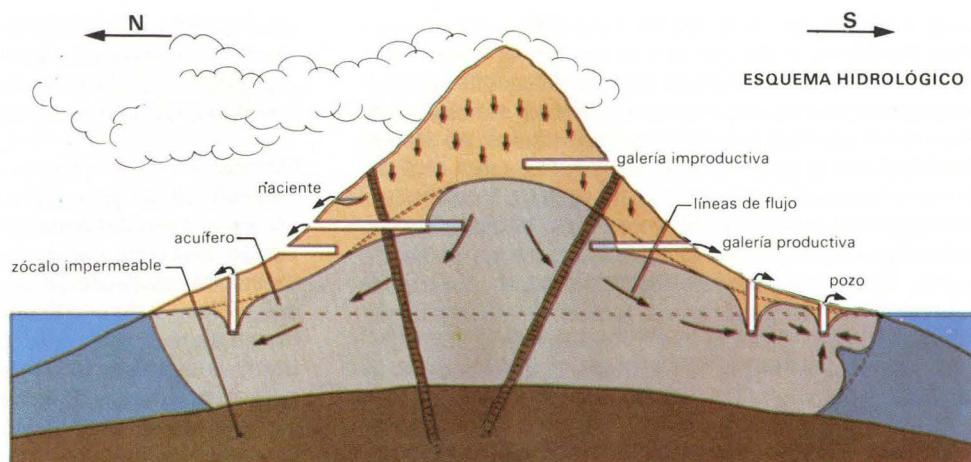
parte del año cubiertas de nubes y las laderas sur tengan un cielo despejado. Este hecho incide en la pluviometría, —mayor en las laderas norte—, y naturalmente repercute en la vegetación, además de presentar otros condicionantes. En esta orientación, en altitudes comprendidas entre 0 y 500 m., las zonas costeras se encuentran bajo la influencia de los alisios con aire húmedo y fresco y cielo nublado, pero percibiendo precipitación escasa o nula. En cambio, entre 900 y 1.600 m. se sitúa el «mar de nubes», más o menos duradero. Allí, el agua condensada y mantenida en suspensión por el aire es retenida por los accidentes del terreno y la vegetación, lo cual produce una aportación denominada «precipitación horizontal». La cantidad de esta precipitación viene definida por la renovación o circulación del aire y por la superficie de exposición. Según Lemps (1969), a la cota 900 y sobre la montaña de Realejo Bajo, un pluviómetro instalado bajo un eucalipto triplicó la cantidad de agua recogida en un año respecto a otro situado al descubierto y a escasa distancia de este último.

Desde hace pocos años se ha iniciado una controversia en Canarias sobre el papel que debe asignarse a la precipitación horizontal a la hora de evaluar la infiltración total de agua en las islas. Existen autores que han llegado a la conclusión de que en diversas zonas del archipiélago la pluviometría media, medida en zonas descubiertas, debería multiplicarse por valores superiores a cinco, con objeto de englobar de esta manera la precipitación horizontal. La controversia seguía latente en el simposio de Hidrología celebrado en Madrid en 1983.

En cualquier caso, este tipo de precipitación sólo afecta a las zonas orientadas al norte que, ciertamente, son las de mayor pluviometría, mientras que una fracción importante del agua retenida de este modo por la abundante vegetación es asimilada directamente por ella. En consecuencia, sólo un porcentaje formará parte de la infiltración.

Definiciones y parámetros hidrológicos

La terminología que fue imponiendo la ciencia hidrogeológica desde que Theis en 1940 enunció sus «principios» (reproducidos en Lohman, 1972) ha fijado un conjunto de definiciones propias, tanto para los conceptos generales como para los parámetros específicos. Su aplicación a la hidrogeología canaria es ilustrada a través de algunos ejemplos.



f. 6.—Corte esquemático de un acuífero insular

Acuífero

La definición que se ha dado al tratar del ciclo hidrológico es válida para el archipiélago canario siempre que se tenga en cuenta la hipertrofia que impone la escasez a la rentabilidad, a lo «económicamente apreciable».

En cada una de las islas el agua subterránea se presenta generalmente formando un acuífero único, libre; es decir, no confinado o freático. Esto significa que el mayor porcentaje en masa del agua que se encuentra en el subsuelo de cada isla está interconectado entre sí, de tal manera que cualquier extracción que se haga en una zona de este acuífero principal repercute a la larga, si la cantidad extraída es suficiente, en el resto de la masa de agua que encierra dicho acuífero. Además, el hecho de no ser confinado presupone que la capa superior no saturada se encuentra en contacto directo con el aire, y por tanto sometida a la presión atmosférica.

El acuífero general de las islas está formado por un material cuyos huecos, poros y fisuras están totalmente ocupados por agua que, además, no permanece estática, sino que, de acuerdo con condicionantes externos, fluye con mayor o menor velocidad dependiendo del gradiente hidráulico y de la permeabilidad del soporte geológico. Su movimiento también depende de causas artificiales, como son las extracciones por pozos o galerías, de fenómenos inducidos, como la deposición de sales que colmatan los poros, y en menor medida de la temperatura.

La figura n.º 6 muestra un hipotético esquema de la situación y forma del acuífero. La curva superior (nivel freático o piezométrico) que marca la separación entre el material saturado y el no saturado viene condicionada, en su posición y traza, por situaciones de equilibrio entre las fuerzas que concurren al movimiento del agua. Por un lado está el condicionante tendente al aumento de posición de esta curva provocado por el soporte de agua de infiltración procedente de las lluvias a la masa de agua

del acuífero. Los condicionantes tendentes a la adopción de posiciones más bajas, de esta curva límite pueden ser originados por: las extracciones, que al fin y al cabo absorben parte de este agua, y las fuerzas de gravedad que impulsan a la masa de agua a ir profundizando en la Tierra. Esta tendencia va disminuyendo con la profundidad, ya que se van alcanzando cotas, dentro del subsuelo, en las cuales la compactación del material, por el peso de estratos geológicos que soporta, ha disminuido de manera ostensible el volumen de huecos y rellenado sus fisuras. Se alcanza con esto, una profundidad en que esta compactación impide todo intento de penetrar el agua en su masa y es esta zona, la que limita la curva inferior que define el acuífero. En muchas islas del Archipiélago se ha comprobado que esta zona o zócalo impermeable coincide con la presencia de materiales más antiguos, como es el Complejo Basal situado en el subsuelo a cotas superiores al nivel del mar. En tales casos esta curva, límite inferior del acuífero, condiciona de manera muy acusada la forma del mismo. En él se aprecian tres zonas diferentes. La parte más alta o lomo, que en las islas occidentales de San Miguel de La Palma, Tenerife y La Gomera alcanza cotas superiores a los 1.000 mts., seguida de una zona de fuertes pendientes, efecto originado por la presencia de materiales antiguos, para llegar a cotas bajas mediante una inflexión a pendientes mucho más suaves hasta alcanzar normalmente la cota cero en la costa.

Estas pendientes descritas que definen la curva envolvente superior del acuífero, están también condicionadas por los materiales que soportan la masa de agua. De esta forma, estructuras menos permeables originan mayor pendiente al ser necesario mayor carga de agua para que un mismo caudal las atravesase y, por el contrario, menores pendientes son originadas por materiales más permeables. Este cambio de pendientes, representado en la figura 6, es debido en ocasiones al fenómeno descrito, ya que los materiales modernos, más permeables por ausencia de alteración, rellenan a veces zonas costeras.

El agua del mar también se introduce dentro del subsuelo de las islas y si no existiera el acuífero invadiría todo este subsuelo hasta las proximidades de la cota cero. La causa por la cual no se produce este hecho, radica en que al existir el acuífero y éste ser de agua dulce, de menor densidad que el agua salada, flota aquélla sobre el agua de mar y la presiona con el peso de agua de todo el acuífero, empujándola hacia cotas más bajas e impidiéndole, por tanto, el acceso libre al subsuelo. La zona de separación, dentro del subsuelo, del agua dulce y salada se denomina interfaz. Esta zona es también la encargada de ir cediendo agua dulce al mar a medida que el flujo subterráneo, originando por la recarga y la gravedad, se lo van imponiendo.

Acuicludo. Es aquella formación geológica que aún presentando agua hasta su saturación, no es rentable su explotación por ser ínfimo el caudal a obtener. Es el caso de formaciones volcánicas, tales que su grado de alteración las homogeneiza e impermeabiliza, como son las zonas internas de los Basaltos Antiguos de La Gomera o la Zona superficial decomprimida y alterada del Complejo Basal de esa misma Isla, de San Miguel de la Palma, o Fuerteventura. En esta última Isla se aprovechan los pequeños caudales procedentes de acuicludos porque debido a la extrema escasez de agua su explotación resulta rentable.

Acuífugo. Bajo esta denominación se engloban aquellas formaciones geológicas que no contienen agua debido a que no presentan en su masa ni huecos ni grietas donde pudiera almacenarse o transmitirse. Es el caso del Complejo Basal una vez atravesada la zona decomprimida y alterada que lo convertía en acuicludo. En la isla de San Miguel de La Palma y una vez que un pozo alcanzó este terreno se realizó un sondeo vertical de pequeño diámetro en su fondo y con una profundidad, desde el nivel del fondo del pozo, de 150 mts. no extrayéndose de él ni siquiera una cantidad que pudiera ser medible. En Canarias y debido a su formación volcánica, en origen, todos los materiales debieron ser potencialmente aptos para almacenar agua incluso el Complejo Basal por fisuración o existencia de huecos, pero la compactación, por el peso del material suprayacente, y la alteración, han logrado eliminar ambos factores, excepto en la zona que aflora en superficie.

Porosidad. La porosidad viene expresada por un número adimensional que representa el cociente entre el volumen de huecos que contiene la muestra y su volumen total. En los terrenos existentes en Canarias este valor es muy variable desde rocas cuya porosidad es nula hasta materiales tales como las escorias o piroclastos cuyo volumen de huecos puede superar ampliamente el 50% del volumen de la muestra.

Coefficiente de almacenamiento. En el caso de acuíferos libres, que es el caso general de Canarias aún existiendo particularidades que no restan validez a dicha generalidad, el coeficiente de almacenamiento coincide con la porosidad eficaz es decir, aquel porcentaje de la porosidad susceptible de desalojar agua ante un cierto estímulo fi-

sico. La diferencia entre la porosidad total y la eficaz se denomina «retención específica» y es aquella parte de la porosidad que por no tener sus huecos interconectados no cede el agua que los ocupa.

Permeabilidad. Es la menor o mayor oposición que un material ofrece al hecho físico de ser atravesado por un fluido. En el caso del agua ocupando un cierto material saturado, bajo una carga de agua traducida a presión hidrostática, es el caudal que pasa por una cierta sección del acuífero bajo un cierto gradiente a una determinada temperatura. Este concepto nació en 1865 bajo la Ley de Darcy que la expuso diciendo que el caudal (Q) que regula el movimiento de las aguas subterráneas es proporcional a: la sección (A) que atraviesa, la altura (h) de la columna de agua que la empuja y a un cierto factor (K) e inversamente proporcional a la longitud (l) de recorrido del agua dentro del medio. La expresión matemática es por tanto:

$$Q = K A h / l$$

El parámetro K denominado coeficiente de permeabilidad, depende del fluido, de su composición y viscosidad, y del material o medio atravesado, tamaño de los poros e interconexión entre ellos. El concepto relativo de permeabilidad e impermeabilidad nace de los valores que presente el coeficiente de permeabilidad K. Así, normalmente, se considera impermeable valores iguales o inferiores a 10^{-5} m/día (niveles arcillosos, coladas no fisuradas, algunos mantos pumíticos, etc.) y permeables las inferiores a 10^{-2} m/día (coladas fisuradas, niveles escoriáceos, piroclásticos, acarros de barranco, etc.). Resulta evidente que estos conceptos relativos de permeabilidad o impermeabilidad deberán adjudicarse en función del fin a que esté destinada la prospección.

Transmisividad. Si el coeficiente de permeabilidad K de un cierto acuífero lo multiplicamos por la altura de la columna de agua que lo configura obtenemos la transmisividad. Por ello, ésta se define como «el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unidad (el gradiente es el cociente entre la altura h y la longitud l) a una temperatura fija determinada» (Custodio, Llamas, 1975).

Hidrogeoquímica insular

Las características químicas del agua subterránea permiten conocer el origen y movimiento de las aguas dentro de la parte de su ciclo correspondiente al acuífero. En general, estas técnicas deben ir acompañadas por los es-

tudios hidrogeológicos correspondientes. No obstante, en ocasiones, ellos de por sí han producido datos, los cuales no se hubieran alcanzado nunca con las técnicas físicas únicamente (Estudio Geohidroquímico de Tenerife, Custodio, Soler, Lozano, Braojos y Jiménez, 1983).

Los materiales volcánicos son difícilmente solubles en origen, pero cuando son alterados, principalmente por la presencia de CO_2 en el agua que circula a su través, reaccionan donando cationes. El grado de aporte de estas sustancias al agua depende de la alterabilidad y del grado de fragmentación del material. La adquisición por parte del agua de las diversas sustancias depende del tipo de material atravesado ya que la constitución de éste, ácida o básica, repercutirá en el aporte de cationes diferentes. Así, en los basaltos y traquitas se produce un mayor aporte de magnesio que de calcio a diferencia de lo que ocurre en los restantes tipos de roca.

Los contenidos de aniones y cationes en el agua, es decir las sustancias disueltas en ella, caracterizan como hemos visto a las aguas subterráneas. Estas características dependen, en origen y antes de producirse la infiltración, de las propias del agua de lluvia y del clima de la zona. Una vez producida la recarga, las características varían en función de la temperatura y agresividad del agua y del tipo de roca considerando su alteración y fragmentación. El aporte de sustancias al agua en cantidad y composición, es también función del tiempo de permanencia en el subsuelo.

En ocasiones, estas características químicas del agua, alteran el aspecto y las condiciones hidrológicas de los materiales que atraviesan rellenando poros o fisuras o incluso, llegando a cementar a materiales tan porosos como las escorias o los piroclastos. La razón de este hecho radica en un cambio en la solubilidad del agua y la consiguiente precipitación de carbonatos cálcicos o magnésicos. Este es el origen de los terrenos «encalichados» tan corrientes en las islas orientales del Archipiélago.

En principio se pueden considerar predominantemente sódicas las aguas que saturan rocas alcalinas (fonolitas, ignimbritas, etc), y predominantemente magnésicas y cálcicas las de las series basálticas (Núñez y Rosenthal, 1974; Fernandopullé, 1974). Al producirse un cambio litológico en el medio, generalmente se debería producir una modificación de los cationes que contiene el agua; pero éste es un desplazamiento lento que algunas veces no llega a ser perceptible debido a la gran cantidad de variables que intervienen o condicionan el proceso.

Exceptuando fenómenos de recarga indirecta, como el producido por el agua excedente de riego, la infiltración se nutre únicamente del agua de lluvia. En las zonas costeras, la precipitación presenta a menudo (sobre todo en zonas de barlovento) una cierta cantidad de sales disueltas, principalmente cloruros y sodio procedentes de los efectos de la brisa marina (aerosol). En dichas zonas, esta cantidad, se ve incrementada al disolver el agua de lluvia sales de origen marino que por desecación se hallan en

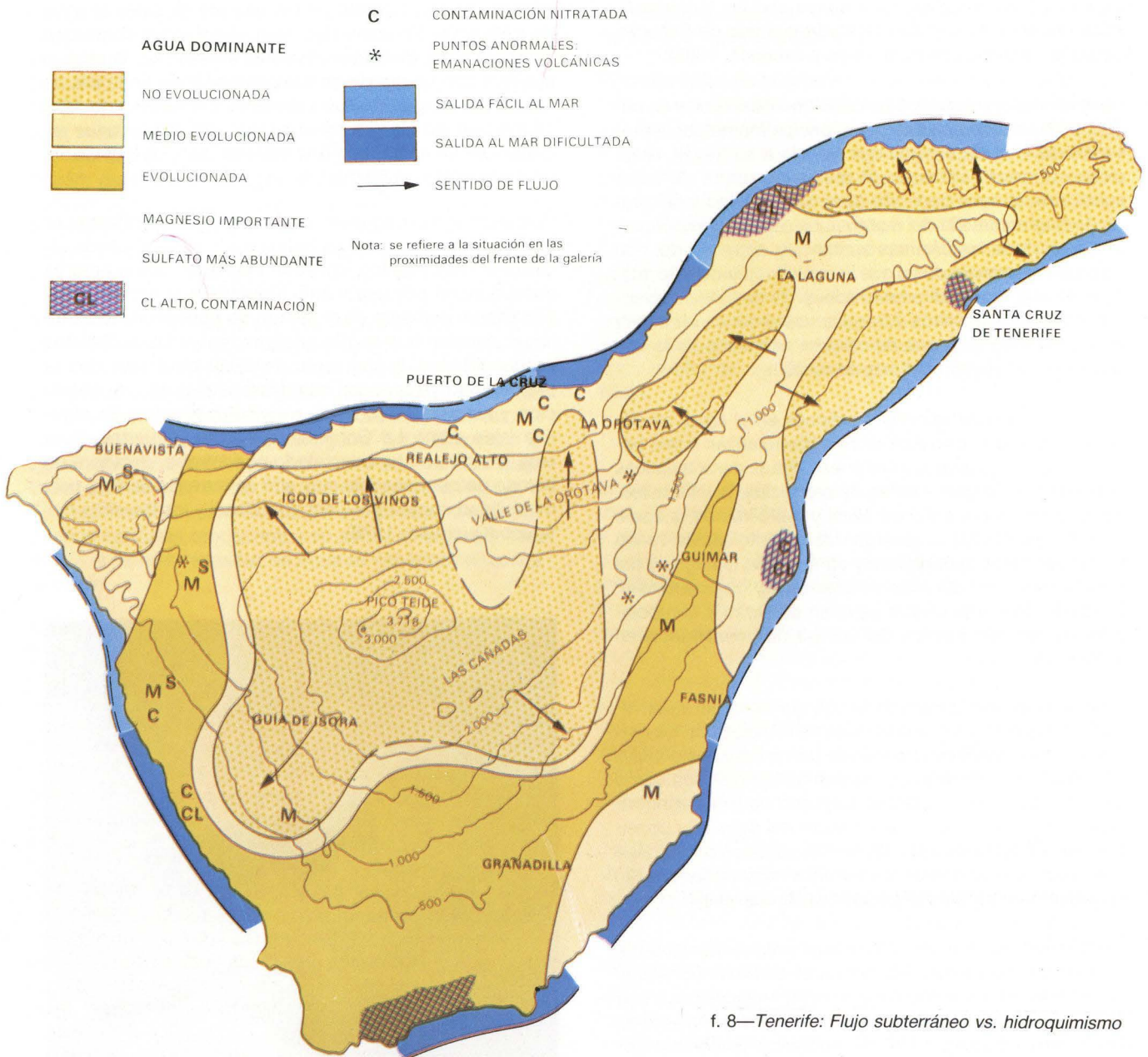
el terreno superficial. En Islas como las orientales, el polvo atmosférico que el viento de levante ha llevado en suspensión origina también un incremento de sales al agua de infiltración. En uno y otro caso, el agua que constituye la recarga, por disolución de estas sustancias, llega ya al acuífero con un aporte de sales importante. En la isla de Lanzarote el agua de lluvia presenta cantidades de 10 a 15 mg/l de ión cloruro mientras que esa misma agua recogida en un aljibe, con una extensa zona de captación, ha dado hasta un 80 mg/l de ese mismo anión.

Posteriormente el agua en su circulación descendente por el terreno no saturado, va adquiriendo sales. Cuando alcanza el nivel freático, continúa esta adquisición pero ya condicionada por una menor velocidad de circulación y con ello un aumento en el tiempo de permanencia. Es de hacer constar que según pruebas realizadas a distintas profundidades, la liberación de sales disminuye con la profundidad ya que con ella decrece el grado de alteración y los materiales están más compactados. En algunas islas como La Gomera, Lanzarote y Fuerteventura este proceso se ha constatado al contrario, debido a un tiempo de permanencia muy alto en terrenos de baja permeabilidad como es el Complejo Basal y los Basaltos Antiguos (Custodio, 1978).



f. 7.—Precipitación de carbonatos y sulfatos

CIRCULACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA
SEGUN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA



f. 8—Tenerife: Flujo subterráneo vs. hidroquimismo

Las aguas subterráneas en zonas áridas, como en las islas de Lanzarote, Fuerteventura y parte sur de Gran Canaria y Tenerife, presentan un predominio de anión cloruro, lo que también sucede en aquellas zonas donde existen procesos de intrusión marina. En general, y sobre todo en aguas subterráneas recientes, se presenta un dominio aniónico de bicarbonato o cabonato. Solamente predominará el sulfato en aquellas áreas donde exista una contaminación por riegos, urbana o volcánica. La experiencia indica un grado creciente de mineralización y contenido en cloruros desde las zonas de cumbres

hacia las costas. Dicha mineralización se realiza, como hemos visto, por lavado del material; en cuanto al aumento del cloruro, puede ser debido en principio a que la recarga aumenta paulatinamente en este anión a medida que crecen las condiciones de aridez climáticas locales. En ocasiones ya más particulares, puede ser debido también a emanaciones de gases o a lavados de terrenos que anteriormente estuvieron bañados por el mar. El contenido en carbonatos, en ausencia de aportes de dióxido de carbono, permanece estacionario. Únicamente disminuye, en proporción, en zonas de intrusión marina.

En cuanto a las características físicas del agua subterránea, desde el punto de vista hidrológico, la más importante es la temperatura. Normalmente ésta permanece constante por zonas, no siendo alterada por las variaciones climatológicas externas. Cualquier variación brusca de la temperatura en un acuífero denota la proximidad de áreas de recarga y, en algunos casos, vías de circulación rápida; un aumento brusco denota la existencia de vapor o gases de origen volcánico como los detectados en la Montaña de Fuego en Lanzarote.

Por último y debido a su creciente importancia cabe mencionar las aplicaciones de las variaciones isotópicas del oxígeno y del hidrógeno. De ellos el contenido en deuterio y oxígeno 18 constituyen buenos trazadores ya que no se altera su contenido ni en la infiltración, ni en la circulación subterránea. También está acrecentándose el uso del tritio para datar la época en que el agua de una cierta zona se infiltró en el subsuelo, mientras que para períodos inferiores a 6.000 años se utiliza radiocarbono.



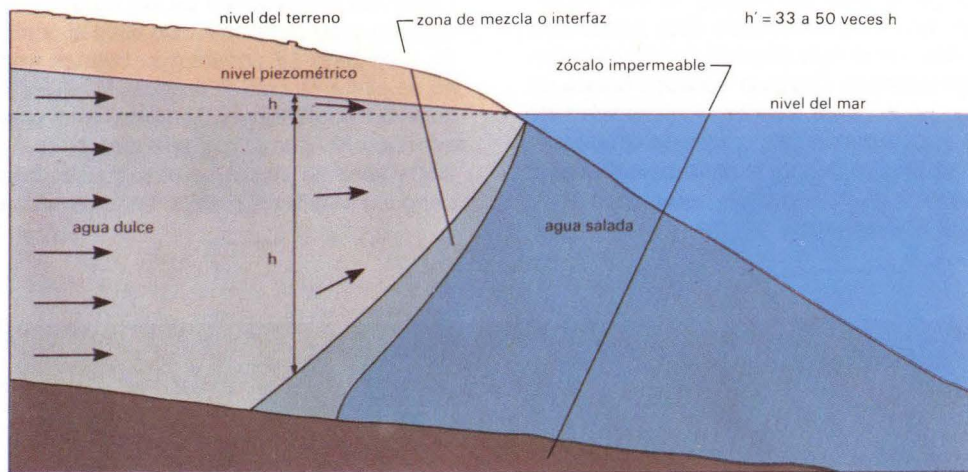
f. 9.—Deposición de carbonatos en un naciente

Relaciones agua dulce - agua salada

Como se ha venido comentando, la descarga natural de los acuíferos insulares radica en un flujo de agua dulce que se dispersa en el agua de mar situada en el subsuelo de las islas. En ausencia de influencias exteriores, artificiales, este trasvase se realiza a través de una teórica «zona de mezcla». La extracción excesiva o mal prevista provoca en general un ascenso de esta zona en detrimento de un cierto volumen de agua dulce desplazado, lo que condiciona un empeoramiento de la calidad del agua extraída. Por esta razón, para la realización de una captación de agua costera es fundamental el estudio de la situación de la zona de mezcla y del flujo de agua dulce existente en el emplazamiento. Una vez realizada la captación, los ensayos de bombeo, con toma de muestras para analizar las calidades del agua, indicarán las posibles variaciones que la extracción produce sobre la zona de mezcla.

La zona de mezcla, también llamada «zona de transición» o de «difusión», define la separación entre dos líquidos miscibles, agua dulce y agua salada, de una manera gradual y no brusca como sería el caso entre dos líquidos no miscibles. Esta zona no es una barrera de separación estática sino una suave transición de propiedades y características de dos tipos de agua diferentes dotada de movimiento dentro del subsuelo por causas tales como: diferencia de densidades, flujo de agua dulce, condicionantes hidrogeológicos, extracciones y fluctuaciones periódicas del nivel del mar. (Lao en 1974, constata la disposición de esta zona de mezcla en base a la posición relativa de los diques respecto a la costa).

Teniendo en cuenta que el peso específico del agua dulce puede evaluarse en 1.000 Kg./m.^3 y que a la misma temperatura para el agua de mar (con un contenido en sales de 35 g./l) es de 1.020 a 1.030 , mientras la viscosidad de esta última es un 30% mayor que el agua dulce, se obtiene teóricamente, según la fórmula de Ghyben-Herzberg, que la interfaz se sitúa a una profundidad por debajo del nivel del mar superior a 33 e inferior a 50 veces la cota de agua dulce sobre el nivel medio del mar.



f. 10.—Perfil esquemático de la relación agua dulce / agua salada

Este cálculo es válido siempre que la zona de mezcla tenga un espesor despreciable frente a la profundidad, lo cual no siempre es cierto. Además, para el punto de encuentro del acuífero con el nivel del mar surgen serias discrepancias con la realidad ya que no explica las surgencias de agua dulce en zonas relativamente bajas, pero por encima del nivel del mar. Estas discrepancias entre la realidad y los resultados de la hipótesis se solventan en parte por la corrección de Hubert. En la figura n. 10 se ha representado, con total libertad en escalas, la posición de esta zona de mezcla.

Se denomina intrusión marina o de agua salada «el movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando el agua dulce» (Custodio Llamas 1975). Lo cual conduce a que, debido a este fenómeno, la zona de mezcla aumenta de espesor y avanza hacia el interior de la tierra desplazando volúmenes de agua dulce e intercambiándolos por agua salobre.

Contaminaciones del agua subterránea

Se define como contaminación a todo aquel proceso por el cual se alteran las características físico-químicas del agua. Dentro de estos procesos cabe distinguir los de origen natural y los causados por el hombre.

Debido a la especial configuración del Archipiélago Canario, en base a su insularidad, expansión demográfica y urbana, relieve y geología, son de destacar las contaminaciones por labores agrícolas, urbanas e intrusión marina dentro de las causadas directamente por el hombre y las producidas por emanaciones de gas, procedentes de un volcanismo no totalmente extinguido, dentro de las contaminaciones de origen o causa natural.

En los acuíferos insulares, al igual que en la mayoría de las reservas de agua subterránea, el origen de las contaminaciones es difícil de detectar de un modo preciso y concreto. Esto es debido a la dispersión del foco contaminante al llegar a la zona saturada, junto con la lenta velocidad de circulación del agua. En algunos casos, la cobertura de terreno no saturado, situada por encima del acuífero, protege de un modo efectivo de ciertas posibles contaminaciones, al producirse una regeneración del líquido polucionado en base a su largo recorrido hasta llegar a la zona saturada. Este puede ser el caso de aguas contaminadas biológicamente.

Debido a las mismas causas por las que un acuífero es resistente a la contaminación se muestra asimismo reacción, una vez contaminado, a la regeneración, mostrando de nuevo su resistencia al nuevo cambio que se le impone. Ambos factores de contaminación y regeneración son variables en el tiempo, dependiendo de factores intrínsecos a los propios agentes contaminantes y a la naturaleza del soporte geológico del acuífero.

Contaminación por labores agrícolas

Esta contaminación se basa en la utilización del agua para fines agrícolas. El agua usada en la agricultura vuelve a infiltrarse en el terreno una vez que parte de ella es asimilada por la plantación. En Canarias y debido, en general, al mal uso o no empleo de las técnicas adecuadas, un elevado porcentaje de agua de riego vuelve a infiltrarse, produciendo con ello tres tipos de contaminación: asimilación por el agua de sustancias adquiridas por los abonos, peor calidad del agua de riego que la del subsuelo y asimilación de pesticidas.

Actualmente los abonos están constituidos fundamentalmente por nitratos, fosfatos y potasa. Los dos últimos no suelen contaminar el agua ya que la potasa es rápidamente fijada por el terreno y los fosfatos no se disuelven fácilmente en ella. El indicador más claro de una posible

contaminación agrícola es el aumento desproporcionado de ciertos compuestos derivados del nitrógeno. En un análisis clásico de agua este hecho está claramente identificado con un aumento de los iones NO_3^- y SO_4^{2-} (nitrato y sulfato, respectivamente). En ocasiones y debido a procesos de reducción, en zonas ya alejadas del foco contaminante, también puede observarse por el aumento del ión NO_2^- , o NH_4^+ . El mejor indicador de la contaminación agrícola, en ausencia de reducción, es por tanto el ión nitrato (Scalf et al., 1969; Baars y Boorsma 1957).

Los casos de contaminación por labores agrícolas derivadas del uso de los pesticidas, tales como insecticidas, herbicidas, etc. son raros en el Archipiélago. En cambio, sí es más frecuente la contaminación por calidades diferentes entre el agua de riego y el agua situada en el subsuelo de la plantación. En Canarias, donde existen conducciones que recorren la casi totalidad de las islas mayores, es lógico que el agua de infiltración después de efectuado el riego sea totalmente diferente a la del acuífero en esa zona regada. No obstante en la mayoría de los casos, en cuanto a calidad original del agua de riego, esta contaminación podría mejorar la calidad del agua del subsuelo si no fuera por la adquisición artificial, comentada en el párrafo anterior, de sales por los abonos. Hay que tener en cuenta que en zona de plataneras costeras la exigencia de calidad y cantidad de agua por parte de esta plantación, en general, impide la extracción «in situ», obligando a la captación y conducción desde zonas de medianías en las que la calidad del agua del subsuelo es mejor que en zonas costeras.

Isla a isla las zonas contaminadas por labores agrícolas coinciden a grandes rasgos con la zona de producción de platanera que es obviamente la plantación que más volumen de agua necesita para el riego. Según datos extraídos del MAC-21 por cada Kg. de plátano producido es necesario consumir en el riego 400 Kg. de agua de las cuales la planta asimila menos de un 50%. Estos datos son valores medios ponderados según los diferentes métodos de riego empleados.

ISLA DE GRAN CANARIA

CALIDADES DE LAS AGUAS Y TIPOS DE CULTIVO

Distribución %	Contenido de Sales (gr/l.)	Cultivos utilizables
35,5	<0,5	Util para todo tipo de cultivos. Platanera, peral, manzano, aguacate...
50,8	0,5 - 2	Cultivos medianamente tolerables. Tomate, vid, papas, melón, cebolla, pepino, pimiento...
10	2 - 4	Cultivos tolerables.
3,7	>4	Palmera datilera, berenjenas, remolacha, espárragos, espinacas,...

Estudio geohidroquímico de Gran Canaria - S.G.O.P.U. -

De un modo simplificado y esquemático, se pueden definir las zonas actualmente contaminadas por labores agrícolas en las siguientes:

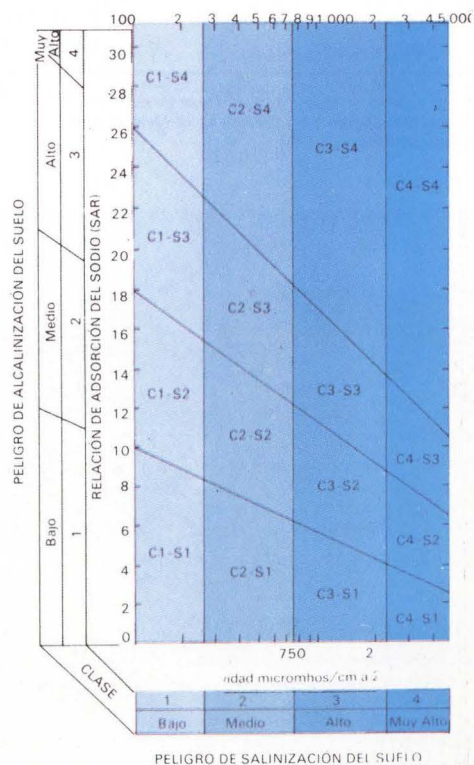
Gran Canaria. Índices de contaminación por nitratos superior a lo admisible, para la clasificación de agua potables, en la zona de Arucas.

Tenerife. Índices de contaminación por nitratos en algunos puntos hasta cuatro veces superior a la admisible en el Valle de La Orotava.

San Miguel de La Palma. Índices de contaminación por nitratos en la zona del Valle de Aridane, alcanzando valores superiores a dos veces el admisible, en algunas captaciones situadas en el Barranco de Las Angustias.

El Hierro. Hasta el año 1980 crecieron de forma alarmante los índices de esta contaminación en el Valle de El Golfo. Actualmente, parece ser que se hallan estacionarios debido, sin duda, al cambio de cultivo.

En las islas de Fuerteventura, Lanzarote y La Gomera no se dispone de suficientes datos para poder emitir un juicio en el momento actual; aunque por el tipo de cultivo, en las dos primeras islas mencionadas, no deben presentarse problemas de contaminación por labores agrícolas. En cuanto a la tercera, existen indicios de contaminación en la zona de valle Gran Rey.



f. 11.—Diagrama para clasificar aguas de riego según el U. S. Salinity Laboratory Staff

Características comparativas en reglamentaciones de aguas potables (valores en ppm).

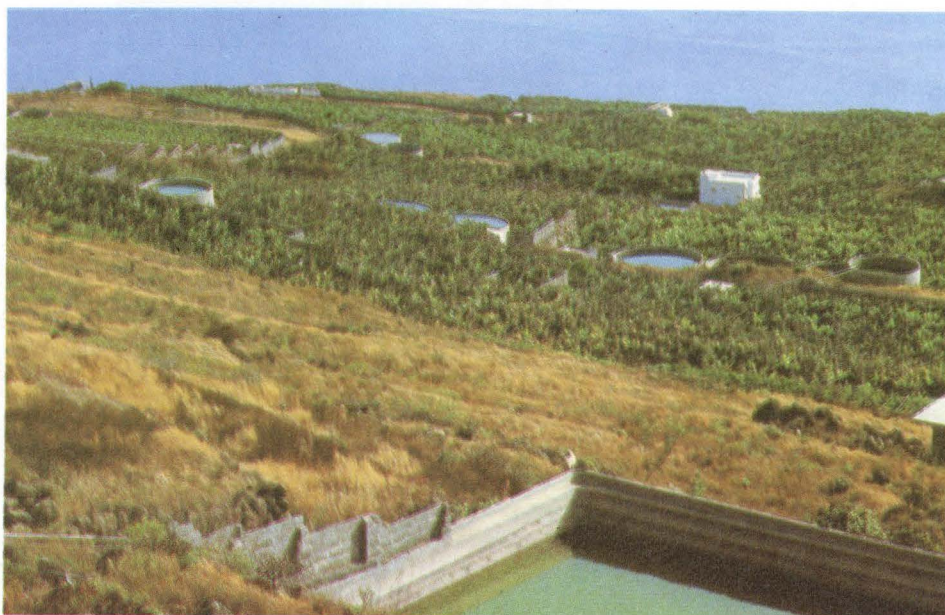
Fuente: Custodio-Llamas 1975 (p. 1889)

Caracteres	O. M.S. (1)		España (2)	
	Conveniente	Admisible	Conveniente	Admisible
Arsénico (As)	—	0,2	—	0,2
Bario (Ba)	—	1,00	—	—
Cadmio (Cd)	—	0,01	—	—
Carbono extraído con cloroformo (CCE)	0,2	0,5	—	—
Cianuro (CN)	—	0,01	—	0,01
Cloruros (Cl)	200	600	250	350
Cobre (Cu)	1,0	1,5	—	1,5
Color (Pt-CO)	5	50	5	15
Cromo (Cr+6)	—	0,05	—	0,05
Detergentes (ABS)	0,5	1	—	No detectable
DQO (O ₂)	—	—	3	3
Dureza (CO ₃ Ca)	—	—	—	—
Fenoles (fenol)	0,001	0,002	—	0,001
Fluoruro (F)	0,5 a 1	1,5	1	1,5
Hierro (Fe)	0,3	1	0,2 (Fe+Mn)	0,3 (Fe+Mn)
Magnesio (Mg)	50	150	50	100
Manganeso (Mn)	0,1	0,5	—	—
Nitratos (NO ₃)	—	45	30	30
Olor	Aceptable	—	Inodora	Inodora
pH a 18°C	7-8,5	6,5-9,2	7-8,5	6,5-9,2
Plata (Ag)	—	—	—	—
Plomo (Pb)	—	0,1	—	0,1
Residuo seco	500	1500	750	1500
Sabor	Aceptable	—	Insípida	Insípida
Selenio	—	0,05	—	0,05
Sulfatos (SO ₄)	200	400	200	400
Turbidez (SiO ₂)	5	25	5	10
Zinc (Zn)	5,0	15	—	1,3

Para los fluoruros el límite decrece al aumentar la temperatura.

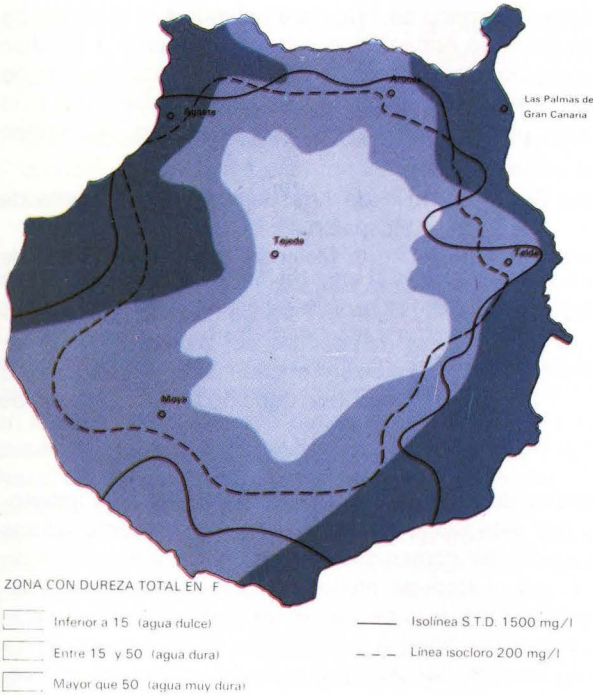
(1) O.M.S. International Standards for drinking-water. Ginebra 1963.

(2) Código Alimentario Español, 1967.



f. 12.—Valle de Aridane (La Palma). Estancos entre las plataneras

ZONIFICACION SEGUN CALIDAD DEL AGUA



f. 13.—Dureza e isolineas de sales y cloro

En general este tipo de contaminación orgánica y biológica no alcanzará al acuífero si existe una capa de cobertura potente, en base a su regeneración por circulación y oxigenación. Cuando las aguas, en origen polucionadas, alcanzan el acuífero sin regenerarse la depuración es más deficiente.

Los índices característicos para detectar esta posible contaminación son los análisis bacteriológicos, aunque también puede detectarse en los físico-químicos en base a un aumento de los contenidos en nitratos, nitritos, amonio y fosfatos.

En las islas Canarias se han encontrado indicios de contaminaciones de este tipo en todas ellas. Existen, no obstante, zonas de índices de contaminación elevados que coinciden someramente con el subsuelo de las zonas urbanas, debido a problemas de deficiencia o carencia de redes de saneamiento.

Contaminación por intrusión marina.

La contaminación por intrusión marina en las zonas costeras insulares se produce por desplazamiento de una masa de agua salada a costa de una de agua dulce, como respuesta de la zona de mezcla a condicionantes externos que varían las naturales condiciones originales.

Estos condicionantes son los que alteran el primitivo flujo, bien logrando una disminución de éste, con lo cual la posición de equilibrio de la zona de mezcla se traslada hacia el interior o bien, en forma puntual, por un bombeo excesivo para el flujo existente en la zona de influencia del pozo, a lo cual el acuífero responde enviando agua de la zona de mezcla.

La intrusión marina se delata inicialmente por una rápida elevación del contenido en sales disueltas. En general

Contaminación urbana

Es una contaminación esencialmente orgánica y biológica, aunque el uso de estas aguas por el hombre, repercute también en un aumento de los sólidos totales. La contaminación urbana se produce por el uso de fosas sépticas, pozos negros, alcantarillado en mal estado, vertederos mal emplazados o técnicamente mal previstos.

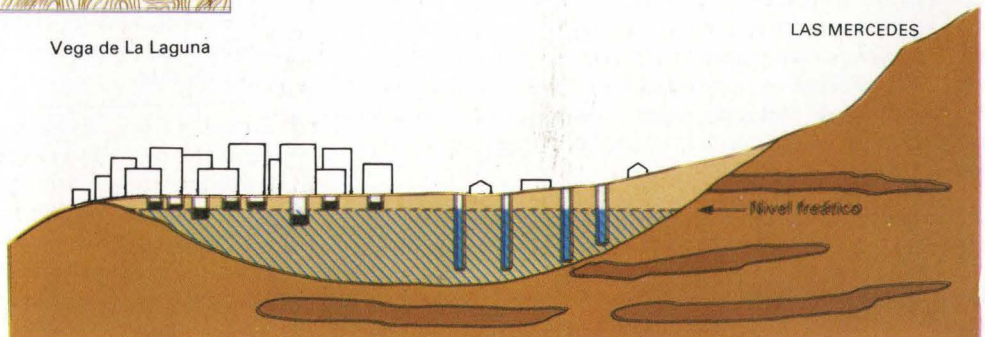


SAN CRISTÓBAL DE LA LAGUNA

Vega de La Laguna

LAS MERCEDES

- Arcillas y limos
- Basaltos Antiguos
- Piroclastos
- Pozos negros
- Pozos



f. 14.—Contaminación urbana del acuífero de La Laguna en Tenerife, producida por 2.000 pozos

este aumento está motivado por la adquisición de cloro y sodio. Una de las características principales del agua de mar es su bajo contenido en bicarbonato, junto con una relación entre los contenidos de magnesio y calcio próximos a 5 y entre el cloro y el sulfato de 10. En el agua dulce, en cambio, los valores del bicarbonato suelen ser predominantes respecto a los otros aniones y las relaciones mencionadas, en general, son siempre inferiores a la unidad. Por tanto, un aumento paulatino de iones cloro y sodio, el descenso de los contenidos en bicarbonatos y una tendencia hacia los valores de 5 y 10 en las relaciones indicadas, son muestras inequívocas de una incipiente intrusión marina. Existen más índices para caracterizar a este proceso, como son los contenidos en bromo y yodo. Dependiendo de las características químicas del agua dulce del acuífero serán de más utilidad unos índices que otros. Por ejemplo, en las islas de Fuerteventura y Lanzarote y debido a su escasa vegetación y poca altura, la recarga de aguas de infiltración procedente de la lluvia se produce con un elevado valor en el contenido en cloro. Este hecho puede llevar a conclusiones erróneas a la hora de catalogar estos valores en las aguas del acuífero.

En cuanto al proceso físico de la intrusión marina, caben dos posibles fenómenos: si éste se produce por una disminución del flujo de agua dulce hacia el mar, el acuífero responde cediendo terreno saturado al agua de mar, si en cambio este proceso se realiza como consecuencia de un foco puntual de extracción, y si la circulación del agua dentro del acuífero en el sentido vertical es muy acusada, la intrusión marina se produce por ascenso vertical de la zona de mezcla hacia el punto que produce la extracción; siendo menor o menos acusado el desplazamiento de la interfaz, de la costa hacia el interior. En ambos casos, este fenómeno de intrusión suele venir acompañado de un descenso de niveles en la superficie piezométrica del acuífero.

La contaminación del acuífero por intrusión marina, que siempre es debida a una mala previsión de la captación, se produce relativamente en poco tiempo, mientras que su total regeneración, aún cuando cese totalmente la extracción, necesita en general de mayor tiempo. Ello es consecuencia de que el hecho se produce por una mayor extracción que el flujo de agua dulce disponible y es este flujo el que debe hacer retornar a su posición las condiciones iniciales, alteradas por el excesivo caudal de extracción.

En las Islas Canarias los problemas de intrusión marina son relativamente frecuentes. Esto es debido a la situación próxima a las costas de los puntos de extracción, así como también es el resultado de excesivo caudal extraído sin haber realizado antes un estudio que limite y condicione la extracción a la situación hidrogeológica de la captación.

A continuación se exponen, por islas, las zonas que actualmente presentan problemas de intrusión marina.

Gran Canaria. La zona con este efecto más acusado está comprendida entre la Punta de Gando y la desemboca-

dura del barranco de Tirajana afectando a la totalidad de los Llanos de Arinaga con valores superiores a los diez gramos por litro de sólidos totales, de los cuales más de tres corresponden al cloro. Con valores superiores a un gramo por litro de cloro están las zonas siguientes:

Zona Sur.	Desde Arguineguin hasta la Punta de Maspalomas.
Zona Noroeste.	Desde Melanara hasta las Palmas de Gran Canaria.
Zona Norte.	Desde el Faro de Sardina hasta la desembocadura del barranco de Moya.
Zona Oeste.	La desembocadura del Barranco de La Aldea por debajo de San Nicolás de Tolentino.

Fuerteventura. Ya se ha comentado en párrafos anteriores que esta isla al igual que Lanzarote presenta valores muy altos del contenido en cloro debido a su aporte directo por el agua de infiltración. Como valor límite, solamente existen unas pequeñas áreas donde se han medido valores inferiores a 0,25 gramos por litro en ión cloruro. El aumento del cloro por excesiva extracción, con valores de este ión superiores a los cinco gramos, se ha producido en la desembocadura del Barranco del Gran Tarajal y al sur del Barranco de Esquinzo. A modo comparativo la casi totalidad del acuífero insular presenta valores de este ión superiores a un gramo por litro.

Lanzarote. Al igual que en Fuerteventura los valores en contenido en ión cloruro del acuífero insular son muy elevados. En el macizo de Famara se han detectado valores superiores al gramo por litro en la mayor parte de los afloramientos existentes en la galería.

Tenerife. En las zonas donde se ubican los pozos, que por motivos topográficos se sitúan a cotas bajas, la elevada permeabilidad y heterogeneidad del material reciente favorecen que la zona de transición presente espesores muy pronunciados. Las zonas costeras que presentan índices de intrusión marina son las siguientes:

- Zona de Güimar. La intrusión afecta a todas las captaciones existentes por debajo de la cota 300, alcanzando en las costeras valores de un gramo por litro en cloruros.
- Costa sur de Anaga. En general la situación de la intrusión parece estabilizada excepto en la zona próxima a Santa Cruz. Existen algunos nacientes costeros, como La Cueva del Agua, con claros indicios de mezcla con agua de mar.
- Zona de Tejina. Es ésta una clara zona de progresivo aumento de la salinización debido a una excesiva o mala distribución del régimen de bombeo. La intrusión se produce por ascenso vertical de la zona de mezcla. La salinización resulta evidente en las zonas de Tejina Valle Guerra y en Punta Hidalgo con valores del contenido en ión cloruro que superan ampliamente el gramo por litro.

—Costa SW entre Puerto Santiago y San Juan de Adeje. Existe en esta área un medio muy permeable con un flujo de recarga teóricamente bajo lo que repercute en el acuífero, en un tránsito relativamente rápido al agua salada marina. A distancias de centenares de metros de la costa se obtienen aguas con valores de cloruros que superan el gramo por litro.

San Miguel de La Palma. En esta Isla existen dos zonas con procesos de intrusión marina claramente localizados. La primera situada en la costa este y concretamente más evolucionada en los alrededores de Santa Cruz. La segunda, con valores netamente superiores, corresponde, en la zona oeste, al tramo costero comprendido entre la desembocadura del Barranco de Las Angustias y Puerto Naos. En este barranco, la intrusión es identificable claramente por valores que en épocas de bombeo continuo han llegado a alcanzar los cuatro gramos por litro. A esta situación se ha llegado por una sobreexplotación tanto por excesivos caudales como por excesivas captaciones situadas en un entorno geográfico restringido. En la zona del Barranco de Las Angustias, la intrusión ha sido detectada hasta una distancia superior a los dos mil metros de la costa. El proceso de intrusión en zonas alejadas consiste en un ascenso de la zona de mezcla en base a la alta permeabilidad de los materiales que conforman el acuífero en esa zona. En el área consertera situada al sur de Tazacorte, se han detectado valores de contenido en ión cloruro superiores al gramo por litro.

La Gomera. Aquí la intrusión marina se ha producido en los tramos bajos de los barrancos, en base a un excesivo caudal extraído y a una elevada permeabilidad de los acarreos que conforman el subsuelo.

Cabe citar como ejemplos claros los pozos costeros situados en Valle Gran Rey y en San Sebastian de La Gomera.

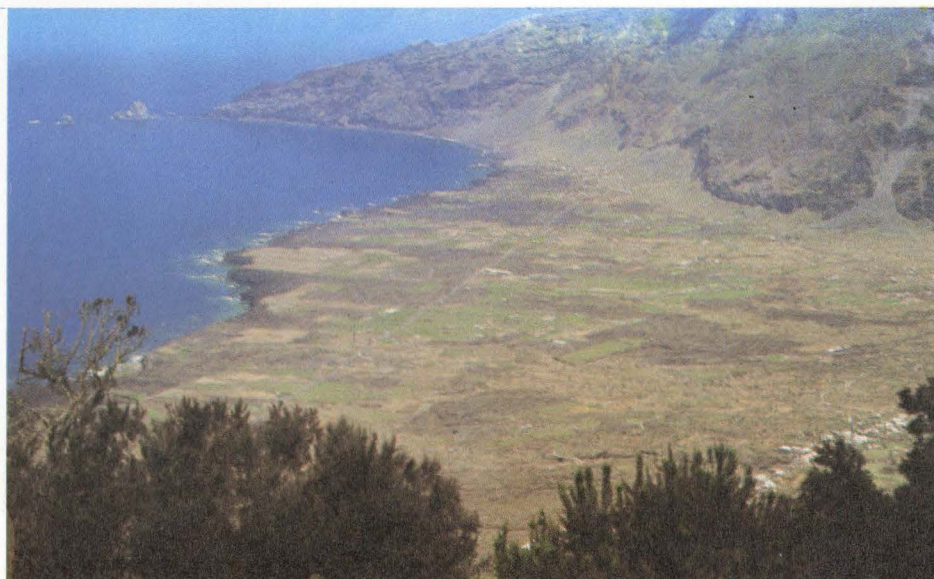
El Hierro. Esta pequeña Isla, de corta historia geológica, presenta unos elevados valores de permeabilidad debido a la ausencia de alteración de sus materiales, por lo que cualquier captación situada a poca distancia de la costa debe profundizar como mínimo hasta el nivel del mar para poder extraer un caudal de agua dulce que la haga rentable. Todo esto conlleva una predisposición a que se produzca en poco tiempo la salinización de sus aguas, si no se toman las medidas necesarias en cuanto a la forma de la captación y al caudal máximo a extraer. Cabe mencionar, como ejemplos, los pozos semiabandonados de Tejeguete, Agua Nueva, La Coruja y los Llanillos en el Valle de El Golfo y captaciones con indicios de intrusión como son el de Fátima también en El Golfo, el pozo-galería de Icota en la costa este y el pozo de Tancajote al norte de la Isla.

Contaminación volcánica

Este tipo de contaminación se produce por el aporte al agua subterránea de gases procedentes de emanaciones volcánicas latentes. Estos gases al disolverse en ella producen cambios en el quimismo original. En ocasiones y debido a las altas temperaturas de estas emanaciones, se puede incrementar en algunos grados la temperatura normal del agua subterránea.

Los gases son los primeros productos que logran salir a la superficie en una erupción. Asimismo se mantienen durante todo el proceso eruptivo y quedan de testimonio una vez cesada la actividad magmática, hasta su total enfriamiento en el interior de la tierra.

La mayor parte de estos gases están constituidos por vapor de agua, originario de la evaporación del agua subterránea sometida a elevadas temperaturas. Este vapor de agua lleva también gases del tipo de ClH , SH_2 , SO_2 , etc. y muy frecuentemente en Canarias CO_2 .



f. 15.—Valle del Golfo en la isla de EL HIERRO: zona de contaminación volcánica

Este tipo de contaminación ha sido detectado en el Archipiélago siempre de forma puntual y esporádica. La característica principal que produce esta disolución de gases en el agua es un aumento de la cantidad total de sales y, dependiendo del tipo de emanación, un aumento desproporcionado de los iones bicarbonato, sulfato, cloruro, etc. A modo de ejemplo, en la isla de El Hierro se ha detectado mediante sondeos una actividad volcánica latente por medio de los análisis químicos del agua subterránea del acuífero insular. Asociada a una posible falla, existe una franja en el Valle de El Golfo definida entre la Montaña de Tamasina y Tejeguete en donde se han detectado valores altos e inusuales de los contenidos en CO_2 (valor máximo de 263 mg./l) que posteriormente producirán un agua con altos valores de ión bicarbonato y carbonato (uno u otro dependiente del valor de pH). En esta zona existen puntos de observación con algo más de cuatro gramos de sales de las cuales la cuarta parte corresponde únicamente a la suma de los iones carbonato y bicarbonato y parecida cantidad presenta el ión sulfato. Estos son indicios claros de una contaminación volcánica por aporte de gases ricos en dióxido de carbono y compuestos sulfatados.

En Tenerife existen dos galerías; Los Zarzales y El Loro situadas en el Valle de Güimar con indicios inequívocos de este tipo de contaminación por gases; en este caso puede tratarse de emanaciones ricas en sulfuros y cloruros. Todo ello produce aguas sulfatadas con gran cantidad de sales como en la galería Los Zarzales con más de 21 gramos por litro. Valor éste de todo punto anómalo en la zona de Güimar, si exceptuamos los pozos salinizados costeros.

No son éstos los únicos casos de contaminación, pero por tratarse de un fenómeno de tipo puntual entendemos que no es preciso un tratamiento más extenso.

Captaciones de agua

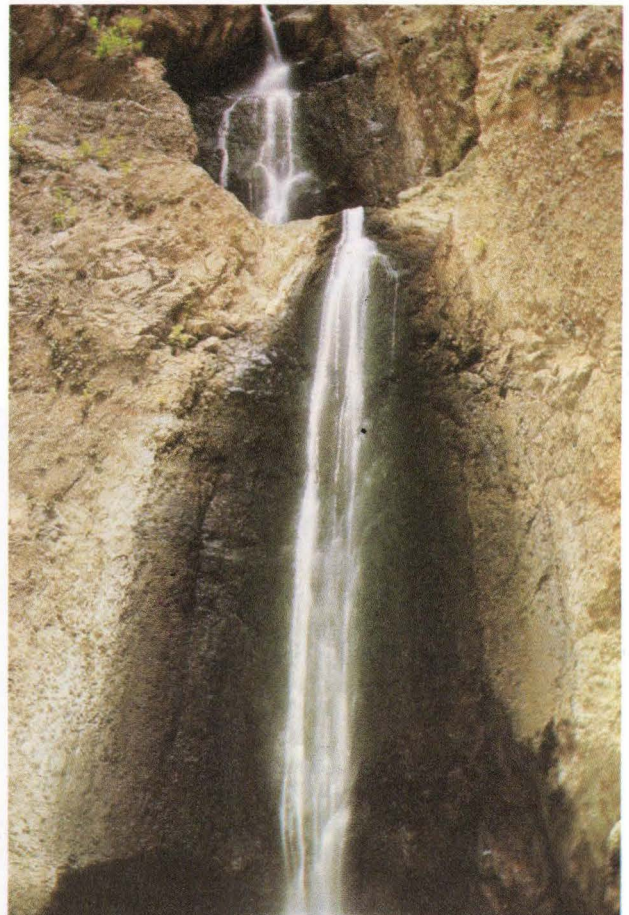
Para aprovechar los recursos hidráulicos del subsuelo de las islas, el hombre canario se ha valido de procedimientos diversos: manantiales, pozos y galerías son y han sido los más importantes, sin olvidar los zanjones en Fuerteventura, utilizados para el abastecimiento del ganado, y los aljibes caseros de la isla de El Hierro que recogen el agua de lluvia con la que se autoabastece gran parte de la población.

Nacientes

Los manantiales, o más bien los nacientes haciendo uso de la terminología local, ofrecían un caudal suficiente para los antiguos pobladores del Archipiélago. Actualmente y

debido al desarrollo efectuado en ellos o más frecuentemente al descenso de los niveles del acuífero, han desaparecido o bien han mermado sus caudales. Los nacientes están originados por la afloración del acuífero en la superficie. Dato que la pendiente de la capa límite superior del acuífero es muy tendida, no es frecuente encontrarlos en zonas de medianías. Más común es hallarlos en la zona de descarga del acuífero, esto es, a la orilla del mar. Desde siempre el habitante de las islas conocía estos lugares de afloración y los bautizaba con topónimos característicos. Por ello, es frecuente que en todas las islas existan «playas dulces».

En otros casos la existencia de nacientes se debe al hecho de vías preferentes de drenaje, como son las fisuras y algunos diques (barranco del Junquillo, Fuerteventura), o al afloramiento en superficie de terrenos impermeables que separan en unos casos y delimitan en otros, al acuífero insular. Este es un caso muy corriente en las islas occidentales. Cabe englobar dentro de este origen a los nacientes de la Isla de La Gomera asociados al contacto entre los basaltos subhorizontales (permeables) y los terrenos antiguos como el Complejo Basal y los Basaltos Antiguos (impermeables) o a los nacientes de Marcos y Cordero en La Palma en los cuales el terreno superior formado por las Series Basálticas I y II son la formación sus-



f. 16.—Cascada del Barranco del infierno en Gran Canaria. Recoge una serie de nacientes

tentadora, siendo el zócalo impermeable el Complejo Basal. Este origen es el que produce nacientes de mayor caudal ya que en base a esa impermeabilidad del substrato, junto con la recogida y canalización del agua de recarga por los terrenos permeables superiores, pueden considerarse, en algunos casos, como acuíferos insulares ya que el acuífero existente por debajo de él puede resultar improductivo, como es el caso de La Gomera; no así el caso palmero, en que por debajo del mayor nacimiento de Canarias, Marcos y Cordero, existe un acuífero cuyo rendimiento ha demostrado ser productivo. En la Isla de Tenerife, se encuentran infinidad de nacientes asociados a estas capas impermeables que conforman pequeños acuíferos colgados, y que presentan un pequeño caudal que en algunos casos, los más, se reduce a ligeros rezumes o manchas de humedad, como los nacientes de las Cañadas asociados a estratos impermeables, formados por capas de piroclastos o tobas ácidas. En las islas orientales los nacientes de Fuerteventura, Agua de Bueyes y los de Famara, en Lanzarote, están asociados a la existencia de capas de tobas o almágres, respectivamente, que presentan una cierta continuidad.

Galerías

El tipo de captación de agua en Canarias que sigue a los nacientes por su número lo constituyen las galerías. Se podría definir como galería a toda excavación en forma de túnel con paredes filtrantes, sección apreciable y sentido ligeramente ascendente con el avance. Su misión es actuar como una vía fácil de salida del agua, al alcanzar la perforación el terreno saturado perteneciente al acuífero.

El caudal que se extrae de una galería es variable con el tiempo. Al comienzo, fijando el origen de tiempos en el

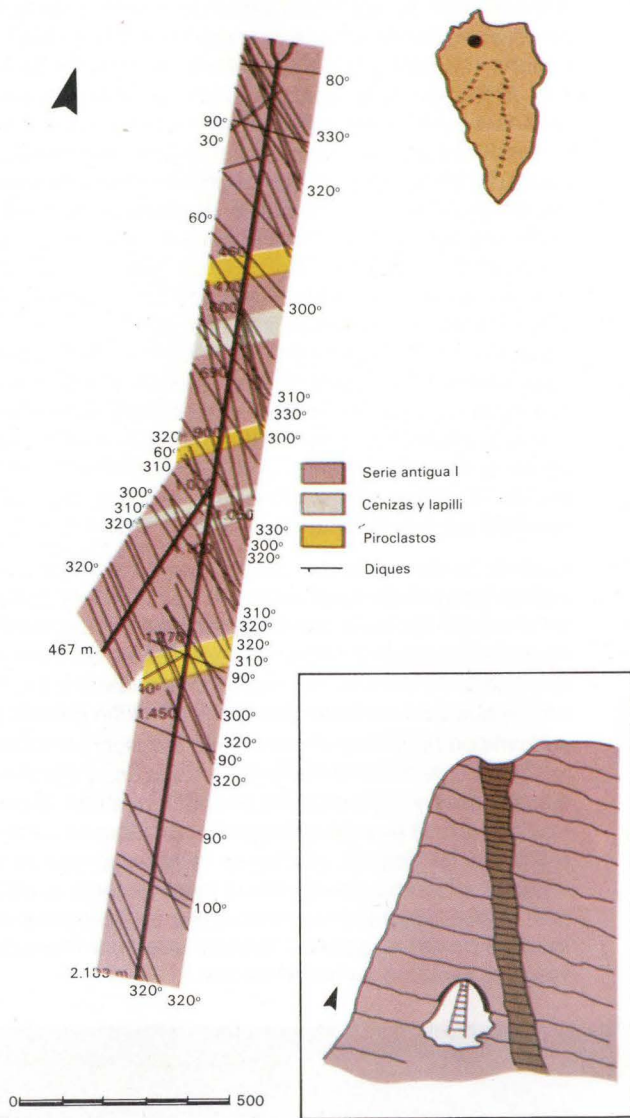
instante de acabarse la perforación, no es raro encontrar caudales elevados, pero a medida que el acuífero va asimilando este condicionante, de un drenaje en su interior, disminuye su caudal hasta llegar un momento en que se estabiliza. Cuando sucede este equilibrio de caudales, es cuando el acuífero cede a la galería un volumen de agua que es función de la recarga que a él accede y de las características hidrogeológicas del terreno que forma el acuífero. Estas características vienen englobadas dentro del concepto de transmisividad. La diferencia entre este caudal de equilibrio y los caudales iniciales, se ha nutrido a expensas del agua de almacenamiento que poseía dicho acuífero. En ocasiones las galerías llegan a «secarse», esto es, a dar un caudal demasiado bajo para su rentabilidad. Esto puede producirse bien porque el caudal de equilibrio no alcance mayor cantidad o porque la galería haya intersectado únicamente pequeños acuíferos colgados cuya recarga sea escasa y las aguas aportadas, en la época productiva, hayan sido obtenidas a expensas de agotar el almacenamiento. Una vez agotado éste, el caudal de la galería, proporcional a la recarga, deja de ser rentable por insuficiente o en algunos casos nulo.

Cuando la demanda del caudal exigido a la galería aumenta, obliga a perforar un nuevo tramo en ella que vuelve a repetir las características ya comentadas para los caudales iniciales. En muchos casos estas nuevas perforaciones no alcanzan el caudal demandado o previsto, con lo que se suspenden las obras en dicha galería. Esta suspensión puede ser debida a una longitud perforada ya excesiva, que dificulta posteriores trabajos, o a la presencia de gases y temperaturas elevadas que disminuyen el rendimiento de avance de la galería. En algunos casos, incluso, se ha llegado perforando a rebasar, por el lado opuesto, al domo que forma el nivel freático. En Canarias, y más concretamente en la isla de Tenerife existen muchas de estas galerías abandonadas por improductivas y no rentable su reperfóración.

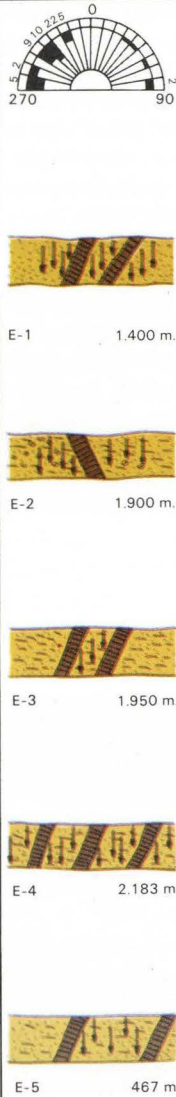


f. 17.—Vista de una tanqueta de distribución y reparto, usual en galerías

PLANTA DE GALERÍA Y CROQUIS DE SITUACIÓN DE LA BOCAMINA



ESQUEMAS-



f. 18.—Ficha de inventario de una galería

DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA

DATOS GENERALES

«Los Minaderos» está situada en el barranco de Barbudo, a una cota de 1.400 m. Longitud 2.183 m. No presenta calor ni gases y es de suficiente amplitud. Dista 6 km. aproximadamente de la costa.

LITOLOGÍA

Está emboquillada en coladas escoriáceas con una dirección de 60° y un buzamiento fuerte, 45° en bocamina. Este buzamiento va disminuyendo al ir avanzando en la galería, hasta los 30-35° al norte-oeste.

Los materiales cortados por la galería son en su mayoría escorias y arenas volcánicas con intercalaciones de capas de basalto y alguna capa de piroclastos más gruesos, de color rojizo, pertenecientes a la Serie Antigua. Siempre resulta que la cantidad de escorias-arenas supera con mucho a las capas de basalto. En general las escorias tienen una matriz arenosa que les da bastante compacidad y una casi total ausencia de huecos.

Todos estos materiales están atravesados por una serie de diques de direcciones variables pero estando la mayoría de ellos comprendidos entre los 300 y los 340°.

HIDROGEOLOGÍA

Los diques que se encuentran desde la bocamina hasta los 400 m. suelen presentar un cierto goteo que proviene del mismo dique.

—A los 1.400 m. existen unas arenas atravesadas por 2 diques, y con goteo que proviene de las mismas arenas. (Esquema 1.)

—A los 1.875 m. en la margen derecha, a medio metro del suelo, existe una pequeña fuente, en escorias con matriz arenosa, con un caudal de 5 l/min. Dicha fuente hizo su aparición hace unos 7 años (no se pudo recoger más información) con un caudal de unos 100 l/min.

—A partir de los 1.840 m. existe una zona arenosa, delante y detrás de un dique. (Esquema 2.)

—1.950 m.: dos grandes diques de dos metros de potencia, con goteo en las escorias existentes entre ellos. (Esquema 3.)

—Desde 2.100 m. hasta el frente hay tres diques de 320° de dirección, atravesando unas escorias y en toda la zona una intensa lluvia que proviene del techo y paredes. En el mismo frente hay dos catas hechas en las escorias, de las cuales sale el agua con bastante fuerza. Estas escorias están completamente lavadas y al erosionarse la arena que servía de matriz ha dejado los cantos muy sueltos. (Esquema 4.) Caudal aproximado del frente: 3.600 l/m.

El ramal tiene la misma litología que la galería principal y con goteo proveniente de escorias atravesadas por dos diques, siendo uno de éstos el frente del ramal, y en el que está practicada una cata y por ella mana el agua. (Esquema 5) Caudal aproximado: 300 l/min. El caudal total de la galería el día de la visita era de 4.050 l/min. = 67,5 l/seg., repartido así: el 90% proveniente del frente de la galería y el otro 10% del frente del ramal y de la fuente situada a los 1.785 m.

El primer alumbramiento se produjo en el año 1960, en un dique situado a los 900 m. y dio un caudal de unos 400 l/min. que se agotó en cuestión de días. Más tarde fueron aprovechando otros diques que también almacenaban agua pero, como el anterior, fueron mermando hasta llegar al frente actual.

La apertura de una galería provoca el secado de la parte superior de terreno, primitivamente saturado de agua. A la vez, y por ello, se modifica la circulación del agua aumentando la componente vertical del movimiento hacia la galería, con lo cual la zona de aguas abajo no capta ya ese volumen pero en cambio lo sustituye, mediante el mecanismo de almacenamiento, dando un flujo de agua procedente de las reservas del acuífero. Estas reservas del acuífero proceden de las aguas infiltradas durante tiempos geológicos recientes pero equivalentes históricamente a cientos o en algunos casos, miles de años.

A modo de ejemplo, y de acuerdo con los datos obtenidos mediante el modelo de simulación de la isla de Tenerife, la reducción del volumen anual de reservas en el año 1980 corresponde a algo más de un 40% de la producción de agua de la isla. No obstante debe tenerse en cuenta que parte de esta reducción no sólo se debe a la extracción artificial sino también, en menor medida, debido a los cambios en las condiciones del flujo subterráneo producidos por las galerías y pozos, a la inversión del flujo de salida de agua dulce al mar.

Pozos

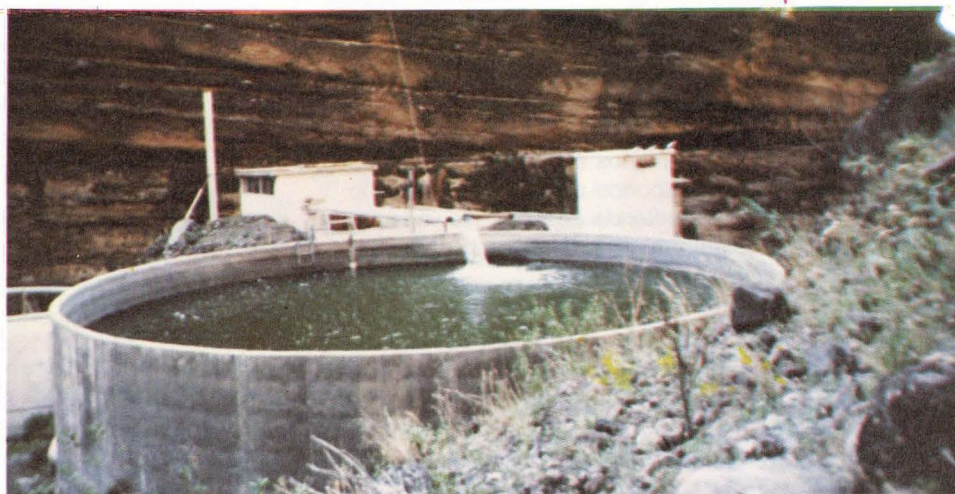
El último sistema de captación de aguas, y el más numeroso en el Archipiélago Canario, es el pozo. Bajo esta denominación se engloba a toda perforación vertical de forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad (Custodio y Llamas 1975). Su misión es poner en contacto el agua del acuífero con la superficie, accediendo aquélla al pozo a lo largo de las paredes y el fondo de la perforación. Una vez hallada, el agua se transporta a la superficie mediante dispositivos mecánicos.

El efecto principal que se produce con el bombeo es un descenso de nivel de agua, que repercute en el acuífero en un movimiento hacia la captación. El descenso producido se estabiliza cuando la extracción que lo causa se equilibra con el flujo que alcanza al pozo. Es evidente que este flujo de agua debe acceder a la captación por una superficie pequeña (la pared y el fondo del pozo), y por tanto un mayor caudal deberá repercutir en un mayor des-

censo del nivel. Cuando este descenso es superior a la profundidad del pozo, indica que el caudal demandado es excesivo para la captación. Si por el contrario el nivel de descenso se equilibra, restando todavía perforación útil de la captación, evidencia que el acuífero, potencialmente, puede generar más caudal que el demandado.

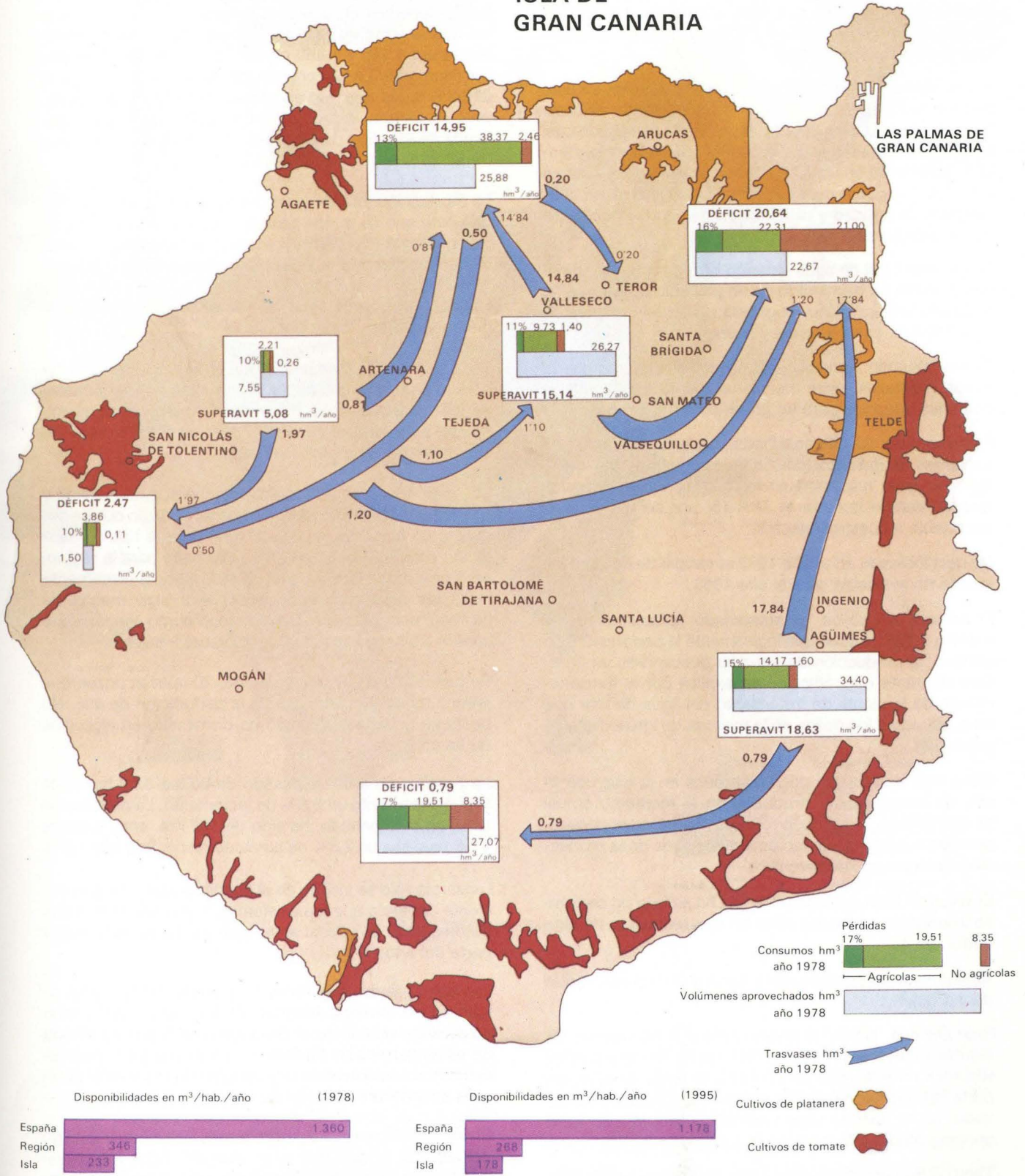
Este descenso que se observa en el pozo repercute en una alteración en la superficie del acuífero en forma de embudo o cono invertido, con su eje en la captación y generatriz (línea que lo delimita) curva. El punto del acuífero donde se restablecen las condiciones naturales o iniciales antes del bombeo, o lo que es lo mismo, donde el embudo de bombeo termina, define la distancia (radio) de influencia de la captación. Cualquier otra captación situada dentro de este radio estará influenciada por el primero. La formación de este embudo no es instantánea; primero se produce el equilibrio de descensos en el pozo para, gradualmente, irse estabilizando éstos a medida que nos alejamos del punto de extracción, hasta llegar al equilibrio total en el embudo. En acuíferos colgados, de poco volumen de agua almacenado o escasa recarga, el estado de equilibrio en el embudo no se logra alcanzar nunca y va ampliando su radio con el tiempo, a la vez que los descensos del nivel en el pozo no llegan a estabilizarse siguiendo una ley lineal de descenso. En definitiva, es como si vaciáramos un depósito.

Tanto el caudal extraído, como el radio de influencia y los descensos del pozo, están estrechamente vinculados entre sí, y éstos a las condiciones hidrogeológicas del medio donde se encuentra el agua. Dos pozos en diferentes formaciones geológicas extrayendo un mismo caudal producen radios de influencia y descensos diferentes. Todos estos aspectos se engloban en el concepto de permeabilidad del medio y, si además tenemos en cuenta el espesor del terreno saturado, en el de transmisividad, concepto éste ya comentado en apartados anteriores. Un mismo soporte geológico tampoco presenta, normalmente, los mismos valores de permeabilidad a lo largo de toda su potencia, ya que depende de factores tales como: fisuración, alteración, porosidad, etc. que son diferentes con la profundidad y situación relativa dentro del medio.



f. 19.—Pozo electrificado llenando un tanque en el Bco. de Las Angustias. Isla de LA PALMA

ISLA DE GRAN CANARIA



f. 20.—Balances hídricos por zonas

El número de galerías ha aumentado, pero en cambio su caudal extraído ha disminuido. En estos siete años se han realizado quince nuevas galerías y se han perforado 126 Km. parte de ellos en las antiguas y parte para la realización de las nuevas. Con todo ello, el caudal total de las galerías ha disminuido en 700 l/seg., lo cual representa una disminución del 10%.

Por el contrario el número de pozos construidos en este período 1973-1980, así como el caudal extraído de ellos, ha aumentado. La longitud total perforada ha llegado casi a duplicarse, mientras que el caudal obtenido ha aumentado sólo en un 37%. Deben tenerse en cuenta en este dato los pozos que, por diversos motivos de empeoramiento de calidad y disminución de caudal, han cesado de explotarse.

El volumen total de agua extraído de los nacientes, galerías y pozos ha disminuido en un 2%, aún cuando se ha realizado una inversión, originada por la perforación, de casi 140 Km. entre galerías y pozos.

Como volumen aportado por la actual depuradora de aguas residuales, cabe mencionar los 10,2 hm³/anuales con fines agrícolas para un futuro no muy lejano.

Fuerteventura. La diferencia existente entre el número de nacientes en los años indicados, es resultado del inventario reciente, más exhaustivo. Aún así, se mantiene el caudal medido durante el SPA-15, por ser el resto no apreciable a nuestros efectos.

Se deja indicado en el año 1973 el caudal de las galerías siendo no evaluable para el año 1980.

El número de pozos ha aumentado notablemente, de 1.447 a 2.238, al igual que lógicamente la perforación. En cambio, la producción de agua ha descendido un 38%. Esta aparente contradicción se explica por el funcionamiento de la planta de tratamiento del agua de mar que ha sustituido a los pozos en la mayoría de los núcleos de población.

Cabe citar que los sondeos realizados en la Isla, con fines de investigación, producen en el momento actual 16.000 m³/año, y que desarrollados por métodos convencionales supondrían un incremento elevado de la producción de agua en Fuerteventura.

El volumen total extraído en la Isla ha sufrido un descenso importante que cabe cifrar en una reducción de alrededor del 40%.

Actualmente la potabilizadora genera un volumen anual de 1,1 hm³.

Gran Canaria. No se ha podido reflejar el número de nacientes debido a que en muchos casos se trata sólo de rezumes no evaluable su caudal a lo largo de la mayor parte del año. No obstante, y debido al descenso observado, se ha querido dejar constancia de ello asignando un valor medio a la producción total.

Tanto el número de galerías como los metros perforados, han permanecido inamovibles en el período característi-

co mencionado. No así el caudal del agua que se extrae, que ha sufrido una disminución del 50%.

El número de pozos ha aumentado de 1.823 a 2.318 aunque si tenemos en cuenta sólo los productivos o los actualmente en explotación, los valores deben cambiarse por 1.185 y 1.669 para los años 1973 y 1980 respectivamente. La perforación ha aumentado de 172,6 a 218,3 Km.; lo que representa un incremento del 20%, pero en cambio la producción de agua subterránea, derivada de este tipo de captación, ha sufrido un decremento del 25% aproximadamente.

La producción total de la Isla ha descendido un 30%, hecho éste que se puede justificar en base al aumento de producción de las potabilizadoras y el descenso del rendimiento de las captaciones por disminución de caudales.

La potabilización de agua de mar se puede cifrar actualmente en 11 hm³/año.

San Miguel de La Palma. Aunque en algunos casos se ha podido constatar una cierta disminución en los caudales de los manantiales, se ha preferido mantener el mismo caudal para todo el intervalo 73-80 en base al valor no constante de los aforos realizados.

En este período se han realizado ocho nuevas galerías y alrededor de siete kilómetros de perforación, lo que ha supuesto un aumento del caudal total de este tipo de captación cifrable casi en un 25%. Valor alto para la región, pero no para la Isla, ya que, distribuyéndole únicamente entre las galerías nuevas, equivale a algo menos de 50 l/seg. por captación. Dato de todo punto consecuente con las características hidrogeológicas insulares.

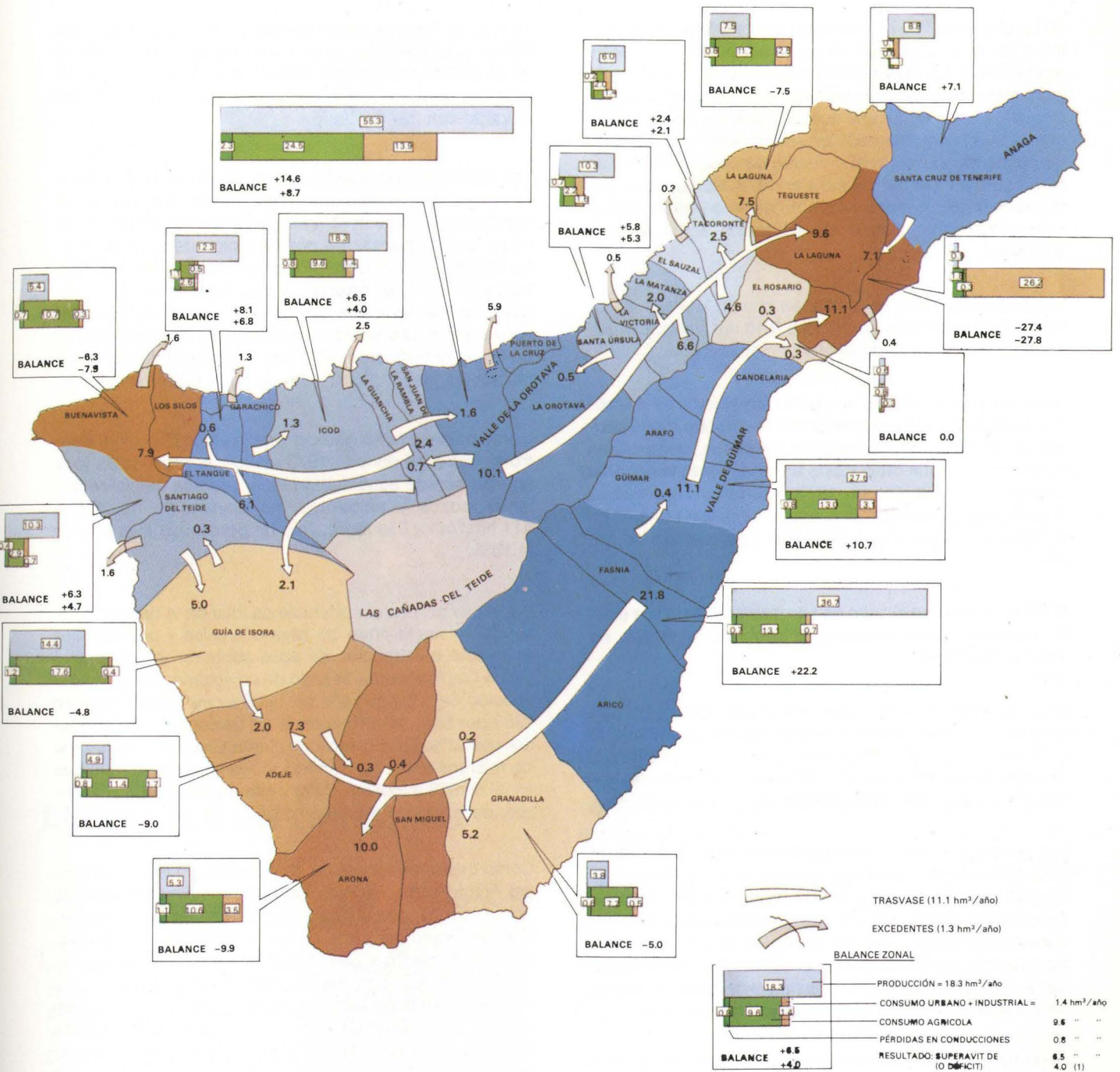
Se han realizado, en este período, 20 nuevos pozos que repercuten en un aumento de la perforación de 4%. No obstante el caudal obtenido ha disminuido en algo más de un 15%.

La producción total ha pasado de 80,8 a 82,9 hm³/año lo cual representa un 2,5% de incremento. La perforación total, en este período, ha sido de 102 Km. entre galerías y pozos o sea un 2,5% de aumento respecto al año 1973.

Lanzarote. No se indica, en el cuadro aludido, ningún naciente debido a que los existentes, como los de Famara, no presentan un caudal apreciable a lo largo de la mayor parte del año.

Las ocho galerías existentes en el momento actual se sitúan en los terrenos antiguos. En los metros perforados no se tiene en cuenta el desarrollo efectuado en alguna de estas galerías de Famara mediante sondeos, pero en cambio sí se contabiliza el aumento de producción debido a este desarrollo de la captación.

El número de pozos ha permanecido inalterado a lo largo del período, al igual que su producción. Debe tenerse en cuenta que estos pozos presentan poca profundidad, alrededor de 1.000 metros para la totalidad de ellos.



f. 21.—Isla de TENERIFE. Balance y trasvase hídricos

Se observa una reducción de la producción próxima al 50% que corresponde, totalmente, al descenso de los caudales de las galerías. La compensación a la demanda insular se logra mediante plantas de tratamiento de agua de mar que actualmente puede evaluarse en 1,8 hm³/año.

La Gomera. Durante el primer inventario efectuado por el Proyecto SPA-15 se estudiaron 24 nacientes y se evaluó

su caudal en 196 l/seg. Posteriormente y durante el MAC-21 se realizó un nuevo inventario contabilizándose 96 nacientes con una producción total de casi 170 l/seg. La diferencia de caudal se debe al muestreo en diferentes periodos estacionales.

El número de galerías así como los metros perforados han permanecido constantes. No así el caudal obtenido que ha disminuido en un 20%.

Se ha observado en este período una proliferación del número de pozos que han llegado casi a triplicarse entre ambos años. La perforación ha aumentado, como es lógico; pero en mayor proporción, más de cuatro veces. Con ello puede deducirse que la ubicación de las captaciones se ha incrementado en altitud. todo lo cual ha repercutido en un potencial aumento de caudal, cifrable en algo más del triple del extraíble en 1973. No obstante, por diversos motivos, estos pozos no están en total producción actualmente siendo su extracción anual de solo 3,41 hm.³.

La producción total de la Isla, en cuanto a volumen extraído, ha disminuido de 10,35 a 9,10 hm.³/año. Ello supone un decremento de la producción del 12%

Debe tenerse en cuenta que esta disminución es a efectos prácticos, ya que potencialmente dispone de un caudal de 366 l/seg. procedente de los pozos, que podrían asegurar a su total producción un incremento superior al volumen total extraído en 1973. Asimismo los recursos superficiales de que dispone esta Isla influyen también en la extracción discontinua de aguas procedentes de pozos.

El Hierro. Como en el caso de Lanzarote, en esta Isla existen nacientes cuyos caudales, la mayor parte del año, no son cuantificables.

En el período de tiempo que nos ocupa sólo se ha perforado una nueva galería siendo el caudal total actual de 0,76 hm.³/año que corresponde únicamente a la galería de Icota, en la costa oriental de la Isla. Las restantes galerías no presentan actualmente un caudal apreciable.

Los pozos, en cambio, se han visto incrementados de 14 a 20 presentando la perforación total un aumento de cerca del 40%. El caudal extraído ha aumentado también pero en menor proporción, solamente alrededor del 7%. Esta discrepancia, entre los aumentos de perforación de pozos y su caudal resultante, es justificable por el abandono de captaciones debido al paulatino empeoramiento de calidad por efectos de la intrusión marina.

El volumen total extraído ha aumentado de 2,68 a 2,89 hm.³/año lo cual representa un 75 de incremento en la producción.

En resumen, sólo dos islas, San Miguel de La Palma y el Hierro, han incrementado el volumen de agua extraído. El mayor aumento corresponde, en proporción, a la isla de El Hierro. Debe hacerse constar que en los últimos años el caudal de los pozos, de esta última Isla, ha disminuido debido al cambio de cultivo. Actualmente no se dispone de datos para poderlo evaluar. La isla de San Miguel de La Palma ha incrementado su producción en algo menos de 4%, valor inferior, en ciertos momentos, a la demanda que ha supuesto el aumento de la superficie destinada a zona agrícola.

La Isla de Tenerife se ha mantenido más o menos estable en su producción, ya que únicamente en este período se ha podido evaluar una disminución de sólo un 2%. Es ésta isla la que actualmente presenta el mayor volumen extraído con 227 hm.³/año.

Las restantes islas, Fuerteventura, Gran Canaria y Lanzarote, han disminuido sus producciones, aunque deben cuantificarse como contraprestación los volúmenes obtenidos por las plantas de potabilización de agua de mar. La máxima disminución, proporcionalmente al caudal extraído en 1973, se asigna a Lanzarote con un 50%, seguida de Fuerteventura con un 40%. La isla de Gran Canaria ha visto disminuido su volumen de agua extraído en un 30%. Actualmente, esta isla es la segunda del archipiélago en mayor producción de agua subterránea.

Como balance hidráulico del Archipiélago Canario y dentro siempre del período 1973 a 1980, la producción total en volumen de agua subterránea, extraída mediante galerías pozos y nacientes, ha disminuido de 456 a 411 hm.³/año. Ello representa un porcentaje algo inferior al 10%.

Por provincias este porcentaje da idea de la descompensación existente entre las islas orientales y occidentales en cuanto a extracción de agua subterránea. La provincia de Las Palmas ha pasado de un volumen anual de extracción de 130 hm.³/año en 1973 a casi 90 hm.³/año en 1980 por tanto le corresponde un decremento de alrededor del 30%. La provincia de Santa Cruz de Tenerife, en los mismos años, ha disminuido ligeramente su volumen anual de 326 a 322 hm.³/año y ello representa un porcentaje, del mismo signo de un 1%.

Como puede deducirse de lo expuesto, en todas las islas del Archipiélago, excepto Lanzarote, han aumentado las perforaciones, que al fin y al cabo representan una inversión de dinero por parte de los propietarios. En cambio, salvo en El Hierro y San Miguel de La Palma, en las restantes islas, aún con ese aumento de la perforación, los caudales extraídos han disminuido, y de forma clara en algunas como Gran Canaria. Además se observa que los acuíferos insulares responden a las exigencias de las extracciones cediendo volúmenes de agua de reserva que repercuten en un descenso progresivo de los niveles. En Gran Canaria, tal como se indica en el gráfico del pozo de Barranco Hondo y Cuevas Blancas, en 10 años se ha constatado un descenso del nivel de 96 metros y por la forma de la curva no se advierten indicios de tender al equilibrio, sino de seguir bajando al menos en la misma proporción en que lo ha hecho durante este período. No es este pozo uno de los que presentan mayores descensos, pues puntualmente y a lo largo de determinados años se han constatado descensos en pozos situados en la zona de cumbres de esta misma isla superiores a los 20 m. al año. En Tenerife estos descensos del manto freático, aunque no tan elevados, sí comienzan o deberían comenzar a ser motivo de alarma.

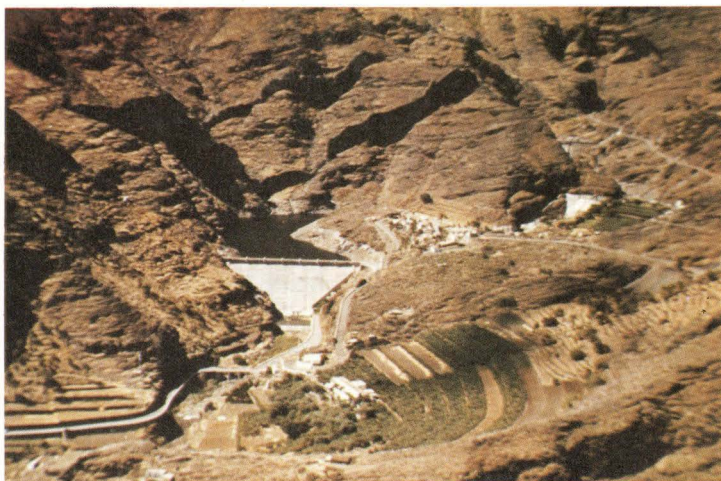
EMBALSES EN CANARIAS

Una de las formas de aprovechamiento de la escorrentía superficial la constituye el emplazamiento de presas, cuya misión es la de evitar que el caudal de agua que circula por los barrancos alcance el mar. Desde siempre, el habitante de las islas ha visto con desesperación el caudal de aguas que anualmente circula por los barrancos en dirección al mar, sin que existan trabas que se lo impidan. De aquí surgió un primer intento bajo la forma de represas en las cuales se aprovechara y almacenara un cierto volumen de agua, al igual que utilizar los materiales que el agua, en su movimiento, arranca de las laderas y barrancos y conduce al mar. Fue este el origen de las «gavias y nateros» de Fuerteventura, que efectúan a la vez un proceso de recarga del acuífero al obligar al agua, con su represamiento, a introducirse en el subsuelo, al tiempo que se aprovechan los sedimentos depositados como plataforma de cultivo.

Las obras de almacenamiento de agua en Canarias pueden dividirse actualmente en dos, según su origen. El mayor número de presas, si sólo tenemos en cuenta aquellas obras de un volumen superior a los cien mil metros cúbicos, lo constituyen las que retienen el caudal que dis-

curre, en ciertos momentos, por los barrancos. En menor número, pero no por ello menos importante, cabe señalar aquéllas cuya misión es regular el caudal extraído de las captaciones de agua para su posterior distribución a la agricultura, como son el Plan de Balsas de Tenerife (actualmente en realización). En el primer caso, los emplazamientos deben estar situados en los cauces por los que discurre el agua, decidiendo el punto idóneo de acuerdo con los condicionantes, —además de los hidrogeológicos—, que imponen las aportaciones de las cuencas. En el segundo caso, de embalses de regulación de aguas procedentes de las captaciones, se tiene mayor libertad para escoger el punto de emplazamiento y, en principio, sólo afectan a la elección, dentro ya de una cierta área, los condicionantes de forma o amplitud de vaso y las características hidrogeológicas y resistentes del terreno.

Todos los embalses, a la hora de decidir su emplazamiento, deben ser objeto de un profundo estudio hidrogeológico y geotécnico, en el que se investigue la naturaleza del terreno con miras a su posible permeabilidad y resistencia. A lo largo de toda la geomorfología canaria los terrenos que la conforman presentan, generalmente, suficiente resistencia como para soportar la obra de fábrica que supone la realización de un embalse artificial. No es así en cuanto a la permeabilidad, que debe asegurar un escaso valor del caudal de las filtraciones.



f. 22.—Tres presas escalonadas en el B.º de la Villa (Gomera)



f. 23.—Presa de Las Niñas. Gran Canaria



f. 24.—Embalse de La Laguna de Barlovento. La Palma

f. 25.— Depósito regulador de El Saltadero. Tenerife



La climatología canaria no garantiza que los caudales procedentes de la escorrentía superficial confluyan de modo continuo por los barrancos, ya que la pluviometría no aporta suficiente volumen para ello. Debido a esto, los barrancos portan agua sólo en contadas ocasiones a lo largo del año, y por ello toda obra de captación de agua no sólo debe regular la avenida de esos esporádicos momentos, sino que debe almacenarla, en su embalse, para proceder a su regulación anual o, en peores casos, interanual, hasta que de nuevo se produzca la aportación de caudal por el barranco. En una situación normal, esto es con aporte continuo de agua a lo largo del año, las filtraciones de agua del embalse no presentan tanta importancia, siempre y cuando el caudal de éstas no supere un cierto porcentaje del propio caudal aportado por el curso fluvial.

Otro problema para la ubicación de embalses en Canarias lo constituye la forma y capacidad de los posibles vasos. Debido al carácter torrencial de los cursos de agua, junto con la naturaleza geológica de la superficie, la anchura de los barrancos canarios va generalmente creciendo en su camino hacia el mar. Por ello, la parte más ancha de cualquier posible embalse la constituye el propio cierre. Además, los cauces presentan una pendiente muy alta, todo lo cual repercute en un volumen embalsado inferior en mucho a las restantes obras de este tipo en otros terrenos y otra climatología, a igualdad incluso de altura y longitud del muro de contención. Por tanto, si con el mismo tamaño de obra ésta embalsara un volumen netamente inferior, el coste que se deduce del precio del metro cúbico de agua embalsada sería muy superior al normalmente obtenido en cualquier embalse realizado en condiciones normales de aporte continuo y mayor volumen de agua retenido.

Debido a este efecto de almacenamiento de agua, sin aporte de ella a lo largo de la casi totalidad del año, surge la diferente concepción de embalse en Canarias. Además, el material que puede asegurar el nivel de impermeabilidad exigible es escaso o no existe en superficie.

Únicamente los terrenos antiguos como son los afloramientos del Complejo Basal y los Basaltos Antiguos, exceptuando los primeros niveles fisurados y alterados, pueden asegurar esa impermeabilidad. El afloramiento en superficie de estos materiales no permeables es sólo un porcentaje mínimo en la extensión superficial de las islas (exceptuando La Gomera y Fuerteventura) y sólo es en ellos, por tanto, donde cabe una cierta certeza para poder asegurar la casi total estanqueidad del embalse.

A esto hay que añadir que, debido también al carácter torrencial de las avenidas, el agua al embalsarse deposita en el vaso gran cantidad de materiales que traía arrastrando o en suspensión, produciendo un aterramiento de la presa y disminuyendo, por tanto, el volumen y la vida útil del embalse.

En resumen, el asegurar la teórica total estanqueidad del vaso mediante trabajos de corrección del terreno, el alto coste del precio del metro cúbico de agua embalsada y la progresiva disminución, por aterramiento, del volumen y vida útil de la presa, contribuyen a convertir una obra de embalse de agua en una gran inversión de dinero por parte de la Administración, mayor que el normalmente necesario para obras de este tipo en cualquier lugar del mundo.

A modo de ejemplo se indican los volúmenes teóricamente o potencialmente embalsables en las islas de Gran Canaria, Tenerife y La Gomera; así como el soporte geológico donde se ubican.

Inventario de Presas y Charcas o Depósitos

ISLA DE LA GOMERA

MUNICIPIO	NOMBRE	CAPACIDAD (m ³)	UNIDAD GEOLOGICA
SAN SEBASTIAN	Chejelipes	600.000	Basaltos antiguos.
	Llano de la Villa	30.000	Basaltos antiguos.
	Izpagüe	125.000	Basaltos antiguos.
	Palacios	130.000	Basaltos antiguos.
	Benchijigua	40.000	Basaltos subrecientes
	Tapahuga	124.000	Basaltos subrecientes.
	Los Cocos	25.000	Basaltos antiguos.
	8 más	60.300	
Suma parcial		1.134.300	
HERMIGUA	Liria	200.000	Basaltos horizontales.
	Mulagua	400.000	Aglomerados basálticos antiguos.
	Los Machados	5.000	Aglomerados basálticos antiguos.
	Taguluche	8.000	Basaltos antiguos. En construcción.
	Azud del Cedro	2.500	Niveles arcillosos por alteración y transporte de los basaltos horizontales.
Suma parcial		615.000	
AGULO	Agulo o Sobre-Agulo	353.000	Basaltos horizontales.
	Amalahuigue	900.000	Basaltos horizontales-complejo traquitico.
	La Tagora	25.000	Complejo Basal.
	Lepe	250.000	Basaltos horizontales. (En proyecto)
	Ancón de raso volteado	8.500	Basaltos horizontales.
Suma parcial		1.536.500	
VALLEHERMOSO	El Garabato	135.000	Complejo traquitico.
	La Encantadora	710.000	Complejo traquitico.
	El Macayo	15.000	Complejo traquitico.
	Los Gallos	15.000	Complejo traquitico.
	La Dama	45.000	Basaltos subrecientes.
	El Cercado de Cabecitas	85.000	Basaltos horizontales.
	Pavón	6.000	Basaltos horizontales.
	Alojera	80.000	Aglomerado volcánico. (En construcción)
	12 más	62.000	
	Suma parcial		1.153.100
VALLE GRAN REY	Arure o La Quintana	100.000	Basaltos horizontales - complejo basal.
	Arure	21.500	Basaltos horizontales - complejo basal.
Suma parcial		121.000	
ALAREJO	Cardones	134.000	Basaltos Subrecientes.
	Antoncojo	50.000	Basaltos Subrecientes.
	Cascajo	40.000	Basaltos Subrecientes.
	Tañe	30.000	Basaltos horizontales.
	9 más	81.200	
Suma parcial		335.200	
TOTAL		4.896.100	

ISLA DE GRAN CANARIA

Embalses con capacidad superior a 1 Hm.³

Municipio	Nombre	Capacidad (Hm ³)	Unidad Geológica
ARTENARA	Lugarejos	1,8	Complejo Traquítico.
	Los Perez	1,5	Complejo Traquítico.
	Las Hoyas	1,1	Complejo Traquítico.
LA ALDEA DE S. NICOLAS	Parralillo	4,6	Complejo Traquítico.
	Siberio	4,5	Complejo Traquítico.
	Caidero La Niña	2,0	Complejo Traquítico.
S. BARTOLOME DE TIRAJANA	Chira	5,2	Ignimbritas.
	Ayagaures	2,0	Ignimbritas.
	Chamoriscan	1,4	Ignimbritas.
	Gambuesa	1,4	Ignimbritas.
S. BARTOLOME DE TIRAJANA Mogan y Tejeda	Soria	32,8	Ignimbritas.
S. BARTOLOME DE TIRAJANA Sta. Lucia de Tirajana.	Tirajana	3,1	Complejo Traquítico.
TEJEDA	Cueva Las Niñas	5,2	Roque Nublo.
	47 Restantes Embalses	12,1	
TOTAL		78,7	

ISLA DE TENERIFE

Embalses y depósitos con capacidad superior a 75.000 m.³

MUNICIPIO	NOMBRE	CAPACIDAD (m ³)	UNIDAD GEOLOGICA
ADEJE	Atalaya o Los Olivos	105.000	
	Curbelo o Presa Nueva	225.000	Formación sedimentaria.
	Presa Vieja	78.000	Serie Cañadas Inferior Sálca.
	Tijoco	120.000	Basaltos de la Serie III. Serie Cañadas Inferior Básica.
ARICO-GRANADILLA	Embalse de El Río	500.000	Serie Fonolítica.
ARAFO	Barranco de la Granja	137.000	Basaltos Antiguos.
ARONA	Ancón	150.000	Basaltos de la Serie III.
	Charca de Cabo Blanco	95.000	Basaltos de la Serie III.
	Chayofa	100.000	Basaltos de la Serie III.
GUIA DE ISORA	Abama o Garcés	100.000	Serie Traquítica.
GRANADILLA	El Saltadero	500.000	Pumitas.
	Ciguaña	150.000	Pumitas.
LA LAGUNA	Charca de Tabares	125.000	Basaltos Antiguos.
LA OROTAVA	Charca de Ascanio	250.000	Basaltos de la Serie III.
SAN MIGUEL	Charca de Jimenez o Tamaide	100.000	Basaltos de la Serie III.
S/C. DE TENERIFE	Los Campitos	2.781.000	Sedimentos y piroclastos de la Serie III y Basaltos antiguos.
	Charca del Cuchillo	175.000	Basaltos Antiguos.
	Tahodio	400.000	Basaltos Antiguos.
ZONA NORTE	Plan de Balsas de Tenerife	2.000.000	Varias.
TOTAL		8.091.000	



f. 26.—Depuradora de aguas residuales de Las Palmas



f. 27.—Planta potabilizadora de agua de mar en Las Palmas de Gran Canaria

© 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100

CONSIDERACIONES GENERALES

De acuerdo con el gráfico de recursos hidráulicos del archipiélago en el cual figuran los datos aportados por los teóricos volúmenes que potencialmente pueden embalsar y regular las obras de captación en todas las islas así como los volúmenes anuales de agua producidos por medios no convencionales, como son las plantas de depuración y potabilizadoras de agua de mar, el volumen total disponible por provincias se ve aumentado en las cantidades que siguen, teniendo en cuenta, claro está, que las obras de captación embalsarán y regularán el volumen aportado en el transcurso de un período anual:

Provincia de Las Palmas

La producción de agua subterránea es de $90 \text{ hm}^3/\text{año}$ y la disponibilidad teórica total de $185,8 \text{ hm}^3/\text{año}$ lo cual

representa un aumento, en potencia, de la oferta del 100%. Teniendo en cuenta que de estos volúmenes, solamente $14 \text{ hm}^3/\text{año}$ le corresponden a los obtenidos por procedimientos no convencionales, se deduce que el gran incremento se debe únicamente a la disponibilidad de emplazamientos de embalses en la mencionada isla con $78,7 \text{ hm}^3$.

Provincia de Santa Cruz de Tenerife

En esta provincia el incremento entre el volumen anual de agua obtenida del subsuelo y la teórica disponible es mucho menor que en la anterior; de 322 a 349,8 lo cual evidencia un aumento del 8% solamente, que refleja a todas luces la inexistencia en la provincia de grandes volúmenes embalsados o de potabilizadoras de agua de mar.

Esta desigualdad en los incrementos de producción entre ambas provincias, cuando se reflejan los volúmenes aportados por la escorrentía superficial y los obtenidos por métodos no convencionales, evidencia de forma clara la demanda de agua en la provincia de Las Palmas, ante la cual la oferta de producción de aguas subterráneas se ha visto netamente superada.

RECURSOS HIDRAULICOS DEL ARCHIPIELAGO CANARIO (1980)

(Hm.³/año)

ISLA	SUPERFICIALES (Hm. ³)	* SUBTERRANEOS (Hm. ³ /año)	** NO CONVENCIONALES (Hm. ³ /año)	TOTALES
TENERIFE	8,1	227.	10,2	245,3
FUERTEVENTURA	3,5	5,0	1,1	9,6
GRAN CANARIA	78,7	84,2	11,0	173,9
LA PALMA	4,5	83.	—	87,5
LANZAROTE	0,2	0,3	1,8	2,3
LA GOMERA	4,9	9,1	—	14,0
EL HIERRO	0,1	2,9	—	3,0
TOTALES	100,0	411,5	24,1	535,6

* Se incluyen los manantiales o nacientes.

** Se recogen las plantas Potabilizadoras y Depuradoras.

En el apartado del ciclo hidrológico se expuso un cuadro en el que se indicaban los valores de los volúmenes anuales que conforman la escorrentía. Esto es, los caudales anuales que discurren por los barrancos y que en la mayoría de los casos al no haber obras de captación se vierten al mar. Estos datos frente a los de volúmenes embalsados producen la comparación siguiente:

Isla	Escorrentía (Hm. ³ /año)	Volúmenes Potencialmente Retenidos (Hm. ³)	Porcentaje (%)
TENERIFE	133	8,1	6
FUERTEVENTURA	10	3,5	35
GRAN CANARIA	92	78,7	85
LA PALMA	90	4,5	5
LAZAROTE	2	0,2	10
GOMERA	26	4,9	19
HIERRO	3	0,1	3

Los valores de los «volúmenes potencialmente retenidos», quieren expresar la disposición que los embalses tienen a retener los volúmenes señalados, no que de hecho, anualmente, lo realicen.

El mayor porcentaje de aprovechamiento de los recursos superficiales lo ostenta la isla de Gran Canaria con un valor de 85% que supera ampliamente a la media nacional. No en vano esta isla es la zona con mayor densidad en número de presas, aunque no en capacidad de agua émbalsada. Le sigue ya a distancia Fuerteventura, con un 35%. Estos valores están condicionados por la geología e hidrología de superficie, pues aún cuando la isla de Tenerife presenta valores de la escorrentía de 133 Hm.³/año superior a cualquier otra, su porcentaje potencial de captación es únicamente del 6%. Ello es debido a que las especiales condiciones hidrogeológicas de la superficie de la isla de Gran Canaria permiten realizar embalses, asegurando una relativa impermeabilidad del vaso, mientras que las islas de Tenerife, así como la de San Miguel de La Palma (con igual escorrentía que Gran Canaria y en cambio con un porcentaje teórico retenido de únicamente del 5%) presentan unos condicionantes hidrogeológicos, en la mayoría del terreno superficial, que no permiten asegurar la impermeabilidad del vaso que conforma y define la obra de captación.

Si consideramos el acuífero de cada una de las islas como un depósito por el cual circula el agua con entradas y salidas, además de servir de almacenamiento, podemos hacer otro balance hidráulico. Las entradas o aportes de agua al acuífero están constituidos por la infiltración del agua de lluvia y de las aguas procedentes del riego que en exceso retornan al subsuelo. Las salidas o extraccio-



f. 28.—Caótica distribución de aguas. Tanquetas de reparto de Aripe. Isla de Tenerife.

nes que debe soportar el acuífero están constituidas por las captaciones artificiales de agua, como los pozos y las galerías, naturales, como los manantiales y por el flujo continuo al mar a través de esa teórica zona de transición de agua dulce - agua salada, ya comentada en apartados anteriores. Actualmente sólo se dispone de una somera cuantificación de este último caudal en las islas de Gran Canaria y Tenerife pues sólomente en ellas se han realizado modelos de simulación del flujo subterráneo.

Por medio de estos modelos se ha cuantificado el balance hídrico de cada una de las dos islas con los resultados siguientes:

Isla de Tenerife

Aporte de agua al acuífero:

Infiltración de agua de lluvia	240 hm. ³ /año
Infiltración de agua excedente de riego	70 hm. ³ /año
Total aporte	310 hm. ³ /año

Salidas de agua:

Extracción por galerías, pozos y manantiales	210 hm. ³ /año
Salida al mar	220 hm. ³ /año
Total salidas	430 hm. ³ /año

Balance hidráulico de la isla de Tenerife.
 Aporte - Salidas = 310 - 430 = - 120 = Déficit de 120 hm.³/año.

Isla de Gran Canaria

Aporte de agua al acuífero:

Infiltración de agua de lluvia	101,5 hm. ³ /año
Infiltración de agua excedente de riego	22,2 hm. ³ /año
Total aporte	123,7 hm. ³ /año

Salidas de agua:

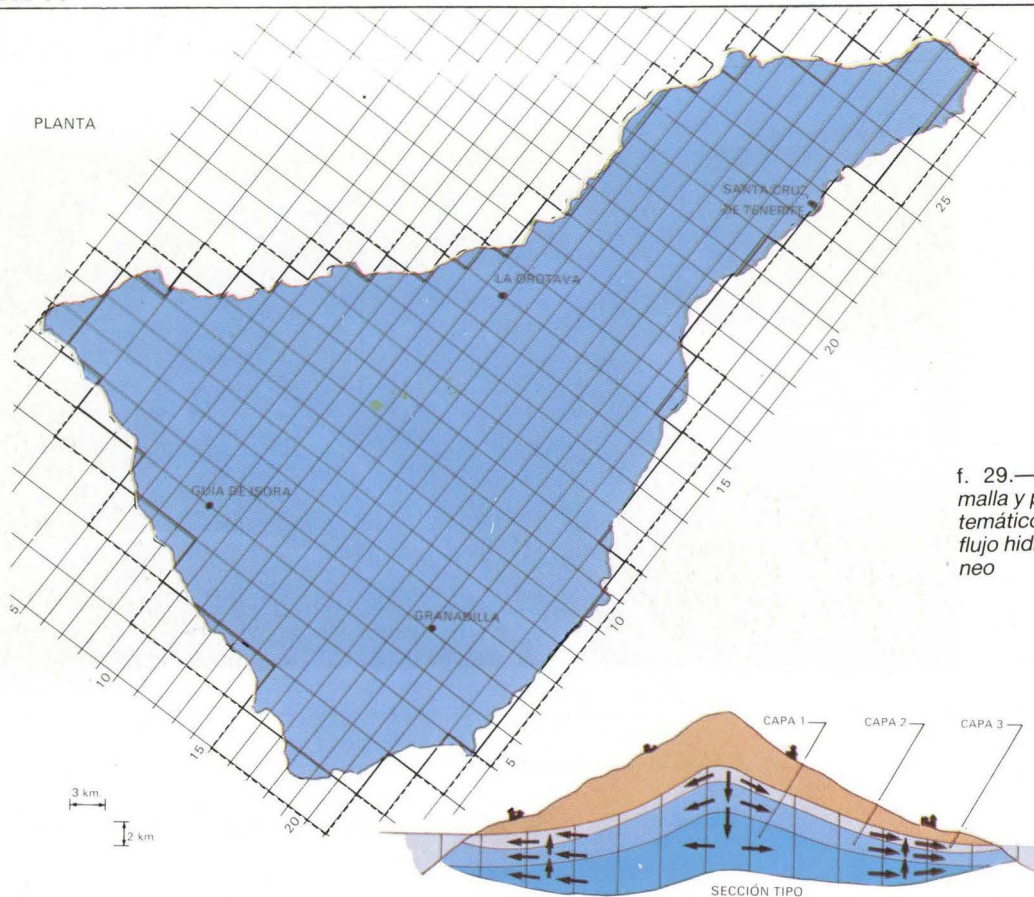
Estracción por pozos y galerías	84,23 hm. ³ /año
Salidas al mar	65,00 hm. ³ /año
Total salidas	149,2 hm. ³ /año

Balance hidráulico de la isla de Gran Canaria.
 Aporte - Salidas = 123,7 - 149,2 = - 25,5 = Déficit de 25,5 hm.³/año.

Los valores precedentes se deben considerar meramente indicativos. A las simplificaciones inherentes a los modelos de simulación se han sumado los ajustes necesarios para hacer concordantes los datos de las diversas fuentes que han servido a la presente exposición. Esto ha conducido, especialmente en el caso de Gran Canaria, a un reajuste de todos los valores.

El déficit obtenido para ambas islas representa los volúmenes de agua de reserva que actualmente los acuíferos están obligados a ceder debido a la poco racional disposición y ubicación de las captaciones, así como a los excesivos caudales exigidos. El acuífero, ante esta deman-

© 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100



f. 29.—Isla de TENERIFE: malla y perfil del modelo matemático de simulación del flujo hidrodinámico subterráneo

da responde cediendo agua almacenada en su interior a lo largo de épocas geológicas, y para reinvertir el proceso necesitaría de cientos o miles de años. Además para mantener su posición de equilibrio, cambiante en cada momento, necesita emplear un flujo de agua dulce al mar. De ese modo se obtienen esas cifras de caudales extraídos en base a desecar el primitivo acuífero, y por este motivo desciende el nivel freático en las islas, pues si la ex-

tracción fuese ordenada y racional debería, en teoría, aprovecharse antes el caudal de infiltración que anualmente aporta la pluviometría, y así no se llegaría a descensos tan alarmantes en algunas islas del Archipiélago.

De los valores indicados del déficit de cada isla se deduce que actualmente Tenerife obtiene algo menos del 50% de su producción de agua de las reservas, esto es, que



f. 30.—Isla de GRAN CANARIA: malla y equipo de excitación-respuesta del modelo analógico de simulación del flujo subterráneo

la mitad del agua se obtiene a expensas de secar o disminuir el volumen del acuífero. En el caso de Gran Canaria pensamos que el caudal de reservas, que representa el 30% de la extracción, debería ser algo más alto o bien, que debido al descenso de la producción, ha comenzado a disminuir de forma más acusada la extracción de volúmenes de reserva.

En resumen, ante la situación de producción de agua que atraviesa el Archipiélago, totalmente descompensada entre ambas provincias, debe recapitarse sobre la idoneidad de los emplazamientos y métodos de extracción actuales y futuros. Los pozos conducen a bombeos excesivos, con los consiguientes problemas de salinización y aumento de la extracción de reservas; las galerías a volúmenes perdidos en épocas de nula demanda de agua para cultivo, además del continuo aumento de longitud y perforación, que debe conducir a un límite por su disposición radial.

En principio y de forma general, aunque cada isla sea un caso particular, debe abogarse para el futuro por las explotaciones costeras que captan parte del flujo subterrá-

neo que se pierde en el mar; es evidente la necesidad de control del caudal extraído, así como de las características hidrológicas de la captación. En el caso de los pozos actuales, los mismos propietarios deben ser conscientes de que toda captación presenta un límite al caudal extraído no sólo en cuanto a la cantidad, como ellos por supuesto saben, sino también en la repercusión posible sobre la calidad. En las galerías actualmente productivas, deberían asimismo concienciarse sus propietarios de que es un total despilfarro mantener la salida de agua abierta sea cual sea la demanda. La técnica puede y debe resolver el problema del cierre de las galerías con dispositivos de apertura que satisfagan en todo momento las demandas agrícola y urbana. Incluso en superficie deberían tomarse medidas de todo tipo para favorecer la infiltración y mejorar así la recarga del acuífero.

No leguemos a nuestros descendientes unas islas estériles. Nuestra misión es transmitir un patrimonio mejor que el recibido, y actualmente llevamos camino de provocar el efecto contrario, por culpa, en muchos, casos del oportunismo o de la obcecación.

* * * * *

BIBLIOGRAFIA

Libros e Informes

- BENITEZ, A. *Captación de aguas subterráneas*. Madrid: Dossat S. A., 1972.
- CATALAN LAFUENTE, J. *Química del agua*. Barcelona: Blume, 1969.
- CUSTODIO, E. y LLAMAS, M. R. (eds). *Hidrogeología Subterránea*. Barcelona: Omega, 1975.
- CUSTODIO, E. et al. *Estudio Geohidroquímico de Tenerife*. Sta. Cruz de Tenerife: Cabildo Insular, 1983.
- DAVIES, S. N. y de WIEST, R. *Hidrogeología*. Barcelona: Ariel, 1971.
- EDES y EYSER. *Proyecto de Planificación y Explotación de los Recursos de Agua en las Islas Canarias*. 1977.
- HERAS, R. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos, 1976.
- HUETZ de LEMPS, A. *El Clima de las Islas Canarias*. Sorbonne Paris: Sociedad de Ediciones de Ingeniería Superior, 1969.
- INTECSA. *Modelo de Simulación del flujo subterráneo en la isla de Tenerife*. Sta. Cruz de Tenerife: Mancomunidad de Cabildos, 1980.
- LOHMAN, S. W. *Ground-water Hydraulics*. USGS Professional paper n.º 708 - Washington: US Gov. P. O., 1972. (Hidráulica Subterránea. Barcelona: Ariel, 1977).

- PLATA, A. *Datación de aguas subterráneas con carbono-14*. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos, 1978.
- PLATA, A. *Técnicas hidrológicas basadas en los isótopos estables del agua*. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1979.
- SCHOELLER, H. *Les Eaux Souterraines*. París: Masson & Cie., 1962.
- SPA/69/515. *Estudio Científico de los Recursos de Agua en las Islas Canarias*. Madrid: M.º Obras Públicas-U-nesco, 1972.
- SOLER, C. *Informe Hidrogeológico del Acuífero Costero del Golfo*. Madrid: SGOPU, 1984.
- TOMAS SALMERON, E. *Aguas Subterráneas*. Acuíferos a Presión. Madrid: M.º Agricultura, 1960.

Simposios

- Isotope Techniques in Groundwater Hydrology. Symposium, Viena, 1974.
- Jornadas sobre análisis y evolución de la contaminación de aguas subterráneas. Barcelona, 1981.
- Simposium de Hidrogeología. Asociación de Geólogos Españoles. Madrid, 1983.

Notas

- Baars y Boorsma, 1957; Ceballos, 1961; Custodio, 1978; Fernandopoullé, 1974; Font Tullot, 1921; Lao, 1974; Mac Guinness, 1963; Nuñez y Rosenthal, 1974; Salzman, 1960; Scalfit et al, 1969; U. S. Geological Survey; von Ficher, 1970.

* * * * *

COLABORAN EN ESTE NUMERO:

Carlos SOLER LICERAS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Delegado del Servicio Geológico de Obras Públicas y Urbanismo en Tenerife.

Octavio LOZANO GARCIA

Ingeniero Técnico Industrial. SGOPU. Tenerife.

REDACCION Y COORDINACION:

Fernando ANGUITA BARTOLOME

Licenciado en Ciencias de la Información. Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

Fernando OCTAVIO DE TOLEDO

Licenciado en Ciencias Geológicas.

