

# ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA EDAD DE MUESTRAS DE AGUAS SUBTERRANEAS TOMADAS EN LA ISLA DE GRAN CANARIA

Por ENRIQUE BAONZA DEL PRADO

Ing. de Caminos, Canales y Puertos

ANTONIO PLATA BEDMAR

Lic. en Ciencias Químicas y otros.

Gabinete de Aplicaciones Nucleares a las Obras Públicas, del Centro de Estudios y Experimentación de O. P.

*Consideramos de interés el trabajo de los autores sobre la aplicación de nuevas técnicas isotópicas para determinar la edad de las aguas subterráneas, que han llevado a cabo en la isla de Gran Canaria y que proponen sean ampliadas para llegar a un mejor conocimiento de esos recursos hidráulicos.*

## 1. Introducción.

La gran utilidad del tritio contenido en el agua para estudiar la edad, origen y desplazamiento de aguas subterráneas ha sido puesta de manifiesto durante los últimos años por diversos autores. Numerosos problemas hidrológicos relacionados con el comportamiento de acuíferos han sido abordados con éxito haciendo uso de estas nuevas técnicas, las cuales han suministrado informaciones no asequibles por métodos convencionales.

Como es sabido, el tritio llega a la tierra en forma de agua tritiada ( $T_2O$ , o bien THO), es decir, como moléculas de agua en que uno o los dos átomos de hidrógeno han sido sustituidos por el isótopo del hidrógeno llamado tritio.

Este agua tritiada, unida en muy pequeña proporción al agua normal, cae sobre nuestro planeta como agua de lluvia o nieve.

La formación del tritio se debe a una de las tres causas siguientes:

a) Producción constante y permanente en la alta atmósfera por transmutaciones nucleares inducidas por los rayos cósmicos sobre los elementos presentes en aquélla principalmente sobre el nitrógeno.

b) Por emisión directa del sol, en virtud de las reacciones de fusión que tiene lugar en el mismo. La intensidad media de emisión de tri-

tio por el sol es de 0,12 átomos por segundo y centímetro cuadrado de superficie solar.

c) Por liberación, en las explosiones termonucleares (bombas H) acaecidas durante los últimos años. En éstas, el tritio se origina por reacciones de fisión del mismo tipo que las que tienen lugar en el Sol.

Las dos fuentes primeras de producción han venido actuando desde el origen de la Tierra, dando lugar a una concentración de tritio comprendida entre 0 y 20 unidades de tritio (1) (UT) para el agua de precipitaciones, y entre 0,2 y 2 UT en los océanos, dependiendo de la situación geográfica y época del año.

Las explosiones termonucleares, realizadas como parte de los programas militares de energía nuclear entre los años 1952 y 1963, motivaron un aumento de estas concentraciones en factores comprendidos entre 10 y 500, proporcionando a los hidrólogos un arma gratuita de gran eficacia para el estudio de numerosos problemas no abordables por otras técnicas. Se comprende fácilmente que, una vez infiltradas las aguas en el subsuelo, su concentración inicial de T comience a disminuir por desintegrarse los átomos de éste y no existir reposición posible del tritio, al tratarse de aguas aisladas de

(1) La unidad tritio equivale a una relación  $T/H$  de  $10^{-18}$ , ó, lo que es lo mismo, a una actividad específica del agua de  $3,2 \times 10^{-3}$  microcurios/m.<sup>3</sup>.

las tres fuentes anteriormente citadas. Dicha disminución obedecerá a la conocida ley exponencial de desintegración de las sustancias radiactivas, según la cual el número de átomos de tritio presentes al cabo del tiempo  $t$  en un determinado volumen de agua, se relaciona con el número de átomos presentes inicialmente en el mismo volumen por medio de la expresión:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t},$$

siendo  $\lambda$  la constante de desintegración del tritio (2). Por tanto, para conocer la edad de un agua subterránea, o sea, el tiempo transcurrido desde su infiltración en el terreno, será necesario medir la concentración actual de tritio  $N_t$  y conocer la concentración  $N_0$  que tenía dicha agua en el momento de producirse la infiltración. Afortunadamente, existen datos suficientes sobre las concentraciones de tritio en las aguas de lluvia caídas durante los últimos veinticinco años en una red de estaciones que cubren la mayoría de la superficie terrestre. Estos datos permiten la evaluación de  $N_0$ , si no con exactitud, sí con la suficiente aproximación para conocer la edad de un agua subterránea, dentro de unos márgenes admisibles de error.

## 2. Aspectos generales del problema.

En el presente informe se exponen el procedimiento seguido y los resultados obtenidos en una primera fase del estudio de la cronología de algunos acuíferos de la isla de Gran Canaria. Dado que la explotación de estos acuíferos se viene realizando desde hace años en una forma masiva, e incontrolada, es de sumo interés conocer las posibilidades futuras de dichas fuentes de aprovisionamiento.

En la actualidad, el alumbramiento y posterior explotación de yacimientos subterráneos de agua se lleva a cabo a través de una red extensísima de pozos distribuidos por toda la isla. La progresiva profundidad de los pozos y el abandono final de éstos al hacerse salobres sus aguas, han alarmado fundadamente a las autori-

(2) La constante de desintegración  $\lambda$  es conocida, pues está ligada por la relación:

$$\lambda = \frac{12}{T} = \frac{0,693}{T}$$

al período de semidesintegración  $T$ , característico de cada elemento, cuyo valor es 12,2 años para el tritio.

dades competentes, ya que la economía de las islas del archipiélago canario se asienta sobre la existencia de aguas aptas para ser empleadas en regadíos.

Las causas determinantes del continuo descenso de la capa freática pueden ser:

a) Por una parte, la posibilidad de que las aguas de los acuíferos sean exclusivamente antiguas, tal vez fósiles, lo que implicaría una muy lenta o inexistente recarga natural de los mismos.

b) Por otra parte, el creciente ritmo que la explotación de los acuíferos ha acusado durante los últimos años.

Como es lógico, las posibilidades futuras de los acuíferos serían bien distintas de ser una u otra la causa originaria del problema. En el primer caso, habría que admitir un descenso irreversible de la capa freática, que continuaría en el futuro a un ritmo dependiente del régimen de explotación de los acuíferos, con posibilidades de agotamiento total. En el segundo caso, se trataría de acuíferos dinámicos con una renovación relativamente rápida, aunque insuficiente en las actuales circunstancias, de las aguas. En este supuesto, la situación, conservando su gravedad, tendría remedio, consistente en la explotación controlada y racional, manteniendo el equilibrio entre el agua extraída de los pozos y su recarga. Esta recarga podría ser natural, dependiente de la pluviometría, o bien artificial mediante la construcción de embalses subterráneos que presentarían, además, la ventaja de anular las pérdidas por evaporación. En definitiva, interesa conocer, como primera medida, la edad de las aguas que se extraen en la actualidad.

El único método de que se dispone para obtener una información que permita aclarar estos extremos es el estudio cronológico de las aguas, basado en su contenido natural de tritio o carbono-14.

La cronología de aguas subterráneas con carbono-14 abarca un intervalo comprendido entre veinte y cuarenta y cinco mil años, por lo que parecía razonable iniciar el estudio sobre la base del tritio, isótopo éste que permite el estudio de aguas recientes (de edad inferior a veinticinco años). Los resultados obtenidos en este estudio previo podrían servir de base para dirigir los trabajos futuros por el camino que ofreciese mejores perspectivas.

En este informe se presentan y se discuten los resultados obtenidos en dicho estudio preli-

minar y se indican las orientaciones que deben darse a las investigaciones futuras.

### 3. Método experimental.

#### 3.1. Toma de muestras.

Para el análisis del tritio se tomaron muestras de seis pozos diferentes de la isla, así como de dos embalses considerados como más representativos por contener aguas de lluvias embalsadas recientemente. Las muestras fueron de 5 litros cada una. El agua de estos dos embalses proporcionaría un dato comparativo con relación a las aguas subterráneas, y su nivel actual de tritio serviría de gran ayuda para la elaboración de la curva de actividad de tritio presente en las precipitaciones habidas en la isla desde que se iniciaron las explosiones termonucleares hasta el momento actual. Los puntos elegidos

para la toma de muestras (fig. 1.<sup>a</sup>) fueron los siguientes:

Núm. de muestra	Fecha de toma	LOCALIZACIÓN
1	15-7-66	Pozo de Lomo Mirele.
2	15-7-66	Fuente Agría.
3	15-7-66	Pozo Hoya de la Prensa.
4	16-7-66	Pozo La Goleta.
5	16-7-66	Pozo Pileta.
6	16-7-66	Pozo de Utiaca.
7	16-7-66	Embalsé de Cueva de las Niñas.
8	16-7-66	Embalsé de Hornos.

La toma de muestras en los pozos se realizó con especial cuidado, procurando evitar que las muestras pudieran estar contaminadas de aguas de lluvia recientes. Así, el agua se tomó de la extraída constantemente por bombeo, por lo que cualquier contaminación con aguas modernas parece improbable.

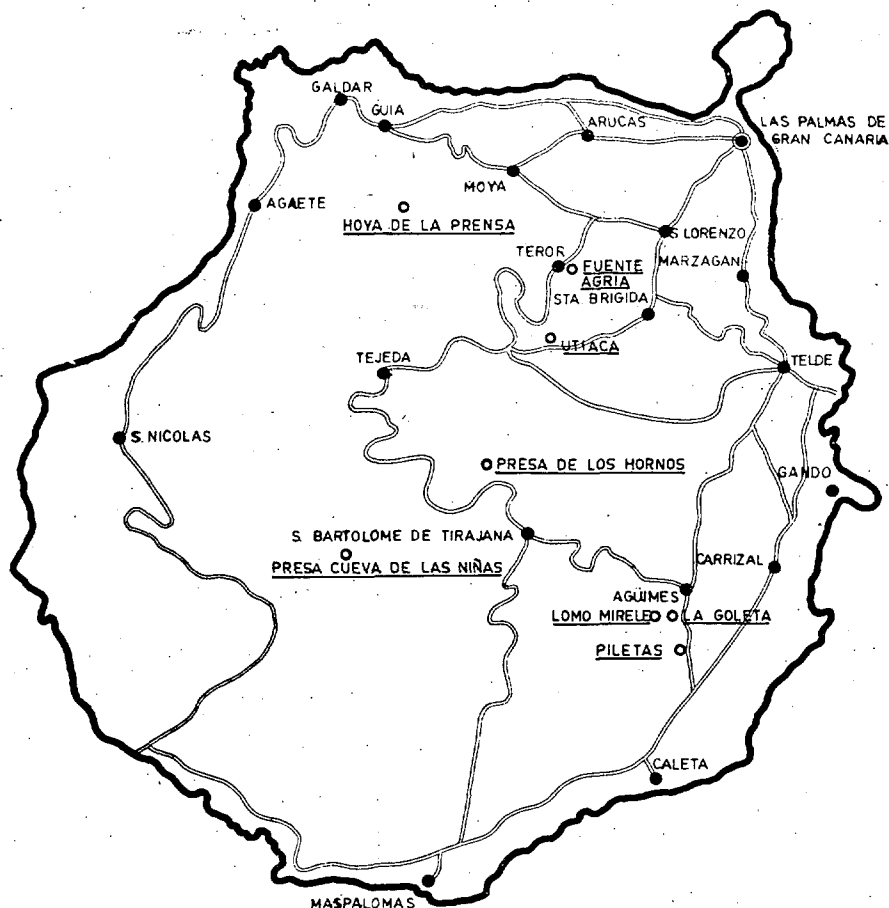


Fig. 1.<sup>a</sup>. — Situación de los puntos de toma de muestras,

### 3.2. Enriquecimiento electrolítico.

Los equipos más perfeccionados para la medida del tritio (contadores proporcionales de gran volumen para medida en fase gaseosa y contadores de centelleo con fósforo líquido) sólo permiten la medida directa de muestras con una concentración mayor de 100 ó 200 UT.

Se sabía de antemano, sin realizar ningún análisis, que el contenido de tritio de las muestras extraídas de los pozos había de ser muy inferior a los valores citados, que permiten la lectura directa, por lo que era necesario proceder a un enriquecimiento electrolítico hasta alcanzar los niveles detectables de tritio.

El enriquecimiento electrolítico es una técnica laboriosa y lenta. En primer lugar, las muestras tienen que ser destiladas cuidadosamente para suprimir todas las sales disueltas en el agua. A continuación, se realiza la electrólisis del agua destilada en células dotadas de ánodo de acero inoxidable y cátodo de hierro tratado superficialmente, hasta conseguir una reducción de volumen del orden 1 : 20 (se parte de 250 cm.<sup>3</sup> de agua y se reduce el volumen hasta unos 14 ó 15 cm.<sup>3</sup>). En esta electrólisis, cuya duración es de varios días, se liberan en el cátodo moléculas de H<sub>2</sub> fundamentalmente, por ser menor la masa de los átomos de hidrógeno que la de los átomos de tritio.

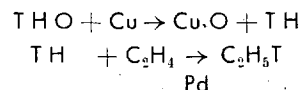
Y el agua remanente, como consecuencia, va enriqueciéndose en tritio. El factor de enriquecimiento se determina con un error inferior al 2 por 100, mediante la electrólisis simultánea y en idénticas condiciones, de muestras patrón con concentración conocida de tritio.

Conocidos el factor de enriquecimiento y la concentración final, que puede medirse directamente, se calcula el contenido inicial de tritio.

### 3.3. Medida del contenido en tritio.

La medida del tritio de las muestras analizadas ha sido realizada en los laboratorios del Organismo Internacional de Energía Atómica de Viena (Austria), Sección de Hidrología, debido a no existir en nuestro país ningún laboratorio equipado con los medios necesarios para realizar tales medidas. Estas se han llevado a cabo utilizando un contador proporcional Oeschger de un litro de capacidad para medida en fase gaseosa. Como paso previo a la medida, las muestras de agua tienen que ser procesadas

químicamente al objeto de sintetizar etileno a expensas del hidrógeno (y, por tanto, tritio) de aquéllas. Dicha síntesis implica la liberación del hidrógeno del agua por reacción de ésta en una columna de cobre a elevada temperatura. El hidrógeno liberado se hace reaccionar, a continuación, en un recipiente especial, con acetileno, empleando paladio como catalizador, formándose así el etileno que contendrá el tritio presente en el agua. El proceso químico es, por tanto:



El acetileno sintetizado se introduce, a una presión de unos 140 cm. de mercurio, en el contador proporcional. Este se encuentra rodeado, por una parte, de un anillo de contadores Geiger-Müller conectados con él en anticoincidencia y, por otra, de una protección especial de hierro y plomo. Ambas protecciones tienen por objeto reducir el fondo del contador proporcional a un valor del orden de 1,5 a 2 cuentas por minuto. Puesto que la sensibilidad del contador para tritio es del orden de 0,02 cuentas/minuto por UT, es posible medir, sin enriquecimiento electrolítico, y con suficiente exactitud estadística, aquellas muestras que tengan una concentración igual o mayor de unas 100 UT. Las muestras con concentración menor tienen que ser enriquecidas hasta alcanzar aproximadamente este nivel de actividad, según ya se expuso en párrafos anteriores.

### 4. Resultados obtenidos.

Las concentraciones de tritio obtenidas para las ocho muestras analizadas han sido las siguientes:

Muestra núm.	LOCALIZACION	Actividad en U. T. (Octubre de 1966)
1	Pozo de Lomo Mirele.	4,8 ± 1
2	Fuente Agría	3,7 ± 0,7
3	Pozo Hoya de la Prensa.	3,1 ± 0,5
4	Pozo de La Goleta.	4,1 ± 1
5	Pozo Pileta.	7,0 ± 0,9
6	Pozo Utiaca.	3,9 ± 0,6
7	Embalse Cueva de las Niñas.	153,7 ± 11,4
8	Embalse de los Hornos.	128,8 ± 9,5

Las seis muestras primeras necesitaron concentración previa. Las desviaciones que se indican en los valores de actividad de tritio comprenden:

a) El margen de error que existe en la determinación del factor de enriquecimiento, en el caso de aquellas muestras que han sido sometidas a electrólisis (las seis primeras).

b) Las variaciones en el reducido efecto isotópico que tiene lugar en la síntesis del etileno (el comportamiento del H no es exactamente igual que el del T en el proceso de síntesis).

c) El error estadístico propio de todas las medidas de radiactividad.

Las dos causas primeras de error son, prácticamente, despreciables frente al error estadístico. Para este último se considera el doble de la desviación típica o *standard*, para una distribución normal o de Gauss ( $2\sigma$ ) que, como se sabe, corresponde a un margen de probabilidad del 95 por 100. Podemos, por tanto, decir que existe una probabilidad del 95 por 100 de que el error cometido en las medidas de tritio sea el correspondiente a las desviaciones indicadas. Para un 99,5 por 100 de probabilidad ( $3\sigma$ ), las desviaciones deberían multiplicarse por el factor  $3/2$ .

## 5. Análisis e interpretación de los resultados.

### 5.1. Determinación de la curva de caída cronológica de tritio en lluvias.

El análisis e interpretación de los resultados tiene que apoyarse, por una parte, en el estudio de las concentraciones de tritio de las precipitaciones caídas sobre la isla durante los últimos veinticinco años, y por otra parte, en la pluviometría observada durante igual período de tiempo. Las características geológicas y topográficas de la isla tienen un valor secundario a efectos de interpretación de los resultados obtenidos en el presente estudio preliminar, debido al exiguo número de pozos estudiados. Pero en caso de llevarse a cabo un estudio más completo, partiendo de los datos ahora obtenidos, sería necesario tomar en consideración la geología de la isla.

No existen datos sobre la concentración de tritio en las aguas de lluvia caídas sobre las islas Canarias durante los últimos años. Los puntos más próximos de que se conocen datos son

Gibraltar y Bamako (República de Malí). En ambos puntos los datos son muy incompletos, sobre todo en Bamako. En cambio, existe una amplia información, recogida en más de 200 estaciones distribuidas por todo el globo, que permiten obtener, por interpolación, la curva de caída del tritio en cualquier otro punto no estudiado. Esta interpolación se ve facilitada por el hecho de que las curvas, un tanto irregulares, que dan la concentración de tritio en las precipitaciones en función del tiempo, tienen una forma casi idéntica en todas las estaciones.

El procedimiento seguido para encontrar la curva de tritio contenido en lluvias correspondiente a la isla de Gran Canaria, es el siguiente:

1.º Se han representado las curvas correspondientes a las estaciones de las que hay datos, y cuyas coordenadas geográficas son próximas al meridiano y paralelo de Gran Canaria ( $15^{\circ} 30' 0'' - 28^{\circ} N$ ).

2.º En estas curvas se ha integrado la zona comprendida entre principios del año 1962 y finales de octubre del año 1963. Se ha elegido este intervalo de tiempo por dos razones: a) Por ser más completos los datos disponibles. b) En dicho intervalo de tiempo la caída de tritio sobre nuestro planeta representa casi el 50 por 100 del tritio total caído hasta la fecha con origen termonuclear.

3.º Los valores integrales obtenidos para, aproximadamente, un mismo meridiano se han representado en función de la latitud y los correspondientes a un mismo paralelo en función de la longitud. Las curvas obtenidas aparecen en las figuras 2.ª y 3.ª, en las que se ha señalado el punto correspondiente a la isla de Gran Canaria, pudiendo observarse la similitud de ambos valores, lo cual sirve para confirmar la validez de la extrapolación efectuada. Según esto, el valor correspondiente a Gran Canaria obtenido sobre la curva 2 es 850 UT X años, y sobre la curva 3 es 1 034. Tomando el valor medio de ambos, adoptamos un valor integrado anual de 942 UT X años.

4.º Se ha considerado como curva tipo la de Ottawa (Canadá), donde existe la más amplia información (figura 4.ª). En esta curva, se ha integrado, asimismo, la zona comprendida entre principios del año 1962 y finales de octubre de 1963, obteniéndose el valor de 3 678 UT X años. El valor medio de dicha integral, extrapolado para Gran Canaria es, como dijimos,

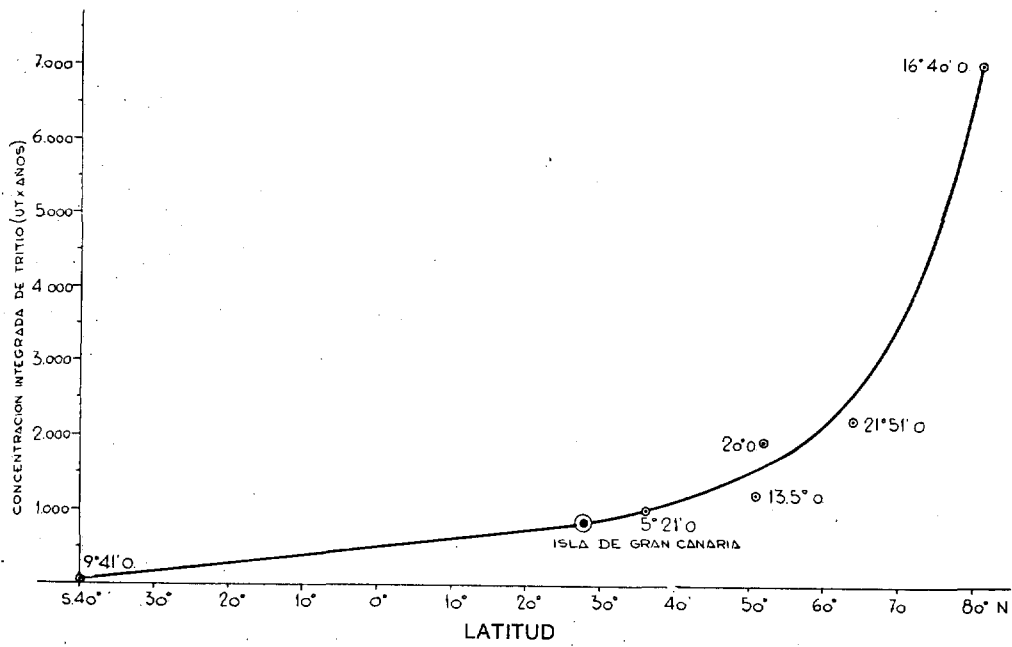


Fig. 2.a. — Concentración integrada de tritio (1962-1963), correspondiente al meridiano aproximado 15° O.

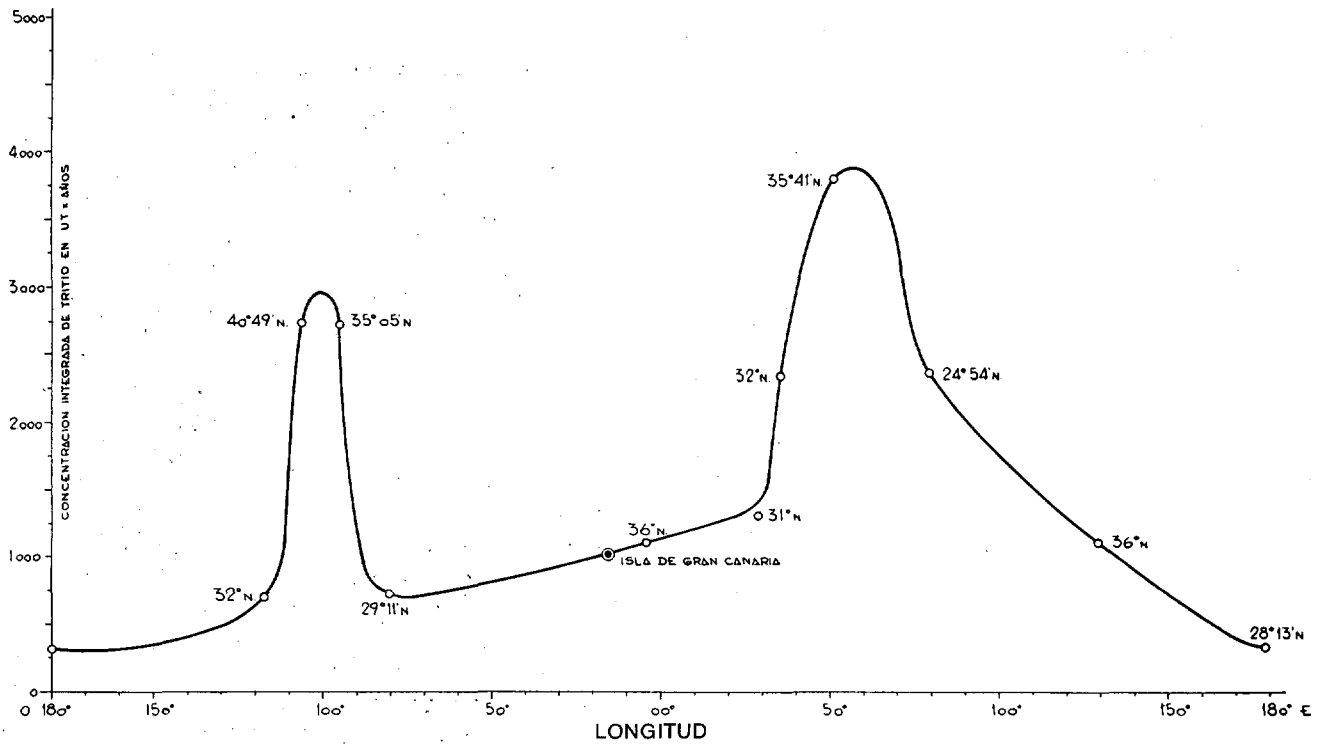


Fig. 3.a. — Concentración integrada de tritio (1962-1963), correspondiente al paralelo aproximado 30° N.

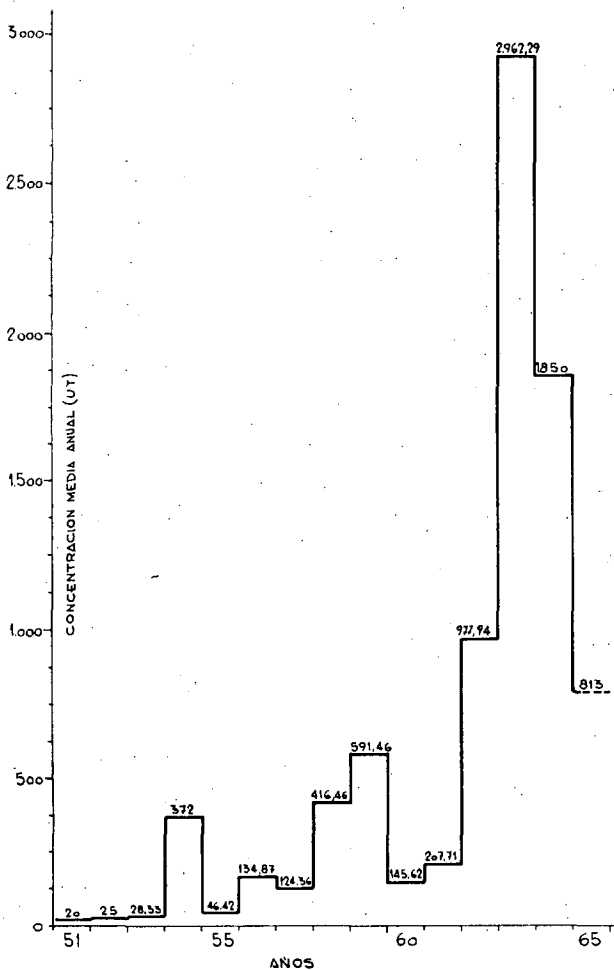


Fig. 4.a. — Concentración de tritio medida en las precipitaciones en Ottawa.

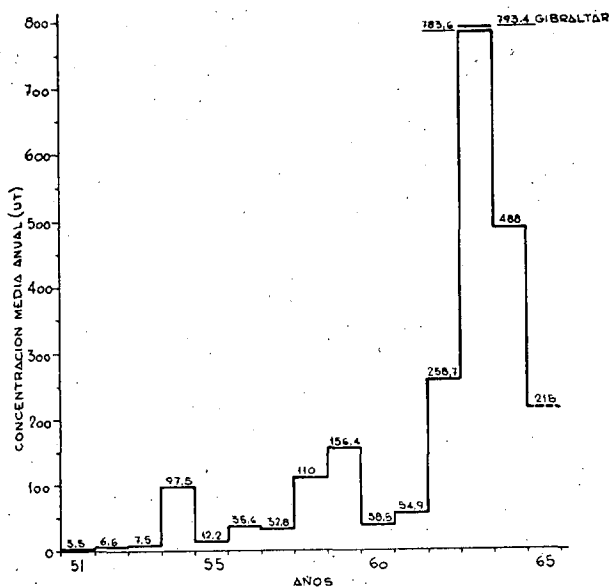


Fig. 5.a. — Concentración calculada de tritio en las precipitaciones de Gran Canaria.

942 UT X años, es decir, 3,9 veces inferior al de Ottawa.

5.º Finalmente, la curva correspondiente a la isla de Gran Canaria se ha determinado dividiendo los correspondientes valores de Ottawa por el factor 3,9 (fig. 5.a). La curva así obtenida está ligeramente por debajo de la correspondiente a Gibraltar, en la zona en que hay datos de esta estación, lo que constituye una buena referencia que garantiza en parte la precisión de los cálculos efectuados. El error probable cometido en el cálculo de la curva de Gran Canaria debe ser inferior a un 20 por 100.

## 5.2. Pluviometría.

Se han examinado exhaustivamente los datos existentes sobre la isla, correspondientes a los treinta últimos años (más de 100 estaciones). Un análisis de estos datos demuestra que más del 80 por 100 de las precipitaciones tienen lugar en la estación invernal y, concretamente, entre los meses de octubre a marzo, ambos inclusive. La figura 6.a indica las precipitaciones mensuales de cinco estaciones, consideradas como más representativas.

## 5.3. Edad probable de las aguas.

Para determinar la edad probable de las aguas subterráneas, objeto del presente estudio, puede admitirse como premisa que, debido a la casi nula pluviometría existente de mayo a septiembre las aguas que caen en dicho período no tienen ninguna probabilidad de infiltración, siendo evaporadas en su totalidad, ya que el poder de evaporación y evapotranspiración del suelo es mucho mayor que la pluviometría media. Teniendo en cuenta este criterio, se ha determinado de una curva con las concentraciones de tritio medias anuales de aguas infiltrables caídas sobre la isla durante los últimos quince años (fig. 7.a). Considerando que el período de semidesintegración del tritio es de 12,2 años, a las aguas infiltradas desde 1951 hasta el momento actual, suponiendo ausencia total de mezcla o intercambio con aguas más recientes, corresponderían en octubre de 1966 (fecha en que se midieron las muestras) las siguientes concentraciones de tritio:

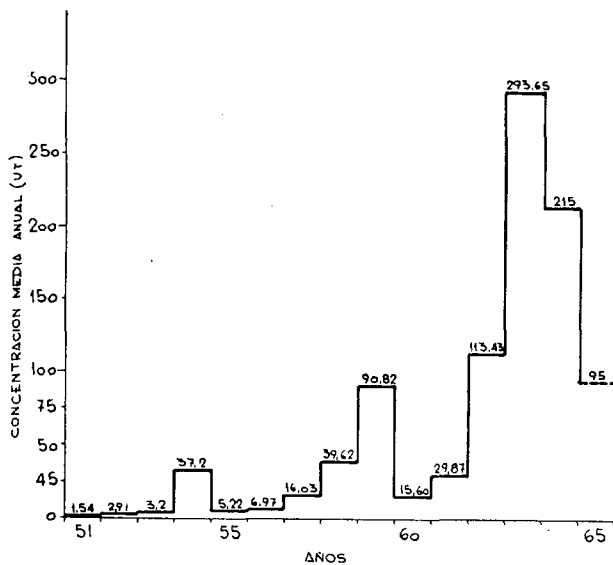


Fig. 6.<sup>a</sup>. — Concentración calculada de tritio en las precipitaciones de Gran Canaria, considerando sólo la estación invernal (octubre-abril).

Año	Concentración inicial de tritio (UT)	Tiempo transcurrido (años)	Factor de desintegración $e^{-\lambda t}$	Concentración de tritio en octubre 1966 (UT)
1951	1,54	15,3	0,418	0,645
1952	2,91	14,3	0,444	1,29
1953	3,2	13,3	0,465	1,49
1954	37,2	12,3	0,497	18,5
1955	5,22	11,3	0,527	2,75
1956	6,97	10,3	0,558	3,9
1957	16,03	9,3	0,591	9,5
1958	39,62	8,3	0,625	24,8
1959	90,82	7,3	0,661	60,0
1960	15,60	6,3	0,700	10,9
1961	29,87	5,3	0,741	22,1
1962	113,43	4,3	0,784	89,0
1963	293,65	3,3	0,829	243,2
1964	215	2,3	0,877	188,5

Los valores de la última columna expresan los contenidos actuales de tritio (referidos a octubre de 1966) de aguas llovidas en diferentes años, considerando únicamente las aguas con posibilidad de infiltración.

A continuación, para facilitar la deducción de conclusiones se transcriben los valores de esta columna, así como los niveles de actividad medidos en las distintas muestras analizadas, y que son los mismos que figuran en el cuadro del epígrafe 4, Resultados obtenidos.

Concentraciones de tritio — en las muestras analizadas — (octubre 1966).

Pozo de Lomo Mirele.	$4,8 \pm 1$ U.T.
Fuente Agria	$3,7 \pm 0,7$
Pozo Hoya de la Prensa.	$3,1 \pm 0,5$
Pozo de La Goleta.	$4,1 \pm 1$
Pozo Pileta.	$7,0 \pm 0,9$
Pozo Utiaca.	$3,9 \pm 0,6$

Concentraciones de tritio en aguas de lluvia de distintos años, corregidas a octubre de 1966, y valores extremos suponiendo un error de  $\pm 20$  por 100.

Año	U. T.	U. T. (- 20%)	U. T. (+ 20%)
1951	0,64	0,5	0,8
1952	1,29	1,0	1,5
1953	1,49	1,2	1,8
1954	18,5	14,8	22,2
1955	2,75	2,2	3,3
1956	3,90	3,1	4,7
1957	9,5	7,6	11,4

Año	U. T.	U. T. (- 20%)	U. T. (+ 20%)
1958	24,80	19,8	29,8
1959	60,00	48,0	72,0
1960	10,90	8,7	13,1
1961	22,10	17,7	26,5
1962	89,00	71,2	106,8
1963	243,20	194,5	291,8
1964	188,50	150,8	226,2

A la vista de estos valores, las edades aparentes (después se justificará el empleo de este adjetivo) de las aguas subterráneas analizadas deben ser:

LOCALIZACION	Edad mínima (años)	Edad más probable (años)	Edad máxima (años)
Pozo Lomo Mirele .....	1957	1956-57	1953
Fuente Agria .....	1957	1956	1953
Pozo de Hoya de la Prensa .....	1957	1956	1953
Pozo La Goleta .....	1957	1956	1953
Pozo Pileta .....	1958	1957	1954
Pozo de Utiaca .....	1957	1956	1953

Para definir el intervalo entre las edades mínimas y máximas citadas se han considerado las siguientes causas de error:

a) Un error de un 20 por 100 en la obten-



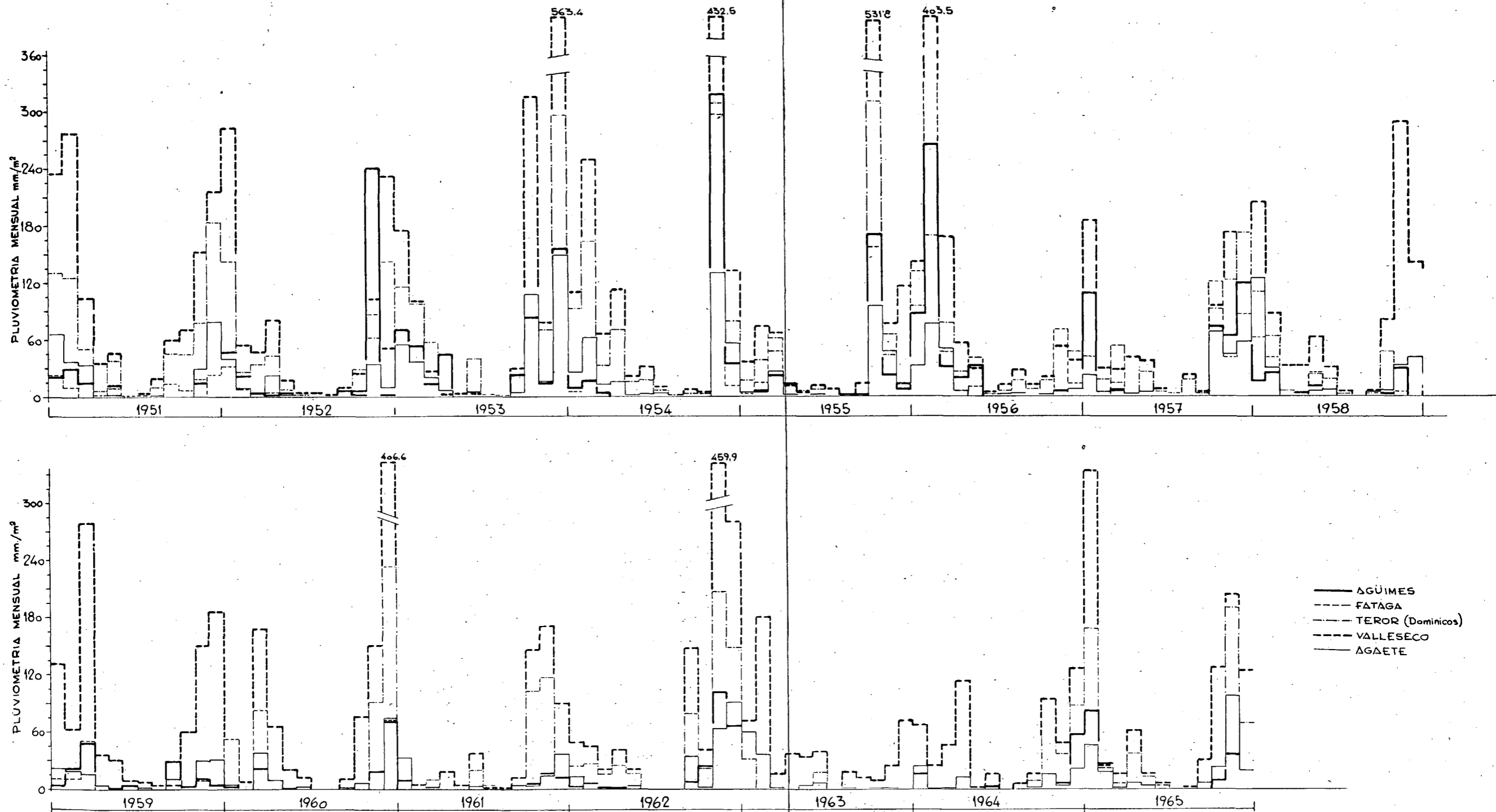


Fig. 7.<sup>a</sup> — Pluviometría total mensual registrada en cinco estaciones de Gran Canaria.

ción de las concentraciones medias anuales de tritio en las aguas de lluvia (fig. 7.<sup>a</sup>).

b) Las desviaciones estadísticas de las medidas de tritio señaladas en el apartado 4.

A título de ejemplo, indicamos el procedimiento seguido para calcular las edades máxima y mínima de la muestra del Pozo Lomo Mirele:

La concentración de tritio obtenida es  $4,8 \pm 1$  U.T., con un intervalo de oscilación entre 5,8 y 3,8 U.T. Comparando el mayor de estos dos valores, con los de la columna ( $-20$  por 100), resulta evidente que el agua de la muestra no puede proceder de lluvias caídas después de 1957, puesto que las actividades de las lluvias de los años posteriores son mucho más elevadas. Asimismo, considerando el valor 3,8 U.T. y los de la columna ( $+20$  por 100) se deduce que no puede ser anterior a 1954, pues en estos años las concentraciones son muy inferiores al valor indicado. Llegamos de este modo a concluir que las aguas analizadas en el Pozo Lomo Mirele provienen de lluvias caídas entre 1954 y 1957, con una probabilidad máxima para el invierno 1956-57.

Otros datos que apoyan los resultados indicados en la tabla anterior son algunas medidas efectuadas del tritio contenido en vinos de Jerez de la Frontera (Cádiz), cosechados en las campañas de 1942, 1947 y 1951. Evidentemente, estas medidas representan con fidelidad el nivel medio de tritio existente en las precipitaciones de aquellas épocas pre-termonucleares. Las medidas realizadas en la Universidad de Chicago dieron los resultados de  $1,93 \pm 0,27$ ,  $1,99 \pm 0,55$  y  $2,73 \pm 1,00$  U.T., respectivamente, para los años mencionados. Si se tiene en cuenta el tiempo transcurrido desde entonces, aquellas aguas habrán llegado hasta nuestros días con unas concentraciones de  $0,43 \pm 0,07$ ,  $0,66 \pm 0,11$  y  $1,15 \pm 0,42$  U.T., respectivamente, muy inferiores a las encontradas en las aguas subterráneas que consideramos, por lo que éstas deben ser más modernas.

Respecto a la seguridad que ofrecen los resultados obtenidos, es conveniente hacer las siguientes consideraciones:

a) No hay duda de que los niveles de tritio medidos en las muestras corresponden a aguas cuya antigüedad es la calculada.

b) El procedimiento de explotación actualmente empleado en los pozos de Gran Canaria consiste en bombear el agua y agotar la vena,

en cuyo momento se profundiza más el pozo hasta hallar un nuevo acuífero. Si el agotamiento de las capas menos profundas es total, no habrá mezcla de aguas en el fondo del pozo, procedentes de diferentes venas, y por tanto, con probables edades diferentes. Las muestras analizadas corresponderán así a un único afloramiento. En este caso, no habrá falseamiento en los resultados obtenidos. Pero si se reúnen en el fondo del pozo aguas de distintas procedencias, entre ellas cantidades apreciables de aguas precipitadas en 1963 y 1964, de elevada concentración de tritio, se producirá un aumento del contenido medio de este isótopo, lo cual equivaldrá a hacer parecer más modernas las aguas.

Para tener seguridades en este sentido, se precisa llegar al convencimiento de que las muestras extraídas tienen un solo origen, según se detalla en el apartado 6.

c) Otra posible causa de error puede hallarse en el hecho de haber considerado para el cálculo de la edad las concentraciones medias de tritio habidas en las estaciones invernales, sin tener en cuenta las variaciones más o menos irregulares de las concentraciones de tritio en las aguas de lluvia dentro de estas estaciones. Esta causa de error no parece demasiado importante, pues a pesar de que la infiltración de las aguas en un acuífero homogéneo es un proceso estratificado, siempre habrá que contar con una mezcla en el acuífero de las aguas infiltradas en meses próximos, debido a la simple difusión molecular del agua en tiempos de tránsito tan largos como los del caso actual, y a otros procesos. En cualquier caso, el error cometido por este concepto no sería mayor de un 20 por 100.

## 6. Posibilidades futuras de investigación.

Ya hemos visto cómo, debido al reducido número de pozos estudiados en esta investigación preliminar, no ha sido posible obtener conclusiones inequívocas acerca de la situación y características generales de los acuíferos que se están explotando en la Isla. Los resultados obtenidos en esta investigación preliminar han suministrado una información parcial del problema que es muy exigua comparada con la información total que estas técnicas isotópicas pueden suministrar. Sin embargo, dichos resultados tienen un gran valor para la orientación

futura de nuevas investigaciones, pues han demostrado que, si bien sobre la base del tritio pueden obtenerse conclusiones muy valiosas, por tratarse de aguas relativamente antiguas, debe abordarse también el problema mediante determinación del carbono-14 y de isótopo estable deuterio.

En nuestra opinión, para explotar exhaustivamente toda la potencialidad de las técnicas isotópicas con relación al problema en estudio deberían realizarse, paralelamente, las siguientes investigaciones:

#### A) *Medidas de tritio.*

Ampliación de las medidas de tritio a una red mayor de pozos, establecida de acuerdo con las características geológicas y topográficas de la Isla. El establecimiento de esta red podría exigir, tal vez, en una segunda fase del estudio, la realización de algunos sondeos en puntos clave de los acuíferos para complementar la información obtenida en los pozos ya existentes. En cada pozo o sondeo, el tritio debería medirse a diferentes profundidades, tomando precauciones especiales para evitar mezclas de aguas de distintos orígenes o profundidades.

Las informaciones que estas medidas podrían suministrar se pueden resumir en los siguientes puntos:

1.º Determinación más precisa de la edad de las aguas de los acuíferos, en los distintos puntos de éstos.

2.º Localización de las zonas de recarga de los acuíferos, basándose en los gradientes de concentración de tritio observados en los distintos pozos de la red. Como resulta lógico, en las zonas de recarga deberán encontrarse aguas más modernas debidas a recientes infiltraciones, que tendrán un contenido mayor en tritio que las aguas más antiguas.

3.º Basándose en el gradiente de concentración de tritio pueden obtenerse datos sobre el sentido del movimiento de las aguas en los acuíferos y la velocidad de desplazamiento de éstas. El sentido del movimiento será aquél, en que disminuye la concentración de tritio, y la velocidad de desplazamiento puede obtenerse por el tiempo necesario para que se produzcan estas disminuciones de concentración, teniendo en cuenta el período de semidesintegración del tritio.

4.º Determinación de la velocidad de infiltra-

ción de las aguas en las zonas de recarga de los acuíferos basándose en las medidas del tritio en función de la profundidad. Dicha determinación puede efectuarse, por ejemplo, a partir de la profundidad actual en que se encuentre, dentro de la zona saturada o no saturada del suelo, el gran pico de concentración de tritio del año 1963.

#### B) *Medidas de carbono-14.*

La medida del carbono-14 en la misma red de pozos establecida para el tritio puede suministrar una información muy similar a la indicada para este isótopo e, incluso, datos más precisos sobre la edad real de las aguas, debido a que la concentración de carbono-14 en todos los materiales que participan plenamente del ciclo dinámico de este elemento, no ha estado sujeta a variaciones estacionales ni se ha visto influenciada en demasiada extensión por las explosiones nucleares durante los últimos años, como ha ocurrido con el tritio.

#### C) *Medidas de deuterio.*

En el proceso de infiltración de las aguas, puede producirse un fraccionamiento o intercambio entre los isótopos estables del hidrógeno (hidrógeno normal e hidrógeno pesado o deuterio), que tiende a aumentar la proporción de deuterio. Por ello, la determinación de este isótopo en las aguas subterráneas puede suministrar datos complementarios de gran valor que confirmen los resultados obtenidos con los isótopos radiactivos tritio y carbono-14. Este análisis puede realizarse paralelamente al de estos dos isótopos.

El presente trabajo ha sido realizado por un equipo constituido por los siguientes señores:

Don Enrique Baonza del Preado, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Don Antonio Plata Bedmar, Licenciado en Ciencias Físicas.

Don Juan D. Stein Haendel, Licenciado en Ciencias Físicas.

Don Pablo Torres Peralá, Ayudante de Obras Públicas.  
Don Francisco Rodríguez Morales, Auxiliar Técnico de 2.ª.

Don Carlos Caballero Argüelles, Delineante Proyectista.  
Don Agustín Espejo Rivera, Técnico Auxiliar de Laboratorio.

Don Marciano González Rodríguez, Auxiliar.

Todos ellos pertenecientes al Gabinete de Aplicaciones Nucleares del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.