

INIS-PE-95-02

PE9500002

ORIGEN DE LAS AGUAS QUE DRENA EL TUNEL GRATON

- A. PLATA BEDMAR, Sección Hidrología Isotópica, OIEA
Viena, Austria.
R. ROJAS MOLINA, Instituto Peruano de Energía Nuclear, IPEN
Lima, Perú.

DIC'92

ABSTRACT:

The research of the origin of the water drained by the Graton tunnel was attempted using isotope techniques. During the period of studies (April 1989 - October 1992), four field work was executed to sample waters for chemistry, stable isotope and Tritium analysis, and to inject tracers and verify the possible infiltration from the Rimac and Blanco rivers to the tunnel. The results of the stable isotope analysis show that the water drained by the Graton tunnel comes from a basin around 300 meters above the average altitude of the basin where the Graton is located. The Tritium analysis show that the water is relatively modern. Using the model of total mixing, the residence times of the water drained at the Km. 0.5 and 2.5 are in the order of 30 to 45 years. The conductivities of the water of the tunnel is higher than the Rimac river ones because the influence of mine water. The chemical analysis of the water sampled at the downstream end of the tunnel, show that the conservative ions of the water kept almost constant during more than two years. The results of the work with artificial tracer show that there is no significant leakage from the Rimac and Blanco rivers to the Graton tunnel. So far, it can be concluded as a preliminary approach that the Graton tunnel drains relatively modern water originated in another basin. The hydrodynamics of the area of study seems to include a large storage of underground water in the system. The topography, geology and isotopic composition of the water samples, points to the upper Mantaro river basin as the possible source of part of the water drained by the Graton tunnel.

RESUMEN:

Las filtraciones que existen en el túnel Graton (4 a 5 m³/seg.) proveen de un caudal muy importante para el consumo de agua doméstica e industrial de la ciudad de Lima. El túnel se encuentra en la vertiente occidental de los Andes peruanos, a 100 Km. al Este de la ciudad, pertenece a la cuenca alta del río Rimac y esta ubicado también muy cerca de la línea divisoria de cuencas entre los ríos Rimac y Mantaro. El túnel tiene una sección tipo herradura de 3.2 m. de altura, 3.0 m. de diámetro, tiene una longitud de 11.7 Km., con una pendiente de 3% y esta ubicado a 3,120 msnm en su extremo inferior. Fue terminado de construir en el año 1971 con fines de drenaje de filtraciones de las galerías de la mina Casapalca.

Mas del 90% del caudal total provienen de tres puntos, los mismos que están ubicados en los Km. 0.5 y 2.5 de la boca de

salida, y en el extremo superior del túnel. El rendimiento hídrico específico del conjunto: túnel Graton mas río Rimac (antes de la desembocadura del Graton), resulta casi 4 veces superior al rendimiento hídrico del río Blanco ubicado muy cerca, cuya cuenca tiene una altitud media solo 270 metros mas alta que la cuenca media del Rimac. Esta gran diferencia de rendimientos hídricos sugiere que el túnel Graton estaría recibiendo aportes de otra(s) cuenca(s). La Geología de la zona presenta condiciones favorables que apoyan esta hipótesis.

Para el desarrollo de los estudios, se llevaron a cabo cuatro campañas de trabajos de campo durante el período: Abril de 1989 a Octubre de 1992, donde fueron efectuados mediciones físico-químicas de agua, y se recogieron muestras en puntos representativos de la zona para los análisis de isótopos estables, Tritio y química. También se efectuaron trabajos de inyección y monitoreo de trazadores artificiales en los rios Rimac y Blanco. Los análisis de isótopos estables y química se efectuaron en los laboratorios del IAEA de Vienna, los análisis de la presencia de trazadores se efectuaron en el campo y en los laboratorios del IPEN.

Los resultados de los análisis de isótopos estables, muestran que las aguas que drena el túnel Graton no tienen la misma fuente de alimentación que las aguas del río Rimac. Asimismo, los tres puntos de filtraciones mas importantes tienen diferente zona de recarga. Para las mismas fechas de muestreo, las aguas del Graton indican que su cuenca de recarga tiene una altitud aproximadamente 300 metros mas alta que la cuenca del río Rimac - Graton.

Los resultados de los análisis de concentraciones de Tritio muestran que las filtraciones del Graton contienen aguas relativamente modernas. Aplicando el modelo de mezcla total, se ha estimado que la antigüedad de las aguas del Graton podría estar en el orden de 30 y 45 años. Las aguas provenientes de filtraciones de las galerías de mina son mas antiguas.

Los resultados de los análisis químicos muestran que las aguas del Graton tienen mayor conductividad que las aguas del Rimac, ademas, en un período de dos años y ocho meses, las concentraciones de los iones conservativos del agua, no sufrieron variaciones significativas, lo cual es concordante con la "modernidad" de las aguas y el gran caudal que circula por el sistema de drenaje, e indicaría ademas la existencia de un almacenamiento de aguas subterráneas de gran volumen involucrado en el sistema.

Los resultados de los trabajos efectuados utilizando trazadores artificiales muestran que el Graton no recibe aportes significativos por filtraciones de los rios Rimac y Blanco, pues se recuperaron mas del 94% de los trazadores inyectados en cada caso. Este resultado permitió descartar la posibilidad de filtración del río Blanco al Graton a traves de la falla "Rio Blanco" o "Infiernillo", río donde actualmente esta en construcción una represa con fines de almacenamiento y regulación de su caudal.

El estudio para derivar en conclusiones mas definitivas, requiere analizar mas muestras, especialmente las obtenidas dentro del túnel. Sin embargo, a la fecha, se puede concluir preliminarmente en lo siguiente: El túnel Graton drena aguas relativamente modernas originadas en otra(s) cuencas(s) cercanas a la del Rimac, la hidrodinámica de la zona parece indicar la existencia de un gran depósito de aguas subterráneas unido al sistema. La Topografía, Geología y las características isotópicas de las aguas, sugieren que la cuenca alta del rio Mantaro sería la posible fuente de alimentación de una parte de las aguas que drena el Graton.

1.0 INTRODUCCION:

La ciudad de Lima, cuya área metropolitana incluye el puerto del Callao, tienen en conjunto una población de casi 7 millones de habitantes, y constituye el centro urbano e industrial mas importante del Perú. Actualmente la demanda de agua para uso doméstico e industrial es del orden de 24.8 m³/seg. demanda que es satisfecha solo parcialmente con aguas superficiales provenientes del rio Rimac (9 a 13 m³/seg. limitado por el caudal del rio y la capacidad de la planta de tratamiento), y la explotación de aguas subterráneas del acuífero de Lima recargado por filtraciones de los rios Rimac y Chillón (hasta 9.5 m³/seg. limitado por la capacidad de bombeo en los pozos).

Como se puede apreciar, la demanda actual de agua no esta satisfecha, obligando al racionamiento en diversos sectores de la ciudad, por otra parte, el paulatino abatimiento del nivel freático del acuífero indica que este recurso esta siendo sobreexplotado, estimándose en 2.2 m³/seg. el caudal explotado en exceso, déficit que se prevee se incrementará en el futuro en función del crecimiento de la población de Lima y Callao.

El Gobierno Central a través de la empresas vinculadas al abastecimiento de agua y de generación de energía eléctrica, ha efectuado diversos estudios de factibilidad técnico-económica para suplir este creciente déficit, cuyos resultados coinciden en recomendar la necesidad de ejecutar obras de transvase de aguas del rio Mantaro (perteneciente a la cuenca del Amazonas) al rio Rimac (perteneciente a la cuenca del Océano Pacífico). El costo de estas obras se ha estimado en US\$ 1,200 millones de Dólares, inversión que por ahora el país no esta en condiciones de sufragar.

En la cuenca alta del rio Rimac, y cerca a la localidad de San Mateo se encuentra la boca de salida del túnel Graton (3,120 msnm), el mismo que tiene una sección tipo herradura de 3.2 m. de altura por 3.0 m. de diámetro, una longitud de 11.7 Km. con una pendiente de 3%. A lo largo de este túnel existen varias filtraciones que en conjunto suman un caudal que varía entre 4 a 5 m³/seg para años precipitación media. Los registros de caudales disponibles muestran sólo datos puntuales obtenidos por la empresa minera que lo administra. El agua que drena el túnel desemboca en el rio Rimac y constituye parte del suministro de agua de la ciudad de Lima.

El túnel fué construído en el año 1971 con fines de drenaje de las filtraciones de las galerías de la mina de Casapalca (4,300 msnm), mina ubicada sobre el extremo superior del túnel y cuyo desarrollo de galerías se estima tiene una longitud de mas de 60 Km. distribuídos en 4 niveles. A lo largo del túnel, hay tres puntos donde se concentran los mayores caudales, los que en conjunto se estiman representan mas del 90% del caudal total:

- 1.- A 0.5 Km. de la boca de salida
- 2.- A 2.5 Km. de la boca de salida
- 3.- Al inicio del túnel (drenaje de aguas de mina)

La Metodología empleada para abordar el estudio consistió en la aplicación de técnicas isotópicas que comprendieron: Análisis de isótopos estables, Tritio, Carbono 13 y 14, y análisis químicos. También se efectuaron trabajos de inyección y monitoreo de trazadores artificiales, actividades que se llevaron a cabo durante el período Abril de 1989 a Octubre de 1992. Los análisis químicos e isotópicos se efectuaron en los laboratorios del OIEA de Vienna, los análisis de la concentración de trazadores se efectuaron en el campo y en los laboratorios del IPEN en Lima, utilizando un fluorímetro Turner modelo 10-AU.

2.0 RESULTADOS:

2.1 TOPOGRAFIA Y CLIMA:

La topografía de la zona de estudio es en general accidentada, dominada por la presencia de valles estrechos y cadenas de montañas cuyas cumbres tienen altitudes de hasta 5,500 msnm. La cuenca del río Rimac en el punto donde recibe aguas del túnel Graton tiene una altitud media de 4,480 msnm, la cuenca del río Mantaro frente a la ubicación del túnel Graton tiene una altitud media de 4,750 msnm, y finalmente la cuenca del río Blanco tiene una altitud media de 4,675 msnm, la boca de salida del túnel Graton como ya se indicó, esta a una altitud de 3,120 msnm.

Las precipitaciones en la zona de estudio son estacionales y ocurren sólo durante 3 a 4 meses al año (Diciembre, Enero, Febrero y Marzo). En la cuenca del Rimac, las precipitaciones disminuyen notoriamente en distancias muy cortas en función de la altitud del terreno debido a la pronunciada pendiente de la cuenca, pero en la cuenca alta del Mantaro no ocurre tan drástica disminución de precipitaciones porque esta ubicado en una meseta y consecuentemente las pendientes son menos pronunciadas.

El túnel Graton y la cuenca alta del río Rimac en el punto donde se juntan sus aguas, comparten la misma cuenca superficial que tiene un área de 220 Km². El río Blanco tiene una cuenca de 190 Km².

2.2 HIDROGEOLOGIA DE LA ZONA:

El túnel Graton pertenece a la cuenca alta del río Rimac y esta ubicado muy cerca a la línea divisoria de cuencas entre los ríos Rimac y Mantaro. El río Rimac en la zona de estudio discurre sobre un lecho de rocas cubierto en algunos tramos por una delgada capa de material aluvial, formando un estrecho valle constituido por rocas volcánicas, sedimentarias y algunos intrusivos. En este escenario cabe destacar la presencia de las formaciones "Jumasha" y "Chulec" conformado por calizas que pueden haber desarrollado formaciones kársticas. Estas formaciones afloran tanto en la cuenca alta del río Mantaro como en la del Rimac. Asimismo, cabe destacar la presencia de diversas fallas geológicas paralelas a la línea divisoria de cuencas Rimac - Mantaro, así como otra paralela al curso del río Blanco.

Los rendimientos hídricos específicos del Graton y ríos de la zona, para caudales correspondientes a un período de sequía muy prolongado son aproximadamente:

Túnel Graton	: 13.2 Lps/Km ²
Río Rimac	: 2.7 Lps/Km ²
Río Blanco	: 4.2 Lps/Km ²

Las cuencas de los ríos Rimac (sobre el nivel 3,120 msnm) y Blanco son adyacentes, las precipitaciones promedio para la zona son del orden de 745 mm./año. Esta gran diferencia de rendimientos hídricos no se puede explicar por posibles diferencias climáticas en cuencas tan cercanas. La explicación podría estar en la posible interconexión de cuencas del Rimac y Mantaro a través del túnel Graton. La Geología de la zona presenta condiciones favorables que apoyan esta hipótesis, como son: la presencia de las formaciones "Jumasha" y "Chulec" constituido por calizas localizadas a ambos lados de la línea divisoria de cuencas, fallas geológicas que atraviezan el túnel y las calizas, y finalmente el posible incremento de la permeabilidad del subsuelo debido a la masiva excavación de túneles efectuado para el desarrollo de las labores mineras.

El túnel en su recorrido intercepta dos fallas geológicas importantes: La falla "Infiernillo" o "Río Blanco" y la falla "Cagray" ubicados a 0.5 Km. y 2.5 Km. de la boca de salida respectivamente. En estos puntos son donde existen los afloramientos de aguas mas importantes que drena el túnel, cuyos caudales en conjunto se estima representan el 60% del caudal total. Aguas arriba el túnel esta conectado al sistema de drenaje de la mina de Casapalca cuyo caudal se estima sea del orden del restante 40%. En el Km. 7.8 existe un afloramiento de aguas termales que tiene una temperatura de 67 grados centígrados, pero tiene un caudal relativamente pequeño.

2.3 ISOTOPOS ESTABLES:

Se tomaron muestras de aguas superficiales de los ríos Rimac, Chillón y Lurín a diferentes altitudes, también se tomaron muestras de pequeños afluentes y manantiales dentro de la zona de estudio. En el túnel Graton se tomaron muestras en los dos afloramientos principales ubicados en los Km. 0.5 y 2.5, así como en el afloramiento del Km. 7.6, y a la salida del túnel antes de su desembocadura en el río Rimac. Los valores de Oxígeno 18 y Deuterio de las muestras de agua tomadas en diversos meses del año que incluyeron períodos de lluvias y de estiaje se muestran en los Gráficos Nos. 2 y 3.

El Gráfico No. 1 corresponde a la Gradiente de altitud respecto al Oxígeno 18, donde las muestras corresponden a aguas superficiales de los ríos Rimac, Chillón y Lurín y sus afluentes, y los valores de altitud ploteados corresponden a la altitud media de la cuenca en los puntos donde se tomaron las muestras de agua. Cabe señalar que en este Gráfico fueron descartados los valores de las muestras de los ríos por debajo de los 1,000 msnm, porque aguas abajo de este nivel ya no se producen precipitaciones significativas y consecuentemente el contenido isotópico de las aguas ya no está en función de la altitud, manteniéndose constante hasta su desembocadura en el mar.

En el Gráfico No. 2 se muestra el Diagrama Oxígeno 18-Deuterio, donde se puede apreciar que en su mayoría, las aguas superficiales están muy próximas a la Recta Meteorica Mundial de Precipitaciones, con excepción de las correspondientes a la cuenca del Santa Eulalia, las mismas que muestran signos de evaporación lo cual es concordante con la realidad, porque provienen de un sistema de lagunas poco profundas ubicadas a gran altitud donde las tasas de evaporación son elevadas. Las aguas del túnel Graton que son una mezcla de dos afloramientos y de aguas de drenaje de mina son en conjunto isotópicamente más empobrecidas que las aguas del río Rimac, lo cual indica que la altitud media de la cuenca de recarga del túnel es mayor que la altitud media de la cuenca del Rimac.

Utilizando el Gráfico de Gradiente de Altitud, se ha estimado que la altitud media de la cuenca de recarga del Graton es del orden de 4,800 msnm, es decir 300 metros más alta que la altitud media de la cuenca del Rimac (a la que también pertenece el Graton). Cabe destacar que topográficamente la altitud media de la cuenca alta del Mantaro frente al Graton es del orden de 4,750 msnm.

Las aguas de los afloramientos en los Km. 0.5 y 2.5, presentan valores de Oxígeno 18 (-15.09 y -15.06), ligeramente más empobrecidas que las aguas provenientes del afloramiento del Km. 7.6 (-14.95). Para que la mezcla de estas con las aguas de drenaje minero resulte de un valor promedio de (-15.5) obtenido para la misma fecha de muestreo (Junio de 1992), las aguas de mina deberían ser isotópicamente más empobrecidas, consecuentemente, la altitud de su cuenca de recarga, sería más alta que la altitud de recarga

de las filtraciones.

2.4 TRAZADORES ARTIFICIALES:

Se llevaron a cabo dos inyecciones de trazadores (Rodamina B): la primera en el río Blanco a aproximadamente 18 Km. aguas arriba de su confluencia con el Rimac, y la segunda en el río Rimac, a aproximadamente 8 Km. de su confluencia con el Blanco y túnel Graton. Se inyectaron 3,667 y 1,552 gramos de Rodamina respectivamente. Los puntos de control estuvieron ubicados cerca a la confluencia de los ríos Rimac y Blanco y a la salida del túnel Graton.

Las curvas del paso del trazador se muestran en los Gráficos Nos. 4 y 5, donde se puede apreciar que mas del 94% de los trazadores inyectados fueron recuperados en los puntos de control ubicados en los ríos. No fué detectado la presencia del trazador en muestras de agua del Graton. Es posible que parte importante del 6% restante se encuentre en los remansos de agua a lo largo de los ríos. Por lo anterior, se puede descartar la posibilidad de filtraciones de los ríos Rimac y Blanco al Graton, al menos en volúmenes significativos.

2.5 TRITIO, CARBONO 13 Y CARBONO 14:

Las concentraciones de Tritio de las filtraciones ubicadas en los Km 0.5 y 2.5 de la boca de salida del túnel (4.8 y 5.3 UT respectivamente) mostradas en la Tabla 5, indican que se trata de aguas relativamente recientes. A la salida del túnel y para aguas ya mezcladas con aguas de drenaje minero, la concentraciones de Tritio para la misma fecha de muestreo (Junio de 1992) resultaron de 3.6 UT, en fechas anteriores se obtuvieron valores de 4.2 y 3.1 UT, consecuentemente, las aguas de filtraciones son mas modernas que las aguas de drenaje minero.

Las concentraciones de Tritio de los ríos Rimac y Blanco presentan valores entre 4.1 y 5.0 UT que se encuentran dentro de lo esperado para precipitaciones locales de la zona de estudio. El valor de 2.9 UT obtenido en una muestra de agua del Rimac en Matucana se explica porque se trata de aguas subterráneas que empezaban a aflorar aguas abajo de una toma que deriva las aguas del Rimac a una Central hidroeléctrica, dejando completamente seco el curso del río Rimac en un tramo corto.

Aplicando el modelo de mezcla total cuya expresión analítica se muestra en el Gráfico No. 6 resulta la curva del Gráfico No. 7 que contiene la variación de la concentración de Tritio en función del tiempo de renovación. Con esta curva se ha estimado los tiempos de residencia de las filtraciones, resultando valores en el rango de 30 a 45 años y de 100 años para las aguas subterráneas que afloran en Matucana.

Con respecto al Carbono, solamente se analizó una muestra, donde se obtuvo los siguientes valores:

Carbono 13: -8.58%

Carbono 14: 62.5% de carbono moderno

El valor obtenido de Carbono 13 indica la presencia de Carbono biogénico disuelto por el agua durante el proceso de infiltración, es decir que el Carbono existente no proviene exclusivamente de la formación rocosa. El valor de Carbono 14 es coherente con la presencia de aguas modernas.

2.6 QUIMICA:

Los valores de conductividad y química de las aguas del túnel y de los ríos Rimac y Blanco se indican en las Tablas No. 1 y 2, donde se observa que los afloramientos existentes en los Km. 0.5 y 2.5 tienen conductividades menores que la mezcla total de aguas a la salida del túnel. Esto se explicaría por el aporte de aguas de mina que tienen un alto contenido de iones debido al prolongado contacto con las rocas mineralizadas. Por otra parte, cabe señalar la constancia de las concentraciones de los iones conservativos del agua a lo largo de un período de dos años y ocho meses transcurridos entre el primer y segundo muestreo, ambos tomados a la salida del túnel; lo cual indicaría la existencia de un gran volumen de aguas subterráneas conectado al sistema. La mina de Casapalca es polimetálica, se extrae: Cobre, plomo y plata.

3.0 CONCLUSIONES:

La poca cantidad y el corto período de tiempo durante el cual se tomaron muestras de las filtraciones de los Km. 0.5 y 2.5 del túnel, no permiten todavía obtener conclusiones definitivas sobre el origen de las aguas del túnel Graton. Sin embargo con los resultados obtenidos a la fecha, se puede concluir preliminarmente en lo siguiente:

a.- Las aguas que drena el Graton son relativamente modernas y provienen de una cuenca cuya altitud media es aproximadamente 300 metros mayor que la altitud media de la cuenca donde está ubicado el túnel.

b.- Los tiempos de residencia de las filtraciones existentes en los Km. 0.5 y 2.5 del extremo inferior del túnel, se estima sean del orden de 30 a 45 años. El tiempo de residencia de las aguas de mina que drena el túnel es mayor y está en el orden de 100 años.

c.- Es posible que en la zona exista un gran almacenamiento de aguas subterráneas conectado al sistema de drenaje del túnel.

d.- La cuenca alta del río Mantaro, reúne las condiciones topográficas, geológicas y de características isotópicas del agua,

para constituir la posible fuente de alimentación de una parte de las filtraciones del túnel Graton.

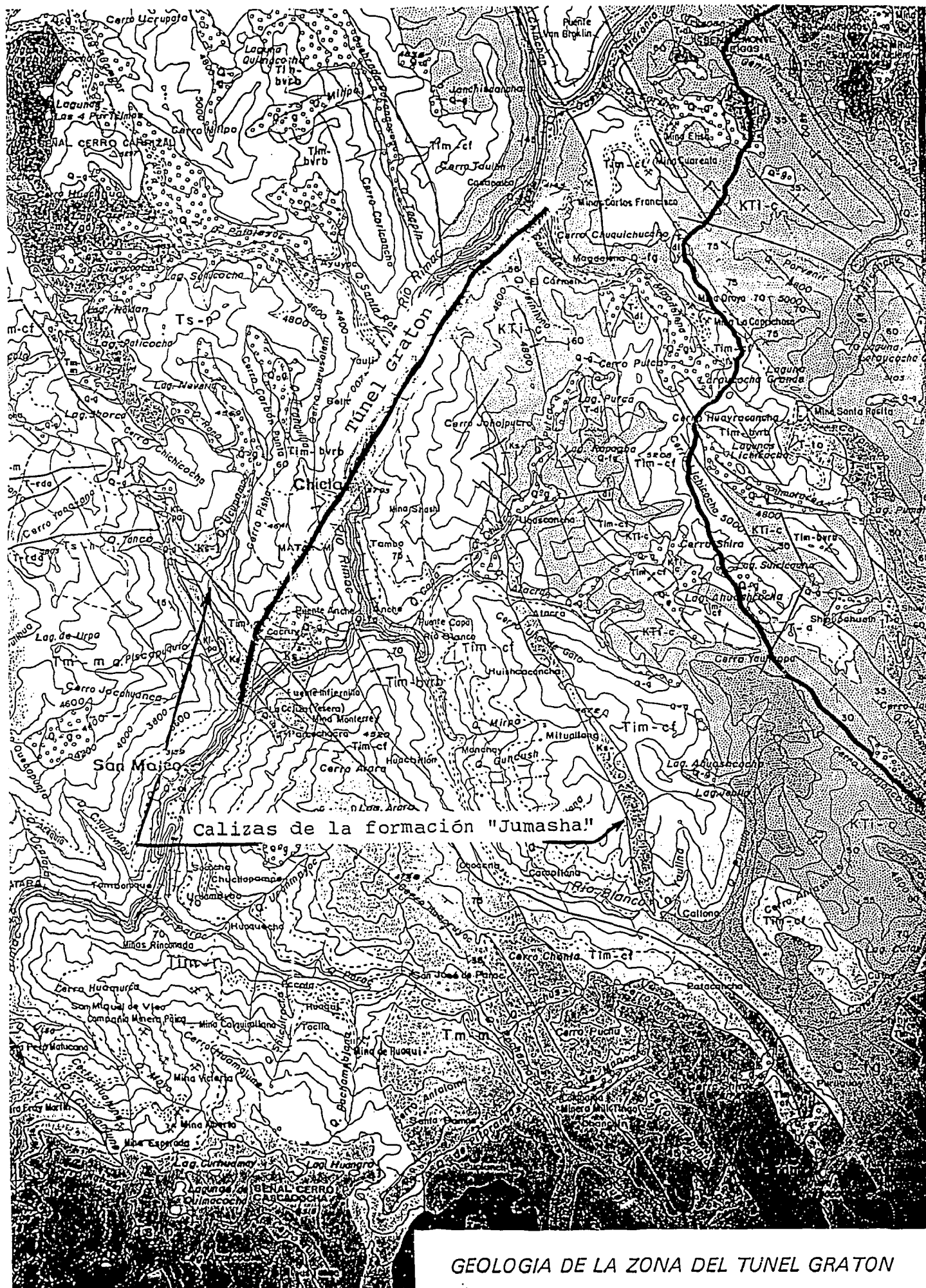
RECONOCIMIENTO:

Al Organismo Internacional de Energía Atómica - Sección Hidrología Isotópica que brindó la cooperación técnico-económica para el desarrollo de los estudios.

A los funcionarios y técnicos de las empresas ELECTROLIMA y CENTROMIN PERU, en especial a los Ing. R. García Regal, S. Serrano y E. López por las facilidades brindadas para el desarrollo de los trabajos.

BIBLIOGRAFIA:

- 1.- Plata A., Rojas R. - Estudio del origen del agua en el túnel Graton e Hidrología Isotópica de la zona.
Informe de avance. Vienna, marzo 1993.
- 2.- INGEMMET.- Geología de los cuadrángulos Matucana y Huarochirí - Lima, 1983.
- 3.- ELECTROPERU - Proyecto "Sheque" de Transvase del Mantaro
Lima, 1983
- 4.- Grilli A. - Informe Técnico de misión - Proyecto ARCAL XIII "Estudio del acuífero de Lima" - Lima, 1991.
- 5.- IAEA - Stable isotope hydrology, TRS 22
Vienna, 1981.
- 6.- Ruiz J.C. - Informe de avance - Proyecto ARCAL XIII
"Estudio del acuífero de Lima" Lima, 1992.



AGUAS SUPERFICIALES (RIOS)

VARIACION CON LA ALTITUD

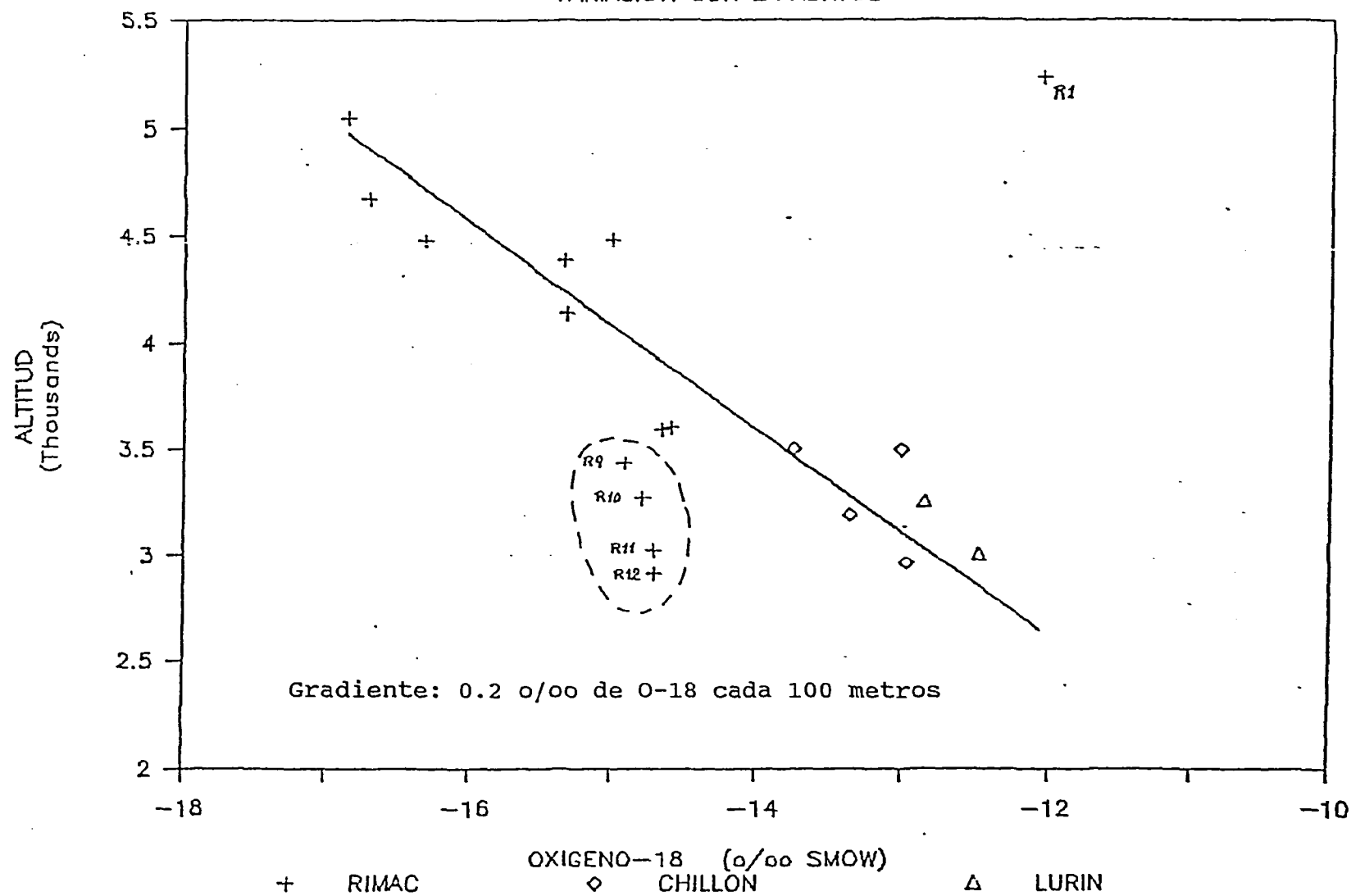
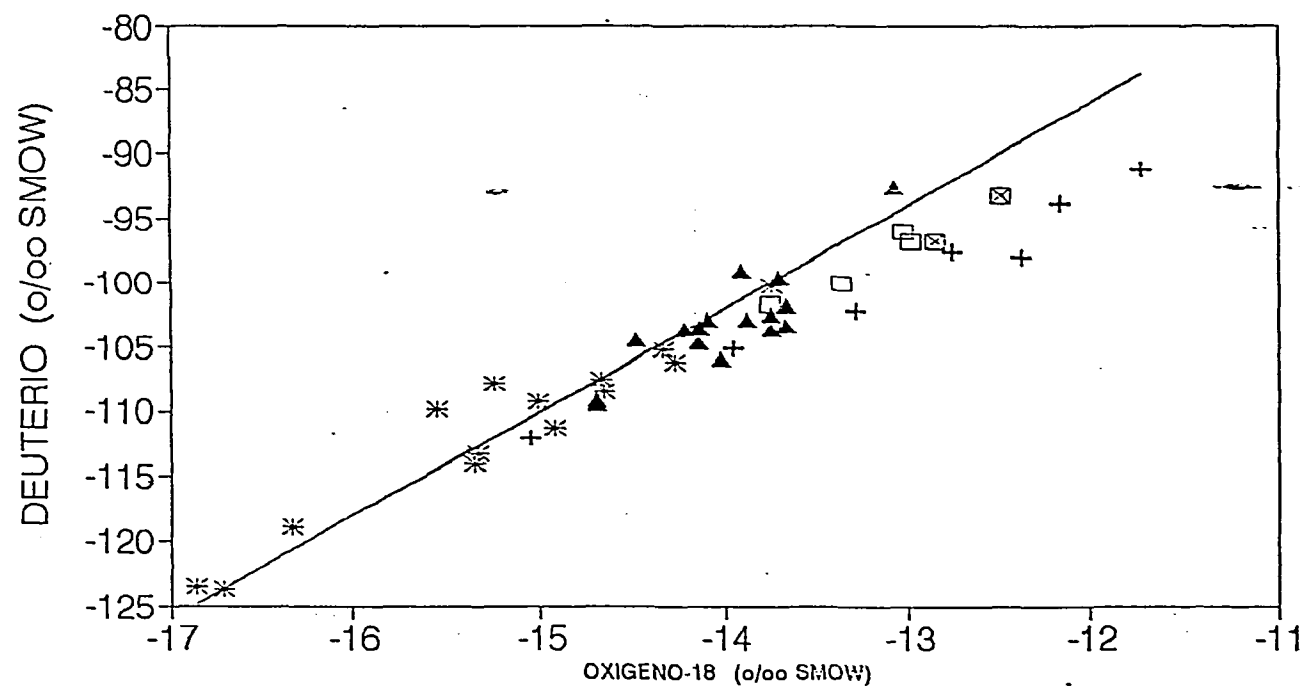


GRAFICO 1.

AGUAS SUPERFICIALES - LIMA CONTENIDO ISOTOPOS ESTABLES



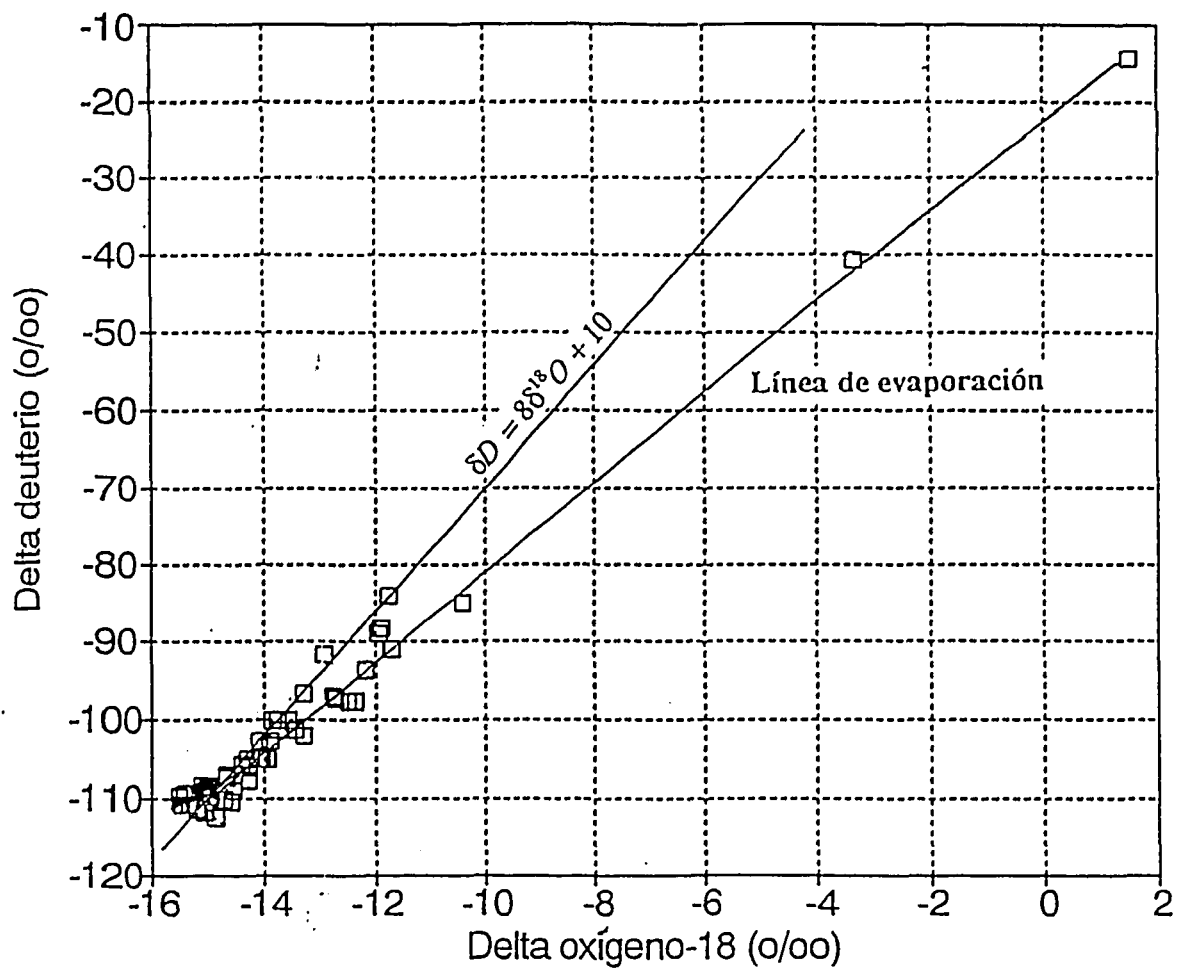


DIAGRAMA OXIGENO 18 - DEUTERIO. PERIODO: MAY. JUN. AGO. SET. 1992

GRAFICO 3

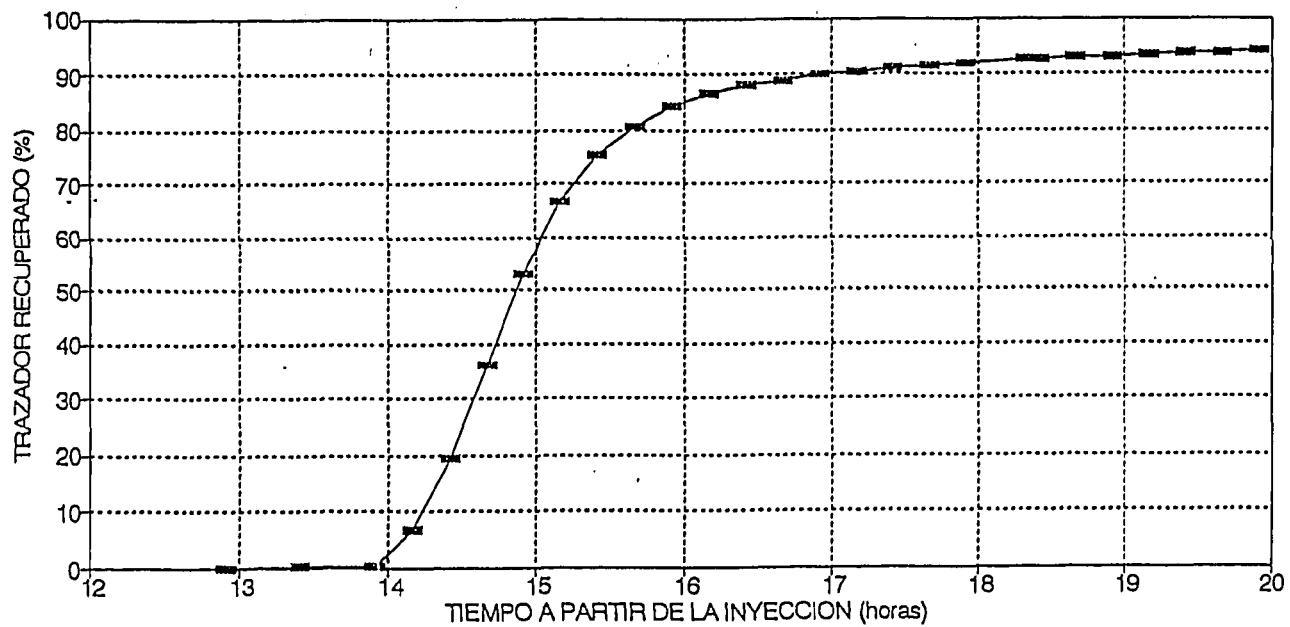


GRAFICO 4 Curva acumulativa que refleja el paso del trazador por la estación de control del río Blanco

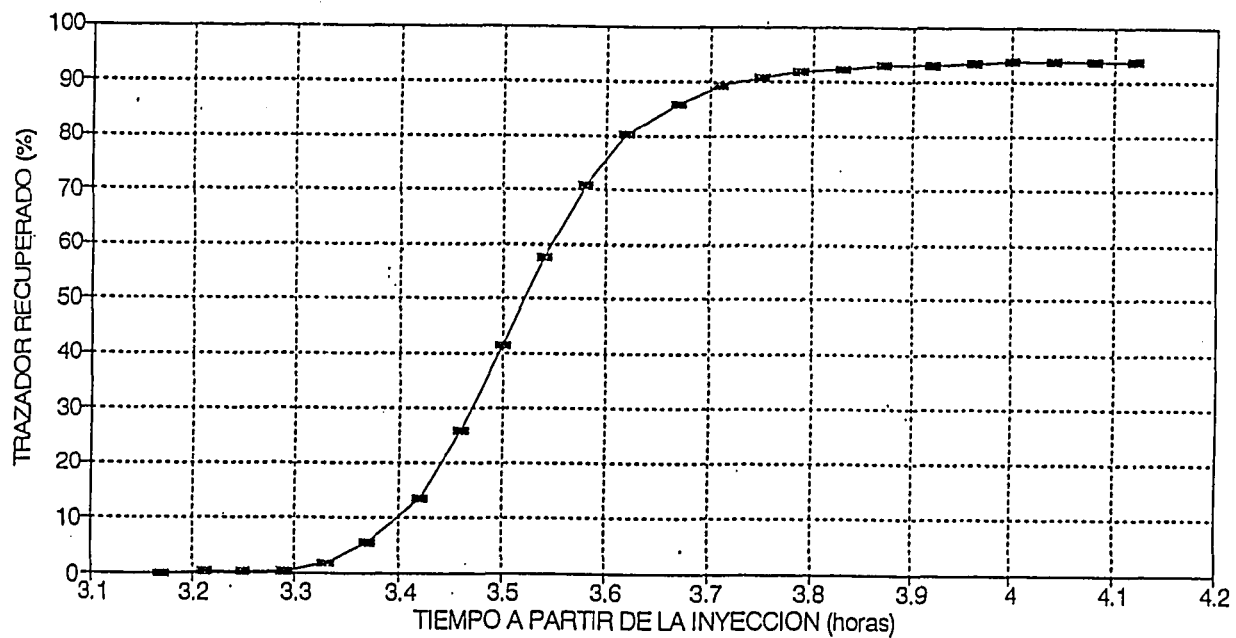
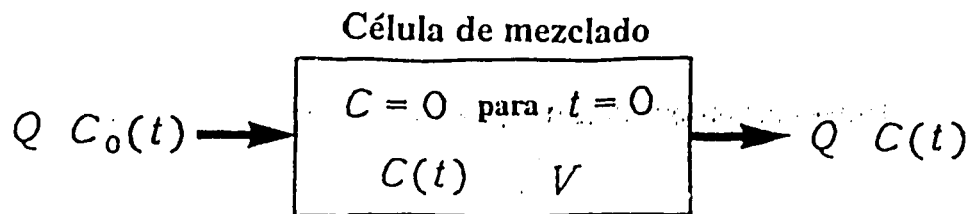


GRAFICO 5 Curva de paso del trazador por la estación de control del río Rimac.



$$QC_o(t) - QC(t) - \lambda VC(t) = V \frac{dC(t)}{dt}$$

Entrada - Salida - Desintegración = Variación

$$V \frac{dC(t)}{dt} = QC_o(t) - V \left(\frac{Q}{V} + \lambda \right) C(t)$$

$$\text{Tiempo de renovación} = \frac{V}{Q} = \tau$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{C_o(t) - (1 + \lambda\tau)C(t)}{\tau}$$

Solución

$$C_t = \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^t C_o(t') \exp \left[-\frac{1 + \lambda\tau}{\tau} (t - t') \right] dt'$$

t = tiempo presente t' = tiempo pasado ($t' < t$)

GRAFICO 6 . Modelo exponencial de renovación (también llamado modelo de mezcla total).

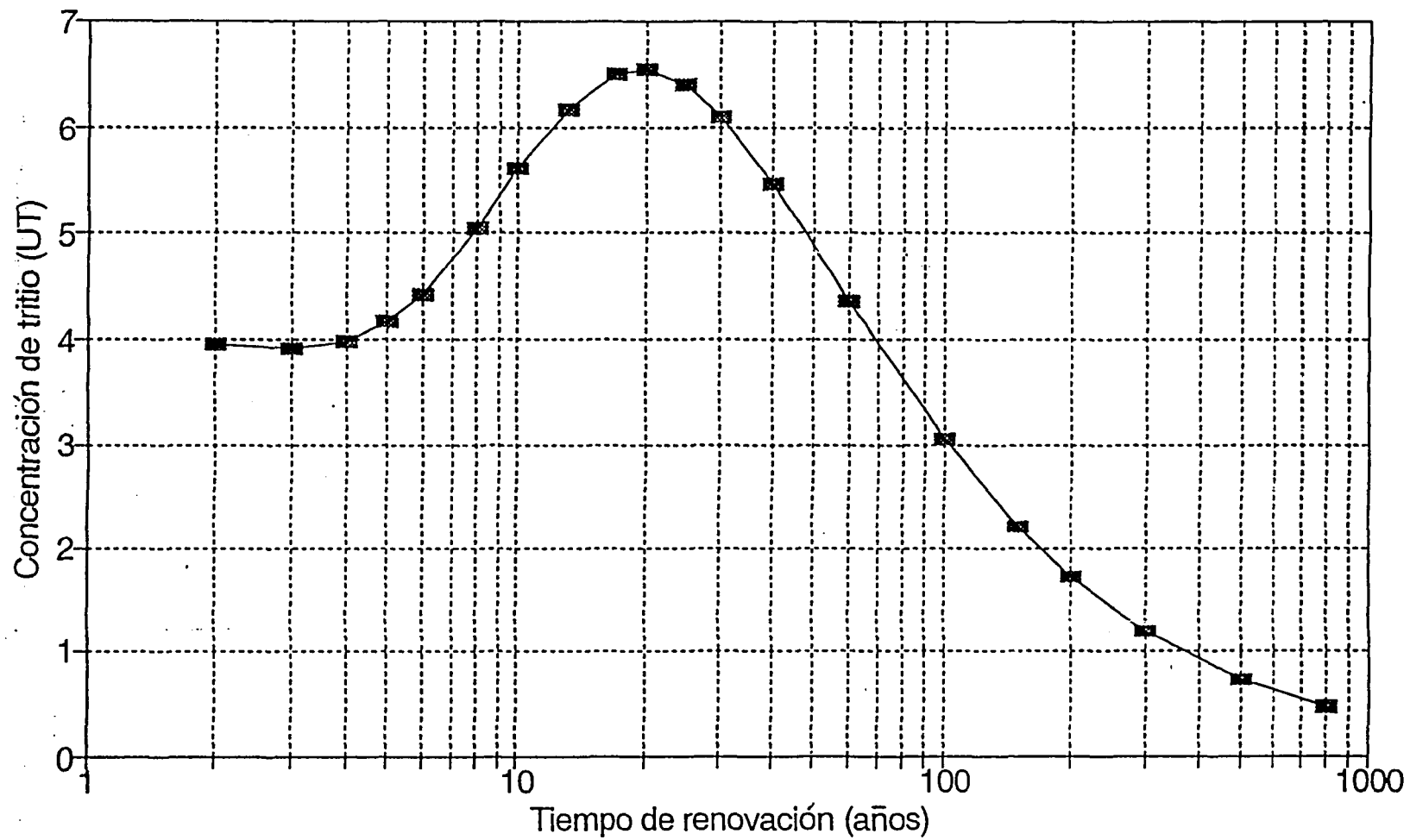


GRAFICO 7 Variación de la concentración de tritio en función del tiempo de renovación suponiendo que se cumple el modelo de mezcla total (modelo exponencial).

TABLA 1

Medidas de conductividad en muestras de agua de la zona próxima al túnel Graton.

PUNTO	FECHA DE MUESTREO	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Túnel Graton en boca de salida	Sept. 1992	990
Túnel Graton en boca de salida	24-10-1992	1045
Túnel Graton, afloramiento a 0.5 km	Sept. 1992	816
Túnel Graton, afloramiento a 2.5 km	Sept. 1992	665
Pozo de embotelladora San Mateo	22-10-92	730
Río Rimac aguas arriba túnel Graton	Sept. 1992	285
Río Rimac aguas arriba túnel Graton	24-10-92	492
Río Rimac aguas abajo túnel Graton	24-10-92	872
Río Rimac aguas arriba río Blanco	Sept. 1992	635
Río Rimac en Matucana	24-10-92	880
Manantial de Matucana número 1	24-10-92	640
Manantial de Matucana número 2	24-10-92	870
Río Blanco en nacimiento	Sept. 1992	230
Río Blanco en campamento de presa	22-10-92	372
Quebrada Cutay	Sept. 1992	316
Quebrada Cutay	22-10-92	338
Río Blanco en desembocadura	22-10-92	350

TABLA 2

Resultados del análisis químico de una muestra de agua tomada a la salida del túnel Graton tomada con fecha 23 de Octubre de 1992 (componentes mayoritarios).

ANION	CONCENTRACION		CATION	CONCENTRACION	
	(ppm)	(meq/l)		(ppm)	(meq/l)
CO_3^{2-}	0	0	Ca^{2+}	128.8	6.43
HCO_3^-	197.9	3.24	Mg^{2+}	10.1	0.83
Cl^-	38.0	1.07	Na^+	32.3	1.40
NO_3^-	0	0	K^+	4.7	0.12
SO_4^{2-}	328.2	6.03	-	-	-
SiO_2	14.3	0.24	-	-	-
TOTAL (meq/l)		11.15	TOTAL (meq/l)		8.79

Conductividad: 924 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pH = 7.77

Resultados del análisis químico de una muestra de agua tomada a la salida del túnel Graton en Febrero de 1990 por J.C. Ruiz.

ANION	CONCENTRACION		CATION	CONCENTRACION	
	(ppm)	(meq/l)		(ppm)	(meq/l)
CO_3^{2-}	0	0	Ca^{2+}	129.8	6.48
HCO_3^-	77.7	1.23	Mg^{2+}	10.1	0.83
Cl^-	36.7	1.03	Na^+	27.9	1.21
NO_3^-	-	-	K^+	4.8	0.12
SO_4^{2-}	253.6	4.66	-	-	-
SiO_2	12.5	0.21	-	-	-
TOTAL (meq/l)		7.13	TOTAL (meq/l)		8.64

Conductividad: 811 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pH = 7.10

RESULTADO DE LOS ANALISIS DE ISOTOPOS ESTABLES Y TRITIO
RIO RIMAC - RIO BLANCO - TUNEL GRATON

PERIODO : MARZO 1989 - OCTUBRE 1992

TABLA 3

Codigo	Ubicacion	Fecha	Oxig. 18	Deuterio	Exceso D	Tritio
		muestreo	o/oo	o/oo	o/oo	U.T.

AGUAS RIO RIMAC - RIO BLANCO - TUNEL GRATON

TG2	Tunel Graton	15.02.90	-15.93	-115.6	11.8	4.2
GRA01	Salida del Tunel Graton	02.06.92	-15.50	-110.8		3.6
GRA02	Tunel Graton : filt. 0.5 Km.	02.06.92	-15.09	-109.6		4.8
GRA03	Tunel Graton : filt. 2.5 Km.	02.06.92	-15.06	-109.4		5.3
GRA04	Tunel Graton : filt. 7.6 Km.	02.06.92	-14.95	-109.7		
ASE03	Tunel Graton	07.08.92	-15.52	-110.8	13.4	
ASE14	Tunel Graton	10.08.92	-15.11	-108.4	12.4	
GRA06	Tunel Graton	01.10.92	-15.42	-109.6	13.8	3.1
TG1	Rimac antes de Tunel Graton	15.02.90	-15.02	-109.3	10.9	4.0
GRA07	Rimac antes del Rio Blanco	10.10.92	-13.86	-100.2	10.7	4.1
GRA08	Rimac antes de Tunel Graton	07.10.92	-12.91	-92.0	11.3	
GRA09	Rio Blanco antes Rimac	26.04.89	-16.71	-123.7	10.0	
GRA10	Rio Blanco antes Rimac	28.04.92	-14.68	-107.6	9.8	
GRA11	Rio Blanco antes Rimac	07.08.92	-14.34	-105.3	9.4	

RESULTADO DE LOS ANALISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES Y TRITIO

PERIODO : ABRIL 1989 - FEBRERO 1990

Tabla 4

Codigo	Ubicacion	Fecha	Oxig. 18	Deuterio	Exceso D	Tritio	Altitud
		muestreo	o/oo	o/oo	o/oo	U.T.	m.s.n.m

MANANTIALES

MO1	Rim. Huachipa	23.03.90	-13.72	-100.1	9.7	5.5	
MO2	Rim.S.E.Las Quiscas	15.02.90	-14.08	-105.0	7.6		
MO3	Rim.S.M.Km. 52 Sn.Bartolo	15.02.90	-13.15	-95.8	9.4		
MO4	Rim.Km. 60 Pte. Carrion	15.02.90	-6.18	-45.3	4.1		
MO5	Rim.Km. 70 Pte. Somb. Bajo	15.02.90	-11.98	-88.9	6.9		
MO6	Rim.Km. 70 Pte. Somb. Alto	15.02.90		-94.5			
MO7	Rim.Km. 76 Pte. Matucana	15.02.90	-12.60	-91.4	9.4		
TG2	Tunel Graton	15.02.90	-15.93	-115.6	11.8	4.2	
SM1	Man. Emb. Sn. Mateo Km. 100	15.02.90	-16.03	-115.4	12.8	4.1	
SM3	Man. Pob. Sn. Mateo Km. 100	15.02.90	-5.91	-44.9	2.4		
MO8	Rim.Km. 72 Pte. Andahuara	15.02.90	-14.15	-104.5	8.7		
MO9	Manantial Chillon El Pinar	07.02.90	-12.43	-94.2	5.2		
MO8	Man. Chillon Punchauca	21.09.89	-12.68	-95.5	5.9		

AGUAS SUPERFICIALES RIO RIMAC

TG1	Rimac antes de Tunel Graton	15.02.90	-15.02	-109.3	10.9	4.0	4,480
ARI01	Laguna Ticticocha	26.04.89	-12.06	-100.8	-4.3		5,228
ARI02	Casapalca	26.04.89	-16.86	-123.6	11.3		5,048
ARI03	Rio Blanco	26.04.89	-16.71	-123.7	10.0		4,675
ARI04	Rimac antes de San Mateo	26.04.89	-16.33	-119.0	11.6		4,480
ARI05	Afluente en Qda. Parac	26.04.89	-15.35	-114.0	8.8		4,385
ARI06	Rimac en Matucana	26.04.89	-15.33	-113.3	9.3		4,140
ARI07	Rimac en San Bartolome	26.04.89	-14.67	-108.5	8.9		3,588
ARI08	Santa Eulalia en Callahuanca	28.04.89	-14.61	-108.9	8.0		3,600
ARI09	Rimac antes de Santa Eulalia	28.04.89	-14.92	-111.2	8.2		3,435
ARI10	Rimac en Puente Los Angeles	28.04.89	-14.79	-109.9	8.4		3,265
ARI11	Rimac en la Atargea	28.04.89	-14.71	-109.4	8.3		3,023
ARI12	Rimac Puente Ventanilla	28.04.89	-14.71	-109.2	8.5		2,910