

M.H. 01401

**CUBETA DE QUITO: COMPORTAMIENTO GENERAL
Y PROBLEMATICA DE LA RECARGA NATURAL
DEL ACUIFERO**

J.F. ARANYOSSY

Organismo Internacional de Energía Atómica,
Viena

P. POURRUT

Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération,
Quito, Ecuador

A. MALDONADO

Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos,
Quito, Ecuador

Resumen-Abstract

**CUBETA DE QUITO: COMPORTAMIENTO GENERAL Y PROBLEMATICA DE LA RECARGA
NATURAL DEL ACUIFERO.**

El estudio isotópico del acuífero de Quito ha sido realizado en base de los contenidos de isótopos ambientales (O-18, H-2, H3, C-14) en complemento a las investigaciones hidrogeológicas convencionales. Se diferenciaron dos sistemas de recarga del acuífero: (1) En la parte Norte la circulación es de tipo hipodérmico a través del flanco oriental del Pichincha y la recarga natural hacia el acuífero se efectúa por infiltración directa de las precipitaciones y de los escorrentías provenientes del volcán; (2) En la Sur, la infiltración es más efectiva en las partes altas y la circulación, más profunda, es de tipo regional.

QUITO VALLEY: GENERAL BEHAVIOUR AND PROBLEMS OF NATURAL AQUIFER RECHARGE.

The environmental isotopic study of the Quito aquifer system, performed to complement the conventional hydrogeological survey, led us to the identification of two different recharge processes: (1) In the north, the water circulation is of "hypodermic" type on the flank of the volcano Pichincha and the recharge of the aquifer is mainly due to direct infiltration of rainwater and surface water; (2) In the south, the infiltration is more effective in the highest part of the mountain and the aquifer recharge derives from deep groundwater circulation.

I INTRODUCCION

Ubicada al pie del volcán Pichincha en una estrecha grada lateral del callejón interandino entre las cotas 2.750 y 2.900 m.s.n.m., la ciudad de Quito, con una población de cerca de un millón de habitantes, se extiende según un eje Norte-Sur por más de 30 km. de largo y solo 4 km de ancho.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 3974

305

Cote : B

17 3 JUIN 1994

Un 25% de abastecimiento total de agua potable a la ciudad (800 l/s) procede de las aguas subterráneas explotadas en los acuíferos ubicados en el área urbana. El descenso generalizado del nivel piezométrico observado desde una decena de años pone de relieve el desequilibrio del balance hídrico subterráneo y el agotamiento de las reservas.

Como un complemento a estudios hidrogeológicos anteriores [1], llevados a cabo en las cuencas hidrográficas del río Monjas al norte y del río Machangara al sur (fig. 1), se consideró oportuno aplicar técnicas basadas en los isótopos ambientales del agua para tratar de conocer los mecanismos que rigen la infiltración y el trayecto de los flujos en los acuíferos.

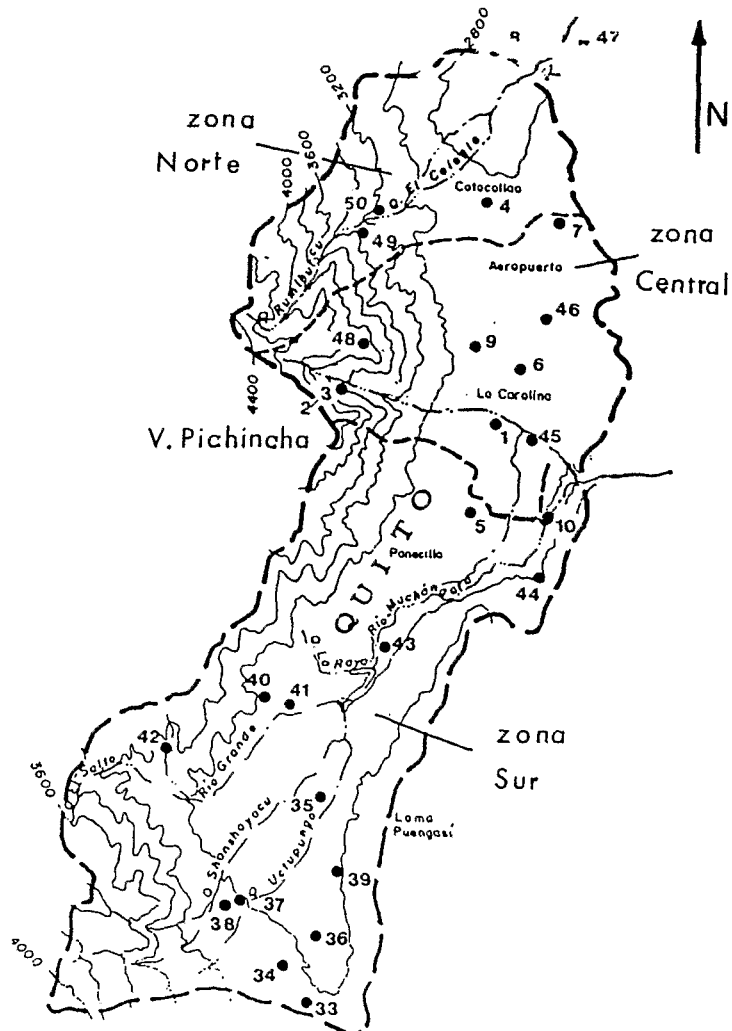


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

●: puntos muestreados

II - CONTEXTO GENERAL

II.1 - Geodinámica

La zona de estudio está ubicada en una fosa de hundimiento lateral secundario en el sector occidental del callejón interandino. Dicho callejón corresponde a un graben formado durante la orogénesis andina y recortado por fallas que delimitan bloques hundidos o levantados [2] (Fig.2). El límite

Oeste lo constituye el volcán Pichincha cuyo aparato lo conforman un volcán activo, el Guagua Pichincha, y otros centros apagados tales como el Ruco Pichincha y el Condorhuachana.

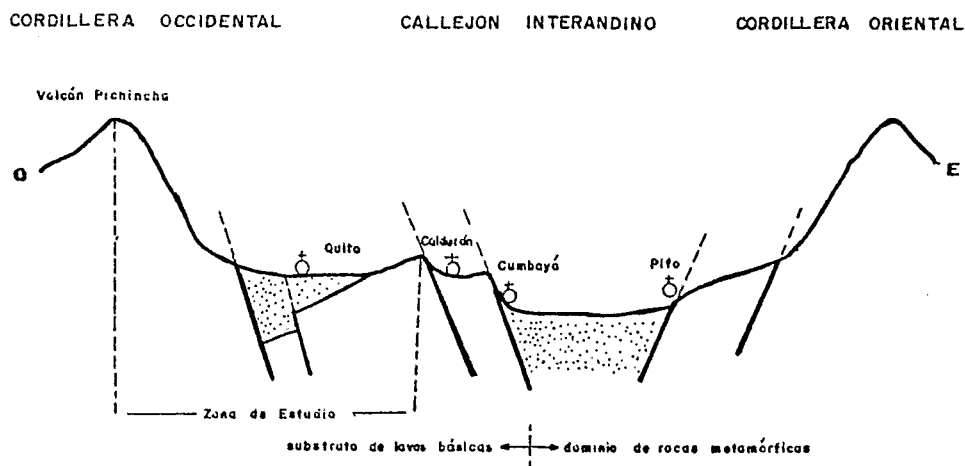


Figura 2. Corte esquemático a través del Callejón Interandino.

En su conjunto las formaciones que constituyen el área son de origen volcánico que se separan en tres fases principales:

- En el Cretácico: Constitución de un substrato de lavas básicas (diabasas, doleritas, etc.) posteriormente levantado y fuertemente inclinado en el transcurso de la orogénesis de la Cordillera (formación Macuchi).

- En el Terciario: Fase de volcanismo fisural que se manifiesta por coladas de lavas, principalmente andesíticas.

- En el Pleistoceno y Cuaternario: Fase de volcanismo principalmente explosivo con proyección de un importante material piroclástico (bombas, lapillis, polvos y cenizas). Además, tres importantes glaciaciones son responsables de varios períodos de erosión intensa materializados por la alternancia de depósitos volcánicos, eólicos (generalmente impermeables) y fluviolacustres (en gran parte permeables). Estos sedimentos conforman la roca reservorio del acuífero.

II.2. - Hidrogeología

Se consideran tres unidades hidrogeológicas (Fig. 1):

- El acuífero Norte, limitado por la cuenca superior del río Monjas y drenado por la quebrada del Colegio. Su límite Sur, tipográficamente poco marcado, está ubicado en un eje Aeropuerto-barrio de Cotocollao.

- El acuífero Central, que es drenado por la quebrada del Batán es el lugar donde convergen la red de alcantarillado y varios colectores pluviales. Aunque la quebrada se une río abajo con el río Machángara, el acuífero central es totalmente independiente de éste y está separado de él por los relieves transversales del Panencillo y de la Loma Puengasi.

- El acuífero Sur, está constituido por la parte superior de la cuenca hidrográfica del río Machangra, que abandona la cuenca por un valle estrecho y profundo. A lo largo de éste, no se observa ninguna zona de

CUADRO I. ACUIFERO QUITO

NO.	CARACTERISTICAS DEL PUNTO							MUESTREO					
	EQUA	Localización	No Inventario	Tipo	Altitud de Suelo	Prof. total	Niveles cribas	Caudal o n.p.	Fecha	Temp. °C	pH	Cond. µS	Alc meq/l
1		Shyris/Rumipamba	1	P	2766	110	38-106	34 m	26/3/84	18	7	330	116
2		Rio Ingapirca	112	V	3400				26/3/84	10	8,2	91	
3		Rumanaccha	112	V	3400				26/3/84	10	7,5	186	
4		Jorge Drow	13	P	2815	105	74-105		26/3/84	16,7	7,4	374	
5		Fosh/R. Victoria	12A	P	2783	98	69-95	32 m	26/3/84	16,5	7,4	460	
6		Shyris/N. Unidades	10	P	2781	93	46-91		27/3/84	17,5	7		329
7		California alto	133	P	2854	130			27/3/84	17,3	7,4	277	
8		Colegio militar	182	P	2698				27/3/84	17	7,2	273	
9		Jorge Drow	11	P	2783				27/3/84	18,5	6,8	554	
10		Vertiente Guápulo	116	V	2652			30 l/B	27/3/84	14,7	7	253	
33		Fábrica Alambrec	166	P	3018	155			13/4/84	15	6,1	625	
34		Fábrica Borden	175	P	3000	84	31-84		16/4/84	15	6,4	549	
35		Fábrica Playwood	170	P	2898	86	42-66		17/4/84	17	6,4	275	
36		Beaterio	178	P	2961	82	27-79		18/4/84		6,5		
37		Hacienda la isla	91	V	2978				18/4/84	13	6,2	160	
38		Cas. la concordia	92	V	2980				18/4/84	13,3	5,9	145	
39		Hacienda el conde	103	V					19/4/84	14	6,6	190	
40		Calle Ambuquí	173	V	2860			0.5 l/B	19/4/84	19	7,6	482	
41		Calle Huigra	73	P	2858	200			19/4/84	18,5	7,1	770	
42		Hacienda Chela	98	V					19/4/84	16,5	8	125	
43		Calle Maldonado	163	P	2818	156			19/4/84	16,5	6,8	405	
44		Quebrada el Volcán	108	V	2931				04/5/84	14	5,3	170	
45		6 de Diciembre	70-71	P	2773	110			04/5/84	17	6		
46		6 Diciembre/Inca	30	P	2790				04/5/84	17	8,4	350	
47		Cuartel Policía	123	V	2565				04/5/84	12	7	354	
48		Urban. el Pinar	113	V					07/5/84	12	6	940	
49		Hacienda Atucucho	119	P					07/5/84	12	6	120	
50		Santa Anita	120	V					07/5/84	12	5,8	168	

CUADRO II. ACUIFERO QUITO — RESULTADOS DE LOS ANALISIS ISOTOPICOS

MUESTRA		0-18	² H	³ H	C-14	C-13	"Edad"	Error	Estimación de
No.	Localización	‰	‰	U.T	pmc	‰	años	(2σ)	la zona de recarga (m)
EQUA 1	Shyris/Rumipamba	-11.5	-85.4	0.2	92 ± 1.2	-14.14	actual	2200	3000 - 3300
2	Río Ingapirca	-12.04	-88.2	7.4					
3	Rumanaccha	-12.63	-91.4						
4	Jorge Drow	-10.99	-83.2	0	68.2 ± .9	-13.55	1400	2200	2800 - 3200
5	Posh/R. Victoria	-10.76	-81.7	2.8					2800 - 3100
6	Shyris/N. Unidades	-11.14	-85.1	1.1	89.2 ± 1.8	-14.06	actual	2200	2900 - 3300
7	California alto	-11.26	-83.7	0					2900 - 3200
8	Colegio militar	-11.69	-87.3	0.5	92.5 ± 2.4	-14.3	actual	2200	3000 - 3400
9	Jorge Drow	-11.13	-84.8	2.6					2900 - 3300
10	Vertiente Guápulo	-11.51	-85	0	88.7 ± 1.1	-15.8	500	2100	3000 - 3300
33	Fábrica Alambrec	-12.21	-86.7	0.6	5.2 ± 0.3	- 6.93	17100	3300	3100 - 3500
34	Fábrica Borden	-11.9	-84.4	0	10.9 ± 0.4	- 8.16	12300	3000	3050 - 3350
35	Fábrica Playwood	-11.51	-82.5	1.3	55.3 ± 0.1	-11.87	2000	2000	3000 - 3200
36	Beaterio	-11.9	-85.5	0					3050 - 3350
37	Hacienda la isla	-11.46	-82.1	2.3					
38	Cas. la concordia	-11.35	-81.5	3.2					
39	Hacienda el conde	-10.78	-79.6	4.3					2800 - 3100
40	Calle Ambuquí	-11.36	-85.9	0.4					2950 - 3300
41	Calle Huigra	-11.46	-84.6	0.5					3000 - 3250
42	Hacienda Chela	-11.36	-85	6.3					2900 - 3300
43	Calle Maldonado	-11.5	-82.3	0.2					2950 - 3200
44	Quebrada el Volcán	-10.66	-77.8	9					
45	6 de Diciembre	-11.15	-82.1	0.7					2900 - 3150
46	6 Diciembre/Inca	-11.45	-83.8	0.8	81.4 ± 0.1	-13.93	200	2000	2950 - 3200
47	Cuartel Policía	-11.91	-85.4	1					3100 - 3400
48	Urban. el Pinar	-12.16	-86.7	8					3100 - 3500
49	Hacienda Atucucho	-12.28	-88.1	7.7					3150 - 3550
50	Santa Anita	-11.75	-84.5	2.5					3000 - 3300

rezumamiento o de emergencia proveniente del acuífero central lo que confirma la impermeabilidad de la zona oriental al nivel Panecillo-Loma-Puengasi. Hay que recalcar que los abundantes manantiales observados en el valle del Machángara (mas de 100 l/s en El Sena y en Gapulo) provienen de coladas andesíticas muy fracturadas que desempeñan el papel de drenajes privilegiados.

III ESTUDIO ISOTOPICO - DEFINICION DE LOS PROCESOS DE RECARGA NATURAL

Se recolectaron entre Marzo y Mayo 1984, 28 muestras de agua en pozos y manantiales cuya ubicación se indica en la figura 1. Las características de los puntos muestrados se presentan en el cuadro I con las mediciones de los parametros físico-químicos tomados en el campo. Los resultados de los análisis isotópicos, realizados en el laboratorio de Hidrología del OIEA en Viena, se encuentran en el cuadro II. La precisión analítica es de 0.1% para las mediciones del Oxígeno-18, de 1% para el Deuterio y de 1 U.T. para el Tritio. Las actividades en Carbono-14 estan dadas con los errores de medición.

III. 1. - Las precipitaciones

a) Generalidades:

La zona de Quito esta sometida al régimen de lluvias observado en el callejón interandino, con dos estaciones húmedas - de febrero a mayo y de octubre a noviembre - que corresponden a la influencia alterna de masas de aire pacífico y amazónico [3]. Sin embargo, la ubicación de la ciudad en relación con el volcán Pichincha desempeña un papel importante ya que dicho volcán hace pantalla a los vientos del Sur-Oeste, lo que explica que en la zona Norte se observe una menor pluviometría. El gradiente pluviométrico del Norte hacia el Sur es excepcionalmente fuerte ya que la precipitación anual pasa de 600 mm a 1.400 mm en una distancia aproximada de 16 km.

En la estación de Izobamba, ubicada 13 km al sur de Quito, se dispone de un crónica de medición de los contenidos en isótopos estables (O-18 y H-2) y en Tritio (H-3) de las precipitaciones [4]. Estas mediciones fueron realizadas en muestras de lluvia acumulada en períodos mensuales. Paralelamente se dispone de las informaciones referentes a las temperaturas y precipitaciones medias mensuales.

b) Características isotópicas de las precipitaciones:

- La composición en isótopos estables de las precipitaciones (oxígeno-18 y deuterio teniendo ambos similar evolución), muestra una variación estacional que no parece estar directamente vinculada con la temperatura ni con la pluviometría mensual. En efecto, se observa en la figura 3 un desfase de 3 meses entre el mínimo de temperatura y el de contenido de oxígeno-18. Este desfase tiene relación con el origen geográfico del vapor atmosférico que genera las lluvias (variaciones en la influencia de la humedad que proviene de la cuenca amazónica y la que proviene de la costa del Pacífico).

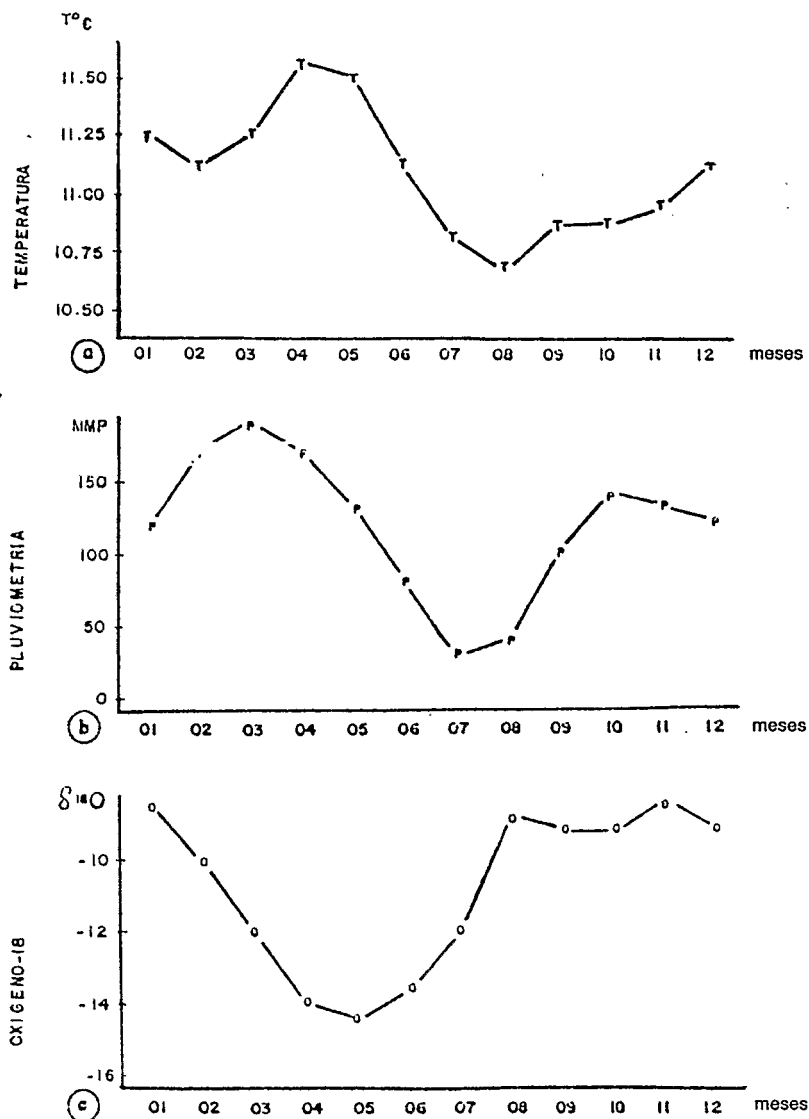


Figura 3. Variación estacional de los valores mensuales de temperatura, pluviometría y contenido en oxígeno-18 de las lluvias.

- El promedio registrado en 108 muestras mensuales es de $-10,28\text{‰}/\text{SMOW}$ para el oxígeno-18 (d.s. = 3,4) y de $-76,8\text{‰}/\text{SMOW}$ para el deuterio. La correlación deuterio/oxígeno-18 da una recta de ecuación:

$$\delta D = 8,00 \delta^{18}O + 11,64$$

muy cerca a la recta meteórica mundial ($\delta D = 8 * \delta^{18}O + 10$). En ningún periodo del año los puntos se separan de la línea, por lo tanto la atmósfera está siempre suficientemente saturada en humedad para permitir el equilibrio entre el agua y el vapor atmosférico. Ninguna evaporación afecta a las gotas de lluvia mientras atraviesan la atmósfera.

- Los valores registrados del tritio disminuyen progresivamente desde 1978 para alcanzar un promedio anual actual del orden de 10 UT. No se conoce el valor del máximo de los años "63-64" pero se puede estimar (en referencia a la estación de Pretoria) a unos 30 UT.

III. 2 Interpretación de los contenidos en isótopos estables en los acuíferos

Los contenidos en isótopos estables varían en un intervalo de aproximadamente 2 δ para el oxígeno-18 (de -12,63 a 10,66%/SMOW) y de 14 δ para el deuterio (de -91,4 a -77,8%/SMOW); intervalo más reducido del que podría dejar suponer el simple efecto de altura en las faldas del volcán Pichincha [5].

a) Forma de recarga del acuífero

A primera vista, aparece una diferencia muy notable en la composición isotópica entre el acuífero Norte + Centro y el acuífero Sur; para el oxígeno-18 tenemos:

- en el acuífero Norte: entre - 11,50 y -10,70%/SMOW,
- en el acuífero Sur: entre -12,25 y -11,50%/SMOW.

En lo que se refiere a las muestras de agua de manantial, se observa una distribución invertida: en el acuífero Norte los manantiales presentan aguas más pobres que los pozos (-11,5 > $\delta^{18}O$ > -12,75) mientras que las del Sur se ven sistemáticamente enriquecidas en relación con los acuíferos captados por los pozos.

En el diagrama deuterio versus oxígeno 18 (figura 4a) los manantiales del acuífero norte se localizan en la recta meteórica. Por lo tanto, en el Pichinca, la infiltración parece producirse rápidamente, sin que la evaporación intervenga. Sin embargo, esta infiltración parece ocurrir únicamente en la franja superficial del volcán (parte fracturada y alterada). Los puntos correspondientes a los pozos del acuífero de Quito se ubican ligeramente por debajo de la recta meteórica. Todos los valores se ven enriquecidos con isótopos pesados en relación con el agua de los manantiales. Esto se puede interpretar de la manera siguiente:

- El agua del acuífero Norte y Centro de Quito tiene como principal origen la infiltración directa de las precipitaciones que se producen en el Valle y la piedomonte del volcán.

- Este agua sufre, durante la infiltración en la zona no saturada, una recuperación evaporante que afecta ligeramente el contenido isotópico.

- Una parte del caudal de los manantiales que fluye a través del valle participa también en la recarga de las capas por reinfiltración.

- No se ha evidenciado ninguna circulación profunda.

Por el contrario, en el acuífero Sur (figura 4b) la composición isotópica de los puntos sugiere una participación de agua infiltrada en alturas mucho más elevadas que la del valle. Los manantiales representan la salida natural a una circulación más restringida.

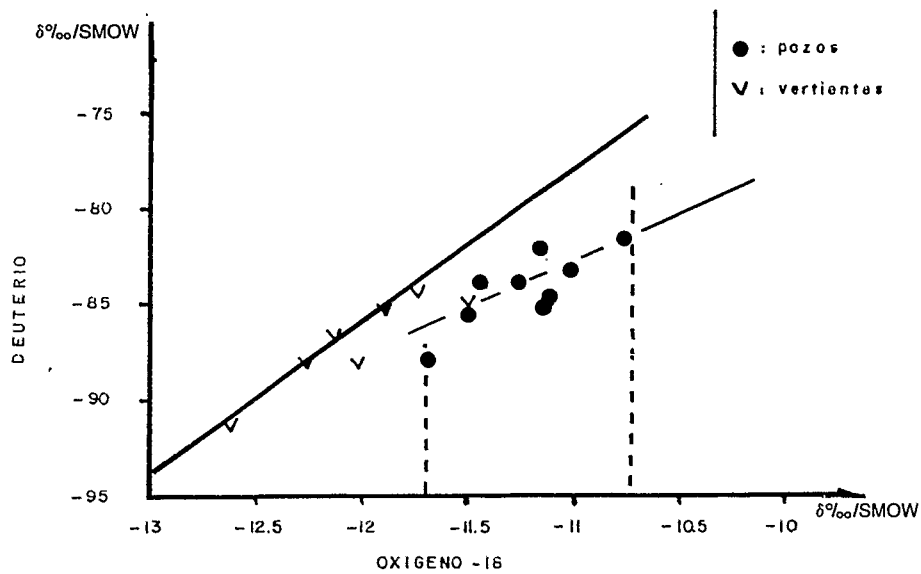


FIG.4a. ACUIFERO NORTE

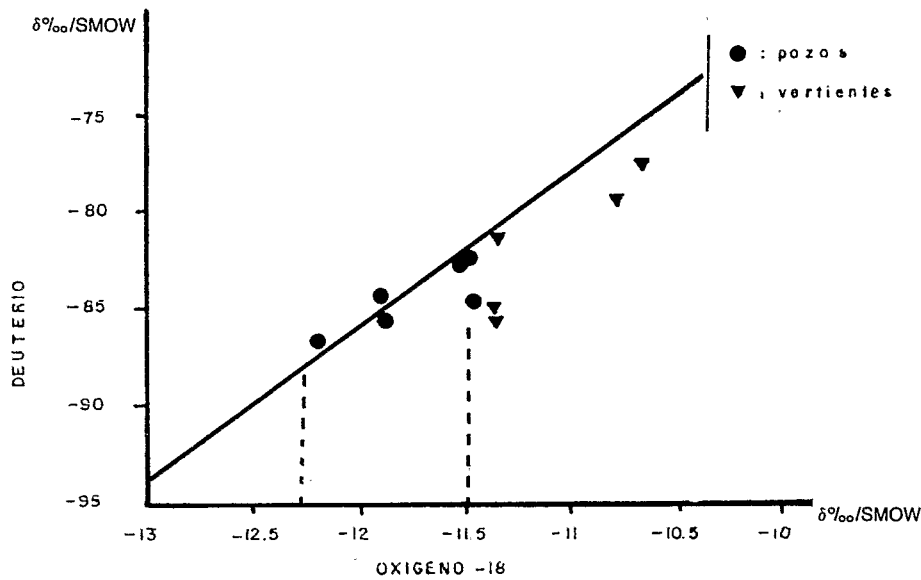


FIG.4b. ACUIFERO SUR

Figura 4. Relación deuterio/oxígeno-18 en el acuífero de Quito.

Los dos sistemas de circulación se han esquematizado en la figura No.5. La separación del acuífero de Quito en dos sub-unidades de a piezometría y la química, sino, además, por que la diferencia significativa en la composición isotópica. Esta separación corresponde a dos modelos diferentes de recarga y de circulación.

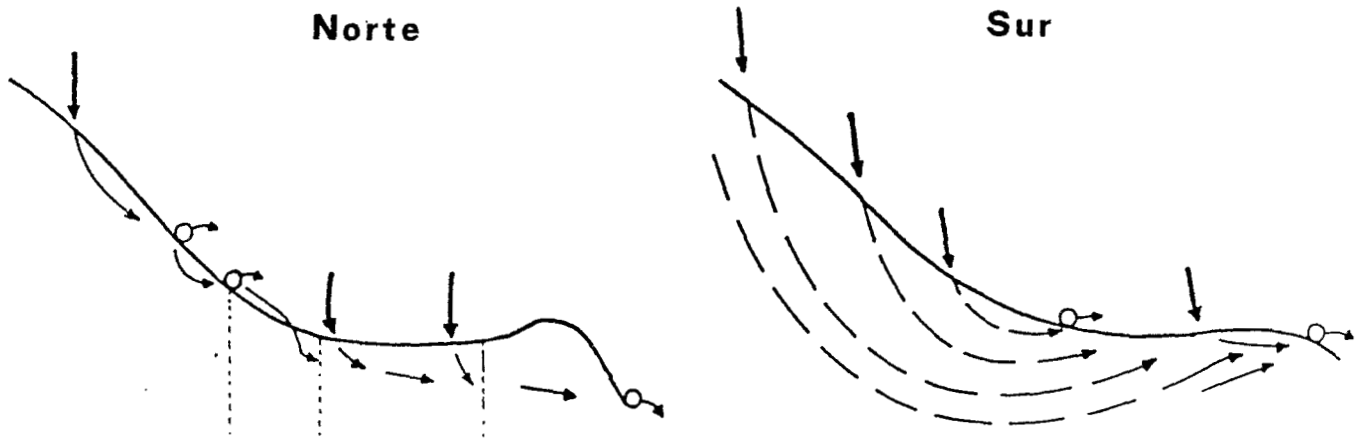


Figura 5. Comparación de la circulación entre los acuíferos Norte y Sur.

b) Estimación de la zona de recarga

La aplicación del gradiente altimétrico ($\text{Alt.}/\delta^{18}\text{O}$ ó $\text{Alt.}/2\text{H}$) es posible si se consideran las condiciones siguientes:

- El agua en el acuífero ha sido recargada en condiciones climáticas similares a las que reinan actualmente en la región;
- No existe mezcla de tipos de agua de origen diferente.

Para determinar el gradiente de altitud local, se han seleccionado manantiales a diferentes alturas en el valle de Quito y de los Chillos, los mismos que están alimentados por la infiltración de las precipitaciones en una cuenca reducida, sin participación de agua de origen diferente.

Para determinar el gradiente de altitud local, se han seleccionado manantiales a diferentes alturas en el valle de Quito y de los Chillos, los mismos que están alimentados por la infiltración de las precipitaciones en una cuenca reducida, sin participación de agua de origen diferente.

Al considerar los manantiales EQUA 2,3,13,14,17,31,37,38,44, (fig. 6) se obtiene el siguiente gradiente altimétrico:

$$^{18}\text{O} : -0,33^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ metros de elevación,}$$

$$2\text{H} : -2,5^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ metros de elevación.}$$

Se puede, a partir de la correlación inversa (determinada por el método de los mínimos cuadrados), estimar la altitud media de recarga (h) correspondiente a un agua de composición isotópica dada:

$$h = - 301,66 \times \delta^{18}\text{O} - 370$$

$$h = - 39,38 \times \delta 2\text{H} - 163$$

En el cuadro II se presentan las estimaciones realizadas a partir de la relación $\text{Altura}/\delta^{18}\text{O}$ y las de la relación $\text{Altura}/\delta^2\text{H}$. El resultado dado corresponde al reagrupamiento de las dos estimaciones, lo que, cuando las dos estimaciones no se superponen, da el más amplio margen posible. Esta estimación no sobrepasa generalmente los 400 metros de desnivel, salvo para los valores muy empobrecidos (EQUA 21 y EQUA 22) cuya altura de recarga está estimada entre 3300 - 3800 m.s.n.m. y 3400 - 3900 m.s.n.m., respectivamente.

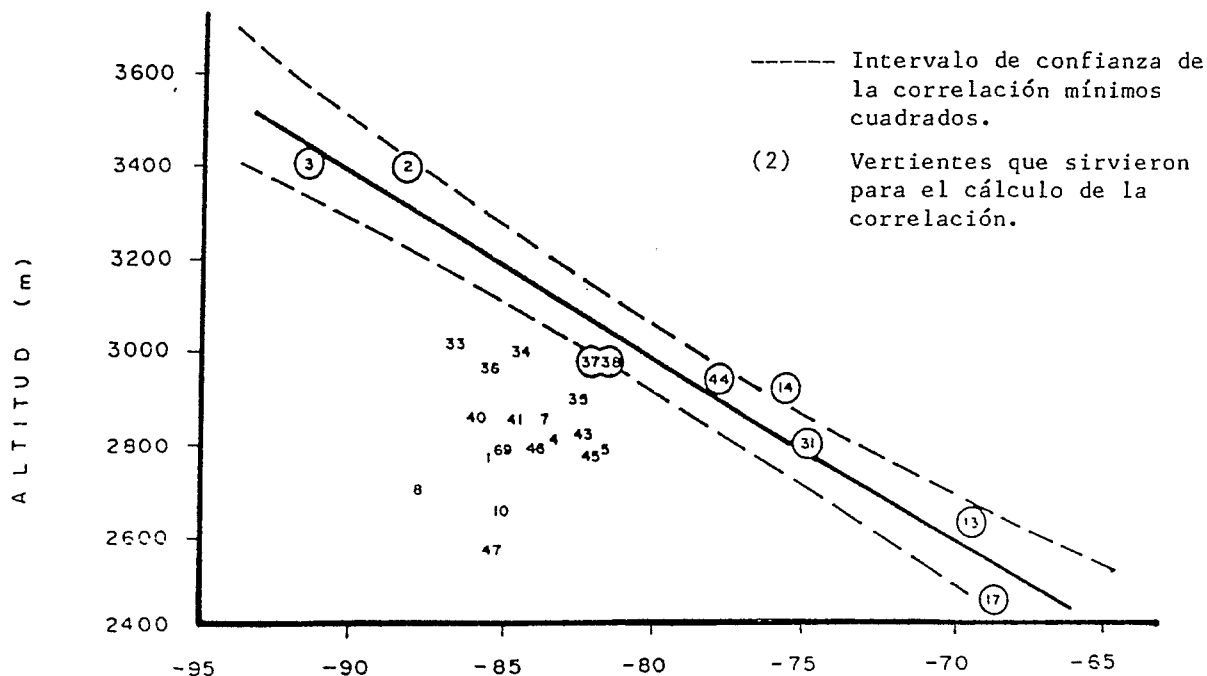


Figura 6. Gradiente altimétrico local.

III. 3 Resultados de los isotópos radioactivos

a) El tritio

- Los contenidos en tritio, alrededor de 6 a 9 U.T., confirman el carácter superficial de la escorrentía que originan los manantiales. Esto corresponde al drenaje de la circulación hipodérmica como es el caso de los manantiales de la vertiente del volcán Pichincha en el acuífero Norte (EQUA 2, 48, 49) y de los manantiales EUA 42, 44 en el acuífero Sur.

Los contenidos de tritio muy bajos o nulos corresponden a circulaciones más profundas que pueden mostrar aguas antiguas de varias decenas de años. El manantial de Guapolo (EQUA 10), por ejemplo ya no presenta actividad en tritio. El tiempo de permanencia es por lo tanto superior a 30 años. Esto confirma con la composición en isotópos estables, que el manantial drena al acuífero central de Quito por intermedio de su lado oriental. Se pueden aplicar las mismas conclusiones al manantial 123 (EQUA 47) salida natural del acuífero Norte.

En el acuífero Sur, el manantial No. 173 (EQUA 40) está alimentado de agua igualmente antigua (0,4 U.T.) que parece provenir de la subida del acuífero (por una falla). Efectivamente, es notable que estas aguas presenten las mismas características del pozo No. 73 (EQUA 41), con 200 metros de profundidad, situado aproximadamente al manantial.

Por último los manantiales que presentan contenidos entre 2 y 5 U.T. pueden presentar una mezcla entre una circulación hipodérmica (de aproximadamente 7 a 10 U.T.) y agua de origen más profundo.

Al adoptar este esquema, la contribución relativa de agua hopodérmica es más importante para el manantial No. 103 (EQUA 39) que para el manantial No. 91 (EQUA 37). Esto corresponde a la disposición de los puntos en el diagrama deuterio/oxígeno 18, que en este caso, se alinearía según una recta de mezcla.

En conclusión, los pozos presentan una muy débil actividad en tritio salvo en el acuífero central, en donde se registran 2,8 U.T. en el pozo 12A - (EQUA 5) y 1,1 U.T. en el pozo No. 10 (EQUA 6).

La presencia de agua relativamente reciente sugiere un tiempo de residencia reducido en el acuífero, sin embargo, ya que los niveles de ubicación de las cifras son generalmente bastante amplios, para afinar estas conclusiones sería necesario realizar tomas escalonadas en los pozos considerados para apreciar los aportes respectivos de los diferentes niveles de acuíferos.

b) El Carbono 14

- Se realizaron solamente 6 análisis de carbono 14 en el acuífero Norte y Central y solo 3 en el Sur. Las "edades" calculadas están reportadas en el cuadro II con sus respectivos errores. Sin embargo, estos análisis confirman los modos de recarga sugeridos por los isótopos estables. En efecto, las tres muestras del acuífero Sur presentan contenidos de carbono 14 netamente inferiores a los de la parte Norte. Esto corresponde a la hipótesis de una circulación más regional en la parte Sur que en la parte Norte.

Para la muestra EUA 33 (acuífero Sur), la aplicación del modelo de corrección por los contenidos en carbono 13 da una estimación del tiempo de residencia de 17 000 años (+/-3.500).

En la parte Norte las aguas son recientes, de infiltración local, solo la muestra EQUA 4 (pozo No. 13) presenta una actividad ligeramente inferior a las calculadas para la actividad inicial.

IV. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS PARA UN MANEJO ADECUADO

Dos esquemas diferentes se consideran para la recarga natural en las partes Norte y Sur del acuífero de Quito:

a) Al Norte y Centro

- La recarga se realiza a partir de la infiltración directa de las precipitaciones sobre el valle y quizás por reinfiltración de una parte del caudal proveniente de la escorrentía de los manantiales localizados en la vertiente del Pichincha.

- La recarga se realiza preferentemente en la zona de piedemonte del Volcán Pichincha, en donde los conos de gravas, dan cierta permeabilidad. Sin embargo, como la permeabilidad nunca alcanza valores muy altos, la recuperación por evaporación afecta esta recarga antes y durante la infiltración, a través de la zona no saturada del suelo.

- No parece que una circulación más profunda proveniente de la infiltración del agua río arriba en el volcán contribuya de una manera sensible a la alimentación de la capa acuífera.

- Por lo tanto, es necesario proteger las zonas de piedemonte del volcán contra una urbanización exagerada que provocaría un aumento del coeficiente de escorrentía y una disminución de la infiltración.

b) Al Sur

- La composición isotópica del agua de las perforaciones reflejan un origen más profundo que la del Norte, mientras que los manantiales muestran una circulación superficial de tipo hipodérmica.

- En la infiltración en las partes altas del volcán parece, por lo tanto, mucho más efectiva que en la parte Norte. Esta infiltración contribuye a la recarga del acuífero de la zona del valle, lo que concuerda con la más alta concentración de sales disueltas observadas en este acuífero y que corresponde a un tiempo de circulación más largo.

- En esta zona, la urbanización podría provocar el agotamiento rápido de los manantiales cuya composición isotópica demuestra el origen local de alimentación.

REFERENCIAS

- (1) R. ALULEMA, F. OJEDA, J.F. NOUVELOT, P. POURRUT: "Proyecto Acuífero de Quito - Informe final 1981 - 1985", Edic. EMAP Q, PRONAREG, INERHI, ORSTOM-QUITO, 1985.
- (2) M. HALL, P. RAMON: "Las fallas activas del valle Interandino entre Latacunga y Quito", Memoria del 1º Congreso de Ings. Geol. de Minas y Petrol., Quito, tomo 1, p 60, 1972.
- (3) P. POURRUT: "Los climas del Ecuador - Fundamentos explicativos", Documentos de investigación No. 4-1983, Edic. CEDIG, IPGH, ORSTOM, Quito, 1984.
- (4) International Atomic Energy Agency: Environmental Isotope World survey of Isotope Concentration in Precipitation:
No. 4 (1968 - 1969) TR 147 IAEA Vienna 1973
No. 5 (1970 - 1971) TR 165 IAEA Vienna 1975
No. 6 (1972 - 1975) TR 192 IAEA Vienna 1979
No. 7 (1976 - 1979) TR 226 IAEA Vienna 1983
- 5) J. F. ARANYOSSY: "Etude hydrogéologique de l'aquifère de Quito et de la vallée de los Chillos par les isotopes de l'environnement. Premier rapport d'interprétation", Informe interno, OIEA, Viena, 1985.