

**HIDROLOGIA ISOTOPICA DE LA INFLUENCIA DE UNA TORMENTA
EN LA DESCARGA NATURAL DEL AGUA SUBTERRANEA
EN LA SIERRA DE MONTE ALTO**

A. CORTES*
L. R. JAIMES*
R. N. FARVOLDEN**

RESUMEN

La Sierra de Monte Alto, situada al occidente de la Cuenca de México, constituye, junto con la Sierra de las Cruces, una de las principales zonas de recarga de los acuíferos en explotación que abastecen de agua a la Ciudad de México. En una cuenca de la parte alta de la Sierra de Monte Alto, que se encuentra sobre una secuencia de lavas andesíticas y depósitos piroclásticos, se efectuó un experimento cuyo fin principal fue el de conocer la influencia que tiene una tormenta en la descarga natural del agua subterránea en dicha región, considerando para tal fin el contenido de isótopos ambientales, el de los iones mayores del agua y el reconocimiento hidrogeológico de campo. Los resultados indican que la infiltración en esta zona de la sierra podría superar el 70%. La existencia de una anomalía en la separación del hidrograma sugiere la presencia de tres componentes: la primera corresponde al agua de la franja capilar, cuya influencia resulta ser más importante de lo que se esperaba; la segunda corresponde al agua de tormenta que escurre; y una tercera, que se atribuye al esperado aporte del agua subterránea.

ABSTRACT

One of the principal recharge zones of aquifers beneath Mexico City is the Monte Alto range which forms the west side of the Basin of Mexico. A storm runoff analysis using environmental isotopes and chemical data was effected, including hydrogeological field observations in a small basin near the summit of the range. The basin is underlain by andesitic rocks interbedded with pyroclastics. Results show that infiltration in this zone could be greater than 70% of precipitation. An anomaly in the hydrograph separation suggests three runoff components: capillary fringe water which is more important than we expected; a storm water component; and a component attributed to groundwater.

* Instituto de Geofísica, UNAM, 04510, D. F., MEXICO.

** Waterloo Centre for Groundwater Research, Waterloo, Ontario, CANADA N2L-3G1.

INTRODUCCION

Localización, Antecedentes y Objetivo

La Cuenca de México (figura 1), con una altitud promedio en las planicies lacustres de 2 240 m.s.n.m., se encuentra en la porción centro-oriental del Arco Volcánico Trans-Americano (Damon *et al.*, 1981). Dicha cuenca se encuentra rodeada por sierras volcánicas.

La Sierra de Monte Alto (figura 1), donde se encuentra el área en estudio, forma parte del mismo alineamiento volcánico que corresponde a la Sierra de las Cruces, por esta razón, generalmente se utiliza el nombre de la última para referirse a ambas. Tanto la Sierra de las Cruces como la de Monte Alto (figura 1), se han considerado zonas de recarga principales para los acuíferos del sur de la Cuenca de México (Lesser *et al.*, 1987).

Las sierras de las Cruces y Monte Alto están constituídas por un conjunto de estratovolcanes, principalmente de composición andesítica y dacítica, que se orientan sensiblemente en dirección NNW-SSE (Vázquez y Jaimes, en preparación), los cuales dividen la Cuenca de México y la Cuenca del Río Lerma (figura 1). La disposición morfológica de las unidades litológicas en estas sierras influye de manera determinante en el comportamiento del flujo del agua subterránea (Jaimes *et al.*, en preparación). En la parte alta de la Sierra de Monte Alto se encuentra la cuenca Las Palomas, la cual se eligió para realizar el presente estudio, por ser representativa de las otras ubicadas en esta zona de las sierras y por carecer de áreas pobladas o cultivadas. El clima que predomina en dicha zona, que además de ser la más alta es también la que presenta mayor vegetación, es semifrío subhúmedo, con temperatura media anual de 11.3°C y precipitación media anual de 1 110 mm (García, 1981). La cuenca Las Palomas se localiza 35 km al noroeste de la Ciudad de México (figuras 1 y 2) a una altitud de 3 400 m.s.n.m. y tiene una extensión de 0.6982 km²; es drenada por una corriente principal perenne, alimentada por manantiales, cuya longitud dentro de la cuenca es aproximadamente de 1 km. Dicha corriente mide en su sección transversal 0.22 m de profundidad por 0.90 de ancho.

Aun cuando esta sierra es una zona de recarga para el sistema acuífero del sur de la Cuenca de México, existen manantiales que indican también zonas de descarga. Este trabajo es una investigación para determinar el comportamiento de los manantia-

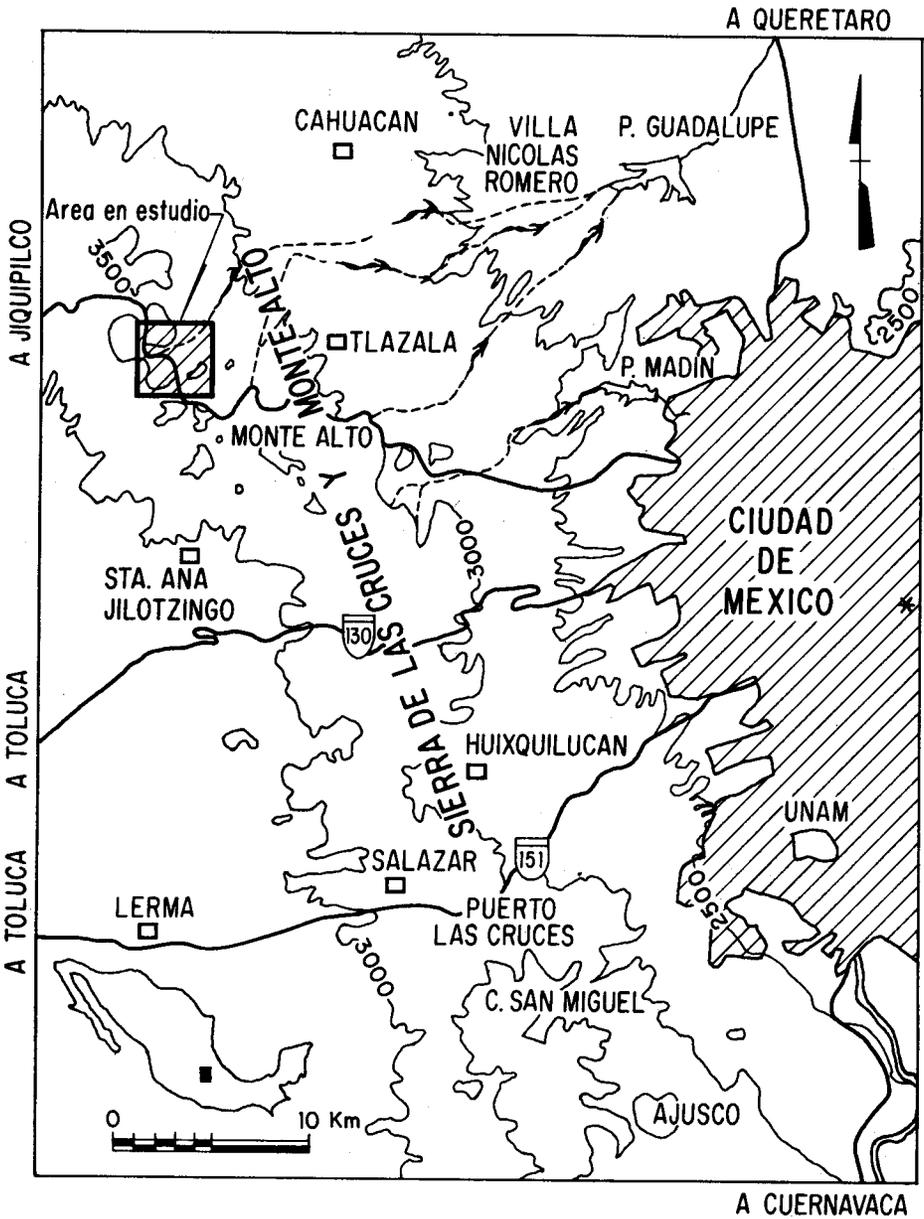


Fig. 1. Mapa de localización del área en estudio.

les que alimentan la corriente de la cuenca Las Palomas y su respuesta hidráulica a una tormenta y de esta manera, conocer algunos aspectos del régimen del agua subterránea de la unidad hidrogeológica superior en las sierras de las Cruces y Monte Alto. Para alcanzar dicho objetivo se ha efectuado el experimento cuyos resultados se exponen en el presente trabajo. Se intentó emplear un método semejante al de Fritz *et al.* (1976), en el que logran separar en un hidrograma el agua aportada por el subsuelo al escurrimiento superficial del agua precipitada durante la tormenta. Para ello utilizan como principal herramienta los isótopos oxígeno-18 y deuterio, así como los iones mayores del agua.

En la figura 2 se indica la localización de los sitios de muestreo, los manantiales,

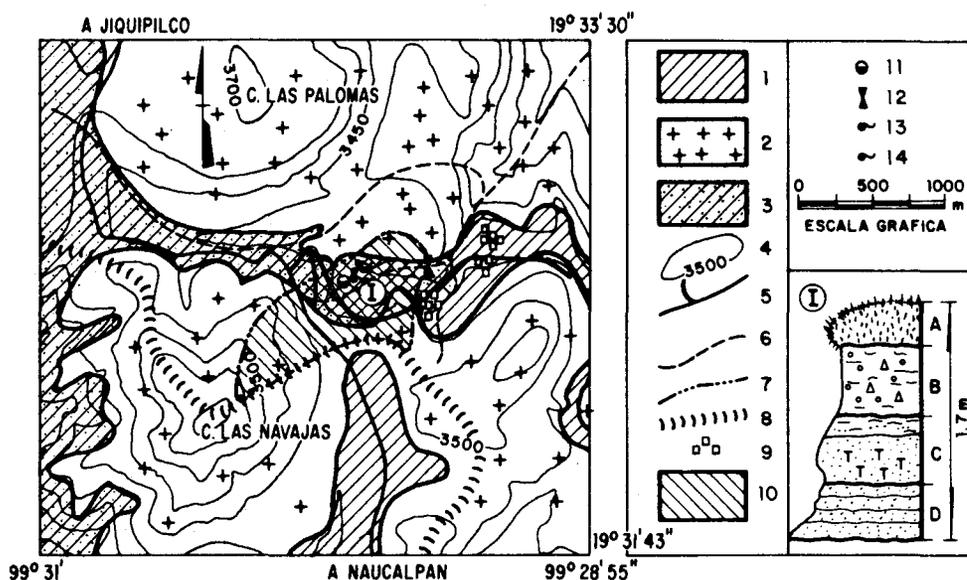


Fig. 2. Mapa hidrogeológico de la cuenca estudiada.

- 1.- Depósitos piroclásticos de caída libre alterados con desarrollo de suelos; 2.- Secuencia de lavas andesíticas y brechas volcánicas (permeables); 3.- secuencia de depósitos piroclásticos (permeables); 4.- curvas de nivel a cada 50 m; 5.- caminos de acceso: principal y secundario; 6.- corriente principal; 7.- divisoria de la cuenca estudiada; 8.- divisoria de la Cuenca de México; 9.- poblado; 10.- cuenca en estudio; 11.- estación pluviométrica del estudio y punto de toma de muestras 1; 12.- estación hidrométrica; 13.- manantial perenne; 14.- manantial temporal; A) materia orgánica; B) cenizas con obsidiana con túneles socavados por el agua y fragmentos de roca alterados (permeable); C) toba lítica (poco permeable); D) piroclásticos de caída libre (permeables).

la estación hidrométrica, el pluviómetro, y la geología local. Como puede verse en la figura, la estación hidrométrica se encuentra ubicada antes del poblado con el fin de evitar las aguas residuales. En la parte media de la cuenca se encuentran manantiales perennes que alimentan la corriente durante la época de sequía y en la parte superior, manantiales intermitentes en cuyo escurrimiento - que alimenta la corriente principal durante la época de lluvias - se tomaron muestras (estación de toma de muestras 1).

TECNICAS EXPERIMENTALES

En la cuenca Las Palomas se tomaron muestras de agua, tanto de la corriente principal y de un arroyo tributario intermitente, como de la precipitación, con el propósito de distinguir en el hidrograma el agua aportada por la tormenta del agua subterránea que alimenta la corriente principal.

Se tomaron muestras para análisis físico-químicos y de isótopos ambientales ^{18}O y D. Las muestras para análisis físico-químicos se analizaron en el Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica de la UNAM, mientras que las de isótopos se analizaron en el Laboratorio de Espectrometría de Masas del Instituto de Física de la UNAM y en el Laboratorio de Geoquímica del Waterloo Centre for Groundwater Research. El error de los análisis es de $\pm 0.2\text{‰}$ para el ^{18}O y de $\pm 2\text{‰}$ para el deuterio.

Los datos isotópicos se utilizaron para obtener el valor del caudal escurrido durante la precipitación, mediante un balance de masas que emplea la siguiente expresión (Fritz et al., *op. cit.*):

$$Q_r = Q_t \frac{\delta t - \delta s}{\delta r - \delta s} \quad (1)$$

en donde Q es el volumen de descarga en la estación hidrométrica; δ es el contenido de ^{18}O con respecto al V-SMOW; t representa el agua total en la estación hidrométrica; s es el valor isotópico del agua en la corriente principal, antes de la tormenta y r el valor isotópico del agua después de la tormenta.

Para poder obtener la separación es necesario que ocurra lo siguiente (Sklash y Farvolden, 1979):

la estación hidrométrica, el pluviómetro, y la geología local. Como puede verse en la figura, la estación hidrométrica se encuentra ubicada antes del poblado con el fin de evitar las aguas residuales. En la parte media de la cuenca se encuentran manantiales perennes que alimentan la corriente durante la época de sequía y en la parte superior, manantiales intermitentes en cuyo escurrimiento - que alimenta la corriente principal durante la época de lluvias - se tomaron muestras (estación de toma de muestras 1).

TECNICAS EXPERIMENTALES

En la cuenca Las Palomas se tomaron muestras de agua, tanto de la corriente principal y de un arroyo tributario intermitente, como de la precipitación, con el propósito de distinguir en el hidrograma el agua aportada por la tormenta del agua subterránea que alimenta la corriente principal.

Se tomaron muestras para análisis físico-químicos y de isótopos ambientales ^{18}O y D. Las muestras para análisis físico-químicos se analizaron en el Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica de la UNAM, mientras que las de isótopos se analizaron en el Laboratorio de Espectrometría de Masas del Instituto de Física de la UNAM y en el Laboratorio de Geoquímica del Waterloo Centre for Groundwater Research. El error de los análisis es de $\pm 0.2\text{‰}$ para el ^{18}O y de $\pm 2\text{‰}$ para el deuterio.

Los datos isotópicos se utilizaron para obtener el valor del caudal escurrido durante la precipitación, mediante un balance de masas que emplea la siguiente expresión (Fritz *et al.*, *op. cit.*):

$$Q_r = Q_t \frac{\delta_t - \delta_s}{\delta_r - \delta_s} \quad (1)$$

en donde Q es el volumen de descarga en la estación hidrométrica; δ es el contenido de ^{18}O con respecto al V-SMOW; t representa el agua total en la estación hidrométrica; s es el valor isotópico del agua en la corriente principal, antes de la tormenta y r el valor isotópico del agua después de la tormenta.

Para poder obtener la separación es necesario que ocurra lo siguiente (Sklash y Farvolden, 1979):

ubre a lavas andesíticas y presenta horizontes con abundante obsidiana, que son a su vez los más permeables. En algunos sitios los horizontes del suelo han sido erosionados de tal manera que se forman pequeños túneles socavados por el agua. Por lo tanto, el interflujo (escorrentía hipodérmica) se considera importante en el agua escurrida en esta cuenca.

Los manantiales perennes de la cuenca en estudio están controlados por un cambio de permeabilidad debido a las intercalaciones entre el material granular (brechas volcánicas) y la roca (coladas lávicas), mientras que los manantiales intermitentes son debidos posiblemente a la saturación y al drenaje rápido de las capas superiores de la unidad hidrogeológica antes mencionada.

Para conocer el efecto del agua subterránea en el evento, se tomaron muestras en el sitio de toma de muestras 1. Dicho sitio se eligió considerando que el agua de ese escurrimiento (que llamaremos corriente intermitente), corresponde a la descarga del agua que satura algunas capas superiores de la unidad hidrogeológica que constituyen las brechas y lavas interestratificadas; por este motivo, el manantial que lo alimenta es intermitente. De esta manera, al comparar el cambio isotópico que ocurre en esta corriente con el de la estación hidrométrica, puede verse el efecto debido a la influencia del agua subterránea somera intermitente y el agua subterránea perenne durante el tiempo que duró el evento.

OBSERVACIONES Y RESULTADOS

El 9 de julio de 1988, a las 18:30 hrs., se presentó una tormenta de una duración de 180 minutos que, de acuerdo con los datos de las estaciones meteorológicas (SARH, 1986), puede considerarse como representativa. En dicha tormenta se acumularon 6.3 mm. Se tomaron muestras de agua en el punto de muestreo 1 y del agua de escurrimiento en la estación hidrométrica, durante un período de 16 horas, que se inició a las 18:00 hrs. Se obtuvieron muestras de lluvia durante la tormenta en dos ocasiones - a las 19:00 y a las 20:00 - para determinar la existencia de variaciones en la composición isotópica de la tormenta. El promedio del $\delta^{18}\text{O}$ para esta tormenta es de alrededor de -6.0‰ . El valor para la corriente principal al inicio de la tormenta era de -10.8‰ y en el punto de muestreo 1, de -10.6‰ (figura 6). El caudal de la corriente principal antes de la tormenta era de $0.040\text{ m}^3/\text{s}$, una hora y media después alcanzó $0.066\text{ m}^3/\text{s}$. Las mediciones del caudal de la corriente y toma de muestras se efectuaron cada 15 minutos durante la tormenta y cada hora después de la misma,

tanto en la estación hidrométrica como en el punto de muestreo 1 (figura 2). El incremento en el caudal de la corriente causado por el evento fue del 165%. Los resultados isotópicos y químicos se presentan en la Tabla 1.

DISCUSION DE RESULTADOS

Empleo del Oxígeno-18 y Deuterio

Al emplear la ecuación (1) y obtener la separación del hidrograma (figura 3), se supone que las contribuciones del agua suspendida durante el evento son despreciables.

Tabla 1
Resultados físico-químicos e isotópicos de la cuenca Las Palomas.

No.	HORA	s	Na+ mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	18O	D
1	18:15	46.4		3.232	0.9696	-10.7	-73
2	19:30	32.7	5.23	4.99	0.99	-9.8	
3	19:47					-9.9	-66
4	20:00	45.7	6.78	4.99	0.99	-10.4	-75
5	20:24	32.5		1.616	0.9696	-8.8	-57
6	20:36	33.8	4.18	4.99	0.99	-8.8	-63
7	21:00	33.4	1.60	6.66	0.00	-9.3	
8	22:10					-9.2	-61
9	23:00					-10.5	
10	24:00	44.3	2.63	3.33	0.00	-10.3	-74
11	04:00	45.5		3.636	0.8484	-10.6	-72
12	14:10	45.6		3.232	0.7272	-10.8	-73
13	16:15	41.6		3.434	0.606	-10.2	-70
14	19:40	30.6	5.23	4.99	0.99	-7.9	-49
15	20:00					-9.3	
16	21:30	37.2		2.626	1.0908	-9.3	-61
17	22:15						
18	22:30	43.4	4.70	4.99	0.00	-10.5	-71
19	23:30					-8.3	-54
20	0:10	45.5	4.18	4.99	1.99	-10.2	-71
21	4:20	37.0	4.30	2.91	0.25	-9.9	-68
22	14:15						
23	19:00					-5.8	-33
24	20:00					-6.9	-45

Nota: Las muestras 1 a 12 corresponden a la estación hidrométrica, de la 13 a la 22 al punto de muestreo 1 y las 23 y 24 a precipitación.

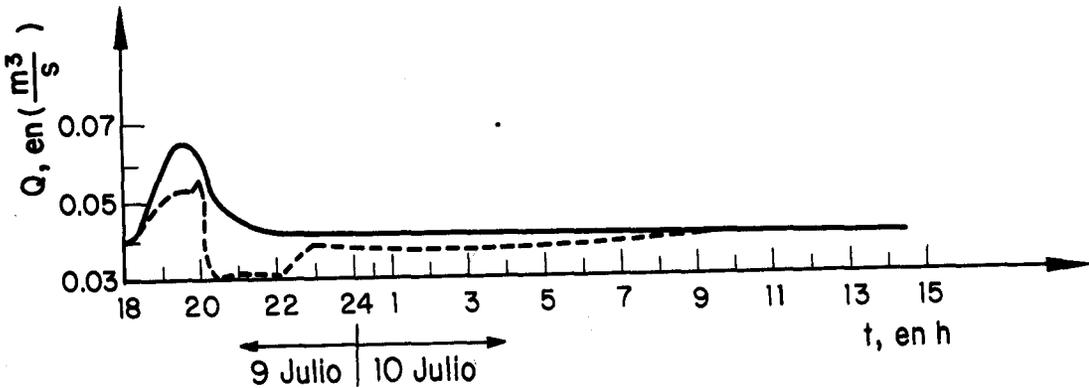


Fig. 3. Separación del hidrograma de la tormenta.

Sin embargo, como puede verse en la figura 3, al aplicar la ecuación (1) se obtiene una anomalía entre las 20 y las 23 horas, que, desde el punto de vista isotópico, indica una proporción de agua de lluvia muy grande en la corriente; pero en el volumen de dicha corriente no se tuvo tal incremento, sino al contrario, hubo una disminución del caudal. Por lo tanto, una explicación a lo anterior es que el aporte de agua de la franja capilar a la corriente ocurre de manera importante en este evento. En este caso, se considera válida la propuesta de Sklash y Farvolden (*op. cit.*), cuando mencionan que la contribución del agua capilar en el evento puede manifestarse como una variación isotópica en el período que corresponde a la recesión del hidrograma - que es precisamente en donde ocurrió la anomalía - con respecto al contenido isotópico del extremo ascendente y, si dicho cambio excede al error analítico del isótopo en cuestión (oxígeno-18), entonces el agua capilar se encuentra contribuyendo en la misma proporción a la magnitud del cambio.

La figura 4 es la relación entre el ^{18}O de la corriente y el caudal de descarga en la corriente principal, la cual sugiere una contribución significativa de agua de la franja capilar al escurrimiento. Por lo tanto, en este caso no fue posible hacer la separación del hidrograma en dos componentes con precisión, pero se pone de manifiesto el dominio del agua subterránea y del agua capilar en el evento; no obstante, podría tratarse de otro fenómeno, ya que como se mencionó anteriormente, esta cuenca pertenece a una zona de recarga. No obstante, es necesario pensar en un incremento del nivel freático como sucede en otras cuencas (Fritz *et al.*, *op. cit.*). Otro aspecto a considerar son las características del suelo en la zona en estudio (figura 2).

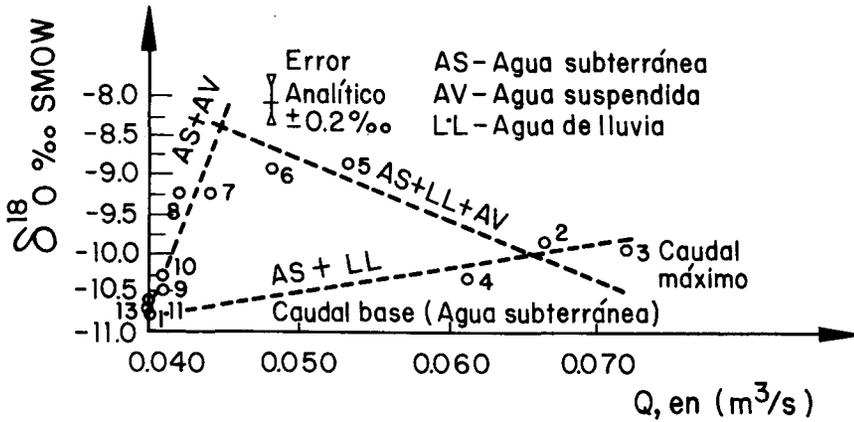


Fig. 4. $\delta^{18}\text{O}$ y caudal de descarga de la cuenca Las Palomas durante el escurrimiento de la tormenta del 9 de julio de 1988.

En la primera fase de la figura 5 se observa con claridad el incremento en el contenido isotópico para las dos corrientes debido al aporte de lluvia con un valor más enriquecido. En esa misma fase puede verse también que en la corriente intermitente este efecto es más marcado. Al final de esta fase se observa un empobrecimiento brusco - que se registró a las 20:00 hrs. - el cual se manifiesta además como un cambio en las concentraciones de los iones (figura 7).

Durante la fase 2 de la figura, la cual coincide con la curva de retorno del hidrograma, se aprecia que las dos corrientes presentan el mismo comportamiento, que es una tendencia a empobrecerse isotópicamente.

En la fase 3 se aprecia una tendencia normal a regresar a su valor isotópico original. El valor más enriquecido en esta fase puede deberse a un error analítico. De estos efectos podemos decir lo siguiente: en la estación hidrométrica (corriente perenne + corriente intermitente), se infiere la influencia del agua subterránea en el evento, ya que en la corriente intermitente, el efecto de dilución por lluvia es más acentuado. Suponemos que esto indica una corriente que únicamente se alimenta de las capas superiores de la unidad principal hidrogeológica y se considera que aportan menor cantidad de agua del subsuelo en comparación con lo que se registra en la estación hidrométrica.

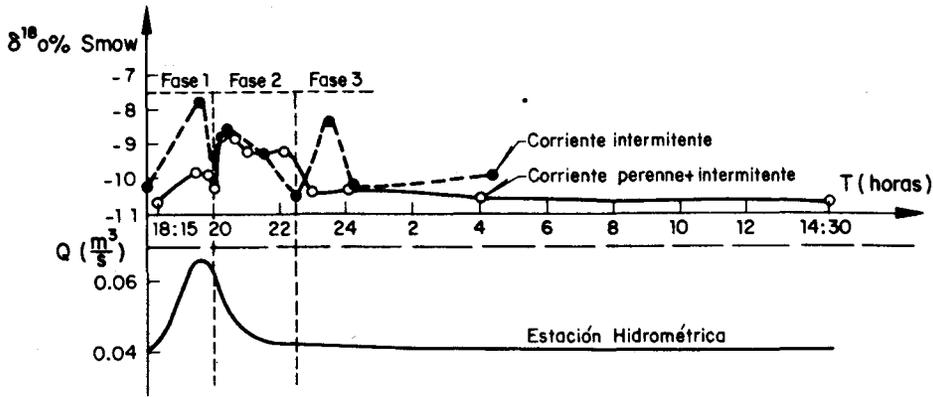


Fig. 5. Oxígeno-18 de las corrientes, principal e intermitente de la cuenca Las Palomas.

En la figura 6 se muestra la relación entre $\delta^{18}\text{O}$ y δD de todas las muestras analizadas, con objeto de saber si existe evaporación del agua durante su permanencia en el suelo o en las capas superiores de la unidad hidrogeológica. Sin embargo, los resultados se presentan bien alineados con respecto a la línea meteórica local, lo que indica ausencia de evaporación.

Variaciones en los iones mayores del agua.

En la figura 7 se muestran las variaciones en la concentración de los iones mayores del agua durante el evento para los dos sitios en donde se tomaron las muestras. En los resultados de la estación hidrométrica se observa una tendencia al incremento en la concentración de dichos iones, conforme aumenta el caudal de agua en la corriente principal - lo cual sucede entre las 19:30 y las 20:00 hrs. Esta tendencia es opuesta a la obtenida en trabajos anteriores del mismo tipo (Fritz *et al.*, *op. cit.*), en los cuales se presenta una dilución de los iones mayores en el agua, conforme aumenta el caudal. Sin embargo, en la estación de muestreo 1 - que corresponde a una corriente intermitente - la tendencia de la concentración es como la que acaba de mencionarse.

La conductividad en la corriente principal (estación hidrométrica) presenta las variaciones que son de esperarse con respecto al contenido isotópico del agua de tormenta y tiende a seguir variaciones similares a las que presentan los iones mayores

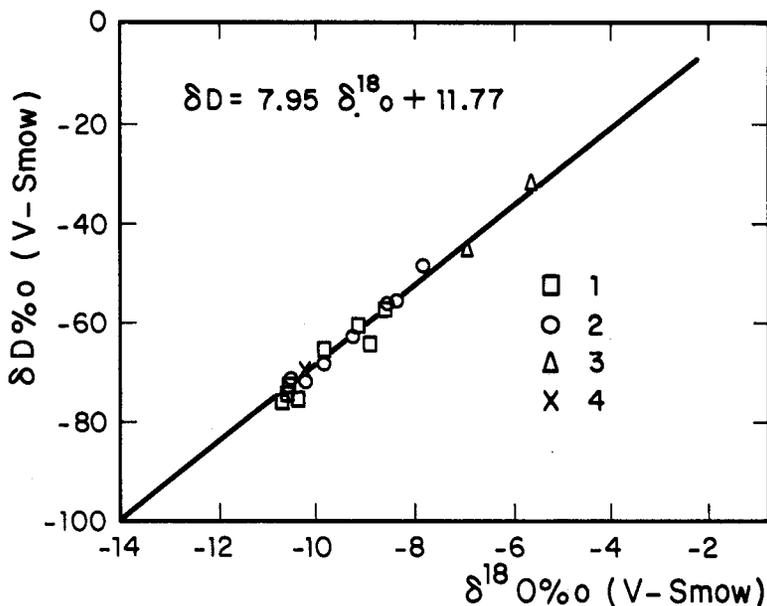


Fig. 6.- Correlación $\delta^{18}O$ - δD . 1.- Estación hidrométrica; 2.- corriente intermitente; 3.- agua de lluvia; 4.- valor promedio de la precipitación en la Sierra de las Cruces (Cortés y Farvolden (en prensa).

considerados. En la corriente intermitente (estación de toma de muestras 1) la conductividad indica una dilución de los iones y su posterior recuperación sin presentar las variaciones tan marcadas de la corriente principal, lo que nos conduce a pensar que los procesos ocurridos en la zona de agua suspendida se manifiestan en la estación hidrométrica.

La variación en los resultados químicos con respecto a lo obtenido en otras cuencas puede deberse a las propiedades particulares de la zona (suelo, ubicación, etcétera). Una posible explicación para el comportamiento de los iones mayores es la siguiente: en la corriente intermitente se registraron los efectos del suelo y capas superiores de las unidades hidrogeológicas, en las que la lluvia influye de manera importante, provocando la dilución de los iones, mientras que en la corriente principal, que se encuentra aguas abajo, la cual se alimenta de manantiales perennes y de la corriente intermitente, puede apreciarse el efecto del agua de lluvia que al infiltrarse

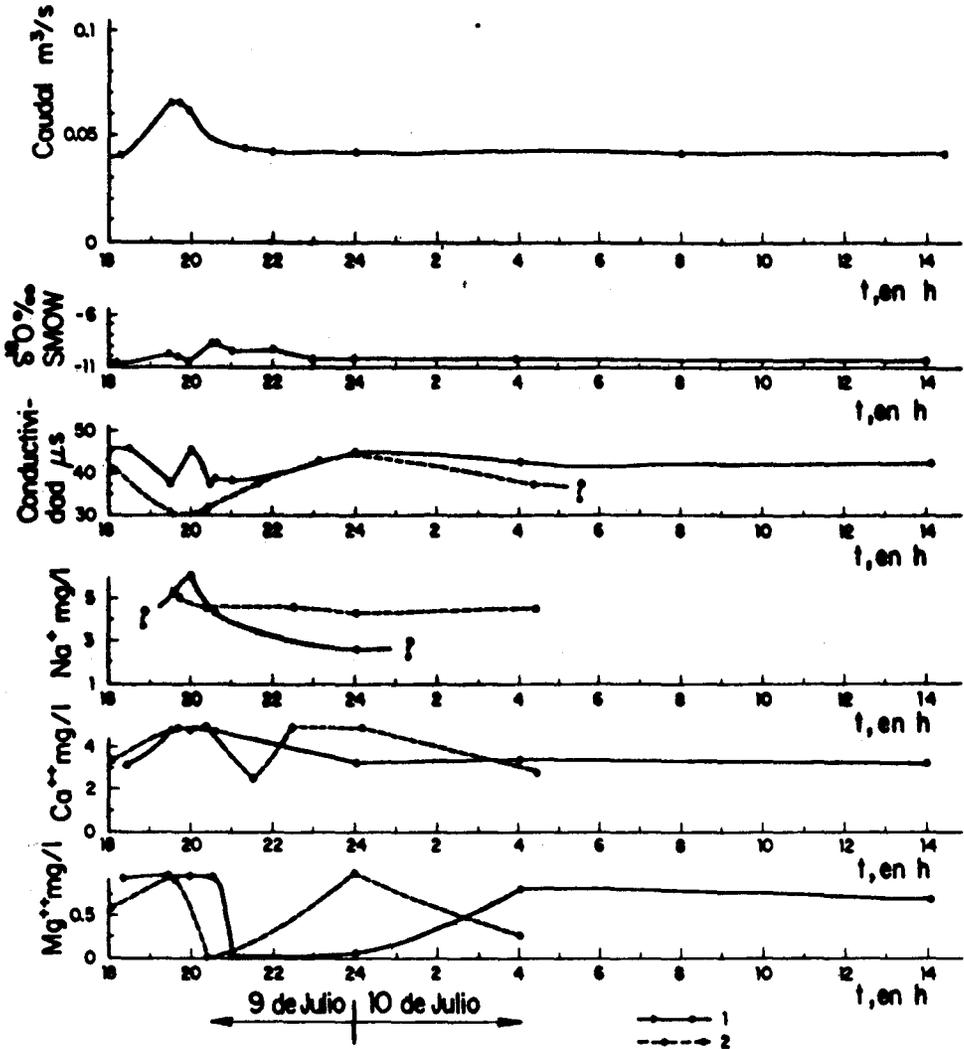


Fig. 7. Iones mayores, oxígeno-18 y caudal de descarga en la estación hidrométrica.

Nota: Las figuras tienen el número en la esquina inferior derecha.

fluye a través de las capas superiores del suelo (figura 2), las cuales, como se observó en el campo, son muy permeables y presentan conductos socavados por el agua a través de los cuales ésta misma sigue disolviendo minerales y fluye hasta llegar a la superficie como escurrimiento superficial. De esta manera, la composición química del agua que fluye podría acercarse a la del agua subterránea (Kennedy, 1977). En la región estudiada el agua subterránea se encuentra poco concentrada en iones por tratarse del sitio más alto de la zona de recarga.

CONCLUSIONES

De la separación del hidrograma, aun cuando no sea posible considerarlo como de dos componentes, es posible decir que la infiltración en la cuenca Las Palomas posiblemente supera aproximadamente el 70% del agua precipitada. Este valor sería más alto que el que hasta hoy se ha considerado para esta sierra.

La anomalía encontrada en la separación del hidrograma sugiere la presencia de tres componentes que a continuación se enumeran:

- 1) Agua suspendida en la franja capilar que, de acuerdo con los datos hidrogeológicos de campo, los isótopos ambientales y la química del agua, resulta ser mayor de la esperada para eventos de este tipo y se explica como la consecuencia de la circulación de agua precipitada en la tormenta que se infiltra, disuelve las capas superiores del suelo y regresa a la superficie en forma de escurrimiento.
- 2) Agua de lluvia, la cual se infirió mediante la separación del hidrograma y la comparación de los resultados isotópicos obtenidos para los sitios de muestreo.
- 3) Agua subterránea, que se manifiesta en los isótopos ambientales, al comparar los resultados de la corriente intermitente con los resultados de la corriente perenne.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la P. de Ing. Geol. Xóchitl Montaña Soriano y al Geof. Glen Hearn por su valiosa participación en el trabajo de campo y de gabinete. De manera especial agradecemos al IDRC de Canadá por el financiamiento del Proyecto del cual forma parte este estudio.

BIBLIOGRAFIA

- CORTES, A. y R. FARVOLDEN, 1987. Isotope studies of precipitation and groundwater in the Sierra de las Cruces, México. *J. Hydrol.* Aceptado en agosto de 1988. (En prensa.)
- DAMON, P. E., M. SHAFIQULLAH y K. F. CLARK, 1981 (1984). Evolución de los Arcos Magmáticos en México y su relación con la metalogénesis: UNAM, *Inst. Geol. Revista*, 5, 223-238.
- GARCIA, E., 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- JAIMES, P. R., A. CORTES S. y E. VAZQUEZ S. Hidrogeología de la Sierra de las Cruces; unidades hidrogeológicas y recarga. Instituto de Geofísica, UNAM (en preparación).
- KENNEDY, V. C., 1977. Hypothesis to explain the rapid release of solutes from soil during storm runoff. *EOS (Trans. Am. Geophys. Union)* 58, 386 (Abstract).
- LESSER, I. J. M., D. F. SANCHEZ y P. D. GONZALEZ, 1987. Aspectos Geohidrológicos de la Ciudad de México, Memoria del 50 aniversario de la carrera de Geólogo en la Univ. Nal. Auton. de México, Facultad de Ingeniería, UNAM (Resumen).
- SARH, 1986. Boletín Hidrológico; Comisión Hidrológica del Valle de México, No. 31 (1986), Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.
- SKLASH, M. G. and R. N. FARVOLDEN, 1979. The role of groundwater in storm runoff. In: W. Back and D. A. Stephenson (guest editors), *Contemporary Hydrogeology - The George Burke Maxey Memorial Volume*, *J. Hydrol.*, 43, 45-65.
- FRITZ, P., J. A. CHERRY, K. V. WEYER and M. G. SKLASH, 1976. Runoff analyses using Environmental Isotopes and major ions. In: *Interpretation of Environmental Isotope and Hydrochemical data in Groundwater Hydrology*. IAEA, Vienna, pp. 111-130.
- VAZQUEZ, S. E. y R. JAIMES P. Geología de la Cuenca de México, UNAM, Instituto de Geofísica (en preparación).