

Características del manantial "Las Estacas" en Morelos, México

Henryk Niedzielski

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México, D. F. México.

Recibido: 28 de mayo, 1993; aceptado: 14 de octubre, 1993.

RESUMEN

El manantial Las Estacas, de primer orden, se manifiesta con un caudal constante, caracterizado por el índice de variación 1.52. El manantial brota en el valle del río Yautepec, a lo largo de 600 m de calizas cretácicas de forma descendente; sin embargo, el principal surgimiento es ascendente de una gruta kárstica. Basándose en las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona y en algunas propiedades físico-químicas del agua, se supone que el manantial constituye un desagüe de los acuíferos de la subcuenca del río Cuautla a través de un conducto kárstico subterráneo, o un sistema de conductos, de longitud de 13 km aproximadamente, que aprovecha el flujo subterráneo cruzando las dos cuencas hidrográficas.

PALABRAS CLAVE: Manantial, río Yautepec, subcuenca del río Cuautla.

ABSTRACT

The first-order spring of Las Estacas has a constant discharge with a variation index of 1.52. The spring emerges in the valley of the Yautepec River along 600 m of Cretaceous limestone in a descending manner. However, the principal discharge is of an ascending type from a karstic cave. On the basis of the geological and hydrogeological conditions of the zone and some physico-chemical properties of the water, it is presumed that the spring is a drainage of aquifers of the Cuautla River sub-basin by way of a subterranean karstic conduit or a system of such conduits of about 13 kms in length which makes use of the ground water flow across two hydrographic watersheds.

KEY WORDS: Spring, Yautepec River, Cuautla River sub-basin.

INTRODUCCION

Entre numerosos manantiales que se encuentran en la parte norte y central del Estado de Morelos, el más grande, con caudal medio de $6.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, es el conocido como balneario Las Estacas. Este manantial se encuentra en el valle del río Yautepec, unos 15 km en línea recta al SSW del pueblo Yautepec y unos 3 km al sur de Ticumán. Las coordenadas del manantial son: $18^\circ 44'$ de latitud norte y $99^\circ 06' 48''$ de longitud oeste (Figura 1).

Fisiográficamente la zona corresponde a la porción norte de la cuenca de Balsas-Mexcala que forma parte de la provincia de Sierra Madre del Sur (clasificación de Raisz, 1959). Desde el punto de vista geológico, la zona pertenece a la cuenca mesozoica Morelos-Guerrero, propuesta por López (1983), la cual al norte colinda con el Cinturón Volcánico Mexicano y al sur, este y oeste está rodeada por la Sierra Madre del Sur.

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer el régimen de este manantial con el propósito de aclarar las condiciones hidrogeológicas regionales.

BOSQUEJO GEOLOGICO

El área de Las Estacas se caracteriza por una topografía de rocas marinas controlada por una serie de estructuras alargadas, con orientación norte-sur o noroeste-sureste, en donde las sierras corresponden a pliegues anticlinales y los valles a sinclinales. La topografía redondeada es característica de la etapa de madurez del ciclo de erosión y el paisaje está definido por la presencia de numerosas dolinas (López, 1983).

Las rocas calcáreas son de edad cretácica media y superior y pertenecen a las formaciones Morelos, Cuautla y Mexcala, propuestas por Fries (1960). Nuevos detalles geológicos al área de interés aportó el pozo Ticumán 2 de PEMEX, localizado casi frente a Las Estacas, en el lado opuesto del valle de Yautepec, así como el estudio de Basáñez y Ruiz (1983).

La formación Morelos presenta una sucesión de calizas y dolomitas interestratificadas, depositadas en una plataforma continental. En las facies que cambian lateralmente se observa estratificación masiva, laminación, rizaduras y estratomatolitos (Basáñez y Ruiz, 1983). En la base de esta formación, el pozo Ticumán 2 perforó un cuerpo de anhídridas de varios cientos de metros de espesor, que es de edad Aptiano-Albiana (Figura 1).

Según Basáñez y Ruiz no hay diferencias litológicas notables entre las formaciones Morelos y Cuautla. La última forma capas de calizas de 20 a 80 cm de espesor, presentando en su mayoría estratificación de tipo masivo, asociada con bancos de rudistas y corales con un espesor promedio de 1 a 2 metros. Los autores mencionados consideran las dos formaciones como una: la formación Albiano-Cenomaniano-Turoniana-Morelos-Cuautla.

La formación Mexcala, de edad Turoniano-Campaniana (Fries 1960), constituye una sucesión de capas interestratificadas de arenisca, limolita y lutita calcárea, con escasos lentes de caliza clástica. Yace sobre la formación Cuautla. Estos sedimentos de tipo flysch, desde el punto de vista hidrogeológico, son impermeables.

En el pozo Ticumán 2, Pemex perforó la formación Morelos (1640 m más 517 m en la parte repetida por el

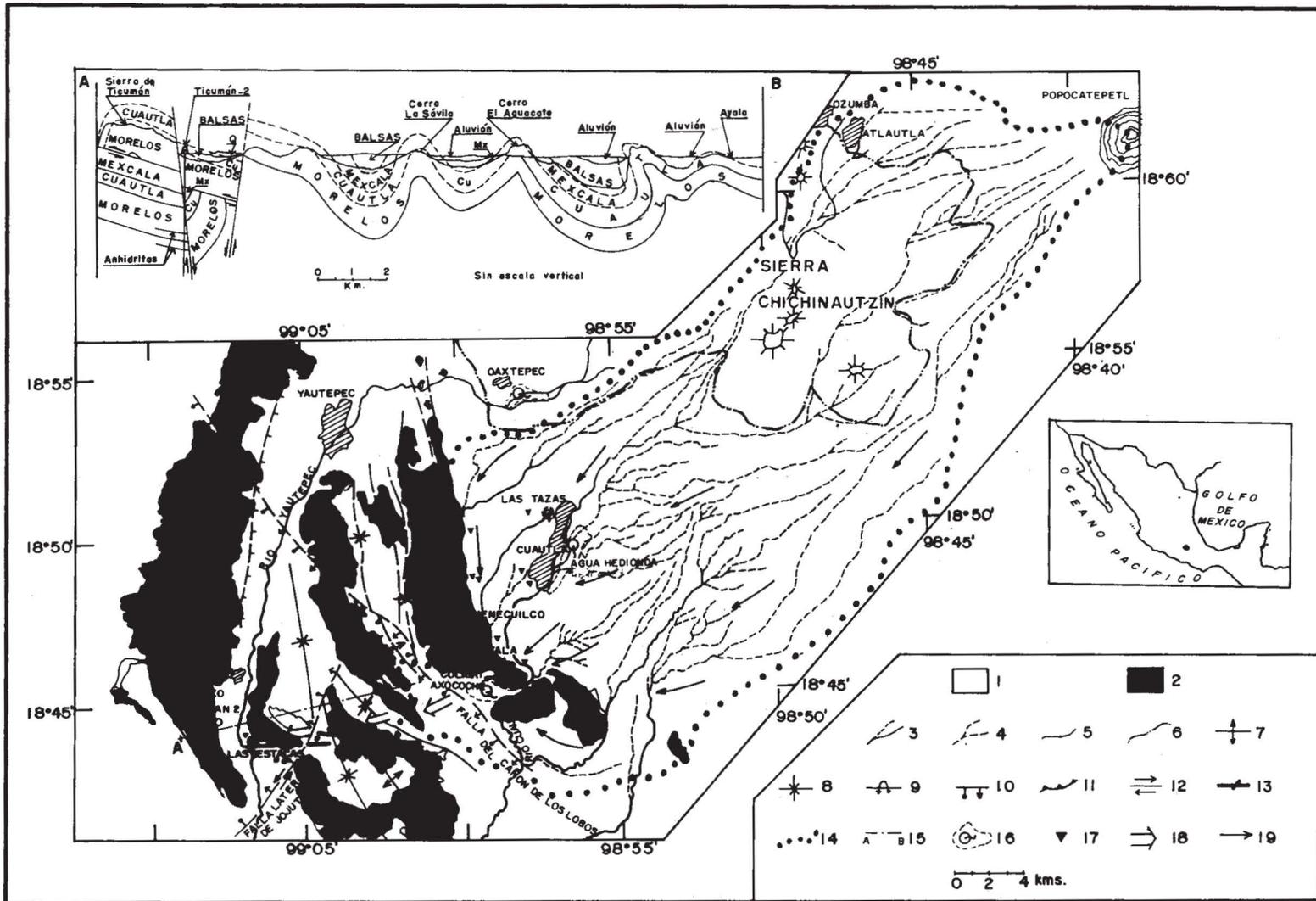


Fig. 1. Esquema hidrogeológico de la zona de Las Estacas (afloramientos del Cretácico, la tectónica y sección geológica según Bazáñez y Ruiz, 1983 simplificadas). 1- Terciario y Cuaternario; 2- Cretácico Superior; 3- Río perenne; 4- Arroyo temporal; 5- Límite de afloramientos cretácicos; 6- Límite de la Sierra Chichinautzin; 7- Anticlinal simétrico; 8- Sinclinal simétrico; 9- Anticlinal recumbente; 10- Falla normal; 11- Falla inversa; 12- Falla de corrimiento; 13- Fractura; 14- Parteaguas; 15- Sección geológica; 16- Zona de descarga; 17- Punto muestreado; 18- Flujo subterráneo local; 19- Flujo a través de las cuencas en las rocas cretácicas.

pliegue) y 941 m de anhidrita, la formación Cuautla (467 m) y la formación Mexcala (357 m).

El Cretácico está parcialmente cubierto por sedimentos continentales clásticos, piroclásticos y derrames lávicos pertenecientes al Terciario y Cuaternario, entre los cuales dominan los grupos Balsas y Chichinautzin.

La tectónica de los sedimentos cretácicos es bastante compleja. En general, predomina una serie de pliegues asimétricos, alargados, con los ejes orientados al noroeste sureste (López, 1983). Con este patrón regional no coincide la Sierra de Ticumán y las aledañas a las de la ciudad de Cuautla, donde las estructuras alargadas son orientadas casi al norte-sur. Basáñez y Ruiz (1983) suponen que esta desviación en los lineamientos se debe a una cabalgadura aunada a las fallas del cañón de Lobos y de Jojutla. En cambio, Molina (1991) expresa la opinión que el cañón de Lobos es una gran cabalgadura donde las calizas Morelos se sobrepone a las lutitas Mexcala, y que es probable que éste accidente tectónico se repita en el área de Cuernavaca formando un conjunto de cabalgaduras de oriente a poniente.

A los anticlinales y sinclinales corresponden fallas y fracturas orientadas W-E con variaciones (Figura 1). Se supone que estas rótulas tienen mucha importancia desde el punto de vista hidrogeológico.

DESCRIPCION DEL MANANTIAL

En el valle del río Yautepec, en la orilla este, unos 3 km aguas abajo de Ticumán, se encuentra el balneario de Las Estacas. El agua brota al pie de la ladera a lo largo de 600 m de calizas que se caracterizan por estratificación masiva, de color gris claro a oscuro, fuertemente fracturadas y con múltiples cavernas (Foto 1). La caliza pertenece a la formación Morelos. Hacia abajo, los brotes de agua aumentan gradualmente y su flujo muy abundante culmina en los últimos 400 m dentro del terreno del balneario. En este tramo se distinguen tres lugares: Borbollón, Poza Chica y Poza Azul (Figura 2). En los dos primeros lugares la profundidad del agua es mayor de 3 m y en el fondo aparecen los brotes ascendentes.

Los más importantes surgimientos de agua tienen lugar en el Borbollón: uno de la manera descendente de la ladera (Foto 2) y otro más fuerte, ascendente, del fondo, donde se observa en las calizas, con huellas de disolución por procesos kársticos, la salida de una gruta (Foto 3). La gruta está parcialmente rellena por grava y guijarros calcáreos redondeados (perlas de gruta), arrojados por el agua que brota con mucha fuerza (Foto 4).

Arriba del Borbollón se encuentra una estación de bombas y una compuerta que permite desviar el flujo descendente hacia un canal de riego o hacia el Borbollón. Durante 8 horas por día se destina el agua para riego, aumentando su caudal por bombeo. Se estima que en total el flujo en el canal es del orden de 1 m³/s. A lo largo del canal de riego, que corre arriba de Las Estacas (Figura 2), en varios puntos, aparecen surgimientos de agua de tipo descendente.

Una decena de metros abajo de la Poza Azul, se encuentra el limnógrafo de la estación hidrométrica donde se mide el caudal total del manantial (Figura 2). Cuando se bombea el agua al canal de riego, todo el flujo del canal libra la estación hidrométrica y a menos que la bomba produzca aproximadamente 200 l s⁻¹, tampoco pasa por la estación hidrométrica. El aforo del manantial se efectúa antes de iniciar el bombeo, aunque no hay certeza si este principio se respeta en absoluto.

Los aforos se efectúan con frecuencia media de 20 veces al mes (mínimo 5 veces al mes), en la estación hidrométrica equipada con limnógrafo. Se mide la velocidad de la corriente con molinete.

En general, el manantial se puede clasificar como un grupo de manantiales kársticos de tipo descendente-ascendente.

REGIMEN DEL MANANTIAL

El régimen de un manantial se compone del caudal, de las propiedades físicas del agua, especialmente de la temperatura, de la química del agua y de la presión hidrostática. A continuación se analizarán estos factores.

El Servicio Hidrométrico de la SARH, Delegación del Estado de Morelos, inició las mediciones del caudal de Las Estacas en 1968. Sin embargo, los primeros datos (hasta 1972) son perturbados por las inundaciones del río Yautepec. Después de construir un terraplén de la carretera (desde 1973) las mediciones parecen ser confiables por encontrarse exentas de la influencia del río. Así se dispone de datos para un período de 20 años, de 1973 a 1992.

En este período, los valores del caudal medio anual varían de 6.171 a 7.299 m³ s⁻¹. Las variaciones tienen un ritmo de 2 a 3 años, lo que se manifiesta en la gráfica como una curva sinusoidal (Figura 3), la cual, en los últimos años, expresa una muy ligera reducción del gasto. La diferencia entre los caudales anuales de 1973 y 1992 es de 3691 s⁻¹.

Comparando el caudal anual con las precipitaciones anuales, registradas en la Sierra Chichinautzin (Huitzilac) y en Yautepec, en el primer caso no hay ninguna relación y en el segundo existe cierta semejanza entre las oscilaciones de las lluvias y el caudal del manantial.

Sin embargo, esta relación se complica cuando se analizan los diagramas del caudal y las precipitaciones mensuales del período de 20 años (Figura 4), así como los respectivos datos diarios. Como un ejemplo se anexan los de los años de 1987 a 1989 (Figura 5).

En el período de 1973 a 1992 es difícil definir una clara tendencia del régimen del manantial. Así, en los meses secos, de noviembre a abril, los caudales medios mensuales mínimos anuales ocurrieron 9 veces, y en el mismo período, los máximos anuales 13 veces (Tabla 1). En los meses lluviosos de junio a julio 6 veces se produjeron tanto los caudales mínimos como los máximos anuales. Finalmente, en los meses transitorios (mayo y octubre) 5 veces ocurrieron caudales mínimos y una vez el máximo anual.



Foto 1. El inicio del manantial Las Estacas.

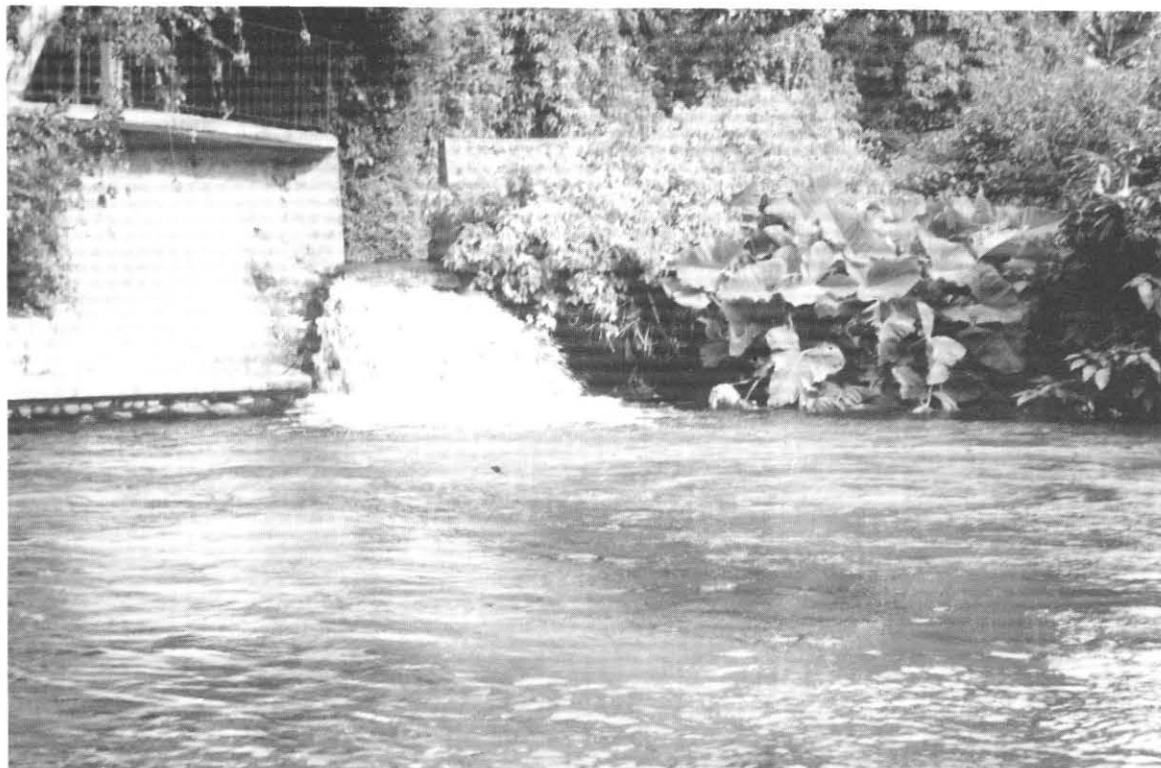


Foto 2. Descarga del canal de riego hacia Borbollón.

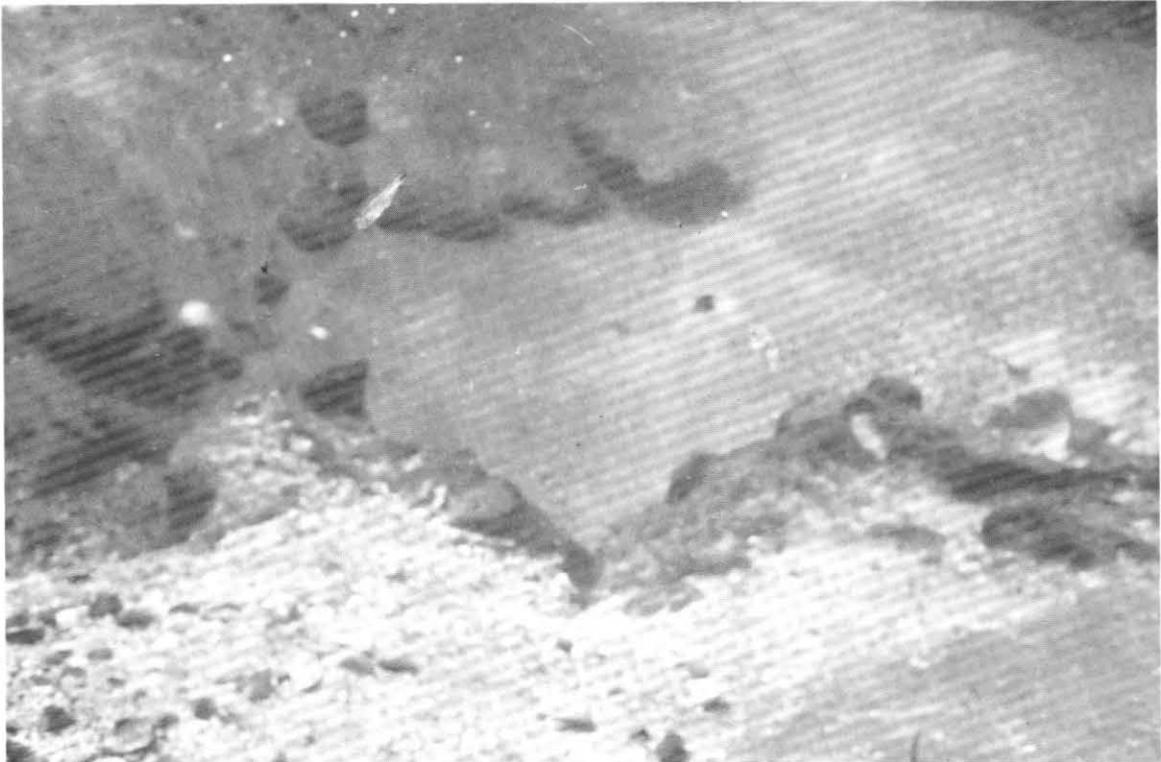


Foto 3. Vista general de la gruta que tiene forma de embudo en el fondo de Borbollón.



Foto 4. Acceso a la gruta en el fondo de Borbollón.

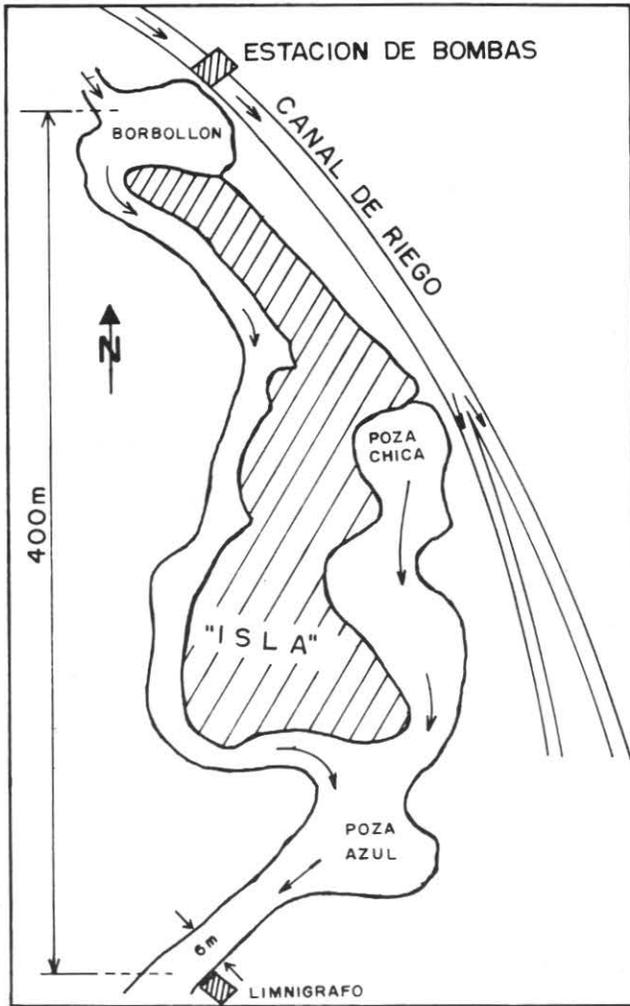


Fig. 2. Croquis del balneario Las Estacas.

Tabla 1

Frecuencias de los caudales medio mensuales min. y max. anuales en el período de 20 años

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Min | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 | 0 | 4 | 4 | 0 |
| Max | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 4 | 3 |
| Mes | É | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |

Estos caudales característicos no aparecen únicamente en el mes lluvioso de septiembre. Por lo anterior, las lluvias no tienen una influencia directa en el régimen del manantial. El manantial reacciona, en general, con un retraso de dos a tres meses con relación a las precipitaciones máximas; pero también hay coincidencia, por ejemplo en 1980 y en 1987, o un retraso de cinco meses, en 1975, 1985 y 1990 (Figura 4). Esta amplia variación del régimen

del manantial manifiesta la complejidad de su alimentación, la cual evidentemente no depende solamente de las condiciones climatológicas locales.

Llama la atención el gasto constante del manantial. El índice de variación multianual R expresado por la relación del caudal máximo al mínimo en $m^3 s^{-1}$ es de:

$$R = 8.010 / 5.275 = 1.52$$

Los valores de R menores o iguales a 2 caracterizan a los manantiales de caudal estable (Maillet en Pazdro 1983).

El análisis de los datos diarios del caudal y de las precipitaciones confirman que no existe clara correlación entre estos dos elementos (Figura 5). A veces parece que el caudal reacciona directamente al aumento de lluvias; pero en general, más bien se observa un retraso desordenado, unas veces el caudal asciende unos cuantos días después de las precipitaciones u otras después de varios meses, en enero, febrero y hasta mayo, por ejemplo en 1989. Desde el punto de vista de la lentitud de sus reacciones el régimen del manantial no parece ser ni típico kárstico ni de fractura, sino más complicado.

Con lo anterior se pretende sugerir que el acuífero drenado podría estar compuesto de rocas fisuradas o kársticas, que explican la influencia rápida a la infiltración de lluvias, y de sedimentos granulares de moderada permeabilidad. Además el acuífero drenado debe encontrarse a una considerable distancia del manantial por el retraso de la reacción y tanto su volumen como su superficie deben ser bastante grandes ya que la infiltración de lluvias no causa significativas variaciones en la presión hidrostática, como lo comprueba la escasa variación en el caudal.

En los diagramas no aparece en ningún período la recta de recesión característica en cualquier escurrimiento subterráneo cuando existe una larga época de estiaje. Es imposible estimar algunos importantes elementos del embalse subterráneo como, por ejemplo, su volumen, por no conocer el período de regresión.

La temperatura del agua medida en diferentes temporadas de 1992 y 1993, se mantiene en Borbollón, en Poza Chica y en Poza Azul casi constante, de $22.5^{\circ}C$. Esta temperatura equivale a la temperatura media anual del ambiente. En los 10 últimos años la temperatura media anual en Yauhtepec es de $21.45^{\circ}C$, en Ticumán de $23.5^{\circ}C$ y en Cuautla (de 30 años) es de $22^{\circ}C$.

La conductividad medida en el mismo período que la temperatura, varía de 810 a $1030 \mu S cm^{-1}$, en el Borbollón. Es un poco más alta en la Poza Azul ($1133 \mu S cm^{-1}$) y en la Poza Chica ($1210 \mu S cm^{-1}$).

El índice de pH en todos los lugares varía de 6.4 a 7.

De la muestra tomada en Borbollón el 25 de enero de 1993, el análisis químico efectuado en el Laboratorio de Biotecnología (C. B. S.) de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, arroja los siguientes resultados (Tabla 2).

Tabla 2

Las Estacas - química del agua

| | STD | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ |
|-----|-----|------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| ppm | 804 | 209.4 | 31.0 | 27.0 | 13.7 | 334.0 | 269.2 | 127.0 |
| epm | | 10.45 | 2.55 | 1.17 | 0.35 | 6.95 | 4.39 | 3.58 |
| % | | 72 | 18 | 8 | 2 | 47 | 29 | 24 |

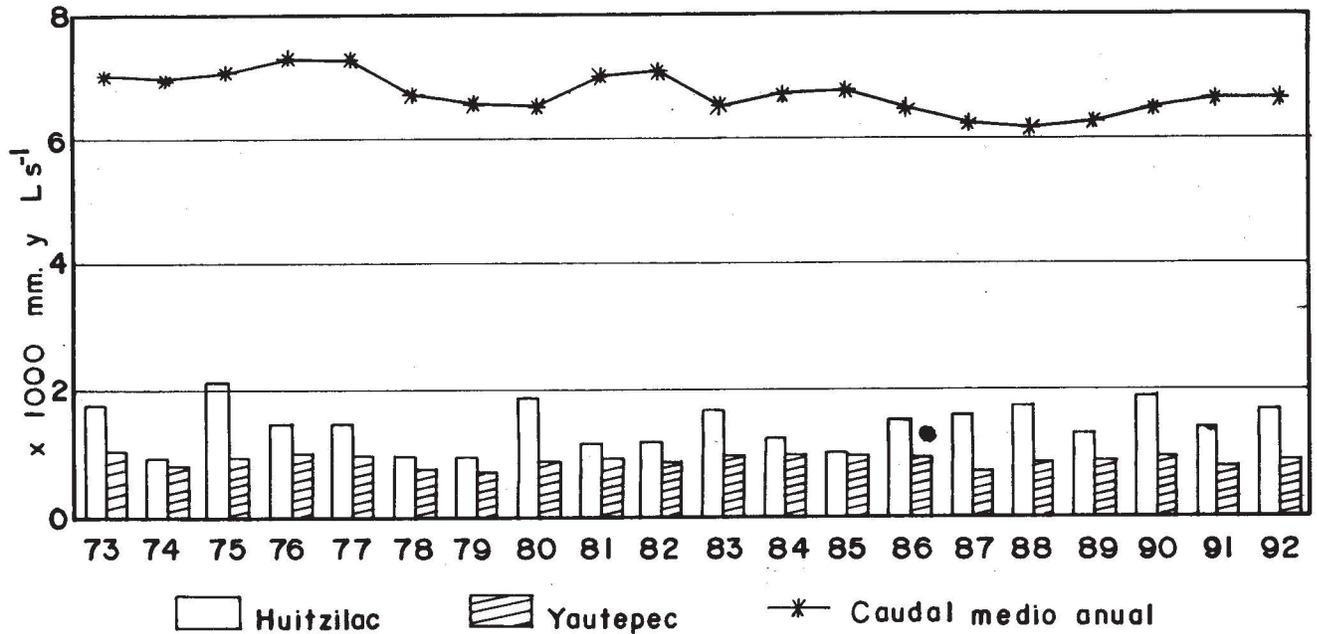


Fig. 3. Precipitaciones anuales (Huitzilac y Yautepec) y caudal anual del manantial Las Estacas.

En la muestra se encuentra plomo (0.075 mg l⁻¹) y mercurio (0.10 mg l⁻¹), en cantidades que exceden los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud para agua potable (Macioszczyk, 1987). La contaminación del agua potable por estos dos metales no debería exceder 0.05 y 0.001 mg l⁻¹ respectivamente. El plomo y el mercurio pertenecen al grupo de microelementos considerados de alto riesgo para el ambiente biológico (Macioszczyk, 1987). Se supone que su origen en la muestra es antrópico, ya que en el zona no se encuentran yacimientos de estos metales ni concentraciones de minerales que los contienen.

En el agua no se ha encontrado Cd, Cr y Zn, ni tampoco nitritos.

El agua es tetraiónica: cálcica-sulfatada-bicarbonatada-clorurada, con mineralización general algo elevada aunque dentro de las aguas dulces. En cuanto a los aniones, llama la atención el elevado contenido de sulfatos y cloruros.

El contenido de sulfatos permite clasificarla según Schoeller (Custodio y Llamas, 1983) apenas como oligo-

sulfatada. Los sulfatos indudablemente provienen de la disolución del yeso, que abunda en la región tanto en el Cretácico como en el Terciario y Cuaternario.

Con respecto a los cloruros, su elevado contenido no es característico de aguas subterráneas normales de la región donde, en general, el agua dulce de los manantiales y de la mayoría de los pozos se mantiene por debajo de 20 ppm. Por ejemplo, el agua del pozo de Puxtla tiene 19.65 ppm, y del manantial Las Tazas 2.9 ppm. También el índice hidroquímico para la muestra, rNa⁺/rCl⁻ = 0.33, presenta una relación prácticamente desconocida en condiciones naturales. Probablemente se trata de agua contaminada por sales presentes en el suelo o de desechos urbanos e industriales, o de una mezcla de aguas.

DISCUSION

La presencia de un manantial como el de Las Estacas, con un caudal estable de 6.7 m³ s⁻¹ durante los últimos 20 años, en un clima semiárido, es impresionante. ¿De dónde proviene tanta agua, cuando la cuenca del mismo manan-

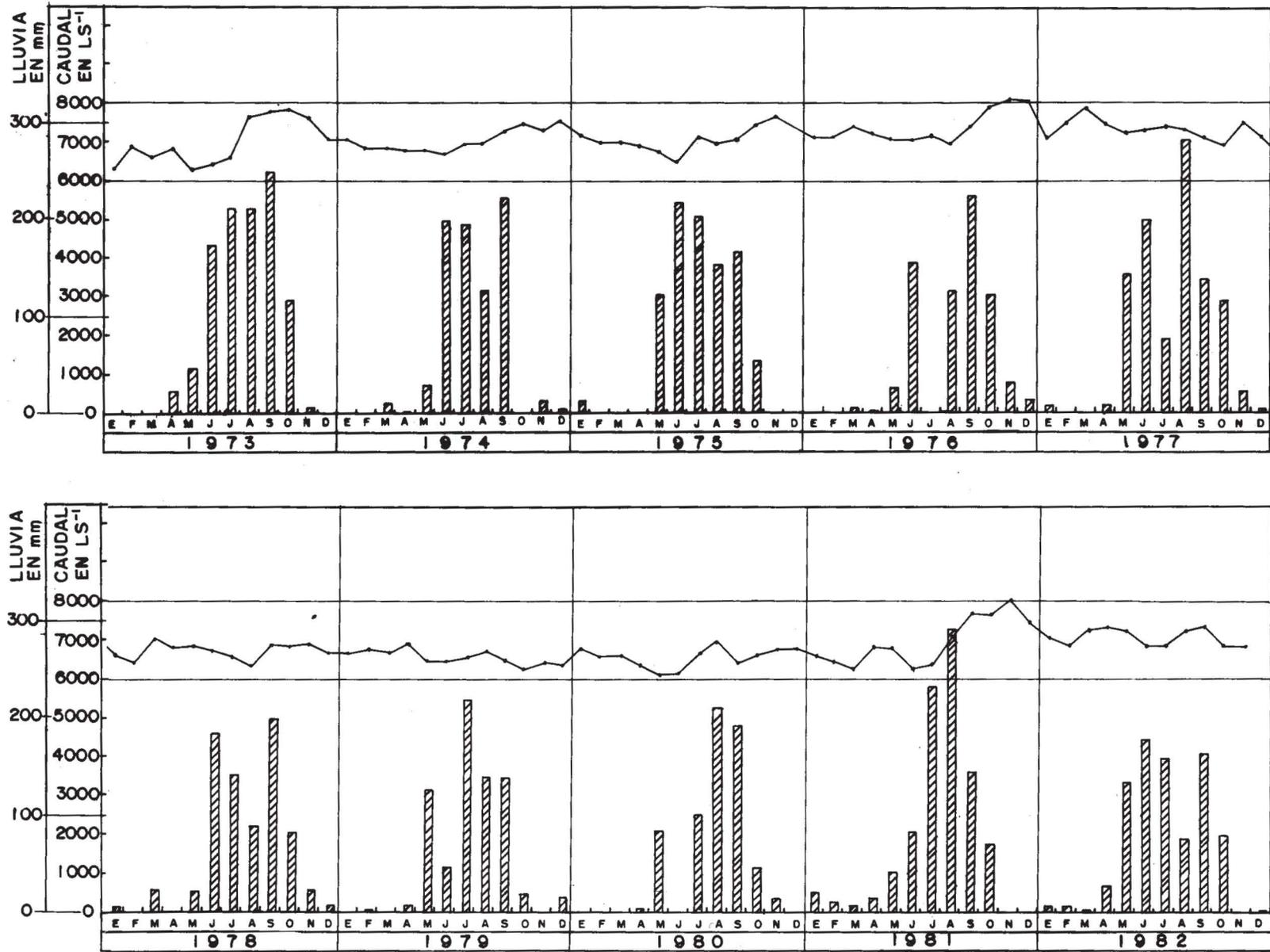


Fig. 4. Precipitación mensual (Yautepec) y caudal mensual del manantial Las Estacas del período 1973-1992.

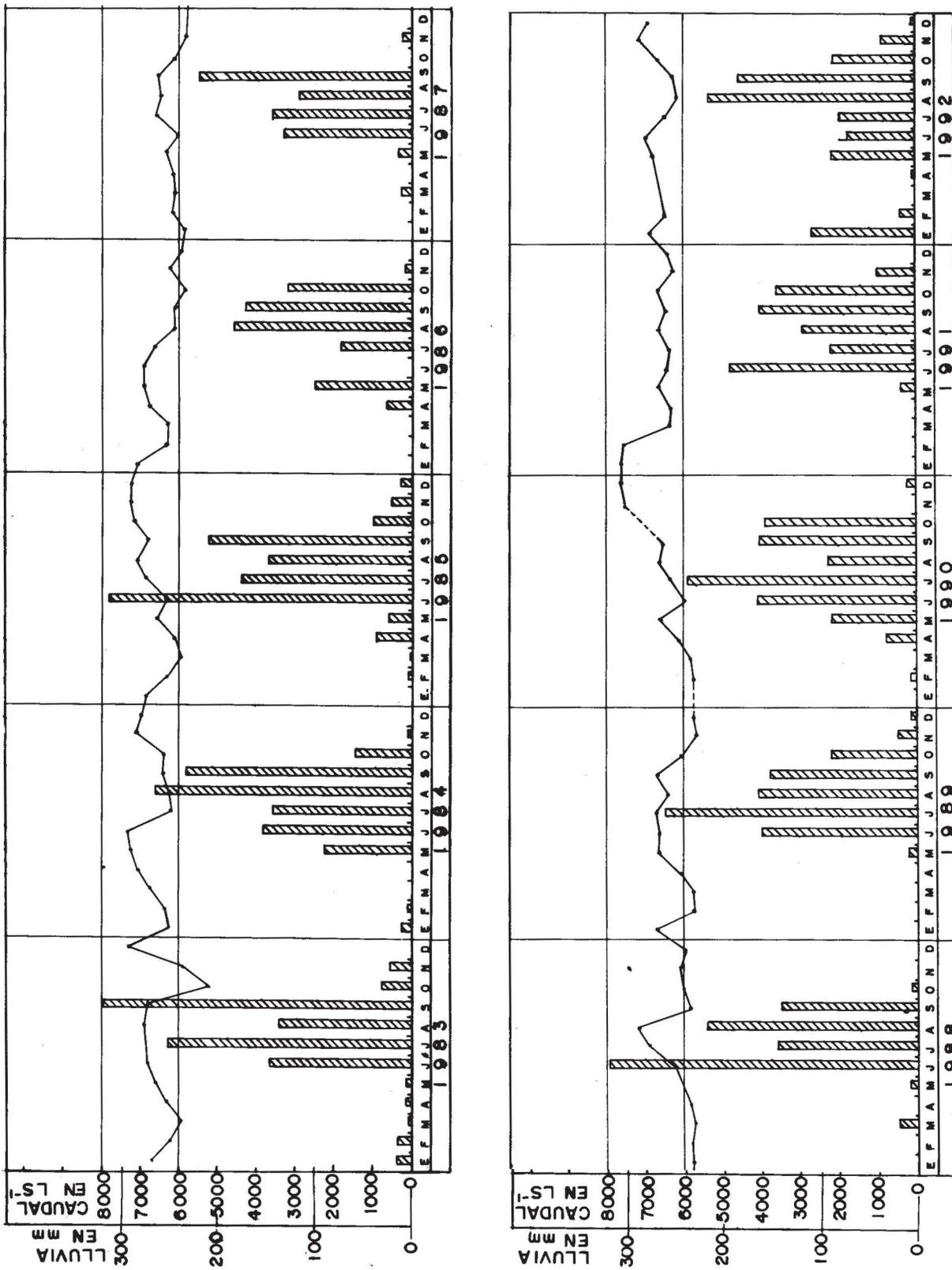


Fig. 4. (Cont.).

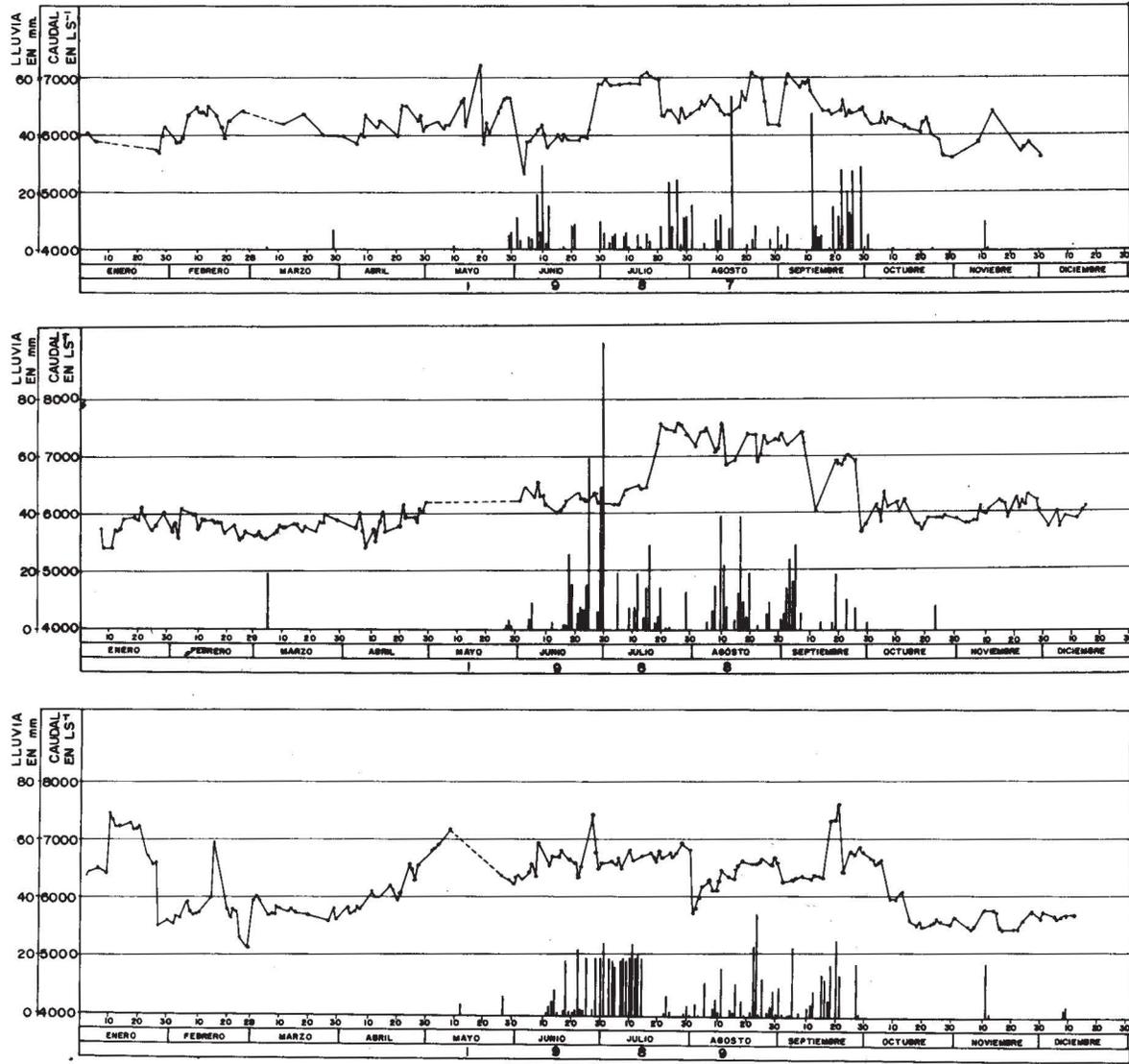


Fig. 5. Precipitación diaria (Yautepec) y caudal diario de Las Estacas en el período 1987-1989.

tial es pequeña? Hay que buscar la respuesta, no en la cuenca del río Yautepec donde se encuentra dicho manantial, sino en la cuenca adyacente del río Cuautla y por ello mencionaremos brevemente sus características.

La sub-cuenca del río Cuautla, a la altura de Villa de Ayala, tiene una forma alargada orientada NE-SW (Figura 1). Aguas arriba, alcanza la parte este de la Sierra Chichinautzin y llega casi a la cumbre del Popocatepetl. En la parte sur y oeste, está cerrada por alargados lomeríos de calizas cretácicas, los cuales el río atraviesa encajándose en un estrecho valle en las proximidades de Ayala. El área de la subcuenca es de 520 km².

El escurrimiento superficial dirigido hacia el SW da una vuelta hacia el oeste y luego se dirige al sur hacia el desfiladero, cerca de Villa de Ayala.

La sub-cuenca tiene dos acuíferos: el fisurado y el intergranular. El primero, relacionado con los basaltos del grupo Chichinautzin, es de buena productividad regional pero variable. El otro se divide en dos sub-unidades: una, de buena productividad, extendida a lo largo del río Cuautla, está relacionada con el aluvión antiguo y parcialmente con las evaporitas del grupo Balsas, y la otra, en piroclásticos del Popocatepetl y también parcialmente en los sedimentos del grupo Balsas, es de productividad local y ocupa el resto del área (Niedzielski, 1991).

Los acuíferos no tienen estratos impermeables definidos y el agua penetra por los basaltos y piroclásticos del Popocatepetl que constituyen la principal zona de recarga, a las unidades permeables subyacentes.

La dirección del flujo subterráneo horizontal imita generalmente el escurrimiento superficial. Al principio el agua subterránea fluye en la dirección SW, luego se divide en dos partes: una parte al sur y luego al oeste, para desaguar parcialmente cerca de Cuautla (Niedzielski, 1990); la otra prosigue hasta los lomeríos calcáreos que funcionan como presa y desvían el flujo hacia el sur. Finalmente todo el flujo subterráneo se concentra cerca de Villa de Ayala y aparece al otro lado de los lomeríos (Figura 1) en los manantiales del Colibrí y el Axocoche entre otros. Esta descarga tiene un caudal de 600 l s⁻¹ (Niedzielski, 1991); es parcial evidentemente. Se supone que el principal caudal subterráneo aprovecha las fallas y fracturas W-E y finalmente descarga en Las Estacas. En otras palabras, se supone que los acuíferos de la sub-cuenca de Cuautla desagüan por un túnel kárstico de longitud de cerca de 13 km (en línea recta), situado entre Villa de Ayala y Las Estacas (Figura 1). La dirección del túnel sería paralela a la dirección del río Balsas, lo cual parece más probable para un flujo subterráneo que cruza cuencas hidrográficas. En esta dirección más al oeste de Las Estacas hay fenómenos kársticos como los lagos El Rodeo y Coatetelco (dolinas), así como las grutas de Cacahuamilpa.

El gradiente hidráulico entre Villa Ayala y Las Estacas es grande, del orden de 1.8%. Esto explicaría por qué brota el agua en Las Estacas con tanta fuerza.

En la sub-cuenca del río Cuautla, terminando el período seco, la descarga de los acuíferos es del orden de 7.4 m³ s⁻¹ (Niedzielski, 1991). La mayor parte del agua se utiliza para el riego, del modo que parcialmente vuelve a recargar los acuíferos bajo las zonas de descarga que se encuentran cerca de Cuautla. Este reciclaje de agua hace que la presión hidrostática, en la parte sur-oeste de la sub-cuenca, tenga poca variación anual. Durante las lluvias se reduce la irrigación: así en los primeros meses secos los manantiales aumentan su caudal (Niedzielski, 1993a). Al aumentar el riego se sostiene el equilibrio del nivel del agua en la parte baja de la sub-cuenca. Esto explica la escasa variación anual del régimen del manantial de Las Estacas, y la falta de un período de agotamiento.

Puesto que algo de lluvia puede infiltrarse directamente en la zona kárstica, existe alguna coincidencia entre la precipitación y el caudal. Pero cuando la infiltración proviene de otras zonas esta coincidencia desaparece. Así, la alimentación del manantial es muy compleja, sin que domine el acuífero kárstico. Hay que descartar la posibilidad de que el manantial drene la sub-cuenca del río Yautepec; por estar compuesta principalmente de rocas sólidas (calizas y basaltos), el régimen del manantial sería más variable.

El régimen del manantial es dominado por oscilaciones periódicas de 2-3 años, relacionados con los años más y menos húmedos.

Los recursos subterráneos de la sub-cuenca del río Cuautla son suficientes para explicar el gran caudal del manantial. La suma de descargas en Colibrí-Axocoche y en Las Estacas (0.6 + 6.7 = 7.3 m³ s⁻¹) equivale a la recarga media anual de 440 mm, con respecto al área de 520 km². Esto representa el 37% de infiltración de la precipitación media anual y coincide con el índice de infiltración (38%) estimado para un área de 341 km², parte de la misma cuenca (Niedzielski, 1991). La sub-cuenca de Cuautla todavía no está excesivamente explotada y por eso no se observa una reducción del caudal del manantial en los últimos años, lo que sí ocurre en la cuenca de Cuernavaca (Niedzielski, 1993b). Esto concuerda con la procedencia del agua de Las Estacas.

La temperatura del agua del manantial demuestra su circulación relativamente somera lo que va a la par con su contaminación.

El contenido de iones mayores disueltos en el agua de Las Estacas es atípico para aguas de calizas. En la Figura 6 se presentan cuatro análisis de aguas: del manantial de Las Tazas considerada como típica, originada de los basaltos de Chichinautzin; de Agua Hedionda, que representa una solución de yeso de los sedimentos del grupo Balsas; del manantial Las Estacas, y una composición promedio del agua proveniente de los basaltos cuaternarios del grupo Snake River en Estados Unidos de Norte América (Wood y Fernández, 1988). Las aguas de los basaltos del grupo Chichinautzin y de Snake River representan el mismo tipo: bicarbonatada-cálcica y magnésica, que también es típica para manantiales kársticos en calizas. La única diferencia es que el agua de Las Tazas tiene mayor contenido del magnesio. En cambio, el agua de Las Estacas se ubica en

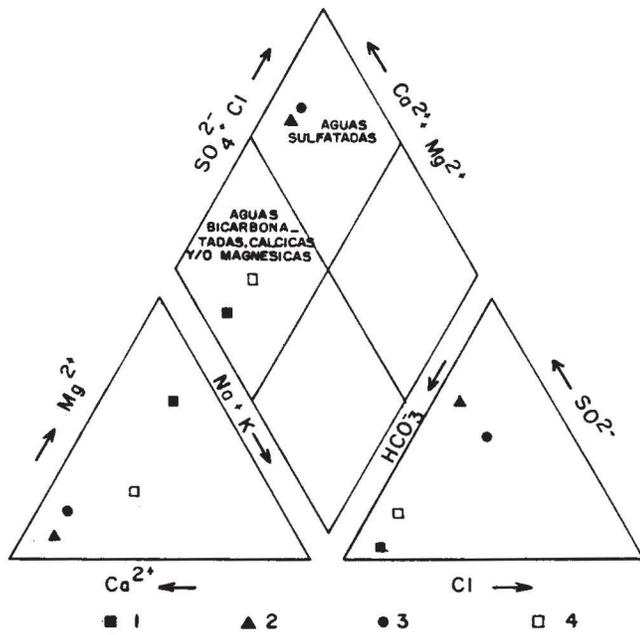


Fig. 6. Diagramas triangulares de análisis de las aguas: 1- Las Tazas; 2- Agua Hedionda; 3- Las Estacas; 4- Snake River.

el grupo de aguas sulfatadas que no son típicas para manantiales de calizas. Observando su contenido de aniones se ve que el agua de Las Estacas constituye simplemente una mezcla de aguas de basaltos y la dilución de yeso del grupo Balsas (representada por la muestra del manantial de Agua Hedionda).

CONCLUSIONES

En conclusión, los argumentos citados sugieren que el manantial de Las Estacas, en la cuenca del río Yautepec, constituye una descarga de flujo subterráneo y quizá parcialmente superficial, de la sub-cuenca del río Cuautla a través del sistema kárstico que cruza ambas cuencas hidrográficas. Se descarta la influencia de flujos profundos regionales en el caudal de Las Estacas (Vázquez-Sánchez *et al.*, 1989).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los ingenieros Antonio de la Hoz y Alfredo Ortiz, de la Gerencia Estatal de la CNA en Morelos, por proporcionarme datos hidrométricos y climatológicos, así como a las autoridades de PEMEX por datos geológicos. Al Sr. Jorge Martínez, gerente de la administración de Las Estacas, por permitirme libre acceso al balneario, y a los biólogos Evangelina Juárez y Edgar Alvarez por hacer posibles las tomas de fotografías subacuáticas. Agradezco también al M. en C. Oscar Monroy y a los Ingenieros A. Torres y A. Díaz de la UAM-I por los análisis químicos del agua.

BIBLIOGRAFIA

BAZAÑEZ, M. A. y A. RUIZ, 1983. Estudio estratigráfico-sedimentológico del Cretácico en el área de Cuernavaca, Mor. Poy. C-1136, IMP, 1-34. Inédito.

CUSTODIO, E. y M. R. LLAMAS, 1983. Hidrología Subterránea. T 1, 1-1157, Omega, Barcelona.

FRIES, C. Jr., 1960. Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. Inst. Geol., UNAM, Boletín 60.

INEGI, 1979. Carta geológica Jojutla de Juárez, 1:50 000, E-14, A-69, seg. ed.

LOPEZ, R. E., 1983. Geología de México. T 3, 1-453, 3a. ed.

MACIOSZCZYK, A., 1987. Hydrogeochemia. W. G. 1-475, Warszawa.

MOLINA TORRES, C., 1991. El problema geológico del abastecimiento de agua en Cuernavaca. Ing. Hidr. en México, VI, 1, 9-13.

NIEDZIELSKI, H., 1990. Characteristic Manner of Groundwater discharge in the Cuautla River Sub-basin (Mexico). XXII Congr. IAH, Lausanne, Suiza, Memoires, 1, 563-570.

NIEDZIELSKI, H., 1991. Resultados de la elaboración del mapa hidrogeológico, 1:50 000, hoja Cuautla. Univ. Ciencia y Tecnología. 1, 4, 3-17.

NIEDZIELSKI, H., 1993a. Productivity of the Basalt Aquifer of the Eastern Part of the Chichinautzin Group (Mexico). Memoires of the XXIV-th. Congress of the IAH, Oslo, 1 parte, 281-289.

NIEDZIELSKI, H., 1993b. El Túnel, un manantial en Cuernavaca, Morelos México. *Geofis. Int.*, 32, 1, 81-88.

PAZDRO, Z., 1983. Hidrogeología Ogólna. W.G. 1-575, Warszawa.

RAISZ, E., 1959. Landforms of Mexico (mapa), Cambridge, Mass.

VAZQUEZ-SANCHEZ, E., A. CORTES, R. JAIMES-PALOMERA y P. FRITZ, 1989. Hidrogeología isotópica de los valles de Cuautla y Yautepec, México. *Geofis. Int.*, 28, 2, 245-264.

WOOD, W. W. y L. A. FERNANDEZ, 1988. Volcanic rocks, Chap. 39 In: The geology of North America, 2-0. Hydrogeology, 353-365. Geol. Soc. Am., Washington.

Henry Niedzielski
 Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa,
 División de Ciencias Básicas e Ingeniería,
 Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica
 06140 México, D.F. México.