

## CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LAS AGUAS DEL LAGO DE TEQUESQUITENGO, ESTADO DE MORELOS

Lisandro Castellanos-Trujillo<sup>1</sup>  
y Sergio Palacios-Mayorga<sup>2</sup>

### RESUMEN

Se presentan algunas características físicas, químicas y biológicas del Lago de Tequesquitengo, localizado en el Estado de Morelos, con el propósito de contribuir a su conocimiento en relación con el fenómeno de mortandad de peces que ocasionalmente se presenta.

La conductividad eléctrica (2.46 mmhos/cm<sup>3</sup>) y el residuo sólido total del agua (2.8°/oo) permiten clasificar a este lago como oligohalino. El análisis de cationes y aniones totales indica una relación Mg/Ca elevada para aguas dulces, concentraciones altas de sodio, sulfatos y estroncio; éste último en concentraciones de 1.0 ppm.

Los valores de O<sub>2</sub> disuelto, en la mayoría de las localidades muestreadas, resultan ser óptimos hasta una profundidad de 8 m (de 5.13 a 8.71 ml/l), a partir de esta profundidad tiende a ser anóxico.

El N-NH<sub>4</sub> fluctúa de 1.0 a 194 ug/l; el N-NO<sub>2</sub> de 1.0 a 11.0 ug/l; el N-NO<sub>3</sub> de 10.0 a 328.5 ug/l, y el P-PO<sub>4</sub> de 0.5 a 96.0 ug/l. Con ninguno de los nutrimentos antes mencionados se observó una correlación entre la concentración y la profundidad.

El Número Más Probable (NMP) de bacterias coliformes indica contaminación con aguas negras o con heces de animales, la cual se estima de mediana a elevada en la mayor parte de las aguas superficiales.

La detección de un gradiente vertical de temperatura de 6° C, la diferencia de pH, alcalino en la superficie y ácido en el fondo, su comportamiento anóxico de los 8.0 m de profundidad hacia el fondo, y la concentración del ión sulfuro (0.5 a 16.0 ppm) que tiende a incrementarse con la profundidad, son la base para emitir una hipótesis sobre la convección de las aguas a causa de su enfriamiento superficial ocasional, que trae como consecuencia el consumo del O<sub>2</sub> disuelto por el ión sulfuro y, por tanto, la asfixia masiva de la fauna piscícola.

### ABSTRACT

Certain physical, chemical and biological characteristics of Lake Tequesquitengo in the State of Morelos, are presented to enlighten on such a phenomenon as the mortality of the fish species, which occasionally occurs there.

The electric conductivity, (2.46 mmhos/cm<sup>3</sup>) and the total solid residue of its water (2.8°/oo) allow to classify it as being oligohaline. The total cation and anion analyses indicate a high Mg/Ca relation as well as concentration of sodium, sulphates and strontium; the later in concentrations of 1.0 ppm.

Values of dissolved O<sub>2</sub> are eminently good in most localities sampled to a depth of 8 m (from 5.13 to 8.71 ml/l); from this depth downwards it tends to be anoxic.

No correlation was observed with any of the nutrients between concentration and depth. N-NH<sub>4</sub> fluctuates from 1.0 to 194 ug/l, N-NO<sub>2</sub> from 1.0 to 11.0 ug/l, N-NO<sub>3</sub> from 10.0 to 328.5 ug/l, and P-PO<sub>4</sub> from 0.5 to 96.0 ug/l.

The Most Probable Number (MPN) of coliform bacteria indicates contamination from sewage, or from animal feces, estimated from medium to high in the majority of the surface waters.

Detection of a vertical temperature gradient of 6.0°C, the difference of pH which is alkaline at the surface and acid at the bottom, its anoxic behavior from a depth of 8.0 m downwards to the bottom, and the concentration of sulphide ion (0.5 to 16.0 ppm) which tends to increase with depth, constitute the basis of a hypothesis on the convection of the waters due to occasional cooling at surface, which results in the consumption of O<sub>2</sub> dissolved by the sulphide ion, thus causing the massive asphyxia of the fish population.

### INTRODUCCION

De algunos años a la fecha ha existido inquietud entre los moradores de la región del Lago de Tequesquitengo, en el Estado de Morelos (Figura 1), sobre la causa de la mortandad de los peces que ocasionalmente se presenta en él. Este fenómeno ha orillado a pensar que el lago pudiera alcanzar, en determinado momento, un alto grado de contaminación, lo cual se manifiesta con la aparición del mis-

mo. Esta suposición puede encontrar apoyo en el estudio de Palacios-Mayorga (1972) en el cual se reporta un alto número de bacterias coliformes como índice de contaminación. La mortandad de los peces desalienta cualquier proyecto tendiente a incrementar la población piscícola del lago, o de repoblarlo con nuevas especies. Por otra parte, el fenómeno resulta tan desagradable al visitante que la afluencia de turismo puede llegar a disminuir considerablemente y, consecuentemente, afectar a los habitantes de la región quienes, en forma directa o indirecta, dependen económicamente del lago.

Con el propósito de contribuir al conocimiento del lago en relación a este fenómeno, se consideró conveniente establecer: (1) la correlación del pH

1 -- Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

2 -- Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

y la temperatura a diferentes profundidades, con la cantidad de oxígeno y sulfhídrico disueltos; (2) la estimación del arsénico, plomo, cobre, zinc, detergentes y microorganismos coliformes, como índices de contaminación; (3) el análisis de cationes y aniones totales, que permite su clasificación desde el punto de vista de su salinidad; y (4) la cuantificación del amonio, nitritos, nitratos y fosfatos que permite valorar el potencial de nutrimentos en el lago.

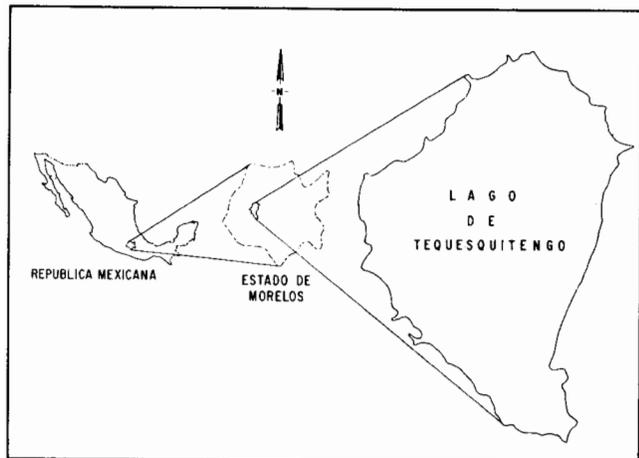


Figura 1.—Localización del área de estudio.

LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS DE LA REGION

El Lago de Tequesquitengo se localiza al poniente de la parte central del Estado de Morelos (Figura 1), entre las coordenadas 18°38' de latitud norte y 99°15' de longitud oeste, a una altitud de 900 m.s.n.m. Según García (1964), la región tiene un clima Aw" o (w) (e) g, con temperatura mayor de 18°C, en el mes más frío, y en el mes más caliente de 28°C. Es el clima más seco de los cálidos húmedos por lo que corresponde a la categoría de subhúmedos.

El lago no recibe un aporte de agua en forma regular; sin embargo, durante el verano algunos arroyos pequeños vacían sus aguas en él. Se supone que admite algunas aguas en forma subterránea (Tamayo, 1962). Entre la época seca y la lluviosa, el nivel de agua varía aproximadamente 1.0 m y a raíz de que éste llegó a subir 2.5 m se construyó un túnel de desfogue en 1950, el cual se localiza en la parte occidental, vertiendo los excedentes del lago en un arroyo tributario del río Amacuzac.

Fries (1960) definió al Lago de Tequesquitengo como un polje en la Formación Cuernavaca, de edad pliocénica, formado por la disolución de rocas calcáreas y de anhidritas de las formaciones cretácicas subyacentes, durante el final del Pleistoceno. En vista de que la terminología sobre geomorfología kárstica se encuentra aún en discusión, el Lago de Tequesquitengo puede ser considerado como un sumidero o dolina grande de colapso (Z. de Cserna, comunicación personal; Sweeting, 1973).

MUESTREOS

Los muestreos se hicieron durante los meses de abril, mayo y junio de 1974. Las muestras de agua

se tomaron tanto de la parte central del lago, siguiendo su diámetro mayor, como de la periferia, y de estas a la orilla y a poco más o menos 40 m de ella (Figura 2). Las profundidades fluctuaron entre 0 m (muestras superficiales) y 28 m (Tablas 2-4 y 6). Se utilizaron en todos los casos botellas Van Dorn de 2 litros de capacidad.

Las muestras para el análisis químico se coleccionaron en frascos de plástico de 1 litro de capacidad, con excepción de las muestras para la determinación de O<sub>2</sub> disuelto, para lo cual se utilizaron frascos de cristal color ámbar con tapón esmerilado, de 125 ml. Para las determinaciones bacteriológicas se utilizaron frascos de plástico estériles, con capacidad de 130 ml.

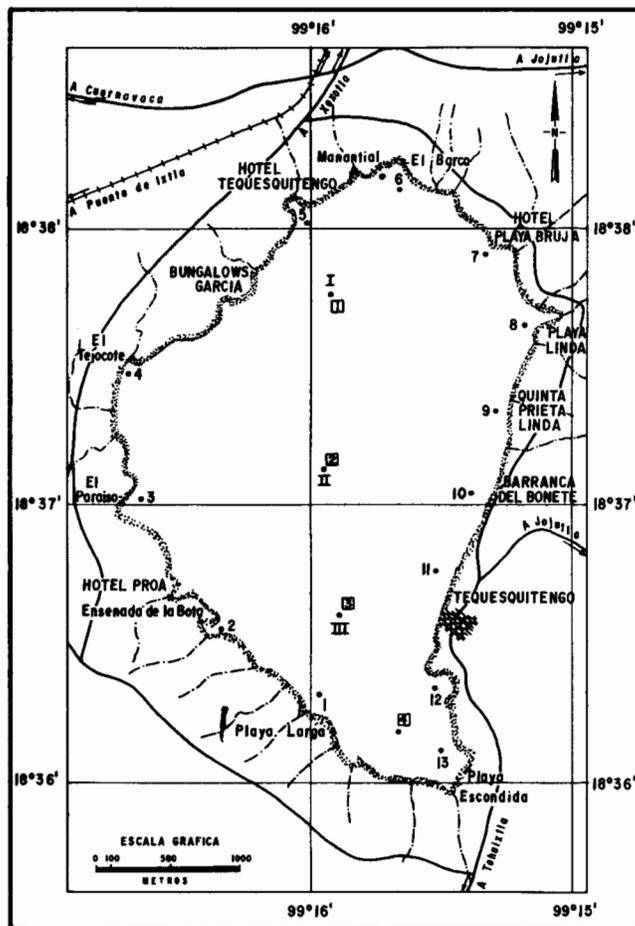


Figura 2.—Mapa de las localidades de muestreo de aguas del Lago de Tequesquitengo, Estado de Morelos.

METODOS ANALITICOS

**pH.**—Se determinó potenciométricamente, utilizando un aparato Beckman Zeromatic.

**Conductividad eléctrica.**—Utilizando un puente de conductividad marca Philips, Mod. p-R 9501.

**Oxígeno disuelto.**—Se determinó por el método de Winkler, modificado por Carpenter (1966) en Strickland (1972).

**Ion sulfuro.**—Los sulfuros solubles en agua se determinaron colorimétricamente, según el método descrito por Rahim *et al.* (1972).

**Arsénico.**—Por el método de Sanger — Black, modificado (Treadwell, 1956).

**Plomo, cobre y zinc.**—Se determinaron colorimétricamente por el método propuesto por Ward *et al.* (1963).

**Detergentes.**—Determinados por el método de azul de metileno (APHA *et al.*, 1971).

**Bacterias coliformes.**—Se determinó el NMP (Número Más Probable) mediante las pruebas de tubos múltiples de fermentación (APHA *et al.*, 1971).

**Estroncio.**—Flamométricamente y por rayos X en los sólidos totales.

**Calcio.**—Por el método titrimétrico del permanganato (Vogel, 1961).

**Sodio y potasio.**—Por flamometría, utilizándose un flamómetro EEL Evans (Obregón-Pérez, 1973).

**Magnesio.**—Gravimétricamente como  $Mg_2P_2O_7$  (Rodier, 1975).

**Cloruros.**—Por titulación con nitrato de plata (Rodier, 1975).

**Carbonatos y bicarbonatos.**—Se determinaron volumétricamente mediante titulación con HCl 0.05 N (Treadwell, 1956).

**Sulfatos.**—Gravimétricamente como sulfato de bario (Rodier, 1975).

**Silice.**—Se determinó como  $SiO_2$  colorimétricamente como ácido silicomolibdico (Obregón-Pérez, 1973).

**Amonio.**—Se utilizó el método colorimétrico del Fenolhipoclorito (Degobbi, 1972).

**Nitritos.**—Colorimétricamente según el método de Bendschnelder y Robinson (Strickland, 1972).

**Nitratos.**—Colorimétricamente por reducción a nitritos, usando una columna de Cd y Cu (Strickland, 1972).

**Fosfatos.**—Colorimétricamente por el método del azul molibdofosfórico (Strickland, 1972).

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se aprecia que la suma de los equivalentes catiónicos y aniónicos es de  $42.87 \times 10^{-3}$  y de  $42.01 \times 10^{-3}/l$ , respectivamente, la diferencia de  $0.86 \times 10^{-3}$  puede corresponder a los nutrimentos aniónicos (Tabla 2), a las pequeñas cantidades de detergentes detectados como dodecilsulfonato de sodio en una proporción de  $0.23 \times 10^{-3}$  ppm, y a errores analíticos.

No se encontró una variación significativa de la conductividad eléctrica entre las muestras de las diferentes estaciones y profundidades (Tabla 3); el valor promedio fue de 2.46 mmhos/cm<sup>3</sup>. El residuo sólido del agua resultó ser de 2.8321 ‰ (Tabla 1) por lo que, según la escala propuesta por Remane y Schlieper (*in* Ringuelet, 1962), se puede clasificar como un lago de aguas OLIGOHALINAS, con una relación molar Mg/Ca de 1.57 elevada para un lago de agua dulce; esto resulta ser de importancia si se considera lo expuesto por Ringuelet (1962) en relación con el hecho de que los animales dulceacuícolas son poco tolerantes a una concentración discreta de magnesio, a menos que el exceso de este catión esté compensado por el calcio.

Tabla 1.—Análisis promedio de cationes y aniones totales en cinco muestras de agua.

IONES	ppm	MOL-ION	CATIONES ANIONES	
			NUM. EQUIV. X 10 <sup>-3</sup> /l	
Na	320.00	23.00	13.91	
K	33.00	39.10	0.84	
Ca	220.00	40.00	10.86	
Mg	210.00	24.31	17.26	
SiO <sub>2</sub>	50.00	60.10		
CO <sub>3</sub>	42.00	60.00		1.40
HCO <sub>3</sub>	140.13	61.00		2.29
Cl	47.00	35.45		1.46
SO <sub>4</sub>	1,770.00	96.00		36.86
		Suma	42.87	42.01

Residuo sólido total en ‰ = 2.8321  
Rel. molar Mg/Ca = 1.571

Análisis hechos en los laboratorios del Instituto de Geología por Lisandro Castellanos-Trujillo.

Las elevadas concentraciones de sodio y potasio se deben, probablemente, al acarreo de estos elementos que, llevan a cabo algunos pequeños arroyos que vierten sus aguas al lago durante el verano (Figura 2) y que, a su vez, pueden provenir de la lixiviación de los fertilizantes de los campos de cultivo cercanos, principalmente cañeros.

Es muy probable que el alto contenido en iones  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ , provenga de calizas y dolomitas, ya que, según Fries (1960), la disolución de rocas carbonatadas y de anhidritas es un proceso que continúa hasta nuestros días.

Reeder *et al.* (1972) llegan a la conclusión de que algunos corales del Cretácico, que actualmente se encuentran formando parte de calizas y dolomitas de la misma edad, enriquecen a dichas rocas con estroncio, el cual pasa a las aguas por efecto de disolución. Esto nos explica el haber detectado 1.0 ppm de este elemento, cantidad que pudiera considerarse relativamente alta, si se toma en cuenta el trabajo del autor arriba mencionado, en el que se señalan cantidades máximas de 0.8 ppm de Sr para algunos ríos de América del Norte.

## EL OXIGENO Y LOS NUTRIMENTOS

En las aguas de lagos estancados, principalmente, el  $O_2$  disuelto es el factor que determina que los cambios biológicos se lleven a cabo por los microorganismos, aeróbios o anaeróbios. Los primeros, al utilizar el  $O_2$  para oxidar la materia orgánica, dan productos finales inócuos para la vida de los peces y plantas acuáticas, mientras que los segundos logran la misma oxidación mediante la reducción de compuestos inorgánicos que contienen oxígeno, liberando productos finales que, por lo general, son tóxicos para la flora y fauna acuáticas. Tanto los organismos aeróbios como los anaeróbios están ampliamente distribuidos en la naturaleza dentro del medio acuático. El conocimiento de sus mecanismos biológicos ayudará a evitar el predominio de los aeróbios y, por ende, de sus productos metabólicos finales que son nocivos para la vida acuática.

En la Tabla 4 (Estaciones 2, 3, 5 y 8) se

Tabla 2.—Cuantificación de los micronutrientos.

ESTACION	PROFUNDIDAD	N-NH <sub>4</sub>		N-NO <sub>2</sub>		N-NO <sub>3</sub>		P-PO <sub>4</sub>	
		ug/l	ug at/l						
1	superficial	194.0	13.85	5.5	0.39	16.5	1.78	1.0	0.03
	5 m	124.0	8.85	5.5	0.39	17.5	1.25	2.5	0.08
2	superficial	110.0	7.85	11.0	0.78	11.0	0.78	32.0	1.03
	3 m	132.0	9.42	6.0	0.42	18.0	1.28	49.0	1.58
	8 m	176.0	12.57	12.6	0.89	—	—	—	—
3	superficial	80.0	5.71	5.5	0.39	10.5	0.75	9.0	0.29
	3 m	122.0	8.71	5.5	0.39	17.5	1.25	0.5	0.01
	8 m	176.0	12.57	4.5	0.32	17.5	1.25	32.0	1.03
4	superficial	116.0	8.28	—	—	—	—	1.0	0.03
	3 m	158.0	11.28	5.0	0.35	11.0	0.78	5.0	0.35
	8 m	1.0	.07	3.0	0.21	13.0	0.92	1.0	0.03
5	superficial	176.0	12.57	5.5	0.39	10.5	0.75	2.5	0.08
	3 m	66.0	4.71	6.0	0.42	10.0	0.71	0.5	0.01
	8 m	194.0	13.85	4.5	0.32	19.5	1.39	—	0.01
6	superficial	142.0	10.14	3.5	0.25	76.5	5.46	11.0	0.35
	3 m	100.0	7.14	1.5	0.10	52.0	3.71	25.0	0.80
	8 m	94.0	6.71	1.0	0.07	69.0	4.92	27.0	0.87
7	superficial	18.0	1.28	3.0	0.21	62.0	4.42	6.0	0.19
	3 m	36.5	2.60	4.0	0.28	68.5	4.89	66.0	2.12
	8 m	46.5	3.32	5.2	0.37	58.8	4.20	88.0	2.83
8	superficial	23.5	1.67	4.0	0.28	54.0	3.85	59.0	1.90
	3 m	37.5	2.67	4.5	0.32	66.0	4.71	77.0	2.48
	8 m	18.0	1.28	3.5	0.25	66.5	4.75	60.0	1.93
9	superficial	34.5	2.46	4.0	0.28	54.0	3.85	88.0	2.84
	5 m	19.0	1.35	4.0	0.28	57.0	4.07	34.0	1.09
10	superficial	32.7	2.33	3.0	0.21	62.0	4.42	88.0	2.84
	3 m	33.8	2.41	4.5	0.32	47.0	3.35	96.0	3.09
	8 m	25.0	1.78	2.5	0.17	59.5	4.25	52.0	1.67
11	3 m	18.0	1.28	3.5	0.25	71.5	5.07	42.0	1.35
	8 m	27.0	1.92	2.5	0.17	70.5	5.03	45.0	1.45
12	superficial	20.0	1.42	3.0	0.21	41.0	2.92	42.0	1.35
13	superficial	36.5	2.60	4.5	0.32	60.5	4.28	45.0	1.45
	3 m	35.0	2.57	5.0	0.35	45.0	3.21	88.0	2.84
	8 m	38.5	2.75	3.5	0.25	65.5	4.64	52.0	1.67
manantial	superficial	0.0	0.00	1.5	0.10	328.5	23.42	22.0	0.71
manantial	superficial	0.0	0.00	1.0	0.07	141.0	10.07	27.0	0.87
I	superficial	94.0	6.71	2.0	0.14	79.0	5.64	5.0	0.16
	3.5 m	100.0	7.14	3.5	0.25	69.5	4.96	10.0	0.32
	7 m	40.0	2.85	2.0	0.14	70.0	5.00	25.0	0.80
	11 m	40.0	2.85	1.0	0.07	131.5	9.35	24.0	0.77
II	superficial	134.0	9.57	3.0	0.21	151.0	10.78	1.0	0.03
	3.5 m	86.0	6.14	3.5	0.25	92.5	6.57	49.0	1.58
	7 m	52.0	3.71	1.5	0.10	35.0	2.50	30.0	0.96
	11 m	52.0	3.71	2.0	0.14	30.0	2.14	45.0	1.45
III	superficial	104.0	7.42	2.0	0.14	64.0	4.57	2.5	0.08
	3 m	86.0	6.14	2.0	0.14	51.5	3.67	25.0	0.80
	8 m	40.0	2.85	2.0	0.14	53.5	3.82	42.0	1.35
	11 m	78.8	5.57	1.5	0.10	83.0	5.92	42.0	1.35

Nota: La localización de las estaciones de muestreo está señalada en la Figura 2.

aprecia que, durante los meses de abril, mayo y junio, en algunos lugares del lago se pueden encontrar cantidades óptimas de O<sub>2</sub> disuelto hasta una profundidad de 8 m. Sin embargo, en las estaciones restantes, 4, 7, 10, 11, I y II, de la misma tabla, el O<sub>2</sub> fluctúa entre 1.71 y 0.12, a 8 m de profundidad, valores que se encuentran entre el mínimo letal y letal para los peces (Tabla 5). A partir de los 10 m de profundidad ya no se detectó O<sub>2</sub> en ninguna

estación. De lo anterior se concluye que las cantidades relativamente altas de O<sub>2</sub> son debidas a la difusión de éste elemento en la capa superficial y a la existencia de plantas, tanto macroscópicas como microscópicas, que en esta época llegan a encontrarse hasta los 8 m de profundidad (Estaciones 2, 3 y 8). En la Tabla 5 se dan los valores óptimo, mínimo y letal para peces de estanque.

Tabla 3.—Temperatura, sulfuros, pH y conductividad eléctrica en función de la profundidad.

ESTACIONES CENTRALES (COLUMNAS DE MUESTREO)	PROFUNDIDAD METROS	TEMPERATURA °C	SULFUROS (ppm)	pH	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA mmhos/cm <sup>2</sup> a 25°C.
1	0.0	29	0.05	8.70	2.50
	10.0	26	0.05	8.15	2.50
	20.0	24	12.82	7.19	2.45
	28.0 (fondo)	23	15.18	6.58	2.40
2	0.0	29	0.05	8.70	2.50
	10.0	26	0.10	8.25	2.50
	20.0	24	12.88	7.20	2.45
	25.0	23	13.50	7.00	2.40
3	0.0	29	0.05	8.50	2.50
	10.0	26	0.05	8.10	2.50
	15.0	25	11.47	7.51	2.50
	20.0	24	14.68	6.91	2.40
4	0.0	29	0.05	8.70	2.50
	6.5	27	0.10	8.40	2.50
	10.0	27	5.40	8.10	2.50
	13.0 (fondo)	25	12.48	7.41	2.45

Nota: La localización de las estaciones de muestreo está señalada en la Figura 2.

#### NUTRIMENTOS

En la Tabla 2 se muestran los valores en ug/l de: N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>2</sub>, N-NO<sub>3</sub> y de P-PO<sub>4</sub>, detectados en las mismas estaciones donde fue detectado el O<sub>2</sub>. Se observa que en la mayoría de los casos los valores más altos corresponden al N-NO<sub>3</sub> que fluctúa entre 328.5 y 10.0 ug/l, en las estaciones "Manantial" y 5 (a 3 m de profundidad), respectivamente (Figura 2). En orden decreciente siguen el N-NH<sub>4</sub>, el cual varía de 194.0 a 1.0 ug/l, en las estaciones 1 superficial y 4 (a 8 m de profundidad) respectivamente; esto en el "Manantial" resultó indetectable. El N-NO<sub>2</sub> se encontró en valores que van de 12.57 a 1.0 ug/l correspondiendo a las muestras 2 (a 8 de profundidad) el valor más alto, y a la 6 (a 8 m de profundidad), "Manantial" y 1 (a 11 m de profundidad) los valores más bajos. Por último, el P-PO<sub>4</sub> se reporta entre 96 y 0.5 ug/l, estaciones 10 (a 3 m de profundidad) y 5 y 3 (a la misma profundidad), respectivamente. Con ningún nutriente se apreció una clara correlación entre la concentración y la profundidad.

Si se toma en cuenta que algunos autores como Sawyer (1952) (*in* SRH Publicaciones Técnicas, 1973), que han considerado que la eutroficación de un lago estratificado se manifiesta con cantidades de 0.1 ppm de fósforo inorgánico, resulta evidente que en este lago los nutrientes no son causa de eutroficación.

En la Tabla 3, se aprecian los datos obtenidos de las columnas de muestreo que se hicieron, desde la superficie hasta el fondo, en la parte central del lago (Figura 2, números arábigos encerrados en un

Tabla 4.—Cuantificación del oxígeno disuelto en función de la profundidad.

ESTACION	PROFUNDIDAD EN METROS	ml de O <sub>2</sub> /l	ESTACION	PROFUNDIDAD EN METROS	ml de O <sub>2</sub> /l
1	superficial	6.29	9	superficial	5.13
	3 m	4.82		5 m	2.38
2	superficial	7.10	10	superficial	5.13
	3 m	6.70		3 m	5.13
	8 m	5.49		8 m	1.71
3	superficial	8.71	11	superficial	5.57
	3 m	7.57		3 m	4.56
	8 m	3.21		8 m	0.57
4	superficial	7.50	12	superficial	4.21
	3 m	3.88		superficial	5.24
	8 m	0.12		13	3 m
5	superficial	7.10	I	8 m	2.39
	3 m	7.05		superficial	6.90
	8 m	2.68		3.5 m	6.43
6	superficial	7.37	II	7 m	1.74
	3 m	5.76		11 m	0.50
7	superficial	5.13	II	superficial	6.90
	3 m	5.01		3.5 m	6.43
	8 m	0.57		7 m	0.13
8	superficial	5.13	III	11 m	0.06
	3 m	4.90		superficial	7.23
	8 m	4.67		3 m	6.96
				8 m	0.26
			12 m	0.00	

Nota: Los números arábigos corresponden a estaciones periféricas y los romanos a estaciones centrales, todas señaladas en la Figura 2.

cuadro). Se observa que, en primer lugar, desde la superficie hasta los 28 m (fondo) la temperatura tiene un gradiente de 6, en vista de que ésta va disminuyendo con la profundidad, desde 29°C en la superficie hasta 23°C en el fondo. En segundo lugar, que el ión sulfuro (S<sup>=</sup>), expresado en ppm, varía de 0.05 a 16.53, en las muestras superficiales y del fondo, respectivamente, siendo notable un incremento con la profundidad. Por último, se nota que el pH varía de 8.70 en la superficie a 6.58 en el fondo, o sea de alcalino en la superficie, disminuye con la profundidad hasta llegar a ligeramente ácido en el fondo: esto confirma la tendencia hacia un medio reductor conforme aumenta la profundidad.

En la Tabla 6 se presentan los índices de contaminación mediante la estimación del NMP (*Número Más Probable*) de bacterias coliformes. Los valores más altos corresponden, por lo general, a las muestras superficiales. La mayoría de las muestras caen dentro de la categoría D II que, según el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas (SRH-SSA, 1973) resulta ser adecuada para uso recreativo y conservación de flora y fauna. Sin embargo, dado que en el lago se practican deportes acuáticos, el número de coliformes obtenido en las estaciones 2, 10 y 13, en las muestras superficiales, sobrepasan los límites per-

Tabla 5.—Valores óptimo, mínimo y letal de oxígeno disuelto para peces. Tomado de Swingle (1969).

PECES DE ESTANQUE		PUNTO LETAL			RANGO QUE PERMITE LA EXISTENCIA DE PECES, MÍNIMO PARA PECES EN REPOSO			
					RANGO DESEABLE PARA PECES DE ESTANQUE			
O <sub>2</sub> ml/l	0.07	0.14	0.21	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5
PECES DE CORRIENTES					RANGO DESEABLE PARA PECES EN CORRIENTES			
					RANGO PELIGROSO PARA MUCHAS ESPECIES DE PECES EN CORRIENTES			

mitidos. Esto, fundamentalmente, se debe a la contaminación con las heces del ganado que utiliza al lago como abrevadero y, por otra parte, a posibles filtraciones de aguas negras hacia el lago, a consecuencia de la falta de drenaje en el poblado y en las edificaciones circundantes.

Tabla 6.—Estimación de los organismos coliformes utilizados como índices de contaminación.

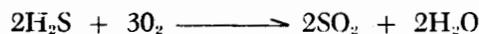
ESTACION	PROFUNDIDAD EN METROS	N M P DE COLIFORMES/100 ml	ESTACION	PROFUNDIDAD EN METROS	N M P DE COLIFORMES/100 ml
1	superficial	150.0	8	1* superficial	93.0
	3 m	75.0		2** superficial	93.0
	5 m	75.0		3 m	64.0
2	1* superficial	2,400.0	9	8 m	93.0
	2** superficial	240.0		2* superficial	75.0
	3 m	1,100.0		5 m	240.0
	8 m	21.010	1*	superficial	2,400.0
3	1* superficial	240.0	11	1* superficial	460.0
	2** superficial	240.0		3 m	75.0
	3 m	460.0		8 m	0.0
	8 m	15.0		3 m	460.0
4	1* superficial	93.0	12	3 m	93.0
	2** superficial	43.0		2** superficial	93.0
	3 m	460.0		13 1* superficial	1,100.0
	8 m	15.0		3 m	460.0
5	1* superficial	240.0	I	8 m	43.0
	2** superficial	93.0		superficial	240.0
	3 m	460.0		5 m	75.0
	8 m	240.0		10 m	43.0
6	2** superficial	28.0	II	15 m	4.0
	(manantial) superficial	150.0		superficial	43.0
	3 m	7.0		5 m	93.0
	8 m	8.0		10 m	43.0
7	1* superficial	43.0	III	superficial	23.0
	3 m	15.0		5 m	20.0
	8 m	4.0		10 m	23.0
				15 m	23.0

Nota :Los números arábigos corresponden a estaciones periféricas, los romanos a centrales, señaladas en la Figura 2.

- \* Muestras colectadas a la orilla del lago.
- \*\* Muestras colectadas a ± 40 m de la orilla del lago.

La discusión de los datos analíticos nos lleva a considerar que se trata de un lago estratificado, cuyo comportamiento, durante la mayor parte del año, es OXICO de la superficie hasta 8 m de profundidad, y ANOXICO de esta profundidad hacia el fondo (de 19 a 20 m de profundidad promedio), convirtiéndose esta parte del lago en un medio adecuado para la proliferación de una flora anaeróbica responsable, entre otras funciones, de la reducción de los sulfatos y, por consiguiente, de la liberación de H<sub>2</sub>S nocivo para la flora y la fauna. Los datos obtenidos durante el presente estudio nos permiten elaborar la siguiente hipótesis:

El ocasional enfriamiento de las aguas superficiales resulta suficiente para dar origen a un movimiento de convección ocasionado por el aumento en densidad de las capas superiores, que tienden a moverse hacia el fondo, en tanto que las del fondo lo hacen hacia la superficie. Tomando como promedio 14 mg/l de S<sup>=</sup> para las aguas por debajo de los 14 m de profundidad, y siendo el contenido de O<sub>2</sub>/l. desde la superficie hasta la profundidad de 8 m de 4.77 ml/l, se necesitarían 3 litros de agua superficial por cada litro de agua del fondo para que se pudiera llevar a cabo la siguiente reacción:



Aunque no se ha levantado la batimetría del lago, que permita calcular el volumen total de agua del mismo, es de suponerse que la masa líquida anóxica es notablemente mayor que la óxica. A esto se debe que cuando se presenta el fenómeno de convección antes mencionado, las aguas del fondo, al consumir todo el oxígeno, como se aprecia en la ecuación antes expuesta, provoca la asfixia de los peces; esto sin considerar el sulfhídrico remanente altamente tóxico.

El hecho de no haber sido detectables el Zn, Cu, Pb y As, nos hace suponer que estos elementos son probablemente eliminados de la fase líquida por S<sup>=</sup> de la zona anóxica del lago.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

APHA, AWWA, WPCF, 1971. Standard methods for the examination of water and wastewater: Washington D. C., American Public Health Association, 13th ed. 874 p.

- Degobbis, Daniel, 1972, On the storage of seawater samples for ammonia determination: *Limnol. Oceanogr.*, v. 17, p. 146-150.
- Fries, Carl, Jr., 1960, Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 60, 228 p.
- García, Enriqueta, 1973, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: México, D. F., Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geografía, 246 p.
- Mellin, John, y Riley, J. P., 1965, The spectrophotometric determination of nitrate in natural waters, with particular reference to sea water: *Analyt. Chem. Acts.*, v. 12, p. 464-480.
- Obregón-Pérez, Alberto, 1973, Métodos de análisis químico de rocas y materiales similares: México, D. F., Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, 52 p.
- Palacios-Mayorga, Sergio, 1972, Estudio bacteriológico de las aguas del Lago de Tequesquitengo, Estado de Morelos: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, (Informe inédito).
- Rahim, S. A., Salin, A. Y., y Shereef, Simón, 1973, Absorptiometric determination of trace amounts of sulphide ion in water: *The Analyst*, v. 98, p. 851-856.
- Reeder, S. W., Hitchon, Brian, Levinson, A. A., 1972, Hydrogeochemistry on the surface waters of the Mackenzie river drainage basin, Canada — 1; factors controlling inorganic composition: *Geochim Cosmochim Acta*, v. 36, no. 8, p. 825-865.
- Ringuélet, A. R., 1962, Ecología acuática continental EUDEBA: Buenos Aires, Edit. Univ., 138 p.
- Rodier, Jean, 1975, *Analysis of water*: New York, Wiley & Sons, 926 p.
- S. R. H., 1973, *Nutrientes en agua*: México, D. F., Secretaría de Recursos Hidráulicos, 12 p.
- S. R. H. — S. S. A., 1973, *Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas*: México, D. F. Secretaría de Recursos Hidráulicos y Secretaría de Salubridad y Asistencia. 32 p.
- Strickland, J. D. H., y Parsons, T. R., 1972, *A manual of sea water analysis*: Fisheries Res. Board of Canada, Bull, 167, 310 p.
- Sweeting, M. M., 1973, *Karst landforms*: New York, Columbia University Press, 362 p.
- Swingle, H. S., 1969, *Method of analysis of water, organic matter, and pond bottom soils used in fisheries research*: Auburn, Alabama, Auburn, Univ. Agricult. Exp. Sta., 68 p.
- Tamayo, J. L., 1962, *Geografía general de México*: México, D. F., Inst. Méx. Invest. Econ., tomo 2, 648 p.
- Treadwell, F. P., 1956, *Tratado de química analítica: tomo 2, Análisis cuantitativo*: Barcelona, Marín y Cia., 776 p.
- Vogel, A. I., 1961, *A text-book of quantitative inorganic analysis*: New York, Wiley & Sons, 1216 p.
- Wetzel, R. G., 1975, *Limnology*: Philadelphia, Saunders Co., 743 p.

#### AGRADECIMIENTOS

El Ing. Angel Rodríguez C., analista del Instituto de Geología, U.N.A.M., tuvo a su cargo las determinaciones del arsénico y del ión sulfuro.