

VARIACION ESTACIONAL EN EL LAGO DE RIO CUARTO, PROVINCIA DE ALAJUELA, COSTA RICA. I. LIMNOLOGIA FISICO-QUIMICA

Claudia Charpentier
Farid Antonio Tabash
Isaías Armando Fallas
Juan Carlos Zumbado
Lilliana Camacho
Elizabeth Ramírez
Escuela de Ciencias Biológicas,
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica.

RESUMEN

Se establecieron cinco estaciones de muestreo en el lago de Río Cuarto. Tres de ellas ubicadas en la zona litoral, con profundidades máximas de 12,3 y 0,5 m, tomando las muestras cada 3 m a partir de la superficie. Las otras dos estaciones se ubicaron en la parte central del lago, tomando muestras de agua a los 0, 3, 6, 9, 12, 15, 25, 35, 45 y 55 m de profundidad. El estudio fue llevado a cabo entre febrero de 1984 y marzo de 1985 con muestreos mensuales. Se determinaron los siguientes parámetros físico-químicos: Oxígeno disuelto, pH, temperatura y anhídrido carbónico libre.

De acuerdo con la morfometría y los patrones de mezcla y estratificación determinados en el lago de Río Cuarto, se recomienda que éste no sea considerado más como laguna, dado que dichas características son propias de lagos. Se determinó que este lago es meromítico, con un período de mezcla vertical que se presentó durante el estudio entre los meses de enero y febrero, con estratificación termal entre los 15 y 25 m de profundidad y una capa anóxica a partir de los 15 m de profundidad. En el mixolimnio la concentración de oxígeno fluctuó entre 8 y 14 mg/l. La temperatura superficial fue de $27,59 \pm 1,00^\circ\text{C}$ con una diferencia

de $3,18^\circ\text{C}$ respecto de la temperatura registrada en el fondo.

ABSTRACT

Five sampling stations were established in lake Río Cuarto. Three of them were located in the littoral zone with maximum depths of 12, 3 and 0,5 meters; samples were taken every 3 meters, beginning at the surface. The other two stations were in the center of the lake, and the samples taken at 0, 3, 6, 9, 12, 15, 25, 35, 45 and 55 m. This study was done between February 1984 and March 1985, with monthly sampling.

Dissolved oxygen, pH, temperature, free CO_2 were the parameters studied.

The determination of the morphometry, mixing patterns and stratification of this lentic water mass are of a lake, therefore are strongly recommended not to refer to it as a lagoon anymore. It was determined that lake Río Cuarto is meromictic, the vertical mixing occurred between January and February, the thermal stratification was found between 15 and 25 m deep and the anoxic layer began at 15 m. In the mixolimnion the oxygen concentration ranged between 8 and

4 mg/l. The average superficial temperature was $27,59 \pm 1^\circ \text{C}$ and compared with the bottom a difference of $3,18^\circ \text{C}$ was found.

INTRODUCCION

Costa Rica posee muy pocos lagos o lagunas naturales. Hasta hace algunos años, los trabajos limnológicos en su mayoría fueron realizados por científicos extranjeros (Bumby, 1973; Gocke, 1980 y Gocke et al., 1987); sin embargo, la necesidad imperiosa de estudiar estos ecosistemas ha motivado el inicio de varios trabajos que permitirán conformar bases de datos tendientes a apoyar estudios de preservación y recuperación de estas masas de agua léntica (Camacho, 1985; Collado, 1983; Gocke et al., 1987 y Ramírez, 1985).

En un lago la composición físico-química está influida por factores que afectan la productividad de la masa de agua léntica, entre los que se pueden citar la morfometría, los factores edáficos y climáticos (Walker y Likens, 1975). Estos parámetros y su efecto sobre estos procesos que se suceden en los lagos tropicales, se ha analizado tomando como base estudios efectuados durante períodos cortos. Se hace necesario realizar trabajos durante varios años, que permitan establecer, sobre bases más amplias, las variaciones físico-químicas y biológicas que se presentan en estos lagos (Lewis, 1984).

Según Talling (1969) y Lewis (1973), en los trópicos no existe una marcada diferenciación estacional, por lo que las condiciones físico-químicas de estos lagos no presentan contrastes tan marcados como los observados en lagos de zonas templadas a lo largo del año. Sin embargo, Nielsen (1984) estima que tanto en los lagos de zonas templadas como en los tropicales se realizan los mismos procesos, con la diferencia de que en el trópico se suceden con una mayor rapidez que en las otras latitudes.

En la mayoría de los trabajos efectuados en las lagunas de Costa Rica no se ha estudiado la variación estacional de la composición físico-química del agua; una excepción es el estudio realizado por Gocke et al. (1987) en el Lago de Río Cuarto.

Este trabajo es parte de un estudio más amplio (en preparación), donde se determinó la variación mensual del plancton y la composición físico-química del lago de Río Cuarto, lo que permitió conocer las condiciones presentes en el lago, la in-

fluencia de la época seca y lluviosa sobre los procesos de mezcla y estratificación.

SITIO DE ESTUDIO

El lago de Río Cuarto ($10^\circ 21' 29'' \text{N}$ y $84^\circ 13' 09'' \text{E}$), se encuentra localizado en el cantón de Grecia, provincia de Alajuela. Su origen es volcánico de tipo "Maar", de forma casi circular, con una superficie de 33,24 Ha. Su profundidad máxima es de 66 m y la media es de 45,5 m (Gocke, 1980 y Gocke et al., 1987). Estas masas de agua se caracterizan por tener una profundidad considerable en relación con su superficie y un bajo contenido de nutrientes (Wetzel, 1981). Tradicionalmente se le ha conocido como laguna de Río Cuarto, no obstante, las características que presenta, como su profundidad máxima de 66 m, el carácter léntico de sus aguas y los fenómenos de estratificación físico-química, son concordantes con las definiciones de lago expresadas por Margalef (1983) y Wetzel (1981).

MATERIAL Y METODOS

Para realizar el estudio se establecieron cinco estaciones de muestreo (Fig. 1). Las estaciones 1, 2 y 5 se ubicaron en la zona litoral y presentaron profundidades máximas de 12, 3 y 0,5 m, respectivamente. Las muestras se tomaron cada 3 m a partir de la superficie, con excepción de la estación 5, en la que sólo se tomaron muestras de superficie. Las estaciones 3 y 4 se ubicaron en la parte central del lago y los muestreos se llevaron a cabo a los 0, 3, 6, 9, 12, 15, 25, 35, 45 y 55 m de profundidad. En cada profundidad se tomaron muestras para el análisis de los siguientes parámetros físico-químicos: oxígeno disuelto, pH, temperatura y anhídrido carbónico libre. Estos muestreos se realizaron mensualmente a partir del mes de febrero de 1984 hasta marzo de 1985.

Para la toma de muestras a 0 m se utilizó una botella horizontal de Van Dorm y para el resto de las profundidades una botella Ruttner. La determinación de oxígeno disuelto se realizó por el método de Winkler y el dióxido de carbono libre se determinó según los métodos de APHA descritos por Lind (1979). El pH se midió utilizando un medidor portátil Beckman (modelo 72009). La temperatura en las diferentes profundidades se obtuvo de la lectura del termómetro incorporado a la botella Ruttner.

Los resultados obtenidos cada mes en las diferentes estaciones fueron promediados por pro-

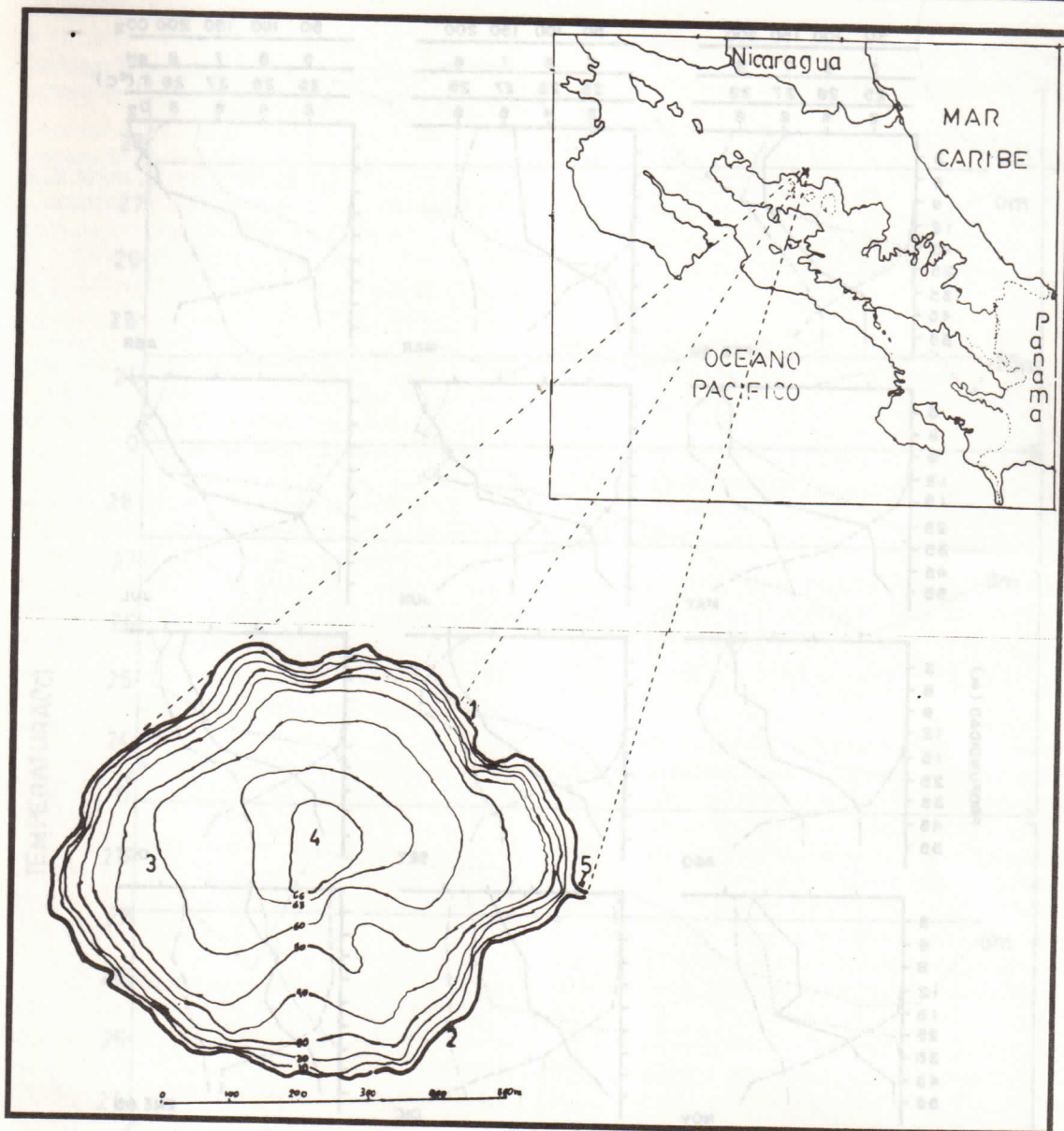


Fig. 1. Ubicación del Lago de Río Cuarto, mostrando la posición de las estaciones de muestreo. Tomado de Gocke et al (1987).

fundidad para elaborar los perfiles mensuales. El análisis estadístico se basó en una matriz de correlaciones para cada parámetro por estación y entre estaciones, con el fin de determinar posibles variaciones significativas entre las estaciones litorales y las centrales.

RESULTADOS

En la Fig. 2 se presenta la variación mensual del oxígeno disuelto, temperatura, pH y anhídrido

carbónico disuelto. La concentración de oxígeno promedio anual para la zona comprendida entre los 0 y 9 m fue de 8 mg/l. A 0 m la mayor concentración promedio fue de 8,52 mg/l en octubre de 1984 y la más baja fue 3,73 mg/l en enero de 1985. En general, se encontró una tendencia a mantener una concentración de oxígeno relativamente constante desde la superficie hasta los 9 m; a partir de esta profundidad descendiendo rápidamente hasta los 25 m, en donde se presenta anoxia total.

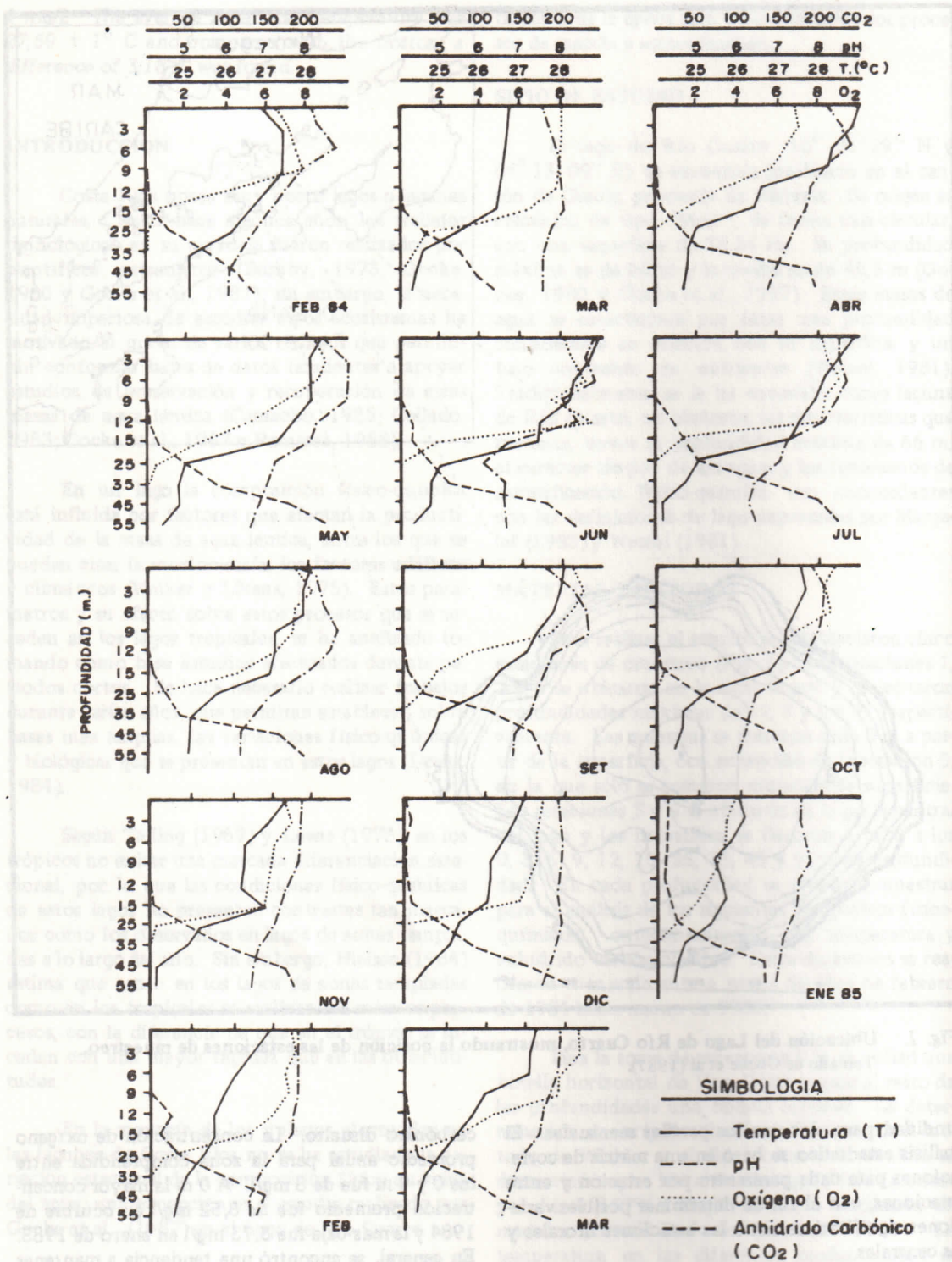


Fig. 2. Variación mensual de la concentración de oxígeno disuelto (mg/l), el pH, la temperatura del agua (°C) y el anhídrido carbónico disuelto (mg/l) en la columna de agua.

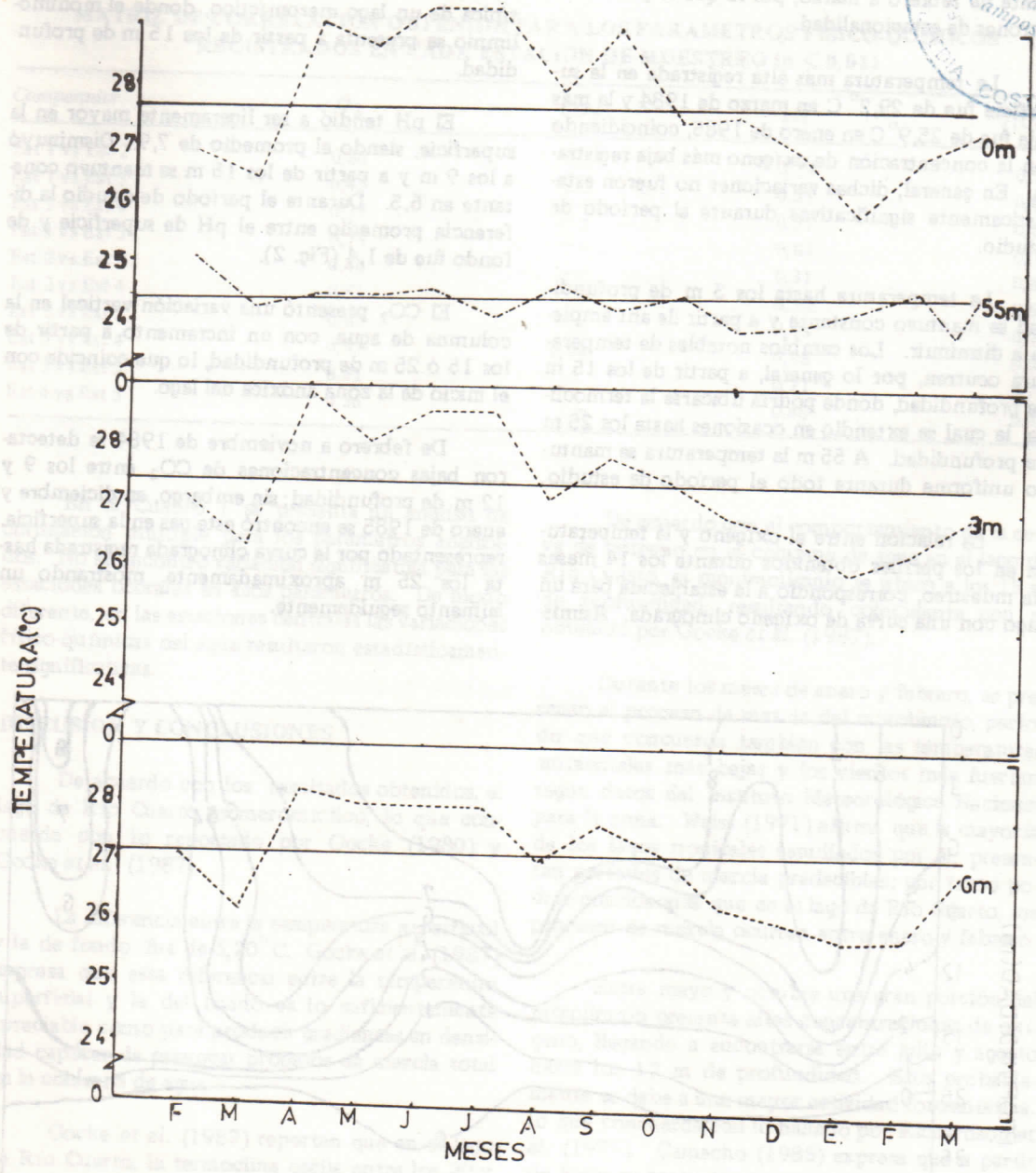


Fig. 3. Perfiles de variación termal en el epilimnion e hipolimnion del lago de Río Cuarto, a través del período de estudio. La línea continúa representa la temperatura promedio observada.

Debido a la ubicación del lago, en una zona de Bosque Tropical Húmedo (Holdridge, 1978) con una temperatura ambiental anual promedio de 28° C, no se esperarían mayores variaciones de

temperatura entre el mixolimnio y el monimolimnio. Sin embargo, como se muestra en la Fig. 3 hay una diferencia de temperatura del agua, persistente en el tiempo. La temperatura superficial dis-

minuyó a partir de noviembre y aumentó nuevamente de febrero a marzo, por lo que se presentan patrones de estacionalidad.

La temperatura más alta registrada en la superficie fue de 29,2° C en marzo de 1984 y la más baja fue de 25,9° C en enero de 1985, coincidiendo con la concentración de oxígeno más baja registrada. En general, dichas variaciones no fueron estadísticamente significativas durante el período de estudio.

La temperatura hasta los 3 m de profundidad se mantuvo constante y a partir de ahí empieza a disminuir. Los cambios notables de temperatura ocurren, por lo general, a partir de los 15 m de profundidad, donde podría ubicarse la termoclina, la cual se extendió en ocasiones hasta los 25 m de profundidad. A 55 m la temperatura se mantuvo uniforme durante todo el período de estudio.

La relación entre el oxígeno y la temperatura en los perfiles obtenidos durante los 14 meses de muestreo, correspondió a la establecida para un lago con una curva de oxígeno clinograda. Asimismo,

la distribución del oxígeno en la cubeta, durante todo el período de muestreo (Fig. 4) es típica de un lago meromítico, donde el monimolimnio se presenta a partir de los 15 m de profundidad.

El pH tendió a ser ligeramente mayor en la superficie, siendo el promedio de 7,9. Disminuyó a los 9 m y a partir de los 15 m se mantuvo constante en 6,5. Durante el período de estudio la diferencia promedio entre el pH de superficie y de fondo fue de 1,4 (Fig. 2).

El CO₂ presentó una variación vertical en la columna de agua, con un incremento a partir de los 15 ó 25 m de profundidad, lo que coincide con el inicio de la zona anóxica del lago.

De febrero a noviembre de 1984 se detectaron bajas concentraciones de CO₂ entre los 9 y 12 m de profundidad; sin embargo, en diciembre y enero de 1985 se encontró este gas en la superficie, representado por la curva clinograda registrada hasta los 25 m aproximadamente, mostrando un aumento seguidamente.

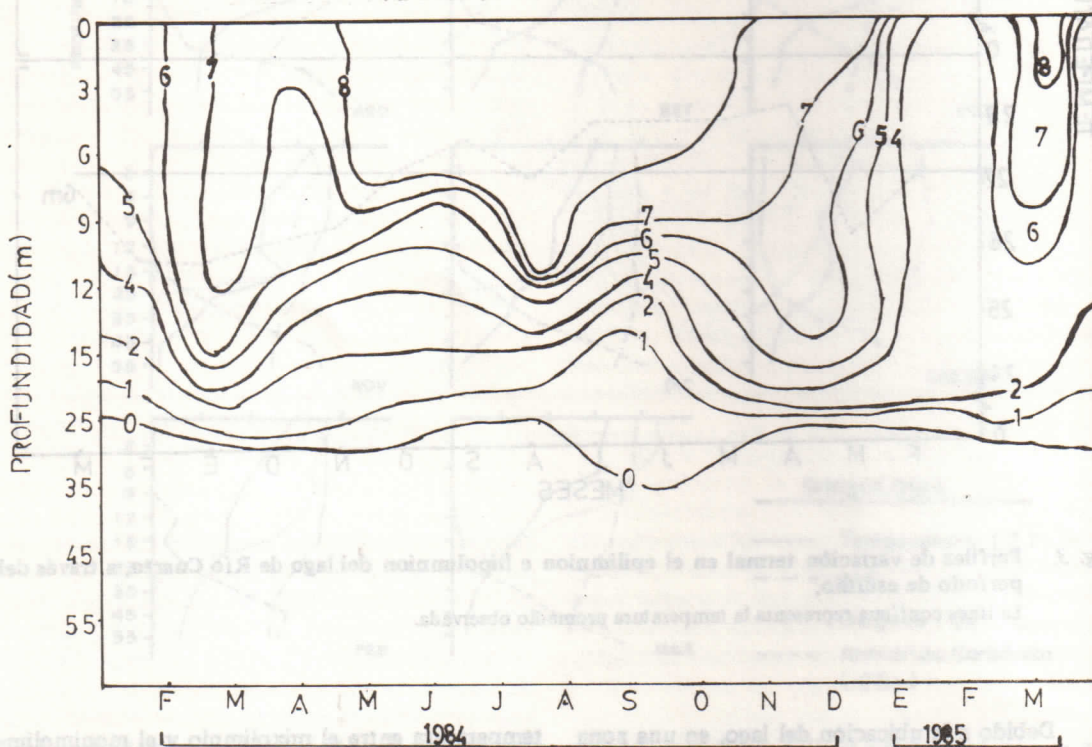


Fig. 4. Relación profundidad-tiempo de las isopletas de las concentraciones de oxígeno disuelto (mg/l), en el lago de Río Cuarto.

CUADRO 1

MATRIZ DE CORRELACION OBTENIDA PARA LOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS REGISTRADOS EN CADA ESTACION DE MUESTREO ($p < 0,01$)

Comparador	O ₂	CO ₂	pH	T(C)
Est 1 vs Est 2	0,86	--	0,79	0,96
Est 1 vs Est 3	0,42	--	0,51	0,87
Est 1 vs Est 4	0,39	--	0,55	0,84
Est 1 vs Est 5	0,79	--	0,84	0,79
Est 2 vs Est 3	0,46	--	0,31	0,89
Est 2 vs Est 4	0,51	--	0,32	0,94
Est 2 vs Est 5	0,80	--	0,76	0,76
Est 3 vs Est 4	0,91	0,94	0,98	0,98
Est 3 vs Est 5	0,51	--	0,21	0,75
Est 4 vs Est 5	0,56	--	0,46	0,81

En el Cuadro 1 se presenta un análisis de correlación múltiple para los parámetros analizados. No se encontró variación significativa para las estaciones litorales en esos parámetros. De modo diferente, en las estaciones centrales las variaciones físico-químicas del agua resultaron estadísticamente significativas.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, el lago de Río Cuarto es meromítico, lo que concuerda con lo reportado por Gocke (1980) y Gocke *et al.* (1987).

La diferencia entre la temperatura superficial y la de fondo fue de 3,20°C. Gocke *et al.* (1987) expresa que esta diferencia entre la temperatura superficial y la del fondo es lo suficientemente apreciable como para producir gradientes en densidad capaces de provocar procesos de mezcla total en la columna de agua.

Gocke *et al.* (1987) reportan que en el lago de Río Cuarto, la termoclina oscila entre los 20 y 25 m; sin embargo, durante el presente estudio ésta se localizó entre los 15 y 25 m de profundidad; esto probablemente se debe a una mayor frecuencia de muestreo y de profundidades analizadas. Por tanto, se concluye que los procesos de mezcla se llevan a cabo en promedio, a partir de la superficie hasta los 15 metros de profundidad, lo que concuerda con lo establecido por Lewis (1973), para la clasificación de lagos utilizando como parámetro los procesos de mezcla ocurridos en la columna de agua.

De acuerdo con el comportamiento de la curva de oxígeno en la columna de agua en el lago de Río Cuarto, el monimolimnio se ubicó a los 15 m de profundidad, resultando coincidente con el obtenido por Gocke *et al.* (1987).

Durante los meses de enero y febrero, se presentó el proceso de mezcla del mixolimnio, período que concuerda también con las temperaturas ambientales más bajas y los vientos más fuertes, según datos del Instituto Meteorológico Nacional para la zona. Weiss (1971) afirma que la mayoría de los lagos tropicales estudiados por él, presentan períodos de mezcla predecibles; por tanto podría considerarse que en el lago de Río Cuarto, los procesos de mezcla ocurren entre enero y febrero.

Entre mayo y octubre una gran porción del mixolimnio presenta altas concentraciones de oxígeno, llegando a encontrarse entre julio y agosto hasta los 12 m de profundidad. Esto probablemente se debe a una mayor actividad fotosintética, lo que concuerda con lo hallado por Richardson *et al.* (1977). Camacho (1985) expresa que a partir de junio se presenta un aumento exponencial en la concentración fitoplanctónica en la zona fótica. Estos resultados han sido coincidentes con lo reportado por Toja (1980) para embalses y lagos ibéricos.

Al comparar el comportamiento de la curva de oxígeno obtenida en las estaciones litorales con las centrales del lago, se observan amplias diferencias producto del desplazamiento de la zona fótica, que en las litorales abarca toda la columna. Esto permite obtener una curva de oxígeno con peque-

ñas variaciones entre la superficie y el fondo durante la mayor parte del período de estudio. En las estaciones centrales en cambio la curva clino-grada es producto del amplio rango de profundidad muestreado y de los procesos de mezcla provocado por gradientes de temperatura y densidad.

Al comparar los valores promedio de oxígeno en las estaciones litorales y centrales hasta los primeros 3 m de profundidad, se encuentra que los obtenidos en las estaciones centrales son mucho más altos que los obtenidos en las litorales, esto debido probablemente a procesos de oxidación de materia orgánica que cae a las orillas del lago en grandes cantidades.

Durante la mayor parte del período de muestreo la concentración de CO₂ se mantuvo dentro del comportamiento esperado para un lago tropi-

cal eutrófico. El incremento paulatino que presenta a partir de los 15 m y hasta el fondo, concuerda con la ubicación de la zona anóxica. No obstante, entre los meses de diciembre de 1984 y febrero de 1985, se encontró CO₂ en la zona fótica y hasta la superficie, lo que confirma que durante este período ocurrió una mezcla en la columna de agua.

En las estaciones litorales, el aumento en la concentración de CO₂ a partir de los 9 m, obedece a la baja profundidad de las mismas (máxima detectada: 12 m) en relación con la gran acumulación de materia orgánica exógena y los procesos de oxidación que se llevan a cabo en ella.

Se concluye que el lago de Río Cuarto es meromítico, con un período de mezcla que se llevó a cabo entre enero y febrero y con estratificación termal entre los 15 y 25 metros de profundidad.

4 de marzo de 1989.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Klaus Gocke por sus valiosos comentarios y a los choferes del Depto. de Transportes por su amplia colaboración.

LITERATURA CITADA

- Bumby, M.J. 1973. Chemical water analysis and aquatic plants of Lagoons Bonilla and Bonillita and comparisons of them with six other standing water-environments of Costa Rica. Associated Colleges of the Midwest Press. 38 pp.
- Camacho, V.L. 1985. Ocurrencia y distribución vertical de las algas planctónicas del Lago de Río Cuarto, Alajuela, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. 44 pp.
- Collado, C.M. 1983. Costa Rican freshwater zooplankton and zooplankton distribution in Central America and the Caribbean. Unpublished. MSc. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada. 196 pp.
- Gocke, K. 1980. Estudios limnológicos de la Laguna de Río Cuarto. Prociencia. 4 (22): 3-4.
- Gocke, K., W. Bussing y J. Cortés. 1987. Morphometric and basic limnological properties of the Laguna de Río Cuarto, Costa Rica. REV. BIOL. TROP. 35(2): 277-285.
- Holdridge, L.R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Science Centre Publ., San José, Costa Rica. 206 pp.
- Lewis, W.M. 1973. The thermal regime of lake Lanao (Philippines) and its theoretical implications for tropical lakes. LIMNOL. OCEANOGR. 18: 200-217.
- Lewis, W.M. 1984. Temperature, head and mixing in Lake Valencia, Venezuela. LIMNOL. OCEANOGR. 28(2): 273-286.
- Lind, O.T. 1979. Handbook of common methods in Limnology. 2nd. edition, The C.V. Mosby Co. (eds.). Boston, U.S.A. 199 pp.
- Margalef, R. 1983. Limnología. Editorial Omega. Barcelona, España. 1.010 pp.
- Nielsen, J.P. 1984. Tropical lakes-functional ecology and future development: The need for a process oriented approach. HYDROBIOLOGIA. 113: 231-242.
- Ramírez, R.E. 1985. Variaciones estacionales de la comunidad zooplanctónica del Lago de Río Cuarto, Alajuela, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. 49 pp.
- Richardson, P.J., C. Widmer y T. Kittel. 1977. The limnology of Lake Titicaca (Perú-Bolivia), a large high altitude tropical lake. Univ. Calif., Davis Inst. Ecol. Publ. 14: 78-79.
- Talling, J.F. 1969. The incidence of vertical mixing, and some biological and chemical consequences in tropical African lakes. ANGEW. LIMNOL. VERH. 17: 998-1012.
- Toja, J. 1980. Limnología del embalse de la Laminilla durante 1976. II. Distribución del zooplancton. OECOLOGIA ACUATICA. 4: 89-110.
- Walker, K.F. y G.E. Likens. 1975. Meromixis and a reconsidered typology of lake circulation patterns. VERTH. INT. VEREIM. LIMNOL. 19: 442-458.
- Weiss, C.M. 1971. Water quality investigations, Guatemala-Lake Amatitlán. ESE Publications h281. Chapell Hill (ed). North Carolina, U.S.A. 135 pp.
- Wetzel, R.G. 1981. Limnology. W.B. Saunders (ed.). Philadelphia, U.S.A. 743 pp.