

LIMNOLOGÍA FÍSICA DEL EMBALSE SOCUY, ESTADO ZULIA, VENEZUELA

LUZ MARINA SOTO Y CARLOS LÓPEZ

Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias
Universidad del Zulia, Apartado 526, Maracaibo 4001-A
Estado Zulia, Venezuela

RESUMEN.- En relación a los factores climáticos, se estudió la temperatura, % de penetración de luz, transparencia y total de sólidos suspendidos a lo largo del canal principal del embalse durante un período de lluvias y otro de sequía. La columna de agua permaneció estratificada durante todo el período de estudio. Los valores promedio del total de sólidos suspendidos oscilaron entre 28.3 y 53.3 mg/L en toda la columna de agua, siendo la fracción inorgánica la más importante. La profundidad de compensación varió entre 4.8 y 10 m y la transparencia entre 1.1 y 2.9 m. El Análisis de Componentes Principales reveló que en el embalse existe una marcada asociación entre las variables climáticas y las variables de la limnología física estudiadas. Los primeros dos componentes explican el 76.6 % de las variaciones y fueron interpretados como indicadores de los procesos de enfriamiento y calentamiento del epilimnio. *Recibido:* 10 Octubre 1995, *Aceptado:* 03 Mayo 1996.

Palabras claves: Embalses, tropical, América del Sur, limnología física, clima, Venezuela.

PHYSICAL LIMNOLOGY OF THE SOCUY RESERVOIR, ZULIA STATE, VENEZUELA

ABSTRACT.- The relationship between climatic factors and water temperature, % light penetration, transparency and total suspended solids was studied in the major channel of the Socuy Reservoir during the dry and rainy season. The reservoir remained stratified during the study period. Mean values of total suspended solids in the water column were between 28.3 and 53.3 mg/L, and the inorganic fraction was the most important. Depth compensation oscillated between 4.8 and 10 m and transparency between 1.1 and 2.9 m. Principal Component Analysis showed that in the Socuy

Reservoir, the physical features and climatic factors are highly associated. The first two components explain 76.6 % of the variations and can be interpreted as a cooling and heating process of the epilimnion. *Received*: 10 October 1995, *Accepted*: 03 May 1996.

Keywords: Reservoirs, tropical, South America, physical limnology, weather, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento sobre los ambientes acuáticos continentales de Venezuela está representado en gran parte por los trabajos realizados en los grandes lagos (Lago de Valencia y Lago de Maracaibo) y grandes ríos (Río Orinoco y tributarios) (Cressa *et al.* 1993). A pesar de existir en el país más de 700.000 ha cubiertas por aguas embalsadas, el conocimiento limnológico de estos sistemas se encuentra aún en una fase temprana de desarrollo, y son muy pocos en los que se conocen las características físicas o químicas de sus aguas (Soto *et al.* 1994).

El propósito del presente trabajo es proporcionar información sobre algunos aspectos de la limnología física del Embalse Socuy, Estado Zulia, analizar sus variaciones temporales y su asociación con los factores climáticos mediante el uso del Análisis de Componentes Principales.

MÉTODOS

Área de Estudio

El Embalse Socuy se encuentra ubicado en la región noroccidental de la Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela (Fig. 1), en la jurisdicción del Municipio Mara del Estado Zulia a unos 100 km al noroeste de la ciudad de Maracaibo (10° 52' - 10° 57' N y 72° 11' - 72° 19' O). Junto con el Embalse de Tulé constituye la principal fuente de abastecimiento de agua a las principales ciudades de la región. Tiene un área de 25 km², una profundidad promedio de 12.4 m y una profundidad máxima de 31.2 m. Se ha clasificado

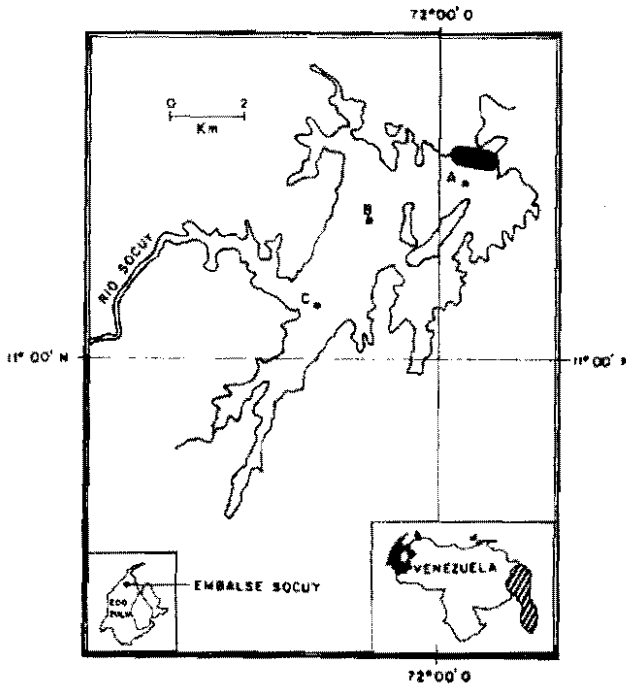


FIGURA 1. Localización del Embalse Socuy y las estaciones de muestreo.

como un cuerpo de agua mesotrófico, con una productividad primaria neta de $0.88 \text{ g C/m}^2 \cdot \text{día}$ y una densidad fitoplanctónica promedio de 3919 cel/ml (Prieto 1984). Desde el punto de vista químico sus aguas pueden considerarse del tipo bicarbonatado-cálcico con una secuencia iónica $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ y $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{=} > \text{CO}_3^{=}$ (Soto *et al.* 1994). La comunidad de crustáceos planctónicos está dominada por *Thermocyclops* spp., *Notodiaptomus* sp. y *Ceriodaphnia cornuta* (López y Bello 1993) y los rotíferos por *Keratella americana*, *Brachionus dolabratus* y *Brachionus falcatus* (López 1991).

Factores Climáticos

Los datos de radiación lumínica incidente, precipitación,

evaporación, velocidad del viento y temperaturas extremas fueron proporcionados por la estación meteorológica del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR, Zona 21), ubicada en las cercanías del embalse.

Características Físicas

Los muestreos se realizaron quincenalmente (Octubre de 1984 a Abril de 1985), en tres estaciones ubicadas a lo largo del canal principal del embalse (Fig. 1). La estación A está localizada en la zona más profunda y cercana al muro de contención, por lo que fue objeto de estudio de los perfiles verticales. En las restantes estaciones (B y C) sólo se realizaron determinaciones en la superficie.

Las mediciones verticales se realizaron a intervalos de 2 m, desde la superficie hasta el fondo. Entre las 10:00 y 14:00 hr, se determinó: la temperatura, luz visible y total de sólidos suspendidos. Se midió además, la transparencia del agua con un Disco de Secchi de 20 cm de diámetro.

Para las determinaciones del total de sólidos suspendidos, las muestras fueron refrigeradas en botellas de polietileno y trasladadas al laboratorio, donde se procedió al filtrado en filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F (0.65 μm de abertura de poro). La estimación de las fracciones orgánica e inorgánica se realizó mediante métodos gravimétricos (Egborge 1981, Mtada 1986).

Análisis Estadístico

Con el objeto de analizar las relaciones existentes entre las variables medidas, los datos originales procedentes de la estación principal (A) fueron transformados en $\text{Log}(X+1)$ y con éstos se elaboró una matriz de correlación lineal, usando el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson. Debido a que algunas variables resultaron altamente correlacionadas entre sí, se elaboró una segunda matriz considerando únicamente la velocidad del viento,

precipitación, evaporación, radiación solar incidente, temperatura máxima del aire, temperatura promedio del agua, índice de estratificación térmica, profundidad de compensación y promedio del total de sólidos suspendidos, la cual se empleó en la realización del Análisis de Componentes Principales.

RESULTADOS

Factores Climáticos

Los valores de precipitación oscilaron entre 0.0 y 260.0 mm (Fig. 2a). Se observaron dos máximos, el más pronunciado entre los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre, y el otro en Abril y Mayo. Los meses sin lluvias corresponden a Diciembre, Enero, Febrero y Marzo. Si se compara esta gráfica con la correspondiente al promedio de la velocidad del viento (Fig. 2b), se observa que la estación seca se caracterizó por la presencia de fuertes vientos, mientras que en la estación lluviosa, la velocidad del viento fue baja. La temperatura del aire osciló entre 21.8 y 33.8 °C (Fig. 2c), registrándose las mayores temperaturas durante los meses de Septiembre-Octubre y Marzo-Abril, las menores temperaturas ocurrieron en los meses de Noviembre y Diciembre. Los valores de evaporación oscilaron entre 145.8 y 207.5 mm (Fig. 2d), presentándose los máximos valores hacia la época de sequía. La radiación lumínica incidente osciló entre 323.0 y 387.0 cal/cm² · día (Fig. 2e).

Características Físicas

Temperatura y Estratificación Térmica.- La temperatura del agua a lo largo de la columna de agua en la estación principal, osciló entre 24.1 y 31.3 °C, con un valor promedio de 26.2 °C. Como se muestra en la Fig. 3, en esta estación, la columna de agua permaneció estratificada durante todo el período de muestreo. Al comienzo del estudio se diferenció un epilimnio bastante delgado y un hipolimnio también de poco grosor, presentando la mayor parte de la columna de

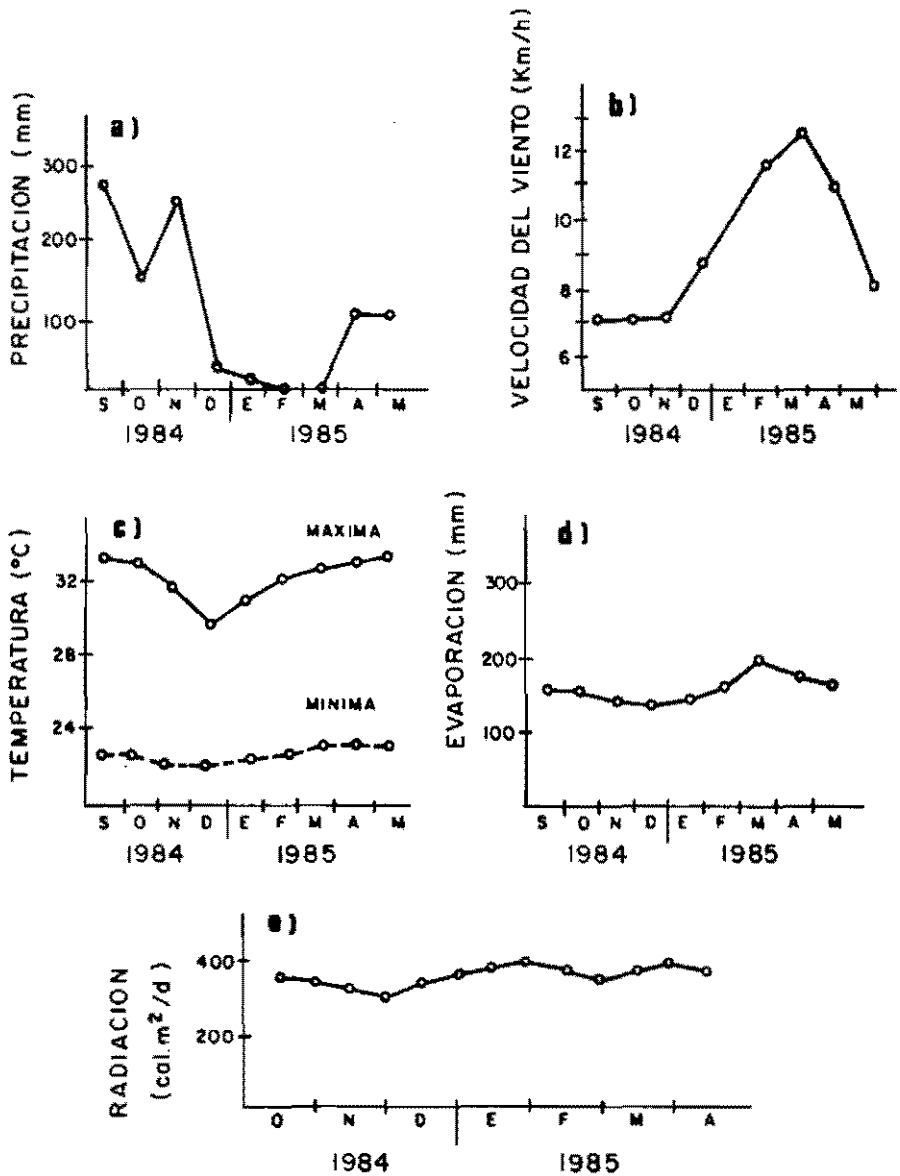


FIGURA 2. Variaciones temporales de la precipitación (a), velocidad del viento (b), temperatura del aire (c), evaporación (d), y radiación incidente (e) en el Embalse Socuy.

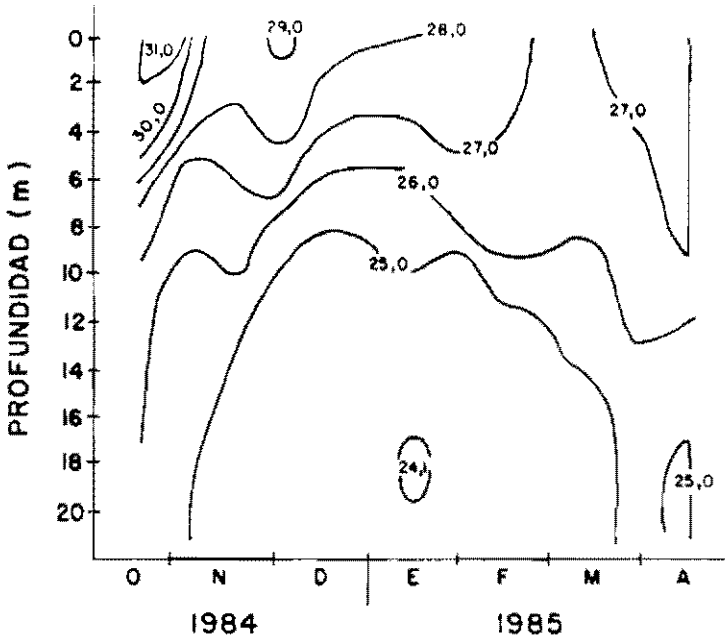


FIGURA 3. Variaciones temporales de la temperatura a lo largo de la columna de agua en el Embalse Socuy.

agua un marcado gradiente térmico. Posteriormente, el hipolimnio aumentó de grosor y se registró en el mismo, una disminución de la temperatura de casi 1 °C, lo que sugiere la entrada de las aguas del Río Socuy como una corriente de densidad que se desplaza por el fondo del embalse. El alto influjo de agua, indicado por un aumento de la profundidad de la estación muestreada, originó una mezcla y homogeneizó la temperatura del fondo. El metalimnio redujo su grosor debido al efecto erosivo de la turbulencia del río, así como también por el aumento del hipolimnio, lo cual hace que las capas más superficiales, que contienen el mismo volumen, se distribuyan en un área mayor. Situaciones similares a la observada se han documentado tanto en embalses tropicales como de la zona templada (Martínez 1970, Olsen y Sommerfeld 1977). A medida que avanzó la sequía, las capas más superficiales se fueron enfriando. En estas

condiciones, el grosor del epilimnio aumentó pero sin generar una mezcla total de la columna de agua.

La diferencia de temperatura entre la capa inferior del epilimnio y la capa superior de hipolimnio se utilizó como índice de estratificación térmica (Olsen y Sommerfeld 1977). Las variaciones de este índice coincidieron con el patrón de cambios temporales descrito anteriormente. Estos valores oscilaron entre 1.5 y 5.5 °C y mostraron sus máximos valores en la época de lluvia y los mínimos durante la época de sequía (Fig. 4).

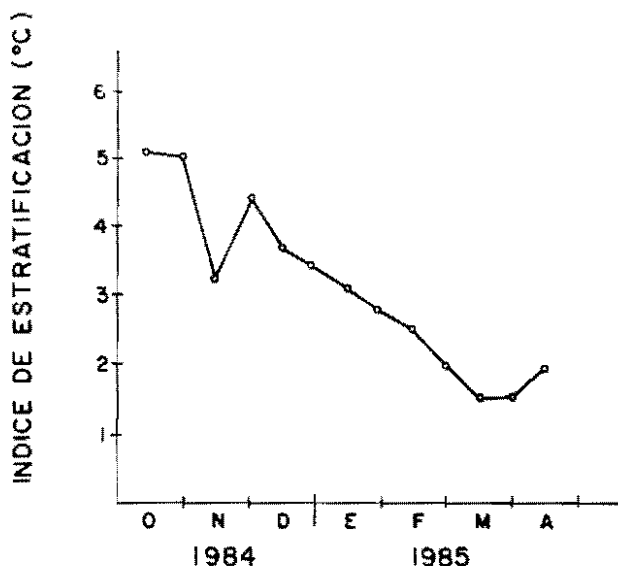


FIGURA 4. Variaciones temporales del índice de estratificación térmica en la estación A del Embalse Socuy.

Total de Sólidos Suspendidos

El total de sólidos suspendidos en la superficie del agua osciló entre 19.27 y 46.97 mg/L y los mayores valores se encontraron en las estaciones más cercanas a la entrada del Río Socuy.

La Fig. 5 muestra las variaciones temporales del total de sólidos suspendidos a lo largo de la columna de agua en la estación A. Los valores promedio oscilaron entre 28.3 y 53.3 mg/L y mostraron el patrón típico de estacionalidad observado en los embalses tropicales (Egborge 1981, Mtada 1986, Tundisi *et al.* 1991), al encontrarse los menores valores hacia la época de sequía. La fracción inorgánica varió entre 20.9 mg/L y 48.2 mg/L y la fracción orgánica entre 4.5 mg/L y 9.7 mg/L. Como puede observarse en la Fig. 5, la fracción inorgánica constituyó la más importante y por tanto, es la que determina las variaciones temporales del total de sólidos suspendidos. Estos resultados son consistentes con la baja productividad fitoplanctónica del embalse (Prieto 1984) y la naturaleza geológica de la cuenca. El predominio de la fracción inorgánica sugiere que la suspensión de materiales por acción del río y de las aguas de escorrentías durante el período de

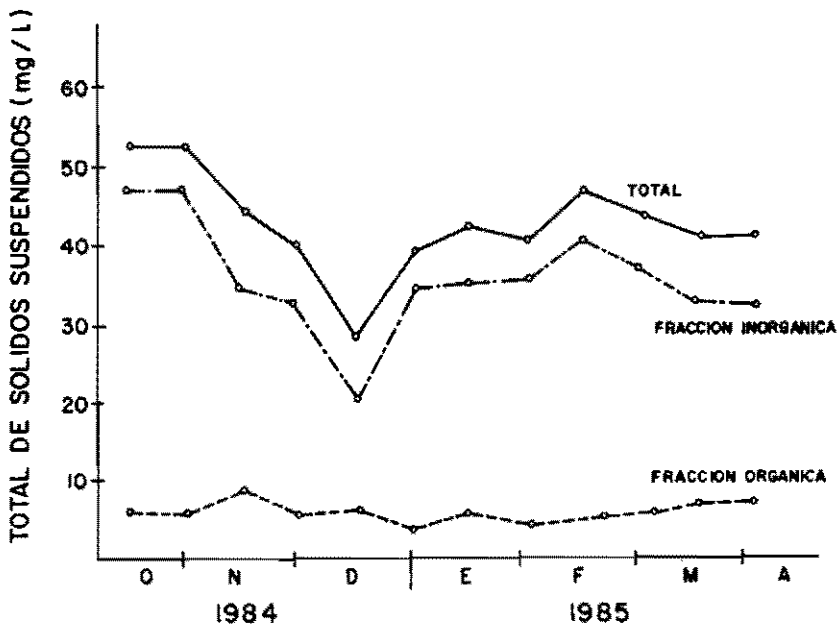


FIGURA 5. Variaciones temporales del total de sólidos suspendidos en la columna de agua del Embalse Socuy.

lluvias deben ser los procesos más importantes en la dinámica de los sólidos suspendidos.

Luz Visible y Transparencia del Agua

En la Fig. 6 se muestran las variaciones temporales del porcentaje de luz superficial que alcanzó las distintas profundidades de la columna de agua en la estación A. Como puede observarse, entre 10 y 40 % de la luz fue reflejada en la superficie y cerca del 80 % se extinguió en los primeros 3 m. La profundidad de compensación, definida en relación al 1 % de la luz superficial, varió entre 4.8 y 10 m. presentando los mayores valores durante la estación seca. Los resultados indican que la mitad o más de la columna de agua muestreada permanece en la oscuridad, limitando por lo tanto la distribución vertical de los organismos del plancton. Esta distribución lumínica explica los resultados de Prieto (1984), quien encontró que las poblaciones del fitoplancton y la actividad

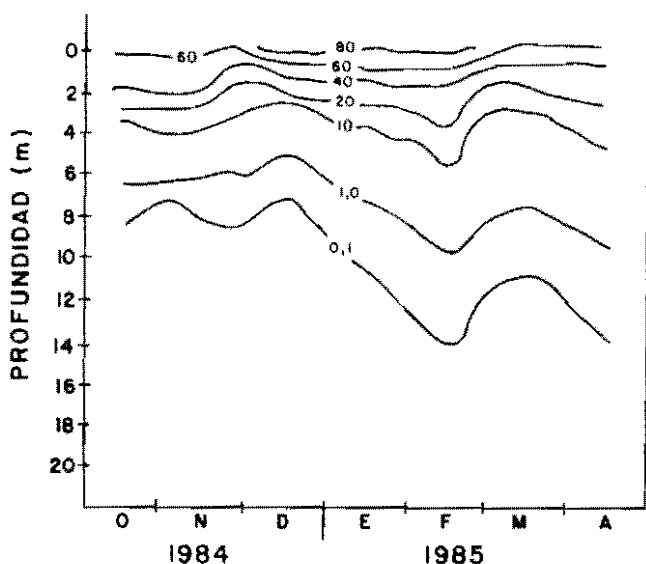


FIGURA 6. Variaciones temporales del porcentaje de luz superficial a lo largo de la columna de agua en el Embalse Socuy.

fotosintética en las aguas del embalse estaban restringidas a los primeros 7 ó 9 m de profundidad.

La transparencia del agua en las tres estaciones varió entre 1.10 y 2.90 m y los menores valores se encontraron en las estaciones B y C. Todas las estaciones exhibieron sus máximos valores durante la época de sequía. En la estación A, la transparencia representó entre un tercio y un cuarto de la profundidad de compensación.

Interrelación Factores Climáticos - Características Físicas

El Análisis de Componentes Principales indicó que el 76.6 % de las variaciones observadas en la estación A, se explican a partir de los dos primeros componentes. Este resultado sugiere que la dinámica de la limnología física del sistema está dominada por procesos muy marcados (Ponce y Arredondo 1986).

El primer componente explica el 48.5 % de la varianza. Dentro de este componente, el viento, la evaporación y la profundidad de compensación mostraron los mayores autovectores positivos, y el índice de estratificación el mayor autovector negativo (Tabla 1).

TABLA 1. Vectores propios de la matriz de correlación para los dos primeros componentes principales.

Variables	Componentes	
	1	2
Velocidad del viento	0.445	-0.131
Precipitación pluvial	-0.201	0.444
Evaporación	0.425	0.039
Temperatura máxima del aire	0.250	0.521
Radiación solar incidente	0.367	0.286
Temperatura promedio del agua	-0.069	0.545
Índice de estratificación	-0.389	0.241
Profundidad de compensación	0.429	-0.067
Total de sólidos suspendidos	0.209	0.267

En consecuencia, este primer componente puede interpretarse en relación al proceso de enfriamiento de la capa epilimnica del embalse y a sus efectos en la sedimentación de los sólidos suspendidos y propiedades ópticas de la columna de agua.

El segundo componente fue responsable del 28.1 % de la varianza y se interpretó como la variable indicadora de los procesos de calentamiento del epilimnio, al resultar la temperatura promedio del agua y la temperatura máxima del aire, las variables que más contribuyeron a la varianza (Tabla 1).

DISCUSIÓN

La columna de agua en el canal principal del embalse exhibió el mismo patrón de estratificación térmica observado en años anteriores (Prieto 1984). Estos resultados sugieren que el Embalse Socuy podría clasificarse como meromítico, de acuerdo con la clasificación de Lewis (1983). Aunque los embalses permanentemente estratificados parecen ser poco comunes en el Neotrópico (Arcifa *et al.* 1981, Tunsidi *et al.* 1991), la estabilidad en la estructura térmica depende de la morfometría, las condiciones hidráulicas y los factores climáticos regionales de cada embalse (Arcifa *et al.* 1990, Tundisi 1981). La estabilidad térmica del Embalse Socuy puede entenderse en función de los gradientes de densidad establecidos por la entrada profunda de las aguas del Río Socuy, y lo protegida que puede resultar la cubeta a la acción del viento por estar rodeada de algunas montañas. Condiciones similares se han señalado como responsables de la estabilidad térmica de otros embalses tropicales (Martínez 1970, Lewis y Weibezanh 1976, Mtada 1986).

Los cambios temporales en la transparencia y profundidad de compensación pueden interpretarse en relación a las variaciones de la cantidad de materiales en suspensión y del grado de estratificación térmica generadas por la alternancia de los periodos de lluvia y

sequía. Durante el período de mayores precipitaciones, la entrada del río y las aguas de escorrentía resuspenden materiales de origen diverso. Los efectos de absorción y dispersión de la luz ocasionados por una mayor cantidad de materiales en suspensión durante este período, se ven reforzados por una estratificación térmica más marcada (Egborge 1981, Mtada 1986). En la época de sequía, el material resuspendido puede sedimentar más fácilmente debido al menor grado de estratificación térmica en la columna de agua y en consecuencia, la luz puede penetrar más profundamente. De esta manera, la importancia de los factores climáticos como fuerzas reguladoras de las características limnológicas físicas (Egborge 1981, Tundisi y Matsumura-Tundisi 1990; Tundisi *et al.* 1991) quedó claramente evidenciada en el Embalse Socuy. En este embalse existe una marcada asociación entre los cambios en los factores climáticos y las características físicas del agua tal como lo sugiere el Análisis de Componentes Principales. De acuerdo con este análisis, el enfriamiento y el calentamiento del epilimnio constituyen procesos claves en la dinámica del la limnología física de este cuerpo de agua.

El proceso de enfriamiento del epilimnio es promovido por la evaporación y el viento y afecta la estratificación térmica y en consecuencia los procesos de absorción y dispersión de la luz. Mientras que el calentamiento está asociado principalmente a la temperatura del aire.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la División de Estudios Básicos Sectoriales, a la División de Investigación de la Facultad Experimental de Ciencias y al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el apoyo financiero al proyecto. A la Zona 21 del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, Maracaibo, por facilitar los datos meteorológicos; y a A. D. Espina y G. Nava por su trabajo con las ilustraciones.

LITERATURA CITADA

- ARCIFA, M. S., C. G. FROEHLICH Y S. M. F. GIANESELLA. 1981. Circulation patterns and their influence on physico-chemical and biological conditions in eight reservoirs in Southern Brazil. *Ver. Internat. Verein. Limnol.* 21: 1054-1059.
- ARCIFA, M. S., A. J. MELSCHIATTI, E. A. T. GOMES. 1990. Thermal regime and stability of a tropical shallow reservoir: Lake Monte Alegre, Brazil. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 23: 271-281.
- CRESSA, C., E. VÁSQUEZ, E. ZOPPI, J. RINCÓN Y C. LÓPEZ. 1993. Aspectos generales de la limnología en Venezuela. *Interciencia* 18: 237-248.
- EGBORGE, A. B. M. 1981. The suspended matter content of Lake Asejire. A new impoundment in Nigeria. *Trop. Ecol.* 22: 263-270.
- LEWIS, W. 1983. A revised classification on lakes based on mixing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1779-1787.
- LEWIS, W. Y F. H. WEIBEZAHN. 1976. Chemistry, energy flow and community structure in some Venezuelan freshwater. *Arch. Hydrob. Suppl.* 50: 145-207.
- LÓPEZ, C. 1991. Comunidad de rotíferos del Embalse Socuy, Estado Zulia, Venezuela. *Bol. Centro Invest. Biol.* 25: 1-23. Maracaíbo, Venezuela.
- LÓPEZ, C. Y C. L. BELLO. 1993. Composición y variación estacional de la comunidad de crustáceos planctónicos del Embalse Socuy, Venezuela. *Ecotrópicos* 6: 29-42.
- MARTÍNEZ, M. 1970. Producción primaria del fitoplancton del Embalse de Lagartijo (Edo. Miranda) y su variación estacional.

Tesis Licenciatura, Univ. Central de Venezuela, Caracas, 40 pp.

- MTADA, O. S. M. 1986. Observations on the limnology of a tropical reservoir in West Africa (The Guma Dam, Sierra Leone) I: Factors influencing its physical limnology. *Trop. Ecol.* 27: 184-194.
- OLSEN, R. D. Y R. C SOMMERFELD. 1977. The physical-chemical limnology of a desert reservoir. *Hydrobiologia.* 53: 117-129.
- PONCE, J. Y J. ARREDONDO. 1986. Contribución al conocimiento limnológico de un embalse temporal tropical por medio de la aplicación de modelos multivariados. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* 13: 47-66.
- PRIETO, J. M. 1984. Estudio de la productividad primaria del fitoplancton del Embalse Socuy (Río Socuy, Edo. Zulia). Tesis Licenciatura, Univ. del Zulia, Maracaibo, 94 pp.
- SOTO L. M., C. LÓPEZ, Y C. L. BELLO. 1994. Química del Agua del Embalse Socuy. Estado Zulia, Venezuela. *Bol. Centro Invest. Biol.* 28: 1-18. Maracaibo, Venezuela.
- TUNDISI, J. 1981. Typology of reservoirs in Southern Brasil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21: 1031-1039.
- TUNDISI, J. Y T. MATSUMURA-TUNDISI. 1990. Limnology and eutrophication of Barra Bonita reservoir, S. Paulo State, Southern Brazil. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 33: 661-676.
- TUNDISI, J., T. MATSUMURA-TUNDISI, M. C. CALIJURI Y M. L. NOVO. 1991. Comparative limnology of five reservoirs in the middle Tietê River, S. Paulo State. *Ver. Internat. Verein. Limnol.* 24: 1489-1496.