

ASPECTOS MORFOMETRICOS Y FISICOS DEL EMBALSE DEL CISNE (CANELONES-URUGUAY)

Darío Crosa, Javier Gorga, Jorge Ferrando y Néstor Mazzeo

Sección Limnología
Departamento de Hidrobiología
Facultad de Ciencias
Universidad de la República
Tristán Narvaja 1674
CP 11200, Montevideo
Uruguay

RESUMEN

Crosa, D., J. Gorga, J. Ferrando y N. Mazzeo. 1990. Aspectos morfométricos y físicos del Embalse del Cisne (Canelones - Uruguay). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 21 (1): 81 - 90.

Se realizó un estudio de los principales parámetros físicos del agua y morfométricos en el Embalse del Cisne entre setiembre de 1987 y febrero de 1989. Este sistema tiene un área reducida (48,5 ha) y aguas someras ($\bar{D}=2,0$ m); su escasa profundidad condiciona una circulación continua impidiendo la estratificación térmica, pudiendo clasificarlo como polimictico tibio continuo. Presenta un bajo balance térmico ($2600 \text{ cal cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y las temperaturas máximas y mínimas registradas fueron de 23 y 8°C , respectivamente. Las aguas del sistema se caracterizaron por una alta turbidez encontrándose valores de profundidad de la zona eufótica que oscilaron entre $0,6$ y $3,0$ m y sólidos en suspensión entre 5 mg/l y 62 mg/l (promedio en la columna de agua). Esta turbidez no se originaría exclusivamente por la resuspensión del sedimento, sino por la remoción de las cubiertas litorales de macrófitas emergentes, cuya distribución alcanza a ocupar el $57,6 \%$ del área total del sistema. El nivel de agua presentó un mínimo en verano de $2,6$ m (correspondiéndose con un período de bajas precipitaciones) y un máximo en la primavera de 1987 de $3,55$ m de profundidad máxima.

SUMMARY

Crosa, D., J. Gorga, J. Ferrando y N. Mazzeo. 1990. Reservoir del Cisne: Some morphometrical and physical characteristics. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 21 (1): 81 - 90.

A study on the main physical parameters of the water and the morphometry of the reservoir del Cisne was carried out from September 1987 to February 1989. The system has a small area (48.5 ha) and shallow waters ($\bar{D}=2.00$ m). These characteristics determine a continuous mixing of the water avoiding in this way its stratification, being classified as a continuous warm polymictic lake. The system has a low annual heat budget ($2600 \text{ cal. cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$). Minimum and maximum temperatures recorded were 8 and 23°C , respectively. The main characteristic of this system is the high turbidity which corresponds with values of the euphotic zone oscillating between 0.6 and 3.0 m and with suspended solids values between 5 and 62 mg/l (mean of the water column). This turbidity is not only from sediments resuspension, but probably related to removal of littoral emergent aquatic plants that can occupy until 57.5% of the total area. The water level reached its minimum (2.60 m) in summer (corresponding with low rainfalls) and its maximum (3.55 m) in spring.

INTRODUCCION

El Uruguay posee una extensa red hidrográfica y un considerable número de sistemas leníticos naturales y artificiales que constituyen uno de los recursos más importantes con los que cuenta el país. A pesar de esto, el conocimiento limnológico es escaso o nulo. A su vez se ha incrementado su uso, observándose un consecuente deterioro en muchos de ellos. Estos hechos determinan la necesidad de realizar estudios que contribuyan a un conocimiento básico del recurso hídrico. El sistema objeto de esta comunicación, Embalse del Cisne, es usado como reservorio de agua para consumo humano, siendo la extracción y potabilización realizada por Obras Sanitarias del Estado (OSE).

La morfometría de los lagos es de fundamental importancia en limnología (Håkanson, 1981), ya que la morfología de la cubeta ejerce efectos considerables sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos; afecta la distribución del calor y de nutrientes, y en consecuencia es uno de los factores de acción más importantes en la productividad del ecosistema acuático (Dussart, 1966). Así se ha verificado una relación inversa entre la profundidad media y la productividad de los lagos (Fee, 1979).

Esta comunicación tiene por objetivo entregar antecedentes sobre las características morfométricas y físicas del agua de este embalse.

MATERIAL Y METODOS

El Embalse del Cisne se encuentra ubicado en el departamento de Canelones, Uruguay (34° 40'S, 55° 37'W). Forma parte de la cuenca del Arroyo Pando y está situado a 15 m sobre el nivel del mar. Sus principales tributarios son el Arroyo Piedra del Toro y la Cañada del Cisne, drenando a través del Arroyo Tropa Vieja (Fig. 1).

Es posible distinguir claramente dos zonas: 1) el embalse propiamente dicho y 2) la conformada por parte de los afluentes y el estero. Este último así como la comunidad litoral se caracteriza por la presencia de las siguientes especies de macrófitas: *Scirpus giganteus*, *S. californicus*, *Polygonum ferruginum*, *Typha latifolia*, *Elodea* sp., *Ceratophyllum* sp. y *Pistia stratiotes*.

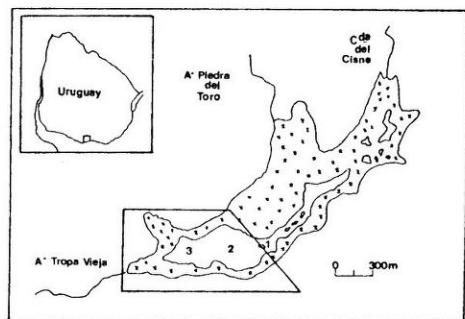
Los márgenes presentan diferentes características edafológicas. La norte con una profunda incorporación de materia orgánica, alta saturación de bases y un gran predominio de la fracción limo en los primeros centímetros. La sur es un suelo incipiente con una gran preponderancia de la fracción arena (MAP, 1976).

Este embalse anteriormente fue una laguna natural con un origen reciente, siendo formada por la obstrucción del sistema de desagüe del Arroyo Piedra del Toro y la Cañada del Cisne, debido al desarrollo extensivo de dunas transportadas por el viento a lo largo de la costa, (Jones, 1956). De acuerdo a su origen podemos clasificarlo como un lago de tipo eólico (Hutchinson, 1956).

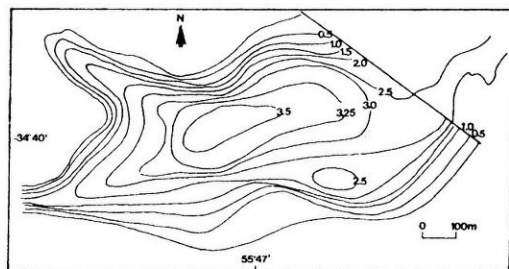
Se tomaron muestras en tres estaciones (Fig. 1) entre setiembre de 1987 y febrero de 1989. Las muestras de agua fueron obtenidas con una bomba peristáltica (Horizon Ecol.) cada 0,5 m de profundidad.

Para la determinación de los sólidos en suspensión se siguió la metodología descrita en APHA-AWWA, WPCF (1985). La temperatura se midió con el termistor acoplado al electrodo de un oxímetro YSI M. 57. El balance térmico anual (Θ_{ba}) considerado como la diferencia entre la cantidad de calor (Θ_{bd}) entre los períodos de temperatura más baja y más alta, se estimó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\Theta_{bd} = V.Tw/A$$



A



B

Fig. 1: A: Ubicación geográfica del sistema y localización de las estaciones de muestreo (1, 2, 3). B: Mapa batimétrico.

Cuadro 1

Principales parámetros morfométricos del Embalse del Cisne

| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Largo máximo (L_{\max}) | 2375 m |
| Largo máximo efectivo (L_e) | 920 m |
| Ancho máximo (B_{\max}) | 570 m |
| Ancho máximo efectivo (B_e) | 380 m |
| Ancho medio (\bar{B}) | 200 m |
| Profundidad máxima (D_{\max}) | 3,60 m |
| Profundidad media (\bar{D}) | 2,00 m |
| Profundidad relativa (D_r) | 0,46 ‰ |
| Dirección del eje mayor | E-W |
| Largo de la línea de costa (l_o) | 3750 m |
| Area total del embalse (A) | 485500 m ² |
| Area del espejo de agua (a) | 280000 m ² |
| Volumen (V) | 975300 m ³ |
| Pendiente media ($\bar{\rho}_p$) | 1,75 ‰ |
| Desarrollo de la línea de costa (F) | 1,52 |
| Desarrollo del volumen (V_d) | 1,66 |
| Fecht efectivo (L_f) | 0,47 km |
| Forma del embalse | LCmi |

siendo:

Θ_{bd} = cantidad de calor (cal cm⁻²); V = volumen (cm³); Tw = temperatura de la columna de agua (T°C), y A = área del sistema (cm²).

La transparencia se midió con un disco de Secchi (DS) de 20 cm de diámetro y la zona eufótica (z_{eu}) fue determinada de acuerdo a la siguiente fórmula: $z_{eu} = 2,9 \times DS$.

Los parámetros morfométricos se determinaron siguiendo los criterios de Håkanson (1981) sobre un mapa batimétrico construido en base a sondeos a lo largo de 5 transectos entre las márgenes norte y sur, y fotos aéreas escala 1:20000. La posición de los transectos y puntos medidos se establecieron con un teodolito. La profundidad crítica (D_{t-a}) fue calculada de acuerdo al modelo propues-

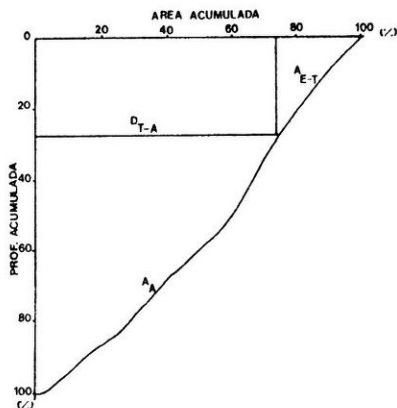


Fig. 2. Curva hipsográfica relativa profundidad-área, profundidad crítica (D_{T-A}), área de transporte y erosión (A_{E-T}) y área de acumulación (A_A).

to por Håkanson (1982), $D_{t-a} = 45,7 \times Lf/Lf + 21,4$ siendo Lf : fecht efectivo en km.

El nivel del agua fue registrado con un limnómetro en la margen norte y se expresó como cambios en la profundidad máxima.

Se realizaron correlaciones en base al test no paramétrico de Spearman (r_s) ya que este método es especialmente adecuado cuando el número de datos es pequeño y el estudio de su distribución se hace impracticable (Bishop, 1984).

RESULTADOS

El Embalse del Cisne es un sistema de área reducida ($A=48,5$ ha), aguas someras ($D=2,0$ m), con su largo máximo orientado en dirección este-oeste (Cuadro 1). Presenta un desarrollo de la línea de costa (F) de 1,52 con forma ligeramente irregular.

El análisis de la curva hipsográfica relativa (Fig. 2) permite determinar que la forma de la cubeta es lineal-cóncava, presentando más de dos puntos de inflexión, según criterios de Håkanson (1981). En relación a la forma presenta una pendiente media de 1,75 ‰. La profundidad crítica (D_{t-a}) tiene un valor de ca. 1 m.

La temperatura del aire durante el período de estudio registró una amplitud de valores comprendida entre 8,9° C (junio 1988) y 24,5° C (febrero 1989). La precipitación del año 1988 fue de 1039 mm distribuida irregularmente a lo largo del mismo (datos suministrados por la Dirección Nacional de Meteorología) (Fig. 3).

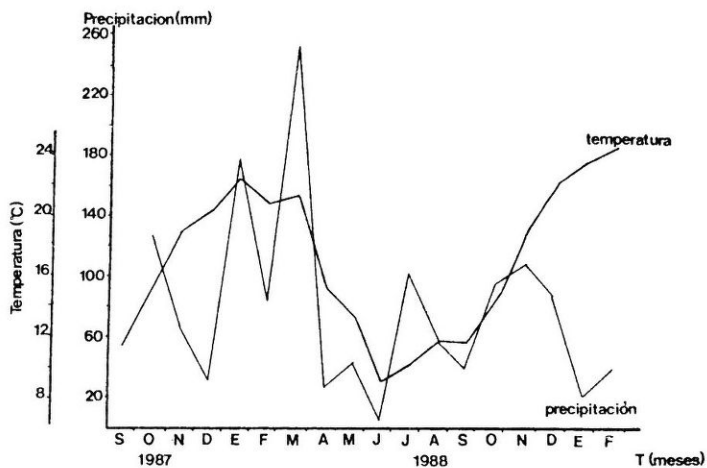


Fig. 3. Variación de la precipitación y temperatura del aire durante el período de muestreo.

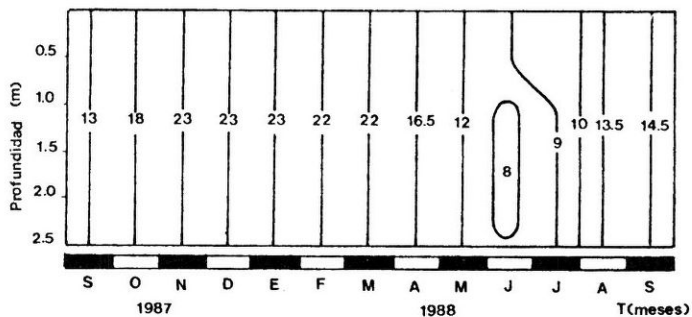


Fig. 4. Ciclo térmico del Embalse del Cisne (isotermas en °C).

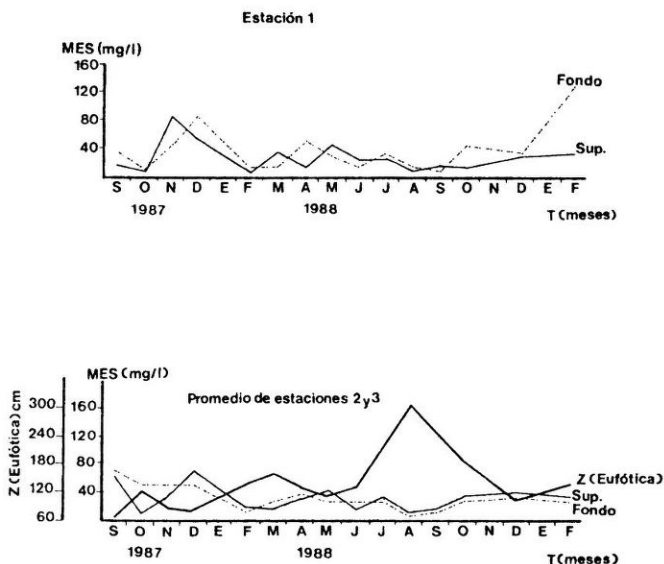


Fig. 5. Variación de la concentración de material en suspensión (MES) en superficie y fondo para la estación 1 y para el centro del Embalse a través del tiempo. Variación de la profundidad de la zona eufótica para el centro del Embalse.

Las temperaturas del agua máximas y mínimas registradas fueron de 23^o C y 8^o C, respectivamente. No se evidenciaron diferencias mayores de 1^o C entre superficie y fondo (Fig. 4). El valor del balance térmico obtenido fue de 2600 cal cm⁻² año⁻¹.

Las aguas del sistema se caracterizaron por una alta turbidez, encontrándose valores de profundidad de la zona eufótica que oscilaron entre 0,6 y 3,0 m (promediados entre las estaciones 2 y 3 debido a su comportamiento similar) (Fig. 5). El material en suspensión (MES) presentó valores de superficie entre 7,5 y 63,2 mg/l y en el fondo entre 2,8 y 67,1 mg/l (promedios entre las estaciones 2 y 3). En la 1 se registró en algunos meses una concentración mayor que en el centro del embalse (Fig. 5). En este último se observó una distribución particular del MES en la columna de agua, encontrándose concentraciones mayores por encima de 1,5 m (Fig. 6).

Los valores del nivel de agua mínimos se midieron en verano, la diferencia entre estos y los máximos fue de 1 m.

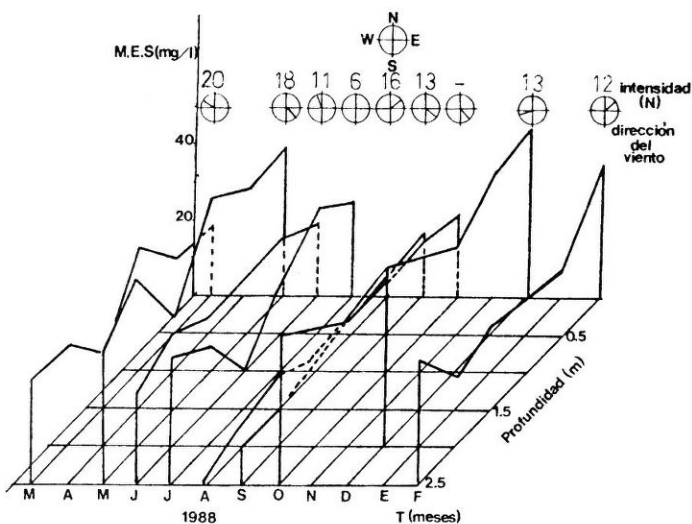


Fig. 6. Diagrama de la distribución del material en suspensión (MES) en profundidad-tiempo (promedio estaciones 2 y 3); vientos en nudos.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La escasa profundidad de este sistema impide que se establezca un gradiente de densidad que provoque una estabilidad relativa de las capas de agua, como para dar lugar a una estratificación estival. Esta característica facilita el transporte eólico del calor hacia las zonas profundas, homogeneizando la temperatura en toda la columna de agua. La acción del viento se ve favorecida por la poca protección de los montes circundantes así como por la gran proporción de aguas superficiales respecto a las más profundas. Todas estas características determinan que el sistema presente una mezcla continua a lo largo del año, por lo cual podemos clasificarlo como polimíctico tibio continuo (Lewis, 1983).

El valor del balance térmico, se relaciona con la escasa profundidad del embalse, siendo comparable al de otros lagos similares que los presentan bajos (Hutchinson, 1956). Existe una rápida respuesta de la temperatura del agua a los cambios de la del aire ($r_s=0,95$ $p < 0,01$) determinada por la reducida inercia térmica del sistema.

La escasa profundidad permite un gran desarrollo de la flora litoral (57,6 % del área) junto al hecho de que *Pistia stratiotes* llega a cubrir el 33 % del espejo del agua, hace pensar que las macrófitas son el principal contribuyente a la producción de este ecosistema.

Las causas posibles de la distribución particular del MES en la columna de agua, encontrada en las estaciones 2 y 3, podrían ser: 1) material particulado proveniente de la comunidad litoral, aportado mediante procesos de remoción y 2) el adherido a las raíces de *P. stratiotes*, que es desprendido durante desplazamientos ocasionados por acción del viento. El patrón observado indica una escasa resuspensión del sedimento en el espejo de agua, posiblemente debido a que el área de transporte y erosión ($A_{E-\tau}$) (Fig. 2) está ocupada por una densa cubierta de macrófitas emergentes que amortigua los procesos de erosión, resuspensión y transporte. En este sentido no se encontró relación alguna entre la dirección e intensidad de los vientos, horas antes del muestreo y la concentración promedio de MES en la columna de agua (Fig. 6).

Hipotéticamente, la elevación del nivel provocada por las lluvias iría acompañada de una mayor cantidad de MES, debido al arrastre de material por las aguas, ya que los afluentes recorren una zona en la cual existen materiales fácilmente transportables como la arcilla y el limo. Sin embargo, las correlaciones hechas entre el nivel de agua y la concentración de MES en la columna de la estación 1 demuestran que no existe relación alguna, probablemente todo este material sea retenido por la flora litoral que se interpone en el paso de los afluentes. Es evidente, que esta gran cantidad de MES limita la transparencia de estas aguas como era de esperar. Las correlaciones obtenidas ($r_s=0,82$ $p < 0,01$) demuestran una relación inversa entre la concentración de MES promedio y la profundidad de la zona eufótica en el centro de la laguna.

La mayor profundidad de la zona eufótica (3 m) fue registrada en agosto de 1988 y la mínima en setiembre de 1987 (0,66 m); lo que representa un porcentaje del 96 y 28 %o, respectivamente, del volumen total del lago. Esto indica una importante zona de producción primaria potencial en relación a ese volumen.

Los valores más bajos del nivel de agua (verano de 1989) se corresponden con el período de menor precipitación. Hay que tener en cuenta que las tasas de evapotranspiración de las macrófitas emergentes son más elevadas que el flujo de vapor producido por un área equivalente de agua (Wetzel, 1981), por lo que jugarían un rol importante en el balance hídrico de este sistema.

AGRADECIMIENTOS

A los licenciados R. Sommaruga, W. Pintos y R. Arocena por la corrección crítica. A los Lic. E. Marchesi y A. Jorcín por su colaboración.

REFERENCIAS

- APHA—AWWA, WPCF. 1985. Standard methods for examination of water and wastewater. *American Public Health Assoc. Inc., New York*, 1268 p.
- Bishop, O. 1984. Statistics for biology. *Longman*, England, 232 p.
- Dussart, B. 1966. Limnologie. *Gauthier—Villars*, Paris, 677 p.
- Fee, E. 1979. A relation between lake morphometry and primary productivity and its use in interpreting whole-lake eutrophication experiments. *Limnol. Oceanogr.* 24:69—75.

- Hakanson, L. 1981. A manual of lake morphometry. *Springer-Verlag*, Berlin, Heidelberg, New York, 78 p.
- Hakanson, L. 1982. Bottom dynamics in lakes. *Hydrobiologia* 91: 9–22.
- Hutchinson, G. 1956. A treatise on Limnology. *Wiley & Sons*, New York, 1015 p.
- Jones, G. 1956. Memoria explicativa y mapa geológico de la región oriental del departamento de Canelones. *Instituto Geológico del Uruguay*, 200 p.
- Lewis, W. 1983. A revised classification of lakes based on mixing. *Can. J. Fish. aquat. Sci.* 40: 1779–1787.
- MAP 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. *Dirección de suelos y fertilizantes*, 300 p.
- Wetzel, R. 1981. Limnology. *Omega*, Barcelona. 679 p.

Recibido / Received /: 26 octubre 1989

Aceptado / Accepted /: 9 junio 1991