

## Limnología básica del Embalse Angostura, Turrialba, Costa Rica

Gerardo Umaña-Villalobos

Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; gumana@biologia.ucr.ac.cr

Recibido 16-V-2006. Corregido 06-IV-2007. Aceptado 03-VI-2007.

**Abstract: Basic limnology of the Angostura Reservoir, Turrialba, Costa Rica.** Angostura Reservoir, filled in 2000, was created by building a “concrete” dam in the Reventazón river, and it is part of a system of hydro-power plants located in cascade in this basin. Four stations along the main longitudinal axis of the reservoir were evaluated in February 2001. At each station, a profile of temperature, dissolved oxygen, conductivity, turbidity and chlorophyll-*a* was made. The reservoir was stratified towards its deepest basin, with a tilted thermocline that deepens near the dam. Although a decline in dissolved oxygen with depth was observed, the hypolimnion was not anoxic. The conductivity showed a layer of higher values that started near the inflow of the Tuis river affluent and deepens towards the dam; this layer also had higher turbidity than surface waters in front of the dam, but showed lower chlorophyll-*a*, indicating a main flow towards the intake for the power plant. A second affluent from Rio Turrialba was temporarily closed, but this may influence this pattern of circulation. According to Secchi depth readings and chlorophyll-*a* levels, the reservoir is eutrophic. *Rev. Biol. Trop.* 56 (Suppl. 4): 215-220. Epub 2009 June 30.

**Key words:** tropical limnology, reservoir, stratification, chlorophyll-*a*, Costa Rica.

Aunque en Costa Rica se ha documentado la existencia de un gran número de lagos naturales pequeños (Umaña *et al.* 1999), hay un creciente número de embalses artificiales creados con el fin de producir energía hidroeléctrica en el país. Estos cuerpos de agua presentan problemáticas ambientales propias debido a su uso y a sus propias características limnológicas, no siempre bien entendidas. Por ejemplo, se suelen dar desfuegos de fondo para limpiar el vaso de sedimentos acumulados cerca de la toma de aguas, sin apreciar bien la calidad del agua que se desfoga. Por lo tanto, es importante hacer estudios limnológicos de los embalses y entender su comportamiento como ecosistema, para tener información que ayude en la toma de decisiones de manejo apropiadas y de menor impacto.

Uno de estos embalses es el de Angostura, en el río Reventazón, vertiente atlántica de Costa

Rica, el cual es de reciente creación (2000). De acuerdo a estudios en embalses de otras regiones se sabe que los embalses, por la forma en que se construyen presentan una asimetría a lo largo de su eje principal: son más profundos cerca de la presa, mientras que cerca de la cola del mismo predominan aún las características de un río mientras la corriente no se detiene del todo (Margalef 1983, Thornthorn *et al.* 1990). Esta asimetría afecta a toda la ecología del embalse, la estratificación más pronunciada se da en la zona cercana a la presa. En esta zona también se puede producir anoxia en las aguas del fondo, en especial si la toma de aguas está a media agua dejando un embalse “muerto” por debajo del nivel de la misma. Las poblaciones del plancton también suelen mostrar una distribución que refleja esta asimetría longitudinal.

Este trabajo pretende presentar una primera descripción de las características limnológicas

del Embalse Angostura, tomadas a menos de un año de su creación, como contribución al conocimiento de estos cuerpos de agua artificiales tropicales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Embalse Angostura, se ubica en el curso del río Reventazón, cerca de la ciudad de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica ( $9^{\circ}52'0''$  N y  $83^{\circ}38'30''$  W), a 577m sobre el nivel del mar. Este embalse, formado por una presa de concreto, recibe además aguas de tres ríos adicionales, los ríos Turrialba, Tulin y Tuis, se terminó de llenar en el año 2000. El embalse tiene una forma sigmoide con una isla en su parte media (Fig. 1). Posee un área superficial máxima de 159.7ha, con un desarrollo de orilla de 2.59, y una profundidad máxima de 22m; la profundidad relativa es de 1.54 (ICE sin fechar).

El día 22 de febrero de 2001 se realizó una visita con el fin de estudiar algunas de sus características limnológicas. Durante la visita la derivación del río Turrialba, que desagua en la orilla norte del embalse, no se encontraba funcionando por reparaciones en el canal.

Se establecieron cuatro puntos de muestreo (A, B, C, D) a lo largo de un eje longitudinal del embalse, a partir de la zona frente a la presa, hasta la zona cercana a la cola del embalse (Fig. 1), hasta donde se tuvo acceso con la embarcación inflable. En cada estación se realizaron mediciones de temperatura y oxígeno disuelto con un medidor YSI modelo 57, cada metro hasta el fondo. Cada cinco metros se tomaron muestras de agua con una botella tipo Kemmerer de 1.5L, para la medición de la conductividad, la turbidez y clorofila-*a* en el laboratorio. Parte de la muestra se filtró directamente en el campo para la determinación de la clorofila, en filtros de fibra de vidrio (Wattmann GF/C). Una alícuota se guardó para las otras determinaciones en el laboratorio. La conductividad se midió con un medidor La Motte modelo DA-1, y la turbidez mediante la absorción de la luz a 450nm en un espectrofotómetro Shimadzu 160-UV, en celdas de

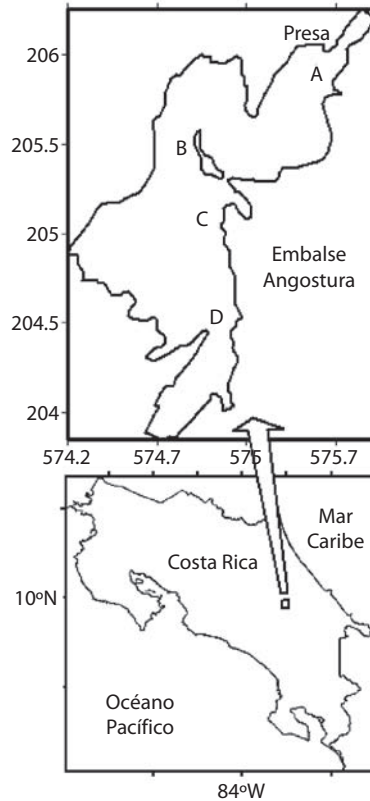


Fig. 1. Embalse Angostura, indicando la ubicación aproximada de las estaciones de muestreo. (Modificado a partir de información recopilada para el inventario de cuerpos de agua continentales, proyecto PREPAC, INCOPECSA, 2005).

1cm, y se utilizó la conversión a unidades JTU según Lind (1979). La clorofila se determinó de acuerdo al método de la SCOR/UNESCO utilizando acetona como disolvente (Strickland & Parsons 1972).

## RESULTADOS

El embalse muestra una estratificación térmica a lo largo de todo el eje abarcado en el estudio (Fig. 2). Sin embargo, en la zona cercana a la presa se nota una inclinación de las isotermas profundas, por efecto de la toma de aguas sumergida que posee el embalse. El

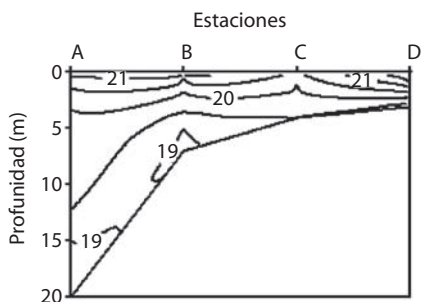


Fig. 2. Variación de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a lo largo de un eje longitudinal esquemático en el Embalse Angostura, Turrialba, Costa Rica.

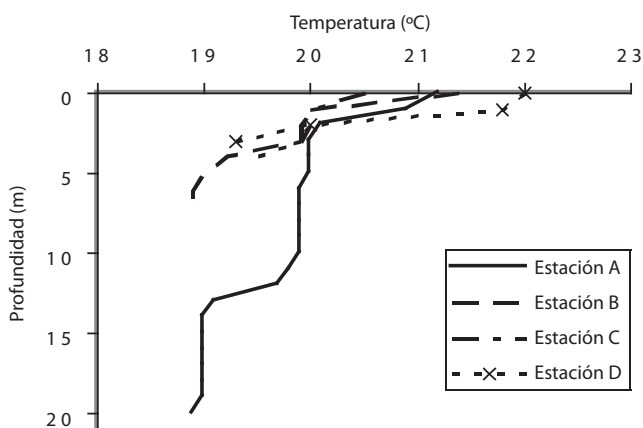


Fig. 3. Perfiles de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en cuatro estaciones ubicadas a lo largo de un eje longitudinal en el Embalse Angostura, Turrialba, Costa Rica.

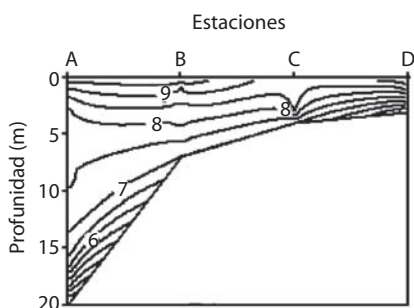


Fig. 4. Variación de la concentración de oxígeno disuelto ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) a lo largo de un eje longitudinal esquemático en el Embalse Angostura, Turrialba, Costa Rica.

gradiente de temperatura muestra dos termoclinas cerca de la presa, una superficial y otra en la zona más profunda, con una zona de poco cambio a media agua; en las otras estaciones hay una disminución gradual de la temperatura con la profundidad (Fig. 3). Se nota, asimismo, una disminución de la temperatura superficial en la estación C, ubicada cerca de la descarga del afluente del río Tuis, por efecto de la entrada del afluente.

El oxígeno disuelto también muestra una distribución estratificada (Fig. 4), con una fuerte disminución cerca del fondo principalmente frente a la presa. Cerca de la presa hay

un hundimiento de las isóneas intermedias, y se nota una zona intermedia de poco cambio, con una fuerte disminución tanto en las aguas superficiales como cerca del fondo.

La conductividad muestra un comportamiento interesante, con una fuerte disminución cerca de la superficie y en el fondo en la estación cercana a la presa, y valores algo más altos en las otras estaciones de muestreo (Fig. 5). Se nota un flujo descendente de la cola del embalse hacia la presa de aguas con una conductividad un poco mayor a las del resto del embalse.

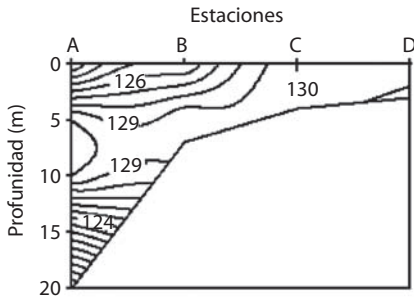


Fig. 5. Variación de la conductividad ( $\mu\text{Si}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) a lo largo de un eje longitudinal esquemático en el Embalse Angostura, Turrialba, Costa Rica.

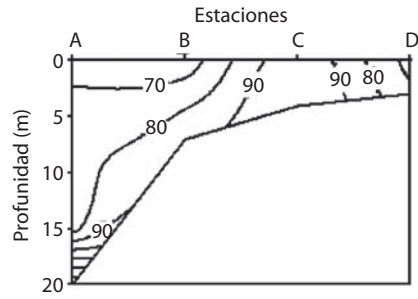


Fig. 6. Variación de la turbidez del agua (JTU) a lo largo de un eje longitudinal esquemático en el Embalse Angostura, Turrialba, Costa Rica.

La turbidez del agua también muestra una tendencia a ser menor en la superficie cerca de la presa y en la cola del embalse, con un incremento hacia la parte media y profunda del embalse, cerca de la presa (Fig. 6). La zona de mayor turbidez se ubica hacia el oeste de la isla que divide al embalse en dos y frente a la entrada de aguas provenientes del río Tuis, producto del oleaje que azotaba la isla central. La profundidad de Secchi varió entre las estaciones (Fig. 7), pero en todo el embalse fue inferior a 1m. El menor valor se obtuvo en la estación tres, detrás de la isla.

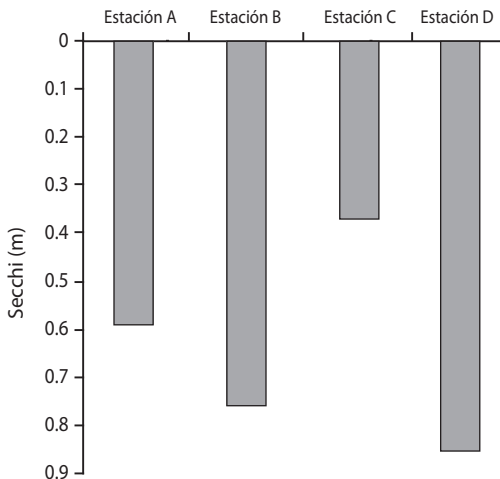


Fig. 7. Visibilidad del disco de Secchi (m) en las cuatro estaciones visitadas en el Embalse Angostura, Turrialba, Costa Rica.

La clorofila-*a* disminuye en la zona media del embalse y hacia el fondo cerca de la presa, con máximos observados cerca de la presa y en la cola del embalse (Fig. 8). Hay una tendencia a disminuir la concentración de clorofilas en los sitios de mayor turbidez, debido a que la turbidez del agua se debe a sólidos en suspensión y no a poblaciones densas del fitoplancton.

## DISCUSIÓN

La estratificación fue más pronunciada cerca de la presa en la mayor parte de las variables examinadas. Este es un comportamiento similar a lo reportado para otros embalses del mundo (Margalef 1983, Thorton *et al.* 1990), sin embargo, se espera que el panorama cambie en momentos en que esté entrando agua del río

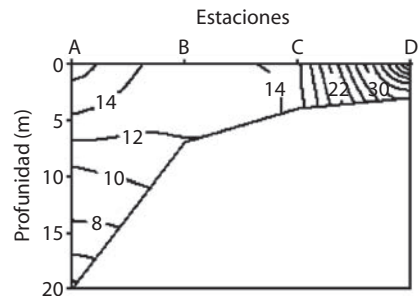


Fig. 8. Variación de la clorofila *a* ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a lo largo de un eje longitudinal esquemático en el Embalse Angostura, Turrialba, Costa Rica.

Turrialba, con un efecto similar al observado para el afluente del río Tuis.

Se nota un flujo de agua hacia la toma que no involucra al epilimnion de la zona cercana a la presa, sino que fluye desde la cola del embalse hacia la presa, involucrando también la entrada de agua por el sur del río Tuis. Este efecto, se debe al tamaño pequeño del embalse y puede variar de acuerdo al caudal de entrada de los principales afluentes, sobre todo del río Reventazón así como el caudal de salida por la toma de aguas cuando la planta esté en operación. De hecho, Kalf (2002) menciona que por la presencia de un afluente principal en la cola de los embalses y su forma alargada, se da un flujo unidireccional de una masa coherente de agua, y Thorton y colaboradores (1990) mencionan que las bahías laterales pueden quedar aisladas del flujo principal.

También este efecto crea diferentes masas de agua independientes en el eje vertical: una masa de agua superficial y otra profunda cerca de la presa, con un flujo neto intermedio entre ambas capas. En otros embalses se ha documentado que cuando hay un flujo extraordinario el embalse se comporta más como un ambiente lótico y los sólidos en suspensión atraviesan el embalse sin depositarse realmente en él (Faithful & Griffiths 2000). Es decir el flujo del agua dentro del embalse depende de la relación proporcional entre el volumen del vaso contenedor y el flujo del agua. En particular la toma de aguas para la planta hidroeléctrica influye significativamente en el flujo de las masas de agua y la estratificación del mismo (Thorton *et al.* 1990).

La isla no marca ninguna diferencia en la estratificación térmica, pero si influye en la distribución de los sólidos en suspensión, creando una zona intermedia de alta turbidez.

Los principales cambios en la turbidez del agua en el embalse no se debieron a cambios en la densidad del fitoplancton sino a cambios en la cantidad de sólidos en suspensión por erosión de orillas del lago, lo cual ha sido observado en otros embalses, en especial durante la época de mayor caudal (Faithful & Griffiths 2000) mientras que la concentración de clorofila ha

aumentado en épocas de sequía y por lo tanto bajo caudal en un embalse en Brasil (Bouvy *et al.* 2003).

Aunque no se observó un alto grado de anoxia en el fondo del embalse, posiblemente por su reciente formación al momento de la visita, se puede esperar que la situación cambie pues el mismo se ubica en una cuenca ya bastante degradada y recibe descargas de ríos que fluyen cerca de algunas poblaciones importantes, como Turrialba y Cartago. No obstante, la existencia de desfuegos de fondo periódicos para la limpieza de sedimentos puede tener el efecto de evitar el establecimiento de condiciones anóxicas en esta zona por periodos prolongados, lo cual debe ser evaluado con un estudio a más largo plazo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, a través del proyecto del CIMAR Número 808-98-279. La ayuda de Cindy Fernández, Alejandra Gutiérrez, Jairo García, Eddy Gómez, fue invaluable para el análisis de las muestras y la toma de datos de campo.

## RESUMEN

El Embalse Angostura fue terminado de inundar en el 2000, construido mediante una represa de concreto en el río Reventazón, como parte de un sistema en cascada de represas para la generación de energía hidroeléctrica. Con el objetivo de estudiar sus características limnológicas se realizó una serie de mediciones básicas en el 2001. Se observó que el embalse se encuentra estratificado hacia su parte más profunda, y la termoclina inclinada, haciéndose más profunda cerca de la represa. Aunque hubo una disminución del oxígeno disuelto con la profundidad, el hipolimnion no estuvo anóxico en el momento de la visita (Febrero 2001). La conductividad mostró una capa de valores más altos que se inicia cerca de la entrada del agua del río Tuis y se hunde hacia la represa; esta capa también mostró una mayor turbidez que las aguas superficiales enfrente a la represa pero con menor clorofila. Esto indica que el flujo principal se mueve hacia la toma de aguas para la planta hidroeléctrica. Un segundo afluente proveniente del río Turrialba estaba temporalmente cerrado, el cual puede hacer variar este patrón de circulación encontrado.

**Key words:** limnología tropical, reserva, estratificación, clorofila-*a*, Costa Rica.

## REFERENCIAS

- Bouvy, M., S.M. Nascimento, R.J.R. Mojica, A. Ferreira, V. Huszar & S.M.F.O. Azevedo. 2003. Limnological features in Tapacura reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia* 493: 115-130.
- Faithful, J.W. & D.J. Griffiths. 2000. Turbid flow through a tropical reservoir (Lake Dalrymple, Queensland, Australia): Responses to a summer storm event. *Lakes & Reserv. Res. Manag.* 5: 231.
- ICE. Sin fechar. Plantas hidroeléctricas. Folleto Divulgativo. Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica.
- Kalff, J. 2002. *Limnology, inland water ecosystems*. Prentice Hall, Nueva Jersey, EEUU.
- Lind, O.T. 1979. *Handbook of common methods in limnology*. C.V. Mosby, St. Louis, Missouri, EEUU.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega, Barcelona, España.
- PREPAC. 2005. *Inventario nacional de cuerpos de aguas continentales de Costa Rica*. Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental, OSPESCA/Taiwán/OIRSA, INCOPECSA, San José, Costa Rica.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Board Canada, 172. Ottawa, Canada.
- Thornton, K.W., B.L. Kimmel & F.E. Payne. 1990. *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley & Sons, Nueva York, EEUU.
- Umaña, V., G.K. Haberyan & S. Horn. 1999. *Limnology in Costa Rica*, p. 33-62. *In* R.G. Wetzel & B. Gopal (eds.). *Limnology in developing countries*. International Scientific Publications, Nueva Delhi, India.