

## Limnología básica del lago cárstico turístico Cenote Azul en Quintana Roo, México

### Basic limnology of the karstic tourist lake Cenote Azul in Quintana Roo, Mexico

Adrián Cervantes-Martínez, Mariela Mezeta-Barrera  
y Martha Angélica Gutiérrez-Aguirre

Universidad de Quintana Roo, Cozumel, Quintana Roo, C.P. 77642. México  
e-mail: adcervantes@uqroo.mx

Cervantes-Martínez A., M. Mezeta-Barrera y M.A. Gutiérrez-Aguirre. 2009. Limnología básica del lago cárstico turístico Cenote Azul en Quintana Roo, México. *Hidrobiológica* 19(2): 177-180.

#### RESUMEN

Se presenta una descripción de la limnología básica del Cenote Azul, un sistema cárstico del sur de Quintana Roo, México. El análisis se realizó a dos niveles, temporal y espacial, en la región limnética. El sistema se clasificó como monomíctico, cálido tropical. Los niveles de concentración de oxígeno disuelto, clorofila *a* y visibilidad al disco de Secchi, indican condiciones oligotróficas. Las variaciones del pH, de la concentración de oxígeno disuelto superficial (0-30 m) y de la temperatura se encuentran dentro de los límites señalados como aceptables en los criterios ecológicos y de calidad del agua para la protección de la vida acuática.

**Palabras clave:** Cenotes, productividad, estratificación, oligotrófico, monomíctico.

#### ABSTRACT

A description of the basic limnology of the Cenote Azul, a karstic system from Quintana Roo, Mexico is presented. The analysis was done at temporary and space level, in the limnetic region. The system was recognized as tropical and monomictic. Oligotrophic conditions were found with high dissolved oxygen concentrations, transparency, and low chlorophyll *a* concentrations. The pH, oxygen concentration at superficial level (0-30 m), and temperature, are within the ecological criteria of water quality for protection of the aquatic life.

**Key words:** Cenotes, productivity, stratification, oligotrophic, monomictic.

Los suelos de la península de Yucatán son de origen marino formados por rocas sedimentarias del Terciario, con predominio de rocas calizas, por lo que el relieve cárstico es característico.

En esta zona son típicos los sistemas originados por disolución, conocidos regionalmente como cenotes (del vocablo maya "dzonot" que significa oquedad con agua) y que constituyen la principal fuente de agua dulce en la península. A excepción del río Hondo, en Quintana Roo no existen importantes corrientes superficiales de agua, sino que predominan los sistemas subterráneos (Cervantes-Martínez *et al.*, 2002).

Existe poca información en cuanto a las características físicas, químicas y biológicas de los cenotes de Quintana Roo; de hecho hay sistemas inexplorados, sobre todo en el sur del estado. Los estudios existentes para el área, se han concentrado en el análisis taxonómico de la fauna dulceacuícola, así como en algunas descripciones geomorfológicas y geoquímicas (Schmitter-Soto *et al.*, 2002). Debido a lo anterior, nos propusimos como objetivo de este trabajo describir la variabilidad espacial y temporal de algunos parámetros físicos y químicos del Cenote Azul (actualmente de uso turístico, con baja densidad de visitantes), durante un ciclo anual para hacer su caracterización fisicoquímica. Adicionalmente, analizamos el estado trófico del sistema, en función de la concentración de clorofila *a*.

El estudio se realizó en la región limnética del cenote el cual es abierto, de forma circular, con una profundidad máxima de 65 m y un diámetro de 200 m, y se encuentra ubicado a 18° 38' 48" LN y 88° 24' 42" LO, aproximadamente a 30 km de la ciudad de Chetumal, Q. Roo, México. Los vientos dominantes durante la mayor parte del año son los alisios que soplan desde el sureste, excepto en invierno cuando dominan los procedentes del norte (Schmitter-Soto *et al.*, 2002). Las muestras de agua se recolectaron mensualmente (mayo de 2004 a abril de 2005), cubriendo 3 estaciones climáticas: secas (febrero a mayo), lluvias (junio a octubre) y nortes (noviembre a enero). Se registraron *in situ* la temperatura, el pH, el oxígeno

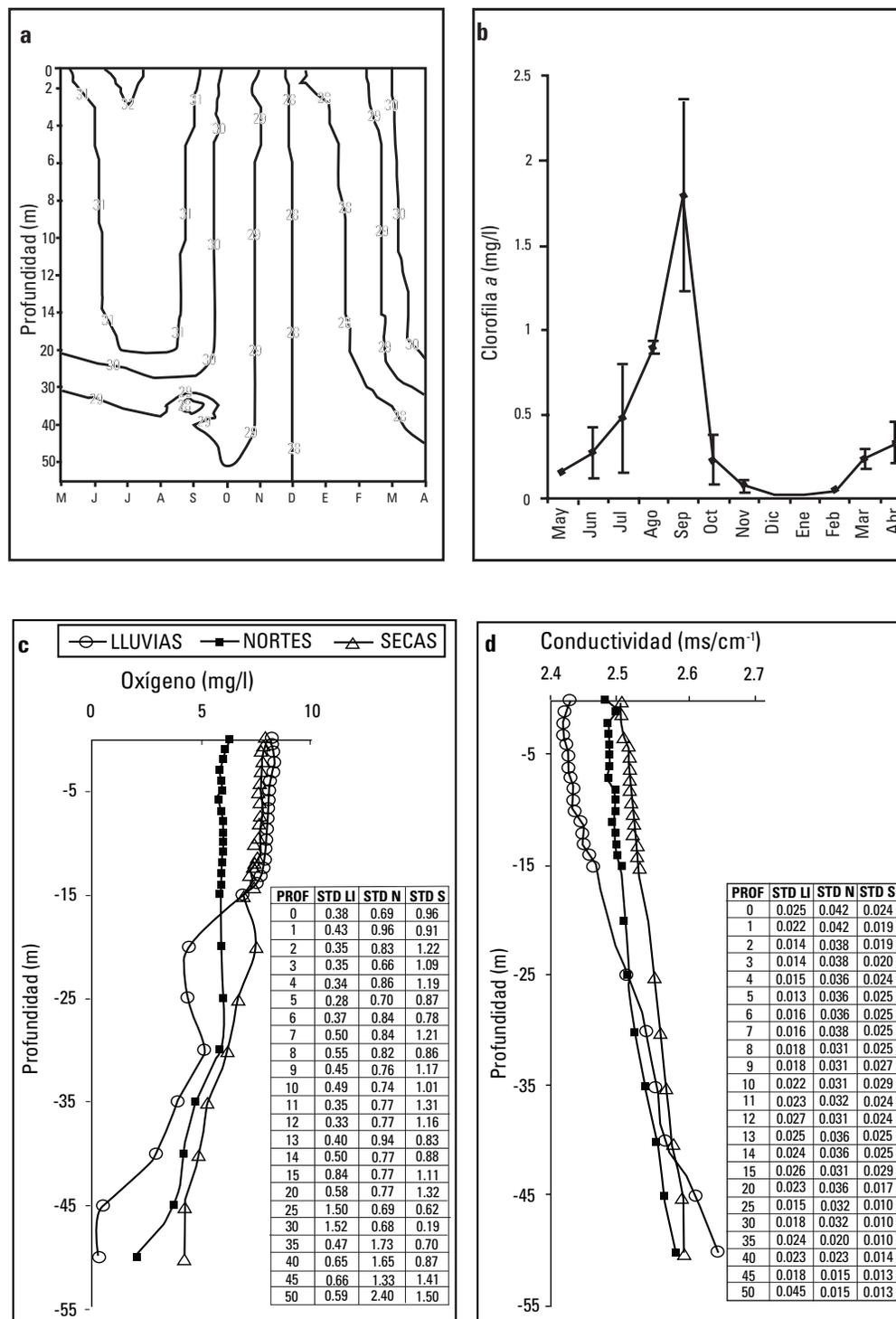


Figura. 1 a-d. Perfiles de distintos parámetros fisicoquímicos del Cenote Azul (mayo de 2004 – abril 2005). a) Diagrama espacio-tiempo de temperatura, b) Concentración promedio vertical/mes de la clorofila *a*. c) Perfil de concentración de oxígeno disuelto, d) Perfil de conductividad. En las figuras c-d los cuadros muestran la desviación estándar de las determinaciones por profundidad (= PROF.), desviación estándar por profundidad en lluvias (STD LI), en nortes (STD N) y en secas. (STD S).

disuelto, la salinidad y la conductividad del agua, en un perfil vertical con la ayuda de una sonda digital Horiba-10. El perfil se marcó

inicialmente a cada metro hasta los primeros 15 m de profundidad; después, se distanció el muestreo cada 5 m, hasta llegar al fondo.

La medición de cada parámetro se calibró con base en las técnicas analíticas propuestas en las Normas Oficiales Mexicanas y en estándares establecidos por las normas de calidad de agua (Anónimo, 2005). Con los datos obtenidos realizamos una evaluación de las características físicas y químicas del sistema, así como la clasificación térmica del sitio. El análisis se realizó a dos niveles, uno temporal (considerando el promedio de los parámetros/temporada) y otro espacial (en el gradiente vertical).

Se midió la visibilidad del disco de Secchi y finalmente, se determinó la concentración de clorofila *a*, en muestras de agua colectadas cada 5 m (desde la superficie y hasta los 20 m). La concentración del pigmento se obtuvo con el uso de filtros Millipore de membrana de fibra de vidrio, con apertura de poro de 0.45  $\mu\text{m}$  y un espectrofotómetro modelo Spectronic 21d. Se consideró el promedio vertical de la clorofila *a*/mes, durante un período anual como un indicador del estado trófico del sistema (OCDE, 1982).

La temperatura promedio anual ( $29.2 \pm 0.9$  °C) indicó que el lago es cálido-tropical (Lewis, 1996), resultado semejante al reportado para otros cenotes de la región (Flores-Nava, 1994). El cenote presentó temperaturas máximas a nivel superficial durante secas y lluvias; mientras que las mínimas se registraron en nortes. El sistema estuvo térmicamente estratificado durante las estaciones de secas y de lluvias (con una termoclina entre los 14 y los 30 m); mientras que durante la estación de nortes la columna se mezcló (Fig. 1a). Debido al patrón de mezcla y estratificación descrito, el sistema se consideró monomítico cálido, tal y como ha sido reportado para lagos mexicanos con áreas pequeñas pero profundos, como es el caso de Alchichica (Alcocer *et al.*, 2000). La mayor diferencia térmica se registró durante la estación de lluvias (hasta 4.1 °C, entre el epi y el hipolimnion) (Fig. 1a). El menor promedio de visibilidad al disco de Secchi se presentó durante las estaciones de lluvias ( $10.7 \pm 1.02$  m) y secas ( $11.4 \pm 4.4$  m). Considerando el efecto de la visibilidad sobre la estructura térmica de los lagos (Mazumder & Havens, 1998), probablemente una mayor turbiedad influye en la entrada de calor en la columna de agua, así, una mayor cantidad de calor es atrapada superficialmente por efecto del material en suspensión, produciendo un mayor gradiente vertical de temperatura durante la estación de lluvias. Por otro lado, la mezcla se pudo favorecer con el descenso de la temperatura y la mayor intensidad de los vientos nortes, comportamiento típico del trópico húmedo mexicano.

El promedio mensual de clorofila *a* osciló de 0.005 a 1.79  $\text{mg m}^{-3}$  por lo que de acuerdo con la clasificación de OCDE (1982) el cenote puede considerarse un sistema oligotrófico. La concentración más alta de clorofila *a*/mes se encontró en la época de lluvias y la menor en la de nortes (Fig. 1b). El valor más alto coincidió con los niveles más básicos de pH (8.0 a 8.2) en la región superficial del sistema durante las lluvias, sin embargo, los valores bajos de clorofila *a*, sugieren que los cambios en

los valores de pH responden a las características típicas de sistemas carbonatados (Schmitter-Soto *et al.*, 2002), con aguas básicas en la superficie y una tendencia de neutralidad (pH = 7.4) hacia el fondo

A nivel superficial, las mayores concentraciones de oxígeno disuelto se registraron durante las estaciones de secas y lluvias (entre 8 y 8.8  $\text{mg l}^{-1}$ , mientras que las mínimas en la de nortes, con alrededor de 6  $\text{mg l}^{-1}$ ; Fig. 1c). Exclusivamente en la capa oxigenada del cenote (hasta los 50 m), el promedio anual del oxígeno osciló cerca de los  $6.10 \pm 0.90$   $\text{mg l}^{-1}$ . Se ha observado que los sistemas cársticos profundos del sur de Q. Roo se caracterizan por tener aguas bien oxigenadas a lo largo de la columna (Cervantes-Martínez *et al.*, 2002). Sin embargo durante la época de lluvias en el Cenote Azul, el nivel de oxígeno se redujo prácticamente hasta la anoxia (promedio de 0.4  $\text{mg l}^{-1}$ ) después de los 50 m (Fig. 1c).

La conductividad mostró que el sistema es dulceacuícola, sin haloclina (Fig. 1d), lo cual aparentemente es típico de los cenotes del sur de Q. Roo cercanos a la costa, es decir a no más de 25 ó 30 km de distancia al mar (Cervantes-Martínez *et al.*, 2002).

Concluimos que el Cenote Azul es un sistema monomítico cálido; la distribución vertical de oxígeno disuelto y pH se corresponden bien con el patrón de estratificación térmica; sobre todo en el período de mayor precipitación anual. Durante esa temporada se encontró además la mayor biomasa fitoplanctónica (evaluada a través de la concentración de clorofila *a*). Las variables asociadas al contenido iónico del sistema, mostraron que el agua es dulce, sin presencia de haloclina. La variación del pH, la concentración de oxígeno disuelto superficial (0-30 m) y la temperatura se encuentran dentro de los límites señalados como aceptables en los criterios ecológicos y de calidad del agua para la protección de la vida acuática (Anónimo, 1989). Este estudio provee información básica para el conocimiento limnológico de los lagos de disolución de Quintana Roo.

## AGRADECIMIENTOS

A Manuel Elías-Gutiérrez (ECOSUR Chetumal) y Efraín Pech por su apoyo en el campo para la toma de datos.

## REFERENCIAS

- ALCOCER, J., A. LUGO, M. R. SÁNCHEZ, E. ESCOBAR & G. VILA CLARA. 2000. Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic lake Alchichica, Puebla, Mexico. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 27 (9): 3166-3169.
- ANÓNIMO. 1989. CE-CCA-001/89. *Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua*. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México D. F., pp. 1-85.

- ANÓNIMO. 2005. PROY-NMX-AA-121-SCFI-2005. *Proyecto de Norma Mexicana. Aguas naturales epicontinentales, costeras y marinas-muestreo*. Comité Técnico de Normalización Nacional para la Protección Ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México D. F, pp.1-62.
- CERVANTES-MARTÍNEZ, A., M. ELÍAS-GUTIÉRREZ & E. SUÁREZ-MORALES. 2002. Limnological and morphometric data of eight karstic system "cenotes" of the Yucatan Peninsula, Mexico, during the dry season (February-May, 2001). *Hydrobiologia* 482 (1-3): 167-177.
- FLORES-NAVA, A. 1994. Some limnological data from five water bodies of Yucatán as a basis for aquaculture development. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México* 21 (1-2): 87-98.
- LEWIS, M. W. JR. 1996. Tropical lakes: how latitude makes a difference. In: Schiemer, F. & K. T. Boland (Eds.). *Perspectives in tropical Limnology*. Academic Publishing, pp. 27-42.
- MAZUMDER, A. & K. E. HAVENS. 1998. Nutrient-Chlorophyll-Secchi relationships under contrasting grazer communities of temperate versus subtropical lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55 (7): 1652-1662.
- OCDE (ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES). 1982. *Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte*. Paris. 164 p.
- SCHMITTER-SOTO, J. J., E. ESCOBAR-BRIONES, J. ALCOCER, E. SUÁREZ-MORALES, M. ELÍAS-GUTIÉRREZ & L. E. MARÍN. 2002. Los cenotes de la Península de Yucatán. In: De la Lanza-Espino, G. & J. L. García-Calderón (Comps.). *Lagos y Presas de México*. AGT. México, pp. 337-381.

Recibido: 4 de diciembre de 2008.

Aceptado: 9 de junio de 2009.