

## CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA BÁSICA DE TRES LAGOS SOMEROS EN EL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE VIBORAL (ANTIOQUIA), COLOMBIA

BASIC MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF THREE SMALL LAKES IN THE MUNICIPALITY OF THE CARMEN DE VIBORAL (ANTIOQUIA), COLOMBIA

Yimmy Montoya-M.<sup>1</sup>

### Resumen

Durante el mes de noviembre de 2003, se realizaron muestreos limnológicos preliminares en tres lagos someros en el oriente del departamento de Antioquia, Colombia. Estos sistemas tienen veinte años de existencia y se caracterizan principalmente por presentar baja profundidad relativa, media y máxima, al igual que un pequeño espejo de agua. Los mapas batimétricos y los análisis morfométricos mostraron que los lagos uno y dos presentan formas ligeramente convexas (SCxme y SCxmi, respectivamente), y el lago tres con forma linear con más de dos puntos de inflexión (Lmi), todos con una cubeta en forma de V.

*Palabras clave:* lagos someros, limnología física, limnología tropical, morfometría, Antioquia, Colombia.

### Abstract

On November's 2003, preliminary limnological surveys were conducted in three small lakes in the east of Antioquia, Colombia. These systems are twenty years old and their main characteristics of the lakes were a low relative depth, as much as medium and maximum, also the appearance as a small water mirror. The batimetric maps and the morphometric analysis showed that the lakes one and two present a slight convex form (SCxme and SCxmi, respectively), and the lake three exhibits a linear form with more than two inflection points (Lmi), all of the lakes have a basin in "V" form.

*Key words:* lakes, morphometric, physical limnology, tropical limnology, Antioquia, Colombia.

## INTRODUCCIÓN

La morfología es la ciencia que tiene por objetivo el estudio de la forma de determinado elemento, organismo o sistema. Las características morfológicas definen la configuración de los principales compartimientos de los lagos y represas, siendo estas la región litoral (márgenes), limnética (aguas libres) y profunda (sedimentos) (Sperling, 1999). Similarmente, la morfometría trata de la cuantificación de las formas del lago y de sus elementos (Håkanson, 1981). La forma y el tamaño de la base de un lago afectan los parámetros físicos, químicos y biológicos del lago. Las formas de la base del lago varían extremadamente y reflejan su forma de origen, cómo los movimientos del agua subsecuentemente han modificado la base y

la extensión de la carga de materiales provenientes de la cuenca (Wetzel, 2001).

Los parámetros morfométricos son útiles por ejemplo para conocer el contenido calórico y la estabilidad de la columna de agua, la productividad biológica, las tasas de ciclaje de nutrientes y otros componentes estructurales y funcionales del ecosistema, incluyendo los procesos evolutivos del sistema lacustre como la erosión (Wetzel y Likens, 1979). Håkanson (1982) afirma que los procesos de sedimentación en los lagos están relacionados estrechamente con los patrones hidrológicos de flujo y la topografía de la cubeta, los cuales influyen el régimen hidrodinámico. En los

Recibido: noviembre de 2004; aceptado para publicación: mayo de 2005.

<sup>1</sup> Grupo de Biodiversidad Acuática. Institución Educativa Fray Julio Tobón B., Antioquia, Colombia. Correo electrónico: <yimmymontoya3@hotmail.com>.

ambientes lénticos de las regiones de clima tropical, las características morfométricas también ejercen un importante papel en la determinación de los procesos hidrológicos y de las características limnológicas, la dinámica de los nutrientes y de las comunidades acuáticas (Bozelli et al., 2000).

La caracterización morfométrica de un cuerpo de agua idealmente debe ser el punto de partida de las investigaciones limnológicas, ya que a partir de esta se puede determinar la ubicación de las estaciones de colecta de manera metódica, adicionalmente, se genera una idea global sobre el funcionamiento del sistema teniendo en cuenta las áreas de interfase agua-aire y agua-sedimento.

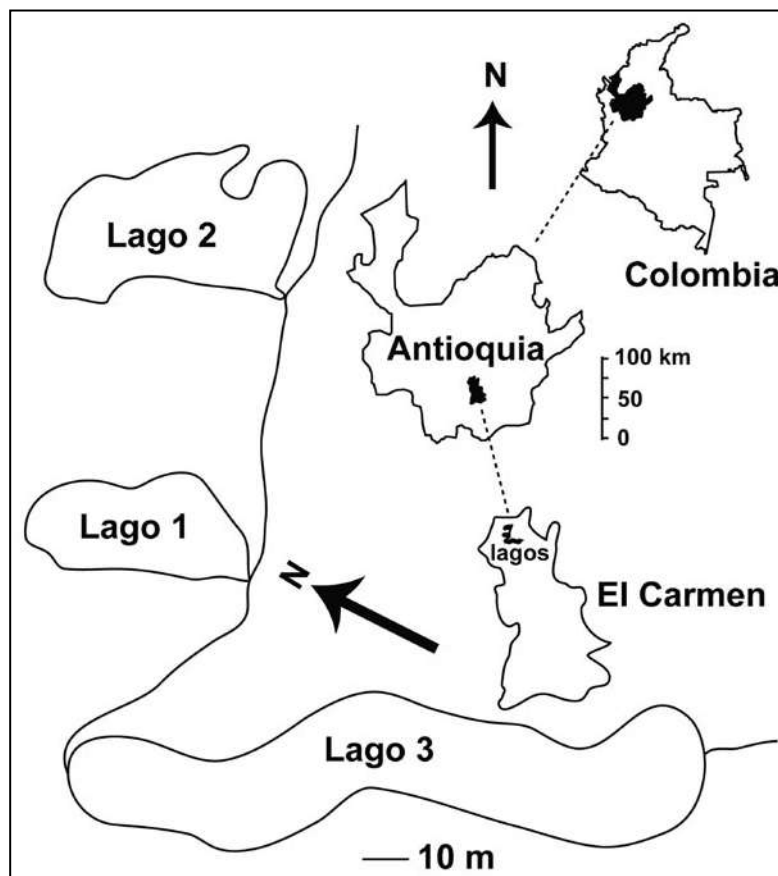
Con este trabajo se pretende realizar la caracterización y comparación morfométrica básica de tres lagos someros del Oriente antioqueño, como punto de partida para la implementación de sucesivas

campañas de monitoreo y evaluación limnológicas con el fin de generar conocimiento global de estos sistemas acuáticos.

### MATERIALES Y MÉTODOS

**Descripción del área de estudio.** Este estudio se realizó durante el mes de noviembre de 2003 en la vereda Quirama del municipio de El Carmen de Viboral (figura 1), al oriente del departamento de Antioquia, Colombia entre las cotas 800 y 3.340 msnm, y con una posición geográfica de 6° 05' 09" N y 75° 20' 19" O, con una temperatura promedio de 17 °C y una precipitación pluvial anual oscilando entre 2.150 y 2.235 mm, lo que tipifica el sector de muestreo como una zona de vida bosque húmedo montano bajo, bh-MB (Espinal, 1992).

La cuenca alta de la quebrada La Cuchillita está localizada predominantemente sobre un macizo cris-



**Figura 1.** Ubicación de los tres lagos estudiados en el municipio de El Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia

talino conformados por rocas del Batolito antioqueño, especialmente granodioritas, el proceso morfogénico que ha dado lugar a las transformaciones superficiales más comunes es el desprendimiento desde la parte superior de materiales que conformaban alteritas compuestas por suelos y rocas en diferentes estados de meteorización, que ha generado suelos que varían de limo-arcillosos a arcillo-limosos y que incluyen bloques de granodiorita con diferentes estados de meteorización (CORNARE, 1995).

En la finca (de nombre desconocido) se encuentran localizados tres lagos someros los cuales fueron “construidos” en 1980 al colocarle una barrera de tierra compactada en la parte inferior del curso de la quebrada La Cuchillita, el lago uno se encuentra a 6° 4' 53" N y 75° 20' 54" O, actualmente presenta bordes naturales cubiertos por pastos con baja pendiente. El lago dos se encuentra ubicado en los 6° 4' 52" N y 75° 20' 6" O, presenta bordes naturales cubiertos con vegetación herbácea y arbustiva en laderas con pendientes moderadas y el lago tres se encuentra a 6° 4' 51.6" N y 75° 20' 7.8" O, exhibe bordes naturales formados por pequeñas colinas que demarcan el antiguo lecho de la quebrada, los cuales se encuentran cubiertos por pastos con pendientes moderadas. En este lago se observa la presencia de un gran número de plantas acuáticas como *Nymphoides* sp., una planta flotante que cubre un 35% del área del espejo de agua.

**Metodología.** En cada lago se ubicaron mojones a lo largo del perímetro del mismo teniendo especial atención en las bahías y cualquier otra variación de la forma de espejo de agua y mediante una estación topográfica y de una reglilla, se determinaron los puntos coordinados mediante el método de la triangulación (Wetzel y Likens, 1979), lo cual permitió trazar el contorno de cada cuerpo de agua. En la parte externa de estos, se colocó una rejilla de fibra con la cual se cuadrículó el área en secciones de 2 x 2 m. Con el empleo de un bote y con una vara calibrada se procedió intersección por intersección a determinar la profundidad. Con los datos obtenidos se elaboró un plano de cada lago uniendo los puntos de igual profundidad (isobatas) y mediante el método gravimétrico (Sperling, 1999) se determinó el área de cada una de las secciones de cada lago. A partir de

estos datos y de las recomendaciones de Håkanson (1981, 1982), Håkanson y Jansson (2002), Sperling (1994, 1999) y, Wetzel y Likens (1979) se construyeron curvas hipsográficas con las que se estableció la forma de cada lago y se calcularon los parámetros morfométricos básicos para cada cuerpo de agua.

## RESULTADOS

La tabla 1 presenta los valores de los principales parámetros morfométricos para los tres lagos estudiados. Las figuras 2, 3 y 4 muestran la batimetría respectivamente de cada uno de los lagos estudiados, las cuales demuestran la gran variabilidad de formas y de relieves que se presentan en estos sistemas acuáticos pese a su corta distancia entre sí.

El lago uno presenta el menor perímetro, área y volumen; el lago dos muestra el doble del perímetro y del área del lago uno aunque su volumen es cinco veces mayor, y finalmente, el lago tres que presenta el triple del perímetro y del área del lago uno y su volumen es seis veces mayor.

## DISCUSIÓN

Los tres lagos estudiados se consideran como sistemas someros ( $D_m < 10$  m) siendo este tipo el predominante entre los ecosistemas lénticos de Colombia. Aunque su longitud máxima ( $L_{max}$ ) es pequeña se presentan diferencias entre ellos, ya que el lago 3 es 3,07 y 2 veces mayor que el lago uno y dos respectivamente. Por lo que este lago se aleja más de la forma circular y presenta una mayor longitud efectiva ( $L_e$ ), es decir, mayor espejo de agua sobre el cual el oleaje puede actuar sin interrupciones (figuras 2, 3 y 4). Al analizar el ancho máximo ( $B_{max}$ ) continúa la tendencia ya que el lago tres exhibe forma alargada ( $L_{max}/B_{max} = 4,83$ ); los lagos uno y dos se acercan más a formas subcirculares ( $L_{max}/B_{max} = 2,2$  y  $1,9$  respectivamente). Lo que es corroborado por los valores del índice de desarrollo de la línea costera (F) muy cercanos a la unidad (cubeta circular perfecta). El lago tres presenta el mayor valor de este parámetro ( $F = 1,82$ ), lo que indica mayor extensión del margen y mayores posibilidades para el desarrollo de comunidades bénticas y de una zona litoral más amplia, lo cual se evidenció en el campo ya que fue el único de los tres

**Tabla 1.** Valores de los principales parámetros morfométricos para los tres lagos estudiados en la vereda Quirama del municipio de El Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia

Parámetro	Lago 1	Lago 2	Lago 3
Longitud máxima ( $L_{max}$ ), m	45,00	69,20	138,10
Longitud máxima efectiva ( $L_e$ ), m	43,40	60,00	88,00
Ancho máximo ( $B_{max}$ ), m	20,40	37,00	28,57
Ancho máximo efectivo ( $B_e$ ), m	19,00	30,60	30,90
Ancho medio ( $B_m$ ), m	16,71	22,98	17,97
Profundidad máxima ( $D_{max}$ ), m	1,40	3,60	2,80
Profundidad media ( $D_m$ ), m	0,27	0,70	0,55
Profundidad tercer cuartil ( $D_{75}$ ), m	0,35	0,28	0,35
Profundidad mediana ( $D_{50}$ ), m	0,58	0,42	0,57
Profundidad del primer cuartil ( $D_{25}$ ), m	0,70	0,62	0,72
Profundidad relativa ( $D_r$ ), %	4,52	0,80	0,50
Profundidad de gravedad ( $D_g$ ), m	0,70	1,39	1,52
Dirección del eje mayor	NO-SE	N-S	NO-SE
Perímetro ( $L_0$ ), m	112,00	208,00	321,00
Área total (A), m <sup>2</sup>	751,28	1.590,00	2.481,00
Volumen (V), m <sup>3</sup>	204,14	1.123,73	1.373,91
Índice de desarrollo del perímetro (F), adimensional	1,15	1,47	1,82
Índice de desarrollo de volumen ( $V_d$ ), adimensional	0,58	0,06	0,06
Forma del lago	SCxme	SCxmi	Lmi
$D_m/D_{max}$	0,19	0,19	0,20
$L_{max}/B_{max}$	2,20	1,87	4,83
% de pendiente media ( $\bar{a}_p$ ), %	0,02	0,03	0,03
Elipsoidad (E), adimensional	0,55	0,46	0,79
Factor de energía E, adimensional	19,58	11,07	17,79
Factor de pendiente (S), %	1,00	1,00	1,00
Factor de forma ( $Vd^{-1}$ ), adimensional	1,73	4,44	15,56
Áreas de erosión + transporte ( $A_{E+T}$ ), %	23,60	21,20	27,30
Área de transporte $D_{T-A}$ , %	33,00	25,00	38,00
Área de acumulación $a_A$ , %	76,40	78,80	72,70
Profundidad crítica, m	0,46	1,01	1,06
Altitud (msnm)	2.045,00	2.100,00	2.150,00

lagos en el cual se observaron parches de macrofitas como se mencionó anteriormente. Bajo condiciones climáticas, edafológicas, fisiográficas y de cobertura similares, el lago tres presentaría la mayor entrada de nutrientes, ya que el mayor desarrollo costero genera un ingreso adicional de nutrientes respecto a

los otros dos lagos, por lo que este sistema sería más productivo, presentando una forma más cercana a la elíptica, como lo corrobora el grado de elipsoidal ( $E = 0,79$ ). Esto reafirma lo anteriormente mencionado y sugiere que sería el sistema más alotrófico de los estudiados en esta investigación.

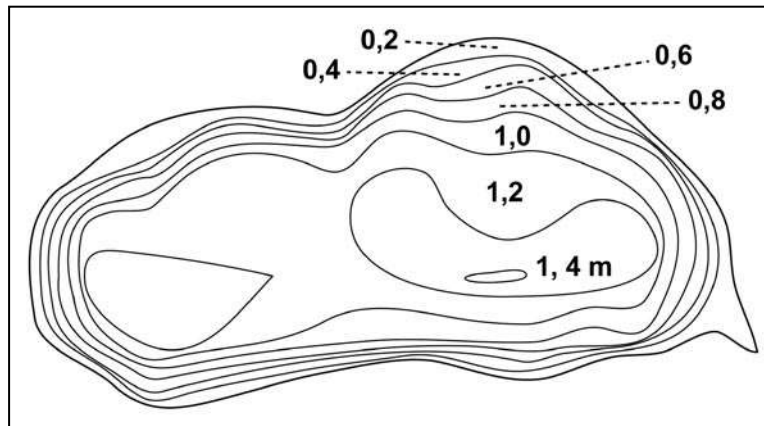


Figura 2. Mapa batimétrico del lago 1, El Carmen de Viboral (Antioquia)

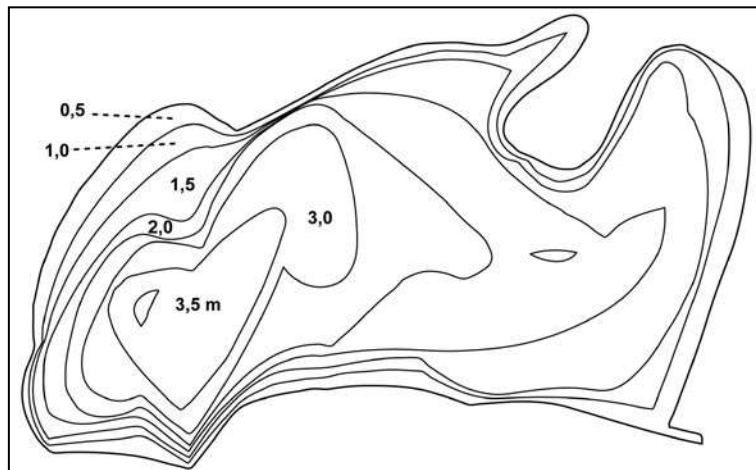


Figura 3. Mapa batimétrico del lago 2, El Carmen de Viboral (Antioquia)

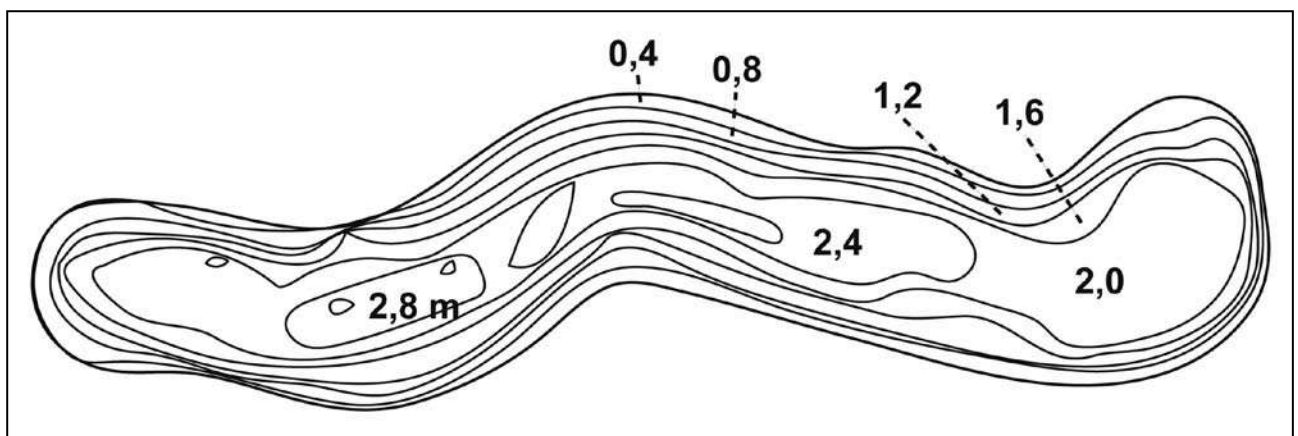


Figura 4. Mapa batimétrico del lago 3, El Carmen de Viboral (Antioquia)

La longitud máxima efectiva ( $L_e$ ) que es definida como la línea recta que une los puntos más distantes sobre los cuales el viento y el oleaje pueden actuar sin interrupciones, aumenta con el aumento del área de los lagos estudiados (tabla 1), pero disminuye en relación con la longitud máxima de cada lago, por lo que se puede evidenciar que al aumentar el espejo de agua disminuye el área sobre la cual el viento puede realizar un trabajo efectivo para estos ecosistemas rodeados por pequeñas colinas sobre el lecho y la llanura de inundación antigua de la quebrada La Cuchillita. El ancho máximo ( $B_e$ ) aumentó con la ampliación del espejo de agua, mostrándose que en el lago tres aparece un valor mayor del ancho máximo ( $B_{max}$ ) lo cual se puede explicar por la variación del ángulo de inclinación entre  $L_{max}$  y  $L_e$ .

La profundidad media presenta en todos los lagos estudiados un valor inferior al de la profundidad mediana lo cual no es común en lagos con curvas hipsográficas convexas. La diferencia entre estos valores implica que el volumen de estos lagos no se distribuye uniformemente, ya que se concentra la mayor parte en las primeras capas por lo que aunque sean sistemas someros se pueden considerar en teoría como ecológicamente profundos, lo que se puede evaluar en las próximas investigaciones en estos cuerpos de agua.

La relación entre  $D_m / D_{max}$  es también un parámetro muy significativo. La mayoría de los lagos y cubetas lacustres naturales tienen profundidad media entre el 40 y el 46% de su profundidad máxima. Para valores de este cociente comprendidos entre 0,4 y 0,5, la curva hipsográfica de la cubeta es una senoide elíptica; si son inferiores a 0,4 tiende a ser un cono recto, y para valores superiores a 0,5 se tiende a adquirir la forma del elipsoide de revolución. Para los lagos analizados ( $D_m / D_{max} < 0,4$ ), por lo que presentan un perfil cónico recto el cual implica menor riesgo de colmatación ante el aporte de sólidos.

Los valores reportados del índice de desarrollo del volumen ( $V_d$ ) son inferiores a la unidad, por lo que se puede considerar estos sistemas con forma de V, es decir, lagos pequeños con el fondo de la cubeta más o menos uniforme. La mayor parte de los lagos del planeta tienen un  $V_d$  superior a la unidad, así que su

forma se aproxima a la letra U (Sperling, 1999) (figura 5). De acuerdo con su bajo valor de  $V_d$  se puede considerar que estos sistemas lénticos son jóvenes ya que los altos valores de desarrollo del volumen son una consecuencia natural de la evolución de la cubeta de un lago, pues a medida que éste envejece el índice va incrementándose paulatinamente por la constante acumulación de sedimentos.

Los tres lagos presentan las formas (SCxme, SCxmi y Lmi) respectivamente y en general se observa un

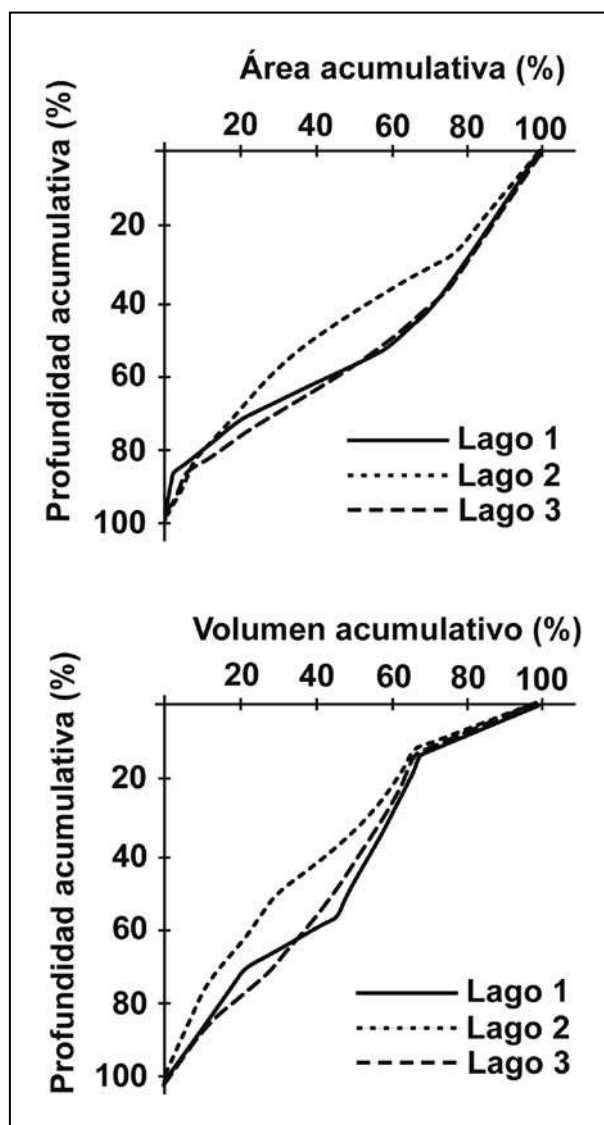


Figura 5. Curvas hipsográficas relativas para la superficie y el volumen para los tres lagos del municipio de El Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia

valle fluvial inundado, especialmente en el lago tres. La forma ligeramente convexa (SCx) es la más común entre los lagos ( $p = 38,3\%$ ) y es denominada meso (me) cuando sólo posee un punto de inflexión y micro (mi) cuando presentan dos o más puntos de inflexión. De otro lado, la forma linear (Li) es menos común entre los ecosistemas lénticos ( $p = 24,2\%$ ) (Håkanson, 1981). Estas formas son corroboradas por los valores del factor de forma ( $Vd^{-1}$ ) para cada lago, sólo el lago dos presenta una ligera desviación sobre uno de los valores límite del intervalo de clase propuesto por Håkanson y Jansson (2002), el cual para la forma ligeramente convexa (SCx) oscila entre 3,0 y 1,5 y el lago en cuestión presenta un valor de 4,4 que lo acerca un poco más a la forma muy convexa, pero que al ser comparada en los diagramas del área acumulativa contra la profundidad acumulativa coinciden más exactamente con la forma ligeramente convexa (figura 5).

La profundidad relativa ( $D_r$ ) expresa la profundidad máxima como un porcentaje del diámetro promedio de la superficie de un lago y, dado que la capacidad del viento para provocar la mezcla varía en función de estos parámetros, la profundidad relativa se considera un indicador de la estabilidad de la columna de agua (Esteves, 1998). Así, Wetzel (2001) señala que la mayoría de los lagos tienen una  $D_r$  de menos del 2%, mientras que los profundos y de superficie pequeña exhiben mayor estabilidad y tienen generalmente valores de  $D_r$  de más de 4%. De acuerdo con lo anterior el valor obtenido para el lago uno ( $D_r = 4,52\%$ ) indica que presenta mayor probabilidad de estabilidad térmica y que la masa de agua contenida en la cubeta es más estable (Sperling, 1994) que en los lagos dos y tres ( $D_r = 0,8$  y  $0,5\%$  respectivamente), por lo que en estos están más expuestos a la acción del viento aunque el lago tres al presentar amplia cobertura de macrofitas ve disminuida la pista de acción del mismo.

La relación área / volumen presenta para los tres lagos estudiados los valores 3,68, 1,41 y 1,81, los cuales indican que el lago uno presenta área “grande” con un pequeño volumen lo que es ratificado al presentar la menor profundidad máxima (1,4 m). En el lago dos el área aumentó al doble respecto al lago anterior, pero su volumen aumentó cinco veces por

lo que se puede considerar este sistema como el más profundo ( $D_{max} = 3,6$  m) y finalmente el lago tres, en el cual se observa que aunque el área casi es el doble del anterior, su volumen prácticamente no aumenta respecto al mismo ya que su profundidad máxima (2,8 m) es menor y por lo tanto su capacidad para almacenar agua es también inferior, aunque tenga un área de exposición mayor.

La profundidad de gravedad ( $D_g$ ) se define como la profundidad a la cual una cubeta lacustre contiene el 50% de su volumen total (Torres-Orozco et al., 1994). Una reducción del 50% del volumen genera una reducción media del 40% del área del espejo de agua en los tres lagos, lo que es producto de la caída suave de la pendiente.

El lago uno presenta profundidad crítica de 0,46 m siendo esta área correspondiente a sólo el 23,6% del área del lago y el área de acumulación corresponde al 76,4%. Este mismo patrón se presenta en los otros dos lagos con una profundidad crítica = 1 y 1 m,  $A_{E+T} = 21,2$  y  $27,3\%$  y  $a_A = 78,8$  y  $72,7\%$  respectivamente, lo que implica que en estos sistemas el área de acumulación es mucho mayor que el área de erosión y transporte debido al flujo de ingreso de la quebrada La Cuchillita el cual por ser muy pequeño (10 litros/s) genera muy poca energía potencial para erosionar. Además, los lagos dos y tres presentan parches de macrofitas en la zona de ingreso del agua lo que ayuda a atenuar aún más dicho efecto, adicionalmente, a la escasa zona litoral.

El factor de forma ( $Vd^{-1}$ ), el factor de pendiente (S) y el factor de energía (E) son formas de expresar los procesos de erosión, transporte y acumulación en el fondo de los lagos, ya que el cociente  $[a]^{1/2} / D_m$  es llamado radio dinámico y es un indicador de la dinámica del fondo (Håkanson y Jansson, 2002). Aunque los resultados obtenidos deben tomarse con precaución ya que los autores recomiendan utilizar esta razón para lagos de más de un kilómetro cuadrado de área. De acuerdo con lo anterior y con la información mencionada inicialmente, se puede considerar que en estos lagos al presentar áreas pequeñas la energía potencial que poseen es baja y por lo tanto su área de erosión y transporte será menor.

## CONCLUSIONES

Los ecosistemas estudiados pese a su pequeño tamaño permiten realizar todo un ejercicio completo de morfometría básica y teniendo en cuenta la escasa distancia existente entre ellos y que son surtidos por la misma fuente de agua, es muy valioso notar las diferencias morfológicas, morfométricas y visuales que exhiben.

El lago uno presenta poca tendencia a la mezcla, mientras que en los lagos dos y tres esta tendencia disminuye, lo que sumado a todas las diferencias mencionadas anteriormente hace muy interesante continuar con nuevas investigaciones en estos sistemas, ya que se puede presentar diferencias entre las comunidades planctónicas y variaciones en los regímenes de productividad, en los ciclos nicteme-

rales, en la descomposición de materia orgánica, en los factores fisicoquímicos y en la sedimentación y resuspensión de estos materiales. Adicionalmente, valdría la pena estudiar también el tiempo de residencia de estos sistemas lacustres, el cual afecta el desarrollo de las poblaciones plactónicas y otros procesos ecológicos en los cuerpos de agua.

## AGRADECIMIENTOS

A la gerente de la empresa de servicios públicos Las Cimarronas E. S. P. Elvia Rosa Alzate por su colaboración; a los estudiantes del grupo de biodiversidad acuática del Instituto Fray Julio Tobón B. por su apoyo en campo; a la magíster Olga Lucía Vargas V. por su apoyo incondicional y a John Jairo Ramírez R.

## REFERENCIAS

- Bozelli RL, Esteves FA, Roland F.** 2000. *Lago Batata: Impacto e recuperação de um ecossistema amazônico*. UFRJ/SBL Rio de Janeiro, Brasil.
- CORNARE.** 1995. *Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca alta quebrada Cimarronas, municipio de El Carmen de Viboral*. Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare, Santuario, Colombia.
- Espinal LS.** 1992. Formaciones vegetales de Antioquia. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía*, 24:60-67.
- Esteves FA.** 1998. *Fundamentos de limnología*. Interciencia.
- Håkanson L.** 1981. *A manual on lake morphometry*. Springer Verlag, Berlin.
- Håkanson L.** 1982. Bottom dynamics in lakes. *Hidrobiología*, 91:9-22.
- Håkanson L, Jansson M.** 2002. *Principles of lake sedimentology*. Blackburn Press. New Jersey.
- Sperling EV.** 1994. Morphometric features of some lakes and reservoirs in the state of Minas Gerais. *En: Pinto-Coelho R, Giani A, Sperling E (eds.). Ecology and human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies*. Belo Horizonte: SEGRAC, Brasil. pp. 71-76.
- Sperling EV.** 1999. *Morfología de lagos e represas*. Belo Horizonte: DESA / UFMG, Brasil.
- Torres-Orozco R, Sierra JC, Abad J.** 1994. Caracterización limnológica de dos cuerpos de agua tropicales de Veracruz, México. *Anales del Instituto Mexicano de Ciencias del Mar y Limnología*, 19:75-97.
- Wetzel RG, Likens EG.** 1979. *Limnological analyses*. 2<sup>nda</sup> Ed. Springer-Verlag, New York.
- Wetzel RG.** 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3.<sup>a</sup> Ed. Academic Press. San Diego, California.