

## Características morfométricas de un lago de plano inundable tropical (ciénaga Hoyo Los Bagres, Colombia)

### Morphometric features of a tropical flood plain lake (Hoyo swamp Los Bagres, Colombia)

*Yimmy Montoya Moreno, Fabio Vélez, Néstor Aguirre Ramírez\**

Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental GAIA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. Apartado 1226, Medellín, Colombia

(Recibido el 8 de junio de 2010. Aceptado el 12 de febrero de 2011)

#### Resumen

En este artículo se presentan las características morfométricas de La ciénaga Hoyo Los Bagres (Colombia) y las predicciones de carácter teórico derivadas. La ciénaga se caracterizó como un sistema somero con un área considerable respecto al tamaño de la columna de agua, con forma de depresión cónica convexa sin puntos de inflexión en forma en V, con un amplio desarrollo de la línea de costa lo que genera una influencia alta de la cuenca sobre el ecosistema. Presenta un valor alto del *fetch* y del radio dinámico y una baja profundidad relativa, factores que en conjunto favorecen una amplia pista de acción para el viento, por lo que se espera una baja tendencia a la estabilidad térmica de la columna de agua (polimixis). Desde el punto de vista del estado trófico se la puede considerar como mesotrófica, ya que presenta bajos valores de transparencia y de coeficiente de atenuación lumínica. Presenta diferencias morfométricas respecto al sistema acuático del cual hace parte, por lo que se deduce que cada cuerpo dentro del complejo posee unas características propias, las cuales no quedan definidas con el estudio del cuerpo central.

----- *Palabras clave:* Morfometría, ciénaga tropical, batimetría, limnología física, Colombia

#### Abstract

In this paper the morphometric characteristics of Hoyo swamp's in Los Bagres (Colombia) and the theoretical predictions made from these characteristics are presented. The swamp was characterized as a shallow system with a large area about the size of the water column, the shape of a convex conical depression without turning points in V shape, with a broad line development

---

\* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 + 4 + 210 55 90/ 210 65 63, fax: + 57 + 4 + 210 65 64, correo electrónico: naguirre@udea.edu.co. (N. Aguirre)

coast generating a high influence on the watershed ecosystem. It has a high value of the fetch and the dynamic radius and a low relative depth, factors which together foster wide track action for the wind, so that trend is expected to dip to the thermal stability of the water column (polimixis). From the standpoint of trophic state may be considered as mesotrophic floodplain, as it presents low values of transparency and light attenuation coefficient. It was found that it presents morphometric differences regarding water system which is a part, so it follows that each body within the complex has its own characteristics, which are not defined in the study of the central body.

----- **Keywords:** Morphometry, tropical wetland, bathymetry, physical limnology, Colombia

## Introducción

Los humedales son ecosistemas complejos que poseen características físicas, químicas y biológicas asociadas con un régimen hídrico ya sea de forma temporal o permanente. Debido a estas características, presentan un alto grado de productividad y son considerados como ecosistemas de gran importancia para la conservación de muchas especies vegetales y animales y de hábitat muy frágil [1]. Los humedales conectados a un río han sido catalogados bajo la denominación de llanuras de inundación y están sujetos a fluctuaciones importantes en los niveles y a cambios pronunciados de sus fases terrestres y acuáticos (sistemas pulsantes). Estos sistemas mantienen una conexión permanente con el río y poseen una zona litoral móvil que se configura como zona de transición acuático terrestre (ATTZ) [2]. Estos autores consideran que el tamaño de la ATTZ, su estado trófico y el tipo de pulso, determina el conjunto de las comunidades de plantas y animales, la producción primaria y secundaria y los ciclos de humedad en el sistema.

Los sondeos para medir la profundidad de un sistema léntico, así como las medidas de sus dimensiones en superficie se hacen desde la más remota antigüedad. En diversas pinturas del antiguo Egipto aparecen hombres realizando sondeos con un peso atado a una cuerda; un bajo relieve hallado en Deir al-Bahri (datado en unos 3.500 años) muestra la figura de un hombre efectuando un sondeo con una vara en la proa de una gran embarcación de remos y velas [3].

Algunos investigadores se han dedicado a este campo, entre los que se resaltan los trabajos de [4-6]; quienes elaboraron manuales para el estudio de la morfometría, del estudio de la sedimentación en lagos y realizan numerosos aportes a la modelación ecológica y matemática. A nivel suramericano, [7, 8] realiza un manual para el estudio de la morfometría con información del continente americano. Pese a que Colombia presenta una gran variedad de ecosistemas, el nivel de conocimiento sobre éstos es insuficiente, y la información que se genera tiende a ser subvalorada por los limnólogos.

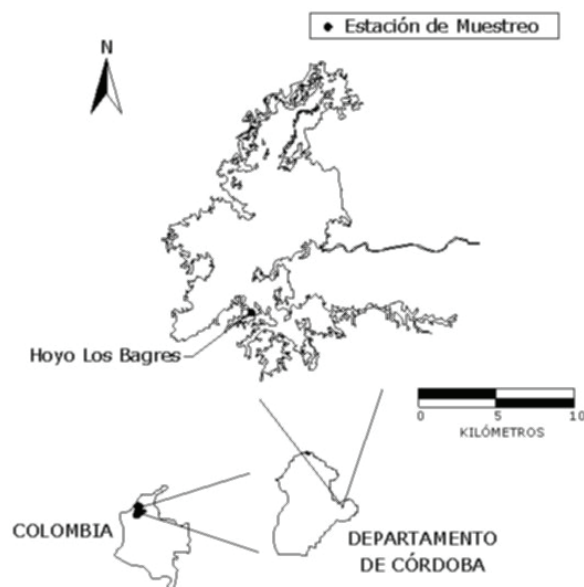
Las ciénagas como se llaman en Colombia o lagos de planos inundables de zonas bajas, son cuerpos de agua poco profundos con conexión directa y/o indirecta a un río (de forma temporal o permanente), tienen una columna de agua que no supera los 10 m, presentan estratificación durante el día y mezcla e isoterma en la noche (sistemas polimícticos cálidos continuos). Están sujetas a fluctuaciones del nivel del río vinculadas con el régimen hidrológico. Adicionalmente, exhiben vegetación flotante y enraizada temporalmente, concentraciones altas de sustancias húmicas y suelos saturados [9]. En este tipo de ecosistemas se han realizado algunas investigaciones morfométricas [10-13], las cuales no alcanzan a cubrir ni el 1% de este tipo de sistemas lénticos colombianos. De estos estudios se pueden obtener algunas generalidades a saber: que son cuerpos someros localizados en tierras bajas, que presentan fluctuaciones morfométricas asociadas al pulso de inundación, con variación

alta respecto al área y al volumen, tiempo de retención hidráulico variable, estructura térmica de tipo polimíctico cálido y que exhiben diferente grado de trofia y de contaminación.

El propósito de este trabajo es analizar las características batimétricas y morfométricas de la ciénaga de Hoyo Los Bagres (CHB) y realizar inferencias sobre el comportamiento limnológico de la ciénaga. Además, con este trabajo se pretende ampliar la base de información morfométrica sobre sistemas someros tropicales y difundir su uso, como herramienta en la gestión ambiental.

## Materiales y métodos

La CHB está ubicada en la parte centro-sur del sistema cenagoso de Ayapel en el departamento de Córdoba, en la planicie atlántica del norte de Colombia (figura 1). La cuenca del sistema ocupa un área de 1.504 km<sup>2</sup>, con una altura entre 20 y 150 msnm y temperaturas entre los 26 y 29 °C, perteneciendo al bosque húmedo tropical [14]. Se divide en cinco subcuencas, entre las cuales se encuentra la de Escobillas (área 139,82 km<sup>2</sup> y precipitación 2.562 mm/año), donde está incluida la CHB [15].



**Figura 1** Localización general de la zona de estudio

El régimen de precipitaciones fluctúa entre un período de lluvias (abril a noviembre) y de sequía (diciembre a marzo). Geográficamente, la zona se encuentra entre las coordenadas 8° 04' - 8° 30' N y 74° 84' - 75° 20' W, sobre la vertiente oriental del río San Jorge [16]. Las zonas que limitan con el espejo de agua de la ciénaga, son bosques secos de baja densidad y altura, con predominio de pastizales y herbazales y con un proceso de urbanización avanzado, representado por varias fincas de descanso sobre las riberas. El relieve de acumulación principal en la zona corresponde a la llanura aluvial de la ciénaga de Ayapel, la que se caracteriza por presentar: canales aluviales activos y abandonados (parcial o totalmente colmatados), diques aluviales, cubetas de inundación y de decantación y depresiones mayores ocupadas por lagunas permanentes [17].

Las coberturas boscosas y rastrojos han sido sustituidas en su mayor parte por pastos naturales y mejorados (*Panicum elephantipes*, *Leersia hexandra*, *Echinochloa polystachya*, *Paspalum repens*, entre otros). Las coberturas de tipo sucesional, en diferente grado de desarrollo son poco representativas, algunas pueden presentar o no elementos arbóreos y cuando están presentes no son dominantes. Por lo general, se localizan en áreas de potreros y forman pequeñas manchas aisladas y dado el grado de alteración al que han sido sometidas, predominan especies de tipo arbustivo, trepador y herbáceo [18].

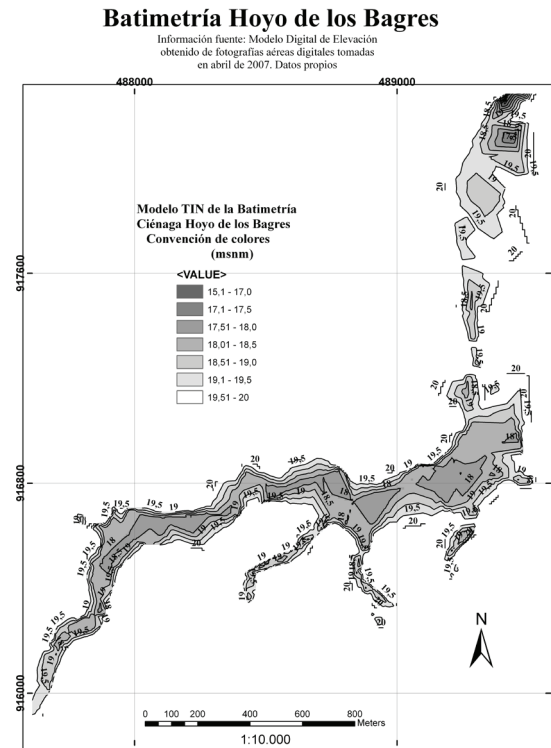
Para deducir los diferentes valores que caracterizan la morfología de la ciénaga satélite, se siguieron los pasos que a continuación se enuncian:

- Con un GPS Thales Mobile Mapper y una ecosonda Fishfinder Garmin 100, se midieron tanto las coordenadas de los puntos de muestreo como sus profundidades. Dichos puntos fueron escogidos siguiendo transectos en diagonal cada 10 m a lo largo de la ciénaga satélite (figura 2). Se obtuvieron un total de 826 puntos y teniendo en cuenta que el nivel del agua fluctúa, se corrigieron los datos obtenidos de la ecosonda con los valores de nivel registrados en la estación limnimétrica de la ciénaga.

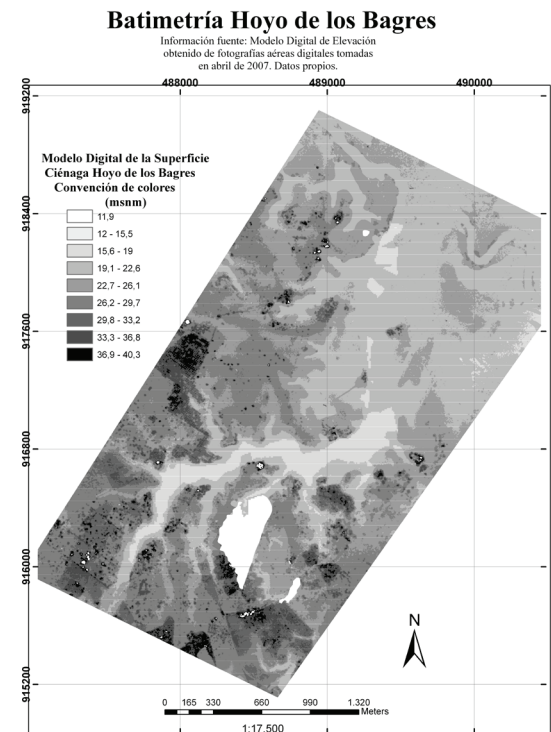


**Figura 2** Esquema de transectos realizados sobre el cuerpo de la ciénaga

- Se generó un modelo digital de la superficie con un nivel del agua de la ciénaga de Ayapel a una altura de 3,12 m leídos en la mira. De dicho modelo se tomó la sección correspondiente a la CHB (figura 3).
- La tabla de datos obtenida con las profundidades de la ciénaga fue llevada en formato digital a ArcView y se generó un modelo TIN (triangulated irregular network) de las profundidades, el cual permite producir modelos de superficie 3D a partir de un conjunto de puntos los cuales se entrelazan formando figuras triangulares (figura 4).
- Del modelo digital del terreno (DTM) construido a partir de fotografías aéreas digitales obtenidas en abril de 2007, se tomó la porción correspondiente a la ciénaga y se le adicionó el modelo TIN de las profundidades para generar un modelo de superficie, tanto de la tierra emergida como del fondo de la ciénaga (figura 5).

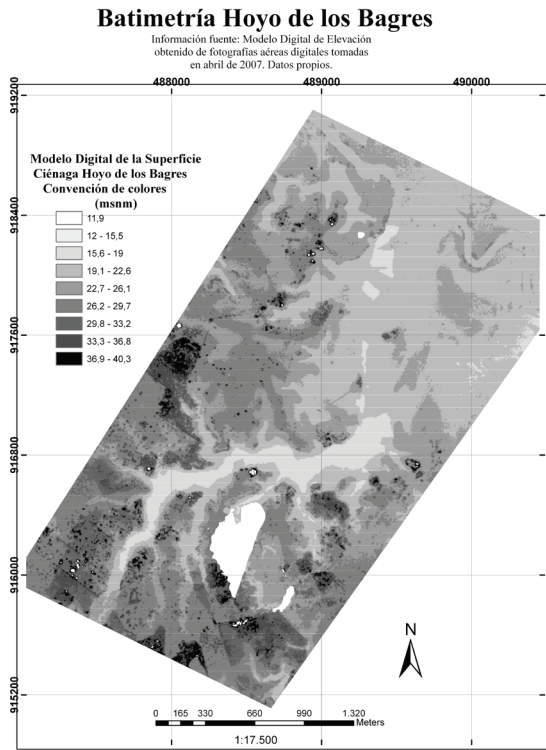


**Figura 3** Modelo digital del fondo de la ciénaga



**Figura 4** Modelo TIN con la batimetría de la ciénaga



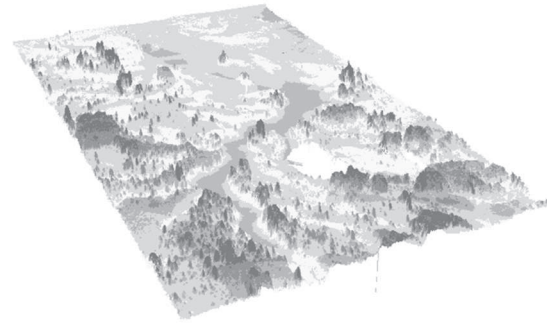


**Figura 5** Inclusión del modelo TIN dentro del modelo digital de terreno (DTM)

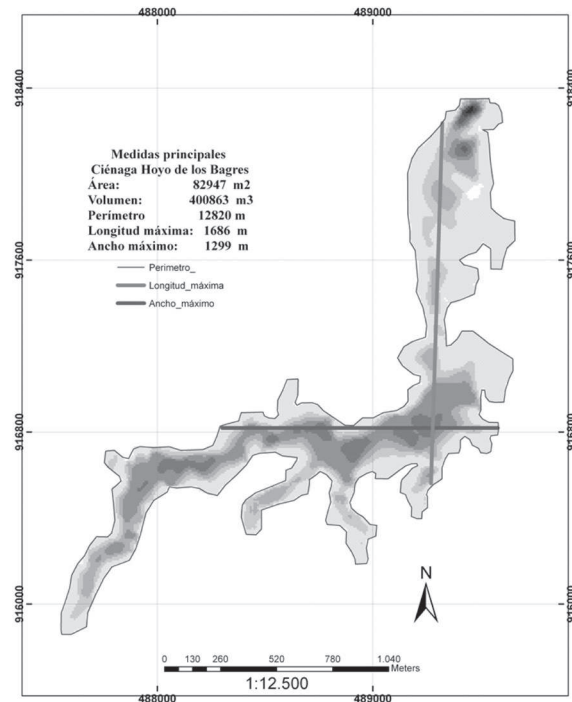
- Se generó una vista isométrica de la ciénaga con la altura exagerada (figura 6). El DTM original contaba ya con una cota del espejo de agua situada a 20,02 msnm –equivalente a una lectura de mira de 3,12 m–. Por tanto, la diferencia de ambos modelos (el original y el obtenido en el paso 3), da como resultado el área y el volumen de dicha ciénaga (figura 7). Con las herramientas del programa ArcView, se deducen los datos necesarios para determinar algunos parámetros morfológicos de la CHB, tales como el área, volumen, longitud máxima, ancho máximo y perímetro. A partir de estos datos y teniendo en cuenta las recomendaciones de [19-24], se construyeron curvas hipsográficas con las que se estableció la forma del lago y se calcularon el resto de los parámetros morfométricos.

Con el fin de realizar comparaciones entre las predicciones limnológicas y las características del cuerpo de agua, se realizaron cinco muestreos

en lo que se evaluaron perfiles térmicos y análisis fisicoquímicos (profundidad, transparencia, temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, clorofila a, feopigmentos y temperatura del aire) en una estación de la CHB durante el ciclo hidrológico 2006-2007, el cual se comenzó en el 2006 durante marzo (aguas bajas), mayo (aguas bajas en ascenso), julio (aguas bajas en ascenso), septiembre (aguas altas fase estable), diciembre (aguas altas en descenso) y se extendió a marzo de 2007 (aguas bajas).



**Figura 6** Vista isométrica de la ciénaga con altura exagerada



**Figura 7** Batimetría final de la ciénaga y algunas características morfométricas básicas

## Resultados

La tabla 1 presenta los valores de los principales parámetros morfométricos calculados a partir de la batimetría de la CHB. De acuerdo con esta información, el sistema fluviolacustre es un cuerpo en el que la superficie predomina sobre el volumen, por lo tanto es un sistema somero, con transparencia alta (la zona fótica corresponde al 51% del volumen de la ciénaga), forma dendrítica, zona litoral muy desarrollada, con vaso en forma de V, con tendencia a la polimixis.

La CHB presenta un valor alto del índice de desarrollo del perímetro y exhibe características de sistema somero (figura 7). En la figura 8

se presentan los resultados luego de graficar la profundidad en función del porcentaje de área y volumen acumulado. Estos cálculos se utilizaron para la elaboración de las curvas hipsográficas.

La columna de agua de la CHB es una de las de mayor transparencia del sistema cenagoso de Ayapel, exhibe una temperatura alta, niveles sub-saturados de oxígeno disuelto, pH circum-neutral, conductividad eléctrica baja, concentraciones de clorofila a activa y feopigmentos fluctuantes, con predominio de los pigmentos degradados en una relación de 30 a 1 (tabla 2). Las aguas son turbias, tamponadas, blandas, presentan mineralización baja y una zona fótica reducida.

**Tabla 1** Principales parámetros morfométricos de la ciénaga Hoyo Los Bagres

<i>Parámetro</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Valor</i>
Área (km <sup>2</sup> )	a	0,815
Perímetro (km)	lo	14
Volumen (km <sup>3</sup> )	V	0,00079
Longitud Máxima (km)	Lmáx	1,69
Longitud Máxima Efectiva (km)	Le	1,12
Fetch Efectivo (km)	Lf	1,5
Ancho Máximo (km)	Bmáx	1,3
Ancho Máximo Efectivo (km)	Be	1
Ancho Medio (km)	B	0,63
Profundidad Máxima (m)	Dmáx	7,7
Profundidad Media (m)	Dm	0,97
Profundidad Relativa (%)	Dr	0,76
Cociente Dm / Dmax (Adim)	Dm/Dmax	0,13
Dirección eje mayor		N-S
Perímetro (km)	Lo	14
Índice de Desarrollo del Perímetro (Adim)	F	4,37
Índice de Desarrollo del Volumen (Adim)	Vd	0,38
Forma de la Ciénaga (Adim)		Cxma

<i>Parámetro</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Valor</i>
Profundidad de Transparencia Secchi (m)	Dsd	0,89
Área Iluminada (km <sup>2</sup> )	Ail	0,42
Volumen Iluminado (km <sup>3</sup> )	Vil	0,00041
Factor de Forma (Adim)	Vd <sup>-1</sup>	2,65
Pendiente media (%)	α	1,51
Elipsoidad de la Cubeta (Adim)	E	0,23
Áreas de erosión + transporte (AE+T)	AE+T	30
Área de transporte (DT-A)	DT-A	7
Área de acumulación (aA)	aA	70
Altitud (m)		20
Factor de envolvimiento (Adim)		171,6

**Tabla 2** Resumen de las características fisicoquímicas de la ciénaga Hoyo Los Bagres

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Coefficiente de variación</i>
Profundidad total (m)	3,1	7,7	1,5	1,0	34,1
Transparencia Secchi (m)	0,89	1,4	0,1	0,5	54,3
Temperatura del agua (°C)	31,4	34,0	29,5	1,5	4,8
OD (mg/L)	4,9	7,2	2,5	1,7	34,0
pH (Unidades de pH)	6,4	7,4	5,7	0,5	8,5
Conductividad eléctrica (μS/cm)	58,2	122,7	14,2	42,9	73,6
Clorofila a (mg/L)	3,2	11,6	0,0	4,7	149,1
Feopigmentos (mg/L)	90,4	391,0	0,0	149,7	165,6
% saturación OD	41,2	76,5	4,7	26,0	63,1
Temperatura del aire (°C)	30,2	33,0	23,9	4,2	14,0

## Discusión

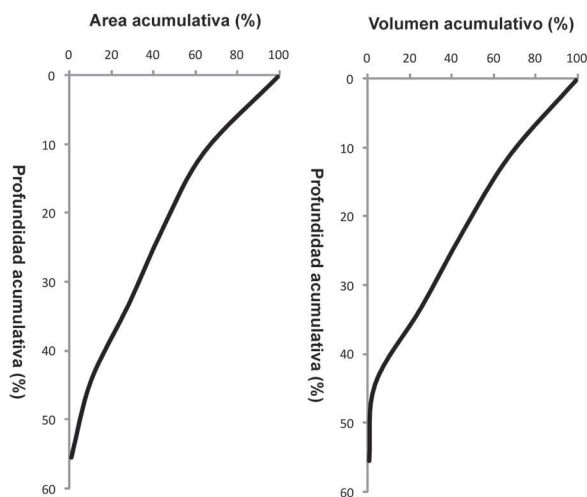
La batimetría estimada es una aproximación al relieve real de la CHB, debido a que la distribución de los puntos de muestreo no fue uniforme lo que genera un sesgo hacia las zonas medidas que además tienen mayor densidad de lecturas, como consecuencia los puntos ciegos de

las zonas no medidas, tienen una interpolación menos precisa.

Se elaboró un resumen de las principales variables morfométricas de algunas ciénagas colombianas de las cuales se tiene información disponible (tabla 3), que fue elaborada a partir de los trabajos de [11, 12, 18, 25]. Del análisis

de la mencionada tabla se desprende que la CHB es un cuerpo de agua pequeño si se le compara con algunos lagos de planos de inundación colombianos, su área respecto a la ciénaga de Ayapel (sistema cenagoso del cual hace parte) es 166 veces inferior, ya que este cuerpo de agua corresponde a una ciénaga satélite de conexión directa tipo II [26]. El área media para 72 lagos suramericanos fue de 146 km<sup>2</sup> [3], por lo que los 0,815 km<sup>2</sup> de la ciénaga son un valor muy alejado al promedio suramericano, lo que depende del universo de lagos considerados y no debe ser utilizado como una realidad suramericana. En este aspecto y en comparación con el resto de las ciénagas colombianas su baja superficie no es un valor atípico, ya que los sistemas cenagosos se caracterizan por presentar un cuerpo de agua principal y un conjunto amplio de ciénagas satélites con diferente grado de conexión, las cuales en aguas altas se unen al espejo principal de agua. Otro factor de importancia es que hay una mayor disponibilidad de información relacionada

con los sistemas de mayor envergadura, pese a que estos se encuentran en menor cantidad dentro de los sistemas lénticos.



**Figura 8** Curvas hipsográficas de la ciénaga Hoyo Los Bagres

**Tabla 3** Aspectos morfométricos de algunas ciénagas Colombianas

<i>Ciénaga</i>	<i>Altitud (m)</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Volumen (Mm<sup>3</sup>)</i>	<i>Dm (m)</i>	<i>Dr (%)</i>	<i>Clorofila a (mg/m<sup>3</sup>)</i>
Jobo	10	10,4	16,5	2,34	0,11	2,1
Zarzal	9	32,2	109,5	3,4	0,08	3,2
El Guájaro	5	99,9	182	2,7	0,04	
La Luisa	10	2,9	7,83	2,68	0,2	15,7
Aguas Claras	8	7,5	18,3	2,45	0,13	4,54
Matuya	9	7	11,7	1,68	0,09	1,9
María La Baja	10	39,1	136,9	3,5	0,07	6,4
Juan Gómez	10	8,8	20,1	2,3	0,12	3,7
Grande de Santa Marta	5	730	2232	3,05	0,05	52,4
Cachimbero	150	3,72	6,8	1,83	0,14	
Zapatoza	49	360	1000	2,78	0,05	
Ayapel	25	135,39	400	2,95	0,06	14
Hoyo Los Bagres	20	0,815	0,79	0,97	0,76	3,5
Valor medio	24,88	110,59	318,65	2,44	0,15	10,74
Desviación	37,78	217,76	638,16	0,86	0,20	15,42
Coef. de variación	151,86	196,90	200,27	35,16	127,12	143,51



La CHB presenta un volumen 2.825 veces menor al de la ciénaga Grande de Santa Marta, el cual es considerado el sistema cenagoso de mayor área del país. Este hecho no implica que las interacciones ecológicas sean de poca importancia, ya que los sistemas someros tienden a ser más dinámicos, y sus pequeñas oscilaciones del nivel de agua representan diferencias grandes de superficie. Además, el presentar el 51% del volumen de agua iluminado permite teorizar una alta producción primaria del sistema, a menos que algún factor sea limitante. El volumen es una variable importante para el manejo de los cuerpos de agua, ya que genera variación de la capacidad de dilución.

La razón  $D_m/D_{máx}$  da un valor comparativo de la forma de la cubeta en términos de desarrollo volumétrico. Para la mayor parte de los lagos, este cociente es mayor que 0,33, valor que se obtendría en una depresión cónica [23,27]. El valor de la CHB para dicha razón fue de 0,13, es decir, similar a un perfil cónico recto el cual presenta menor riesgo de colmatación ante el aporte de materiales.

La CHB posee una profundidad máxima de 7,7m en la zona próxima a la conexión con la ciénaga de Ayapel (sector sur del sistema), por lo que se considera como un cuerpo de agua somero ( $D_{máx} < 10m$ ) [28]; la columna de agua tiene una profundidad media de 0,97m la cual es debida a las bajas pendientes que se presentan. Este parámetro es importante ya que los estudios muestran que las comunidades de algas, invertebrados acuáticos y peces son generalmente más productivos en los cuerpos de agua poco profundos [23]. Por ser un sistema somero, las variaciones del nivel de agua implican variaciones importantes en el volumen y en el área del cuerpo de agua, lo que genera variabilidad alta (perturbación) para los organismos que allí habitan, los cuales deben adaptarse a ésta. A pesar de la capacidad de los sistemas lénticos para organizarse a sí mismos, ninguno de ellos alcanza un estado de equilibrio reconocible, pues en general, por su condición de sistemas abiertos, se rigen por los principios de los sistemas de no equilibrio, donde el efecto de

las perturbaciones de uno u otro tipo, desempeña un importante papel [29].

El índice de desarrollo del volumen ( $V_d$ ) se usa para ilustrar la forma real de un sistema acuático. El valor del  $V_d$  es menor a la unidad, por lo que se puede considerar esta ciénaga con forma en V, es decir, un espejo de agua pequeño con el fondo de la cubeta más o menos uniforme. La forma en V es la menos común entre los sistemas acuáticos lénticos del planeta [22]. Es una ciénaga joven, los altos valores del desarrollo del volumen son una consecuencia natural de la evolución de la cubeta del cuerpo de agua, pues a medida que éste envejece el índice va incrementándose por la constante acumulación de sedimentos [30]. La forma del perfil de la ciénaga está en el límite entre convexa (Cx) y muy convexa (VCx) y no presenta puntos de inflexión (ma), por lo que el sistema es poco profundo y en algunas partes (zona central de la ciénaga) se presenta aumento de la profundidad. Al comparar estas características morfométricas con las del sistema cenagoso de Ayapel del cual hace parte ( $V_d = 1,15$ , forma de la ciénaga = Cmi, [30].), se observan diferencias notables, por lo que se puede inferir que los elementos que constituyen un sistema cenagoso no necesariamente tienen las mismas características morfométricas entre sí.

Desde el punto de vista del viento, el oleaje y la mezcla en el cuerpo de agua son varias las características morfométricas que permiten definir las condiciones de la ciénaga: i) teniendo en cuenta que la profundidad relativa ( $D_r$ ) de un sistema acuático está relacionada con las condiciones de estabilidad y estratificación del cuerpo de agua, con la transparencia y con el nivel de productividad [27,31] y que el valor encontrado es bajo, se concluye que existe una mayor exposición a las influencias del viento. ii) el valor del *fetch* ( $l_f$ ) el cual indica la distancia en la que el viento puede actuar si ser interrumpido, presenta un valor alto (89% de la longitud máxima) lo que permite corroborar las inferencias dadas por los valores de la  $D_r$ . En general varios autores consideran que los sistemas acuáticos con valores bajos de  $D_r$  se encuentran en lagos

que no son tan profundos respecto a su área, los cuales presentan circulación completa que genera mezclas de materiales entre superficie y fondo y una adecuada oxigenación de las capas inferiores del hipolimnio [32,33]. Esta última característica es interesante ya que durante los muestreos nunca se encontró un hipolimnio anóxico, lo que favorece junto con la elevada temperatura del agua, la estabilización de la materia orgánica

El cociente  $\sqrt{a} / D_m$  se denomina como el radio dinámico, el cual enfatiza en la dinámica del fondo [34]. Como el valor encontrado para este sistema es de 0,93 el cual es inferior a 3,8, el valor calculado para el área de erosión + transporte (AE+T) a partir de las curvas hipsográficas no debe corregirse [33]. Estos autores consideran que lagos con valores del radio dinámico superiores a 0,8 están sujetos a efectos del oleaje en toda el área del lecho del lago por lo menos en una parte del tiempo. Para este tipo de cuerpos de agua en los que el área es grande en comparación con la profundidad media de la columna, la actividad de la resuspensión debida a la acción del viento y del oleaje pasan a un primer plano. Entonces son dominantes los procesos de erosión y transporte en la mayoría de los aspectos limnológicos dependiendo de la energía disponible para mezclar el agua. Como este cuerpo presenta un valor de radio dinámico ligeramente superior a 0,8 la zona de acumulación (aA) predomina en la base de la cubeta.

El valor del índice de desarrollo del perímetro (F) es 4,37 veces mayor que la circunferencia de referencia para una cubeta circular perfecta, lo que indica que la ciénaga tiene forma dendrítica. Este fenómeno es también evidenciado por el grado de elipsoidad ( $E = 0,23$ ) el cual se aleja de la forma circular, cuyo valor sería de cero. Al comparar el perímetro respecto a la longitud máxima ( $L_o / L_{max}$ ), se encuentra una relación de 8,3 a 1, por lo que el amplio desarrollo de la línea de costa favorece el intercambio entre la orilla y las aguas de la ciénaga, estimulando la fijación de las comunidades perifíticas, la productividad primaria béntica y la acumulación de plantas acuáticas flotantes. Es de resaltar que

sistemas con elevado desarrollo del perímetro presentan una buena capacidad de asimilación de impactos contaminantes y una mayor resistencia al establecimiento de la eutroficación [35]. En este sentido, el factor de involucramiento indica la relación entre el área de la cuenca y el área del cuerpo de agua. La CHB presenta un valor de 171,6 el cual se considera alto, lo que implica una presión alta de los factores antrópicos que se den en la cuenca sobre la ciénaga, por lo que actividades como la agricultura, la ganadería y el vertido de aguas negras implican un alto riesgo de eutrofización.

La curva hipsográfica permite evidenciar que el cuerpo de agua al reducir su área en la fase de aguas bajas, disminuye rápidamente el volumen, aumentando la turbiedad, la resuspensión y disminuyendo la capacidad de dilución de la misma. La transparencia presentó un valor de 0,89 m, valor a partir del cual se calculó el coeficiente de atenuación lumínica ( $0,74 \text{ m}^{-1}$ ), el cual corresponde al de un lago mesotrófico [35], por lo que se esperaría una producción primaria alta.

## Conclusiones

La combinación de fuentes de información digital y los programas de computador, son una herramienta apropiada para el cálculo de las variables morfométricas en cuerpos de agua.

La CHB presenta diferencias morfométricas respecto a la ciénaga de Ayapel, de la cual hace parte, por lo que se deduce que el conjunto de ciénagas que forman un sistema cenagoso presentan variedad de condiciones morfométricas, lo cual debería considerarse en futuros estudios para ampliar los conocimientos sobre la morfometría de sistemas cenagosos.

La ciénaga se caracterizó como un sistema somero, con fetch alto y una baja profundidad relativa, factores que en conjunto favorecen una amplia pista de acción para el viento y la polimixis. Razón por la cual puede esperarse que los organismos acuáticos deban estar adaptados

a la mezcla, al oleaje fuerte, a las fases de desecación y al clima lumínico reducido. Este conjunto de condiciones puede llegar a estimular la riqueza de especies planctónicas y perifíticas de volumen bajo, debido al aporte continuo de energía al sistema.

Los sistemas someros son considerados entre los de mayor productividad biológica, no obstante, las fluctuaciones asociadas al pulso de inundación-desecación (cambio de nivel del agua) generan variación en las condiciones morfométricas, las cuales a su vez implican una reacomodación de los organismos acuáticos debido a la variación de la transparencia, cambios en la capacidad de dilución e intercambio de materiales y aislamiento hidráulico.

Desde el punto de vista del estado trófico se puede considerar como mesotrófica a la CHB, ya que presenta bajos valores de transparencia, de coeficiente de atenuación lumínica y de clorofila a. En contraste, presenta un volumen de agua iluminado alto pero esta condición no se refleja en la concentración de clorofila a, debido a la limitación por otros factores como la concentración de nutrientes y el tiempo bajo de residencia.

## Referencias

1. J. Bravo, N. Windevoxhel. "Manual para la identificación y clasificación de humedales en costa rica". Ed. Uicn/Orma. San José (Costa Rica).1997. pp. 13-26.
2. W. J. Junk, P. B. Bayley, R. E. Sparks. "The flood pulse concept in river floodplain systems". D. P. Dodge (editor). *Proceedings of the international large river symposium. Canadian Journal Fisheries Aquatic Sciences*. Vol. 106. 1989. pp. 110-127.
3. M. Castillo Jurado. *Morfometría de lagos, una aplicación a los lagos del pirineo*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. España. 1992. pp. 1-286.
4. L. Håkanson. *A manual on lake morphometry*. Ed. Springer Verlag. New York. 1981. pp. 1-78.
5. L. Håkanson. "Bottom dynamics in lakes". *Hidrobiología*. Vol. 91. 1982. pp. 9-22.
6. L. Håkanson, M. Jansson. *Principles of lake sedimentology*. Ed. Blackburn press. New Jersey. 2002. pp. 1-314.
7. E. V. Sperling. "Morphometric features of some lakes and reservoirs in the state of Minas Gerais". En R. Pinto Coelho, A. Giani, E. Sperling (editores.). *Ecology and human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies*. Ed Segrac. Belo Horizonte (Brasil). 1994. pp. 71-76.
8. E. V. Sperling. "Morfología de lagos e represas". Ed. Desa / Ufmg. Belo horizonte (Brasil). 1999. pp. 1-137.
9. Y. Montoya Moreno, N. Aguirre. "Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables (ciénagas) en Colombia". *Gestión y ambiente*. Vol. 12. 2009. pp. 85-106.
10. N. J. Aguirre, J. Palacio, M. T. Flórez, A. Wills, O. Caicedo, F. Jiménez, N. Villegas, H. Grajales, C. Palacio. *Análisis de la relación río-ciénaga y su efecto sobre la producción pesquera en el sistema cenagoso de Ayapel, Colombia*. Informe Técnico. Universidad Nacional de Colombia-Universidad de Antioquia. 2005. pp. 419.
11. C. A. Benjumea, A. Wills, N. Aguirre. "Principales aspectos morfométricos de la ciénaga Cachimbero, Santander-Colombia". *Gestión y ambiente*. Vol. 11. 2008. pp. 1-8.
12. C. E. Cubillos. *Estudio e investigaciones de las obras de restauración ambiental y de navegación del canal del dique*. Informe Técnico. Universidad Nacional-CorMagdalena. 2007. pp. 1-106.
13. Y. Montoya Moreno, N. Aguirre. "Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables (ciénagas) en Colombia". *Gestión y ambiente*. Vol. 12. 2009. pp. 85-106.
14. IGAC. *Estudio general de los suelos de los municipios de Ayapel, Buenavista, Planeta Rica y Pueblo Nuevo (Departamento de Córdoba)*. Ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá (Colombia). 1986. pp. 1-282.
15. M. A. Aguilera Díaz. *Ciénaga de Ayapel: riqueza en biodiversidad y recursos hídricos*. Ed. Banco de la República. 2009. Bogotá (Colombia). pp. 1-74.
16. N. J. Aguirre, J. Palacio, M. T. Flórez, A. Wills, O. Caicedo, F. Jiménez, N. Villegas, H. Grajales, C. Palacio. *Análisis de la relación río-ciénaga y su efecto sobre la producción pesquera en el sistema cenagoso de Ayapel, Colombia*. Informe Técnico. Universidad Nacional de Colombia-Universidad de Antioquia. 2005. pp. 416.

17. M. T. Flórez. "Paleoecología de la ciénaga de Ayapel". *Análisis de la relación río-ciénaga y su efecto sobre la producción pesquera en el sistema cenagoso de Ayapel, Colombia*. Informe Técnico. Universidad de Antioquia-Universidad Nacional. 2005. pp. 1-419.
18. Corporación autónoma regional de los valles del Sinú y del San Jorge - Universidad de Antioquia. *Plan de manejo ambiental de la ciénaga de Ayapel*. Informe Técnico. Convenio Corporación autónoma regional de los valles del Sinú y del San Jorge - Universidad de Antioquia. 2007. pp.1-433.
19. L. Håkanson. *A manual on lake morphometry*. Ed. Springer Verlag. New York. 1981. pp. 1-78.
20. L. Håkanson. "Bottom dynamics in lakes". *Hidrobiología*. Vol. 91. 1982. pp. 9-22.
21. L. Håkanson, M. Jansson. *Principles of lake sedimentology*. Ed. Blackburn press. New Jersey. 2002. pp. 1-314.
22. E. V. Sperling. "Morphometric features of some lakes and reservoirs in the state of Minas Gerais". R. Pinto Coelho, A. Giani, E. Sperling (editores.). *Ecology and human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies*. Ed Segrac. Belo Horizonte (Brasil). 1994. pp. 71-76.
23. R. G. Wetzel. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3ª. ed. Ed. Academic press. San Diego (CA). 2001. pp. 1-1006.
24. M. Hoyer. "Florida Lakewatch". *A Beginner's guide to water management lake morphometry*. University of Florida. Gainesville (Florida). 2001. pp. 1-32.
25. Y. Montoya, C. Benjumea, A. Wills, N. Aguirre. "Estudio de las características morfométricas básicas de un complejo cenagoso tropical (Ayapel, Colombia)". Sometido a *Acta Biológica Colombiana*. 2011.
26. G. Roldán, J. J. Ramírez. *Fundamentos de limnología Neotropical*. 2ª.ed. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín. 2008. pp. 1-440.
27. A. Hernani, J. J. Ramírez. "Aspectos morfométricos y teóricos de un embalse tropical de alta montaña: represa La Fe, El Retiro, Colombia". *Revista Academia Colombiana de Ciencias*. Vol. 27. 2003. pp. 511-518.
28. L. Barbanti. "Some problems and new prospects on physical limnology. Lymnology: a review". *Memorie dell' istituto italiano di idrobiol*. Vol. 43. 1985. pp. 1-32.
29. J. J. Ramírez. "Respuesta de la comunidad fitoplanctónica de una laguna ecuatorial hipereutrífica a la introducción de un nuevo ecodemo". *Limnética*. Vol. 24. 2005. pp. 295-304.
30. Y. Montoya Moreno. "Caracterización morfométrica básica de tres lagos someros en el municipio de el Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia". *Actualidades biológicas*. Vol. 27. 2005. pp. 79-86.
31. L. Håkanson. *A manual on lake morphometry*". Ed. Springer Verlag. New York. 1981. pp. 1-78.
32. E. V. Sperling. "Morphometric features of some lakes and reservoirs in the state of Minas Gerais". En R. Pinto Coelho, A. Giani, E. Sperling (editores.). *Ecology and human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies*.. Ed. Segrac. Belo Horizonte (Brasil). 1994. pp. 71-76.
33. L. Håkanson, M. Jansson. *Principles of lake sedimentology*. Ed. Blackburn press. New Jersey. 2002. pp. 1-314.
34. Y. Montoya Moreno. "Caracterización morfométrica de un sistema fluviolacustre tropical, Antioquia, Colombia". *Caldasia*. Vol. 30. 2008. pp. 413-420.
35. F. Esteves. *Fundamentos de limnología*. 2ª. ed. Ed. Interciencia. Brasil. 1998. pp. 122-124.