

Principales aspectos morfométricos de la ciénaga de Cachimbero,

Santander – Colombia

Recibido para evaluación: 31 de Julio de 2008
Aceptación: 1 de Agosto de 2008
Recibido versión final: 21 de Agosto de 2007

Carlos Augusto Benjumea H.¹
Álvaro Wills T.²
Néstor J. Aguirre R.³

RESUMEN

En este artículo se presenta el mapa batimétrico y algunos aspectos morfométricos relevantes de la ciénaga de Cachimbero. Es un sistema tropical somero con profundidad media de 1,83 m. La forma de esta ciénaga, basados en la curva hipsográfica relativa del área frente a la profundidad es cóncava (C). La ciénaga posee altos valores de los parámetros índice de desarrollo del volumen (V_d) y la relación de profundidad (cociente profundidad media / profundidad máxima, $D_{med} / D_{máx}$), esto refleja su morfometría con un fondo relativamente plano y pendientes pronunciadas desde las orillas hacia el fondo. La ciénaga es de tipo alargado, característica que es corroborada con el índice de desarrollo del perímetro o de la línea costera (F), el cual es superior a la unidad. El valor de este parámetro indica la gran influencia de los factores externos sobre la dinámica de la ciénaga.

PALABRAS CLAVE: Morfometría, Ciénaga, Mapa batimétrico

ABSTRACT

This paper presents the bathymetric map and some important morphometric parameters of Cachimbero wetland. This wetland is a shallow tropical system with a mean depth of 1,83 m, and its shape is concave (C), based on the relative hypsographic curve (cumulative area – depth). This wetland presents high parameter values for volume development (V_d) and depth relation (mean depth / maximal depth ratio, D_{med} / D_{max}), which indicates a relatively flat bottom with a steeply sloping shore. The wetland has an elongated form; this characteristic is confirmed by the perimeter development parameter or shoreline development parameter (F), which is higher than one. The value of this parameter indicates the important influence of external factors on the dynamics of this wetland.

KEY WORDS: Morphometry, Wetland, Bathymetric map

1. M. Sc.
2. Ph.D.
3. Dr.
Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental GAIA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

carlosbenju@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN



Las ciénagas son ecosistemas altamente dinámicos sujetos a una amplia gama de factores naturales. Estos sistemas desempeñan diversas funciones ambientales como el control de inundaciones, puesto que actúan como esponjas almacenando y liberando lentamente el agua de lluvia; protección contra tormentas; recarga y descarga de acuíferos (aguas subterráneas); control de erosión; retención de sedimentos y nutrientes. Las ciénagas en Colombia son sistemas poco profundos que usualmente no sobrepasan los 5 m de profundidad. Se localizan sobre terrenos de baja altitud (0 a 1000 msnm) por lo que su temperatura es propia de climas cálidos.

La morfología de un lago se describe mediante un mapa batimétrico detallado, necesario para la evaluación de los principales parámetros morfométricos.

En limnología los métodos morfométricos en lagos tienen sus inicios en los primeros sondeos batimétricos reportados por Murray en 1888; Delebecque en 1898; y Belloc en 1894. En cuanto a las variables morfométricas, Delebecque propuso una medida de la profundidad relativa pero no la estandarizó respecto a un círculo. Hutchinson en el año de 1957 creó el índice de la profundidad relativa (D_r).

A nivel de Suramérica se han realizado varios estudios en diferentes sistemas lagunares tropicales entre ellos podemos destacar los de Bezerra-Neto y Pinto-Coelho (Brasil, 2002), Quirós (Argentina, 2004), Motoya (Colombia, 2005), entre otros.

Diversos autores han reconocido las relaciones entre la morfología del lago y su limnología. Este tipo de trabajos toman gran importancia en estudios limnológicos debido a que el comportamiento de los procesos fisicobióticos están ligados a los parámetros morfométricos. Entre ellos se destacan la estabilidad térmica de la columna de agua, la dinámica de nutrientes y la productividad biológica.

A pesar de la importancia que tienen los estudios morfométricos de los ambientes limnéticos, en la ciénaga de Cachimbero no se habían efectuado, por esta razón en este trabajo se muestran los principales rasgos morfométricos de esta ciénaga que permitió obtener información potencialmente correlacionable con la ecología del sistema.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La ciénaga de Cachimbero hace parte del complejo cenagoso del Magdalena medio en Colombia, esta ubicada en las coordenadas 1.194.151,80 X; 968.862,68 Y. A una altitud de 150 msnm. La ciénaga hace parte de la jurisdicción del Municipio de Cimitarra-Santander, en la región conocida como El Carare, valle medio del río Magdalena (Figura 1). Se localiza cerca a la troncal del Magdalena, a 70 km al norte de Puerto Boyacá y a 40 km al sur de Puerto Berrio, Antioquia (Restrepo y Toro, 1997).

La ciénaga de Cachimbero tiene un área de 15,21 km² que comprende el espejo de agua libre y zona de inundación. Está alimentada por una microcuenca de aproximadamente 141,16 km² en la cual se encuentran las quebradas la Carolina, la Mulería y otros caños menores. Sus aguas vierten finalmente al río Magdalena a través del caño Cachimbero.

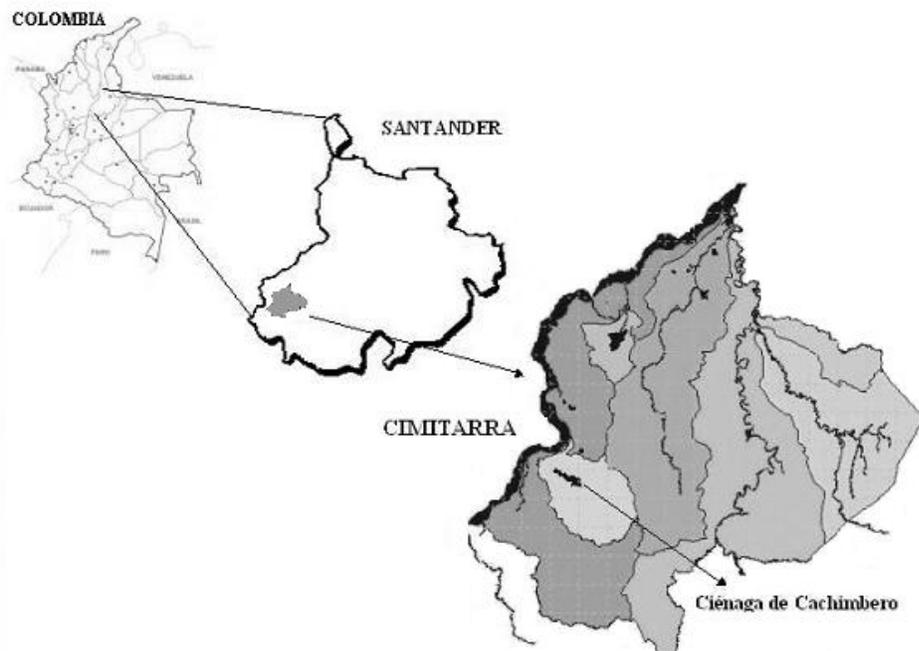


Figura 1. Localización general de la zona de estudio.

3. METODOLOGÍA

Para el trabajo morfométrico se empleó cartografía digitalizada y procesada en el software Autocad 2004. La base para esta digitalización fue un mapa topográfico en escala 1:25.000.

La batimetría de la ciénaga de Cachimbero, se realizó tomando datos de la profundidad por medio de una ecosonda FISHFINDER GARMIN 100 y se georreferenciaron los sitios con un sistema de posicionamiento global (GPS) GARMIN 72 PLUS. Se obtuvieron un total de 1.683 puntos; teniendo en cuenta que el nivel del agua fluctúa, se corrigieron los datos arrojados por la ecosonda con los datos de nivel registrados en la estación limnimétrica de la ciénaga. Los transectos longitudinales y transversales se efectuaron cada 100 m. Para el procesamiento de los datos obtenidos en campo con la ecosonda se utilizó el software Golden Surfer 8; el cual arrojó como resultado el mapa batimétrico y los principales parámetros físicos de la ciénaga de Cachimbero.

Para el resultado del fetch efectivo se evaluó durante cuatro monitoreos en el sistema cenagoso la dirección principal del viento; luego de obtener la orientación promedio de acción del viento se estimó la longitud mediante planos digitalizados.

4. RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los valores de los principales parámetros morfométricos para el cuerpo de agua estudiado.

La Figura 2, muestra el mapa batimétrico y la forma alargada de la ciénaga de Cachimbero.

Tabla 1. Principales parámetros morfométricos de la ciénaga de Cachimbero.

PARAMETRO	SIGLA	VALOR
Área (km ²)	a=	3,72
Perímetro (km)	lo=	15,95
Volumen (km ³)	V=	0,006805
Longitud Máxima (km)	Lmáx=	5,14
Longitud Máxima Efectiva (km)	Le=	5,14
Longitud Efectiva (km)	Ls=	4,16
Fetch Efectivo (km)	Lf=	1,42
Ancho Máximo (km)	Bmáx=	1,83
Ancho Máximo Efectivo (km)	Be=	1,83
Ancho Medio (km)	B=	0,72
Profundidad Máxima (m)	Dmáx=	3,10
Profundidad Media (m)	D=	1,83
Profundidad Relativa (%)	Dr%=	0,14
Cociente Dmed Dmax (Adim)	Dmed/Dmax	0,59
Índice de Desarrollo del Perímetro (Adim)	F=	2,33
Índice de Desarrollo del Volumen (Adim)	Vd=	1,77
Forma del Lago (Adim)		Cmi
Pendiente (°)	σ_p	0,78
Profundidad de Transparencia Secchi (m)	Dsd=	0,96
Área Iluminada (m ²)	Ail=	3.055.351
Volumen Iluminado (m ³)	Vil=	2.940.775,34
Factor de Forma (Adim)	Vd ⁻¹ =	0,56
Factor de Pendiente (%)	S=	0,0012
Elipsoidad de la Cubeta (°)	E=	0,64

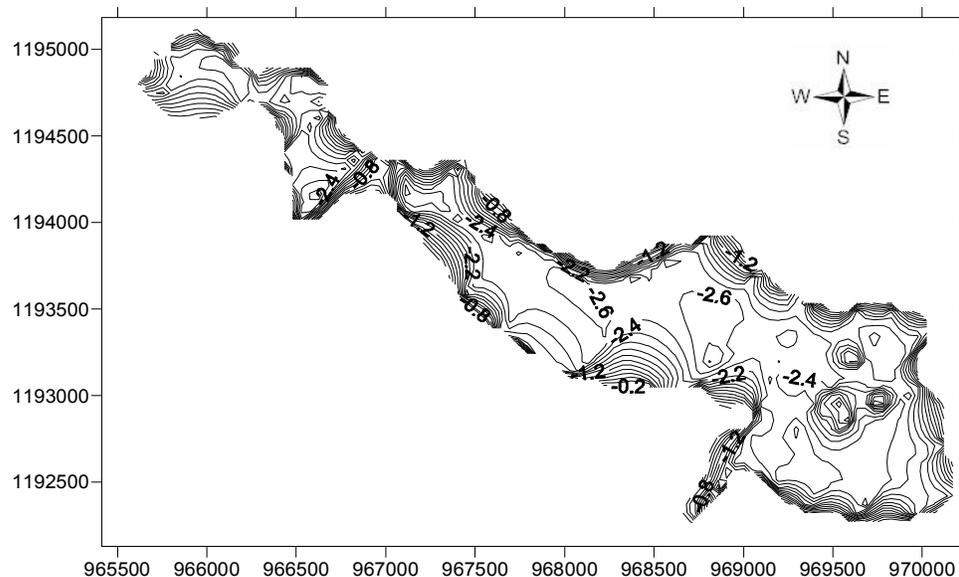


Figura 2. Mapa batimétrico ciénaga de Cachimbero.



La Figura 3 presenta los resultados de profundidad contra porcentaje de área acumulada, estos cálculos se utilizaron para la elaboración de la curva hipsográfica, de la cual se obtuvieron las profundidades de cada cuartil (25%, 50% y 75%), la curva hipsográfica fue construida y analizada acorde con lo propuesto por Håkanson.

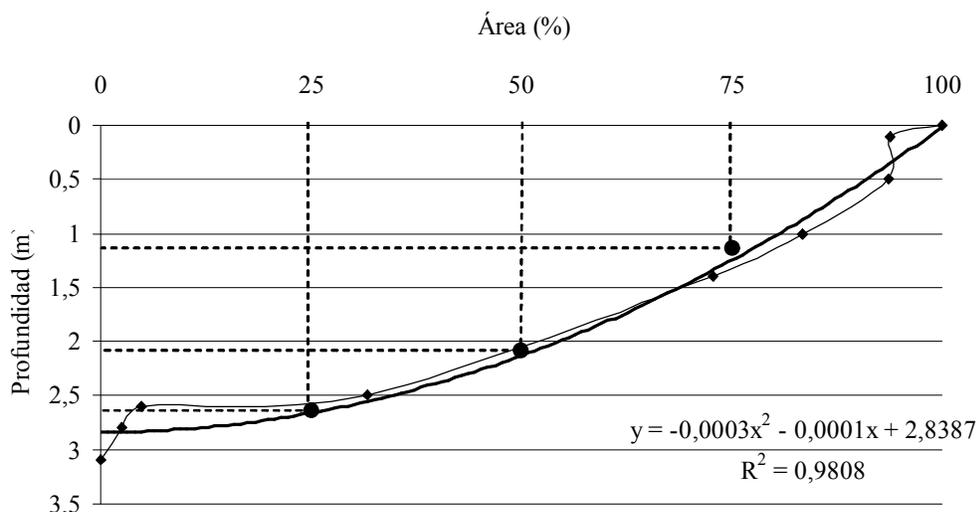


Figura 3. Curva hipsográfica relativa para superficie. Ciénaga de Cachimbero.

De la Figura 3 se calcularon por interpolación las profundidades para las áreas acumuladas al 25, 50 y 75 % mediante la ecuación de la línea de tendencia $y = -0,0003x^2 - 0,0001x + 2,8387$, $R^2 = 0,9808$, dando como resultado los datos presentados en la Tabla 2.

D (%)	Profundidad (m)
0	3.1
25	2,6487
50	2,0837
75	1,1437
100	0
Datos = 5	$\bar{X} = 1,795$ $S^2 = 1,54$ $CV = 0,86$

Tabla 2. Profundidades para áreas acumuladas

5. DISCUSIÓN

La ciénaga de Cachimbero es considerado un sistema somero con una profundidad máxima de 3,1 m y una media de 1,83 m, valores típicos de sistemas lénticos rasos colombianos (Ramírez y Viña, 1998; Montoya, 2005). Según Rawson la profundidad media influye en la productividad al determinar qué parte del volumen del lago queda dentro de la zona fótica. Se la considera el mejor indicador de las condiciones morfométricas, mostrando una clara correlación inversa respecto a la productividad en todos los niveles tróficos de los lagos grandes, aunque esta relación pierde valor en lagos pequeños (Wetzel, 1975), de modo que en éstos se deben hallar otros factores que determinen la productividad (del CASTILLO, 1992).

Presenta una longitud máxima y efectiva iguales y considerablemente altas, de manera tal que su forma es mas alargada que circular, estos parámetros también dan una idea del espejo libre donde el viento puede desarrollar su trabajo sin obstáculos para finalmente producir una mezcla en los estratos superiores o en toda la columna de agua. La mezcla o poca estabilidad de

la columna de agua también se evidenció mediante el cálculo de la profundidad relativa (D_r), pues el valor obtenido (0,14%) es característico de lagos rasos y con poca estabilidad térmica. Esto se constató mediante el seguimiento nictemeral de la temperatura en el sistema cenagoso presentándose un comportamiento polimíctico en el ciclo diario. Es decir, estratificación térmica marcada a lo largo del día y mezcla o desestratificación en las horas de la noche, muchas veces con perfiles de distribución térmica tipo ortograda (Benjumea, 2005).

El ancho máximo y el ancho efectivo presentan los mismos valores y comprueban la forma alargada de la ciénaga, pues esta medida es baja en comparación con la longitud máxima. El parámetro o medida que corrobora la forma alargada de la ciénaga de Cachimbero es el índice de desarrollo del perímetro o de la línea costera (F), pues si este presenta un valor de 1 o aproximado quiere decir que el sistema es o tiende a ser de forma circular; en este caso el índice tuvo un valor de 2,33; lo que indicó una mayor extensión de la margen y mayores posibilidades para el desarrollo de comunidades bénticas y de una zona litoral amplia (Ramírez, sin publicar). Este fenómeno se confirmó en campo, ya que la ciénaga presentó una alta abundancia de macrófitas acuáticas en su zona litoral pero con baja diversidad de las mismas. Además muchos autores asocian este parámetro con la entrada de nutrientes al sistema, pues el ingreso de estos está muy asociado con el perímetro del cuerpo de agua.

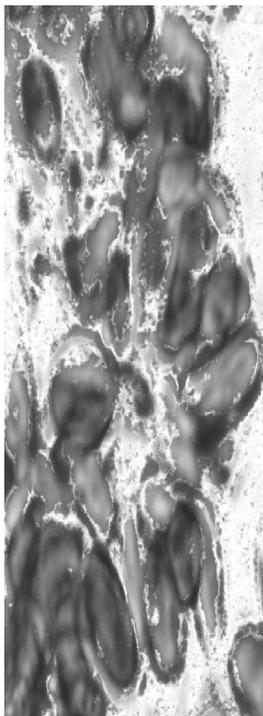
En cuanto a la relación D_{med}/D_{max} (0,59) se pudo apreciar que este valor se alejó un poco del comportamiento normal de los lagos reportados en la literatura (Montoya, 2005), pues la profundidad media de estos se encuentran en un rango que varía entre el 40 y 46% de la profundidad máxima. Para valores superiores a 0,5 la cubeta del sistema tiende a adquirir la forma de un elipsoide de revolución (Montoya, 2005), lo cual implica un riesgo considerable de colmatación ante el aporte de sólidos.

El índice de desarrollo del volumen (V_d) es una medida que ilustra la forma de la cubeta del lago, en el caso de la ciénaga de Cachimbero este índice arrojó un resultado de 1,77, este valor se aleja de la unidad (resultado típico para lagos en forma de V), por lo tanto la ciénaga de Cachimbero tiene una forma de cubeta más aproximada a la de la letra U, valor típico para la mayoría de lagos del mundo (Sperling, 1999). Esta conformación del fondo (forma de U) ofrece una idea de la «juventud» o «vejez» del sistema, pues a medida que este evoluciona el índice de desarrollo del volumen aumenta por la acumulación de sedimentos en su fondo; transformándose de una forma cónica o en V para lagos «jóvenes» a una conformación del fondo en U para lagos más evolucionados o «viejos».

La curva hipsográfica relativa para superficie de la ciénaga de Cachimbero mostró un comportamiento cóncavo (C), con un límite de clase que osciló entre $f(1,5) - f(3)$, tipo de curva característica en lagos con paredes o zona litoral inclinada y fondo predominantemente plano, y una probabilidad $p = 6,5\%$ (Håkanson, 1981). La curva presenta dos puntos de inflexión, al comienzo y final de la curva, para este tipo de comportamiento la literatura asigna (Håkanson, 1981) el nombre de micro (mi). Finalmente siguiendo la terminología propuesta por Håkanson, la ciénaga de Cachimbero presenta una forma C_{mi} , lo cual significa que es un sistema cóncavo con dos puntos de inflexión.

En la ciénaga de Cachimbero el trabajo del viento coincidió con el eje central del sistema cenagoso, la distancia sobre la cual el viento tiene posibilidad de producir oleaje o fetch efectivo es de 1,42 km. Sin embargo en la ciénaga las olas no presentaron una altura considerable, oscilando entre 5 y 10 cm. El trabajo realizado por el viento en eje central de la ciénaga tiene que ver principalmente con el rompimiento de la estratificación térmica en las horas de la noche, ayudado por la pérdida de calor por convección a la atmósfera.

La profundidad de transparencia secchi presentó un valor de 0,35 m, el producto de este valor y el factor 2,75 corresponde al límite inferior de la zona eufótica o fótica, 0,96 m, es decir a esta profundidad se atenúa el 99% de la luz incidente sobre la ciénaga, por debajo de este valor no se presenta actividad fotosintética alguna y por lo tanto no ocurre productividad primaria. A esta profundidad también están asociados parámetros como el de área y volumen iluminado los cuales presentaron valores de 3055351 m² y 2940775,338 m³ respectivamente. La poca profundidad de la zona fótica, aproximadamente el 31% de la profundidad máxima, se debe especialmente a la presencia de sustancias húmicas disueltas en la columna de agua, estos compuestos húmicos



son originados principalmente por la descomposición de material vegetal alóctono a la ciénaga y que son arrastrados a ella por escorrentía y lixiviación dando como resultado una coloración parda oscura en todo el sistema cenagoso que impide la penetración de la luz a estratos más profundos. En la ciénaga de Cachimbero la concentración media de sustancias húmicas es de 25 mg/l, valor considerablemente alto (Peña, 2005).

Los valores calculados para D_{25} , D_{50} y D_{75} fueron de 2,64, 2,08 y 1,14 m respectivamente. De acuerdo con la definición el 50% del área de la ciénaga debe estar por debajo del D_{50} y el restante 50% por encima. Además por ser la ciénaga de Cachimbero un sistema con forma cóncava, su profundidad media debería ser menor a la profundidad mediana, aspecto que se evidencia en el sistema estudiado.

El factor de forma de forma (Vd^{-1}) y el factor de pendiente (S) son formas de expresar los procesos de erosión, transporte y acumulación en el fondo de los lagos. Estos parámetros son reconocidos por su marcada influencia en la distribución y resuspensión de los sedimentos.

6. CONCLUSIONES

La ciénaga de Cachimbero es un ecosistema tropical raso con una profundidad media de 1,83 m, tendencia a la mezcla completa en los períodos lluviosos debido a la baja profundidad. Gracias a la forma alargada que presenta la ciénaga ($F=2,33$) y a que su eje principal se encuentra en la misma dirección sobre la cual actúa el viento (fetch efectivo = 1,42 km) se puede concluir que el sistema tiende a una inestabilidad térmica ó de mezcla frecuente.

El ecosistema estudiado presenta marcadas diferencias morfológicas y morfométricas en comparación con los datos reportados por diferentes autores en ecosistemas similares, lo cual hace a la ciénaga de Cachimbero un sistema particularmente interesante para continuar con su estudio y de esta manera alcanzar un mayor entendimiento en lo que tiene que ver con su funcionamiento ecológico. Así, este análisis pretende contribuir con estudios de enfoques ecológicos de mantenimiento, de conservación y de gerencia de ecosistemas lénticos, que a lo largo de las últimas décadas, viene sufriendo presiones ambientales de alta magnitud.

BIBLIOGRAFIA

- Belloc, M. E., 1894. Recherches et explorations géographiques et lacustres dans les Pyrénées Centrales. Ebendorf. Ext. de l'Annuaire du Club Alpin français, 21e Vol., Hautes-pyrene Region. 183 P.
- Benjumea, C. A., 2005. Evaluación de la estratificación térmica y su relación con la calidad del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander. Memoria de Tesis. Universidad de Antioquia. 154 P.
- Bezerra-Neto, J. F. y Pinto-Coelho, R. M., 2002. A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. Acta Scientiarum, Maringá, Vol. 24, n. 2. pp. 285-290.
- Del Castillo, J. M., 1992. Morfometría de Lagos. Una Aplicación a los Lagos del Pirineo. Memoria de tesis. Universidad de Barcelona. 286 P.
- Delebecque, A., 1898. Les lacs français. Chamerot et Renouard. Paris. 436 P.
- Håkanson, L., 1981. A manual on lake morphometry. Springer Verlag. Berlin. 78 P.
- Hutchinson, G. E., 1957. A treatise on limnology, vol I. .Geography, physics and chemistry. Wiley, New York. 1015 P.
- Montoya-M, Y., 2005. Caracterización morfométrica básica de tres lagos someros en el municipio de el Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia. Actualidades Biológicas. Vol. 27: pp 79-86.
- Murray, J., 1888. On the effects of winds on the distribution of temperatures in the sea-and-freshwater lochs of the west of Scotland. Scot. Geogr. Mag., pp 345-365.
- Peña, D. S., 2005. Evaluación de algunas características fisicoquímicas del agua y su relación con la presencia de sustancias húmicas en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra - Santander. Memoria de Tesis. Universidad de Antioquia. 157 P.



- Quirós, R., 2004. Sobre la Morfología de las Lagunas Pampeanas. Serie de Documentos de Trabajo del Área de Sistemas de Producción Acuática. Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Documento No 3, 16 P.
- Ramírez, G. y Viña G., 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. ED Fundación. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia. pp. 131-145.
- Ramírez, J. J., s.a. Notas de limnología. Morfometría de las cubetas lacustres. Universidad de Antioquia. Sin publicar. 20 P.
- Rawson, D. S., 1939. Some physical and chemical factors in the metabolism of lakes. In: E.R Moulton (Ed.) Problems of lake biology. Pub. 10, A.A.A.S., Washington, D.C. pp. 9-26.
- Rawson, D. S., 1952. Mean depth and the fish production of large lakes. Ecology, Vol. 33: pp 515-521.
- Rawson, D. S., 1955. Morphometry as a dominant factor in the productivity of large lakes. Verh. Int. Ver. Limnol. Vol. 12: pp 164-175.
- Restrepo, J.C. y Toro, J. L., 1997. Reserva Natural Laguna de Cachimbero: Caracterización Biofísica. Medellín. Corantioquia-Corporación Laguna de Cachimbero. 158 P.
- Sperling, E. V., 1999. Morfología de lagos e represas. Belo Horizonte: DESA / UFMG, Brasil. 137 P.
- Wetzel, R. G., 1975. Limnology. W. B. Saunders Co., Philadelphia, London, Toronto, 744 P.
- Wetzel, R. G., 1981. Limnology: lake and river ecosystems. 3a Ed. Academic Press. San Diego, California. 1006 P.

