

Determinación de la calidad ambiental de la Ciénaga Colombia

Caucasia - Antioquia - Colombia

Jesús Oswaldo Velásquez R.¹

Gabriel Jaime Jiménez G.²

Mónica Sepúlveda L.³

Recibido para evaluación: 20 de Febrero de 2007

Aceptación: 17 de Abril de 2007

Recibido versión final: 20 de Abril de 2007

RESUMEN

Se realizaron mediciones de 22 parámetros físicos, químicos, biológicos y evaluación de fitoplancton durante cuatro meses en tres estaciones de muestreo para caracterizar La Ciénaga Colombia, como representativa del sistema de humedales del Bajo Cauca Antioqueño, con el ánimo de proponer un método para la detección de la calidad ambiental de este tipo de ecosistemas, que permita fijar pautas para su adecuado manejo.

Se analizaron los datos mediante la determinación de índices de estado trófico, contaminación e indicadores bióticos, así como análisis estadísticos de componentes principales y análisis de correspondencia canónica.

Los valores promedio de los índices de estado trófico evidenciaron la calidad eutrófica del ecosistema, aspecto que coincide con los índices de contaminación especialmente referido a los valores de fósforo total. Los indicadores bióticos mostraron distribución uniforme de fitoplancton, con valores bajos en cuanto a diversidad por la condición de ser humedal eutrófico, se identificaron un total de 69 especies pertenecientes a 31 géneros, 21 familias y 6 divisiones, grupos importantes y representativos en aguas naturales.

Se detectó la presencia de un alto porcentaje de macrófitas producto de los sedimentos aportados por el mal uso del suelo en las áreas de influencia.

PALABRAS CLAVES: Humedales, Eutrofización, Calidad Ambiental, Manejo, Contaminación, Fitoplancton.

ABSTRACT

There were measured 22 physics, chemicals and biological parameters, including phytoplankton evaluation during four months in three measuring stations to achieve the characterization of «La Ciénaga Colombia» as a representation of a wetland system of «El Bajo Cauca Antioqueño» with the intention to propose a method to detect the environmental quality of this type of ecosystems that let us fix some rules for his adequate management.

The data was analyzed by determination of trophic, contamination and biotics state signs. There was also statistics analysis of principal components, and correspondence canonic analysis of «La Ciénaga Colombia».

The average values of trophic state signs showed the eutrophic quality of the ecosystem; this aspect coincide especially whit the contamination index referred to the total phosphorus values. The biotic indicators showed uniform phytoplankton distribution, with low values in diversity, that is for being an eutrophic wetland; It was identified a total of 69 species, this species belong to 31 genres, 21 families and 6 divisions, important groups and representative in natural waters.

It was detected in high percentage macrophites presence, as a result of sediments contribution because the unapropriate land use in near zones that influences the wetland.

KEYWORDS: Wetlands, Eutrophic, Environmental Quality, Contamination, Management, Phytoplankton

1. Ingeniero Forestal, MSc. Silvicultura y Manejo de Bosques, Profesor Escuela de Biociencias Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. joswald@unalmed.edu.co
2. Ingeniero Forestal
3. Ingeniera Forestal

1. INTRODUCCIÓN

Por su naturaleza misma, los humedales son ecosistemas altamente dinámicos, sujetos a una amplia gama de factores naturales que determinan su modificación en el tiempo aún en ausencia de factores de perturbación. Sus atributos físicos, especialmente hidrográficos, topográficos y edáficos, se moldean constantemente por procesos endógenos tales como la sedimentación y la desecación y por procesos de naturaleza principalmente exógena, tales como avalanchas, deslizamiento de tierras, tormentas y vendavales, la actividad volcánica y las inundaciones tanto estacionales como ocasionales.

De igual forma, propiedades químicas y biológicas pueden variar a través del tiempo de manera natural, bien sea por evolución biocenótica de cada humedal o mediante procesos originados en otros puntos de la zona de captación cuyos efectos se expresan en su dinámica; es éste el caso de la acumulación de material orgánico, los procesos de eutrofización, acidificación e invasión de especies que atraviesan barreras biogeográficas de manera accidental o introducidas por el hombre.

Es por ello que la generación de conocimiento, información y transferencia tecnológica incorpora dentro de sus componentes la necesidad de diseñar, establecer y estandarizar indicadores para determinar el cambio en las características ecológicas de los humedales, y la repercusión de los factores y fenómenos que los afectan. Con ello se puede afianzar en su conocimiento obteniendo un registro de comportamiento a través del tiempo y tomar medidas pertinentes para su adecuado uso, manejo y conservación.

Colombia, de acuerdo a la definición establecida para el concepto de humedal, cuenta con cerca de 20 millones de hectáreas bajo esta categoría: pantanos, bosques inundables, ciénagas, lagos, lagunas y llanuras de inundación de grandes ríos con espejos de agua permanentes o intermitentes a lo largo del año. El deterioro de este tipo de ecosistemas especialmente por las actividades que conllevan a su desecación para la introducción de pastos, con la consecuencia casi inmediata de pérdida de biodiversidad y de los recursos asociados, los cuales son el sustento de las comunidades asentadas alrededor de ellos, ha significado inversiones importantes en la búsqueda de su restablecimiento ecológico, en la mayoría de los casos sin la posibilidad de monitorear la efectividad de dichas acciones. Por ello, se ha visto la necesidad de manejar de forma apropiada estos ecosistemas a través de herramientas legales como la Ley 357 de 1997 (reglamentada por la Resolución 157 de 2005) desarrollada a partir de la guía técnica del 2 de febrero de 2006 por la cual Colombia adhiere al tratado de RAMSAR.

Con base en los lineamientos de la Política Nacional para Humedales (Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2001) las funciones ecológicas y ambientales de los humedales colombianos representan numerosos beneficios para la sociedad: son sistemas naturales de soporte vital y base de actividades productivas y socioculturales; prestan servicios ambientales relacionados no solo con el mantenimiento de la biodiversidad y lo que de ella se deriva, sino con el control de inundaciones entre otros aspectos.

Igualmente el Convenio Internacional para la Conservación de Humedales –RAMSAR- (<http://www.ramsar.org/indexsp.htm>) ha sido enfático en la necesidad del empleo de indicadores de alerta temprana, los cuales se pueden definir como «las respuestas biológicas, físicas o químicas a un factor de tensión determinado, que precedan a la aparición de efectos que potencialmente pueden ser significativamente desfavorables en el sistema objeto de interés» (Programa de Monitoreo en el marco de la Resolución VII. 10).

Esta investigación se centra en la posible respuesta del humedal Ciénaga Colombia a las acciones de recuperación desarrolladas a partir de variables que detecten la calidad ambiental desde el punto de vista químico, físico y biológico, con el ánimo de extrapolarlo a todo el sistema de la Cuenca Magdalénica, proyectar la capacidad de resiliencia y las acciones a desarrollar.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en jurisdicción del Municipio de Caucasia, ubicado en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño, donde se encuentra la planicie aluvial de los ríos Man,



Cauca y Nechí y donde existen más de 70 ciénagas en 25 complejos que cubren un área aproximada de 40.000 ha. La cuenca hidrográfica denominada Quebrada Ciénaga hace parte de este sistema y es la principal fuente de ingreso hídrico al humedal Ciénaga Colombia que es afluente del río Man. La cuenca se ubica en las coordenadas geográficas 7° 53'11.60", 7° 59'22.27" de Latitud norte y 75° 12'35.99", 75° 20'38.54" Longitud oeste; con un área de 71.55 km² (PMA, 2004). En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica precisa del humedal.



Figura 1.
Área de ubicación Humedal Ciénaga Colombia (Fuente: Plan de Manejo Ambiental, 2004)

Las características biofísicas que posee la cuenca a la cual pertenece la Ciénaga Colombia corresponden al predominio de una topografía ondulada; el relieve es homogéneo y las pendientes suaves. Se presenta cobertura boscosa solo en algunas áreas alrededor del espejo de agua y del nacimiento, predominando inmensas praderas con pastos para ganadería, ocupando el 80% del suelo en los alrededores de la ciénaga (CORANTIOQUIA, 2004).

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978), el área se encuentra en la formación bosque húmedo tropical (bh-T), caracterizada por tener unos valores de precipitación total anual promedio entre los 2000 y 4000 mm. en un régimen unimodal con un periodo seco entre diciembre y marzo y húmedo entre abril y noviembre Su temperatura promedio es de 28°C. (CORANTIOQUIA, 2004).

La Ciénaga Colombia se forma a partir de un antiguo meandro del río Man; su espejo de agua posee unas 212 ha., las cuales en la época seca se reducen a 65,43 ha., con una diferencia de cotas de 2,23 m.. Su desembocadura al río Man se encuentra generalmente obstruida por islotes de diferentes tamaños denominados firmes o tapones de buchón de agua (*Eichornia crassipes* (Martius) Solms y *Eichornia azurea* (Sw.) Kunth) los cuales durante la época húmeda recorren la ciénaga en todas direcciones.

Los suelos de la Ciénaga pertenecen a las asociaciones Samán (ubicado en la parte baja de la Cuenca con posición geomorfológica de bajos o basines, relieve plano cóncavo, pendientes cortas y largas menores del 3%, suelos moderadamente profundos limitados por el nivel freático fluctuante generalmente después de los 50 cm., con drenaje natural de imperfecto a pobre); Tarazá (localizado en la parte media de la cuenca, comprende las posiciones de valles estrechos formados por el Cauca y afluentes, el relieve el plano a inclinado, con pendientes cortas plano cóncavas y plano convexas menores del 12%, suelos profundos a superficiales, derivados de aluviones recientes heterogéneos y heterométricos, el drenaje natural varía según las diferentes posiciones, imperfecto y pobre en las áreas bajas, moderado y bien drenado en la altas) y la asociación Margarita (ubicada en su gran mayoría en la parte alta de la cuenca, con suelos derivados de rocas sedimentarias del terciario, arcillas, areniscas y conglomerados estratificados, relieve ligeramente ondulado a quebrado, pendientes convexas, cortas menores del 50%, suelos bien drenados, moderadamente profundos a profundos.



En cuanto a la flora, el área objeto de estudio presenta poca cobertura boscosa, debido a la acción gradual y permanente de los ganaderos de la zona, lo cual ha transformado el paisaje de bosque natural protector, en inmensas praderas con pastos mejorados

De acuerdo con el Plan Básico de Ordenamiento Territorio de la Ciénaga, en tiempos pasados surtía entre el 70 y 80% de la demanda del acueducto municipal, en la actualidad el municipio se abastece de 6 pozos, de la Ciénaga y del río Man.

2.2. Fase de campo

Se realizaron 18 muestreos semanales divididos en periodos húmedo (septiembre-noviembre de 2005) y seco (enero, febrero de marzo de 2006), donde se hicieron recolecciones simultáneas de muestras de agua en tres estaciones de muestreo preestablecidas según: análisis de la morfometría, tributarios externos, acción del viento y profundidad. Las características de los puntos seleccionados son:

La Quebrada Ciénaga (CQC1), con una altitud de 67 m.s.n.m. y coordenadas N 07°56'54,2" W75°15'07,9", es la principal fuente hídrica de la cuenca, la cual atraviesa por todo el centro del territorio en sentido sur-norte hasta depositar sus aguas a la Ciénaga y de allí al río Man a 50 m.s.n.m., punto de referencia aproximadamente 8 m antes de su desembocadura a la Ciénaga.

El caño Santa Elena (CSE2), con una altitud de 66 m.s.n.m. y coordenadas N 07°57'13,1" W75°15'06,1", nace en la Vereda Santa Rosita, es un canal intermitente perdiéndose en época de sequía.

El centro de la Ciénaga (CCC3), con una altitud de 65 m.s.n.m. y con coordenadas N07°57'03,7" W 75°14'55,8", donde se mezcla el agua por acción de las corrientes internas y/o del viento, dando como resultado cierta homogeneización del recurso.

En las tres estaciones se midieron las variables: Temperatura (°C), pH (Horiba), transparencia (disco de Secchi) y profundidad total.

Las muestras colectadas para el análisis de laboratorio fueron representativas de cada punto de muestreo permitiendo con ello obtener información sobre la naturaleza y amplitud de las variaciones que presentan los parámetros estudiados en este periodo de tiempo, fueron tomadas de forma manual, a la misma profundidad (20 cm. desde la superficie), buscando que fueran homogéneas, representativas y manipulables para con ello realizar la determinación de variables físicas, químicas y biológicas que contribuyeron a caracterizar la condición limnológica del humedal. Se procuró la menor perturbación en la toma y transporte y fueron etiquetadas, codificadas y caracterizadas.

En general se recolectaron 7 recipientes en cada estación por muestreo, cada uno de ellos cumpliendo con diferentes tratamientos según del protocolo de cada laboratorio, dependiendo de la variable a obtener. Las muestras fueron transportadas en frío hasta la entrega y disposición final en el laboratorio respectivo.

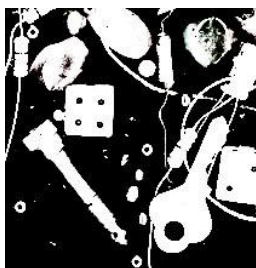
2.3. Fase de laboratorio

Posterior a su recolección y transporte, las muestras fueron entregadas a los laboratorios de Calidad Ambiental de Corantioquia, de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Antioquia, y al laboratorio de limnología de la misma Universidad. Es así como se obtuvieron variables físico- químicas y biológicas como concentraciones de fósforo total y fósforo soluble reactivo, nitratos, nitrógeno total NTK, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad total, sólidos (totales, suspendidos totales y disueltos totales), dureza total, turbidez, coliformes (totales y fecales) y clorofila a. y fitoplancton.

2.4. Análisis de la información

Los parámetros analizados fueron aquellos que contribuyeron a determinar la calidad limnológica de la Ciénaga Colombia per se, y que además permitieran la implementación de herramientas de evaluación de humedales como los índices de estado trófico, los indicadores de contaminación orgánica e indicadores bióticos y con ello permitir su caracterización ambiental.

Los índices empleados en la estimación del estado trófico (IET) fueron los de Carlson (1977) y Carlson modificado (Toledo et al., 1983). Las ecuaciones de Carlson por su simplicidad y objetividad



son las más empleadas para la clasificación de lagos y que puede ser expresado a través de las concentraciones de fósforo total y clorofila a medidas en la superficie del agua. Los Índices de Toledo et al. (1983) son variaciones realizadas al Índice de Carlson (IETm) y aplicadas en Brasil; éstos utilizan transparencia (S) y concentraciones de fósforo total (P), fósforo soluble reactivo (PO4) y clorofila a activa (CL). Se usó además una modificación del IET propuesta por Kratzer & Brezonik (1981), los cuales ampliaron los índices con la introducción de Nitrógeno Total.

Para la caracterización fisicoquímica del sistema, se emplearon los indicadores de contaminación biológica propuestos por Ramírez & Viña (1998) que ya han sido aplicados en varias regiones del país. Estos son los ICOMI (Índice de Contaminación por Mineralización), ICOMO (Índice de Contaminación por Materia Orgánica), ICOSUS (Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos) e ICOTRO (Índice de Contaminación Trófico), el valor promedio de los índices se definen en un rango de 0-1 (valores próximos a 0 determinan baja contaminación).

2.5. Análisis estadístico

Para establecer el grado de asociación entre variables y descartar información redundante, se utilizó un análisis de componentes principales sobre una matriz estandarizada y centrada. Una vez depurado el análisis, se realizó un análisis de clasificación utilizando la estrategia de la varianza media de Ward y la distancia euclidiana.

Para la estructura de la comunidad de fitoplancton se utilizaron los índices de Shannon & Weaver (1949), Simpson (1949), equidad Pielou (1975), Menhinick, Margalef, Alpha Fiser y Dominancia.

Para determinar significación y correlación entre variables se empleó un análisis estadístico multivariado de ordenación y clasificación.

3. RESULTADOS

3.1. Temperatura y pH

En la Tabla 1 se muestran los resultados promedio de los perfiles térmico y de pH para cada uno de los puntos de muestreo, donde se aprecia una variación de la temperatura entre la superficie y el fondo del humedal alrededor de los 2°C para los puntos CQC1 y CSE2, mientras que para el centro (CC3), ésta puede fluctuar hasta 3°C. Esta mayor fluctuación puede explicarse por la disminución de la velocidad de la corriente a partir de su ingreso en los puntos CQC1 y CSE2, en los cuales existe una mayor turbulencia y por ende una cierta homogenización continua de las aguas, con una distribución de la temperatura mas uniforme, lo que influye en la distribución espacial de otras variables como densidad de fitoplancton, sólidos suspendidos y DBOT entre otras. En el perfil para pH observado en la misma tabla, se aprecia que no existe un cambio significativo de este parámetro en las estaciones CSE2 (0.63) y CC3(0.15), mientras que para el punto CQC 1 hubo una variación de casi 2 unidades de pH (Jiménez, 2006)

Profundidad (m)	Temperatura (°C)			pH (unidades)		
	CQC1	CSE2	CCC3	CQC1	CSE2	CCC3
0,2	28,54	30,34	30,31	5,95	5,95	6,13
0,4	27,81	29,66	29,48	5,74	5,75	6,00
0,6	27,59	29,07	28,71	5,69	5,64	5,83
0,8	27,29	28,63	28,18	5,63	5,60	5,82
1	27,07	28,17	27,72	5,55	5,58	5,76
1,2	26,94	27,91	27,53	5,47	5,51	5,84
1,4	26,78	27,30	27,41	5,32	4,60	5,91
1,6	26,73	27,70	27,18	5,29	5,26	5,80
1,8	26,54	27,20	27,03	5,34	5,39	5,87
2	26,45	27,10	26,72	5,19	5,39	5,92
2,2	26,23	27,65	26,58	4,97	5,35	5,66
2,4	26,20	27,50	26,50	4,86	5,43	5,59
2,6	25,83	27,40	26,57	4,93	5,39	5,54
2,8	26,17	27,60	26,57	5,03	5,21	5,95
3	26,17	27,50	27,00	4,96	5,32	5,56
3,2	26,40		27,10	4,33		5,98
3,4	26,40			4,30		



Tabla 1.
Promedio del perfil térmico y de pH para cada uno de los puntos de muestreo, Ciénaga Colombia. CQC1: Sitio de muestreo Quebrada Ciénaga CSE2: Sitio de muestreo Caño Santa Elena

De otro lado, las condiciones homogéneas de estos dos parámetros así como la presencia y distribución espacial y temporal de macrófitas, permiten discutir sobre la morfología de La Ciénaga, en el sentido de considerarla como una «cienagueta semicerrada» (Ramírez & Viña, 1998), específicamente por la ubicación de éstas en zonas de poco intercambio hídrico en épocas de verano principalmente, conformando grandes tapones de gramíneas y jacinto de agua *Eichornia crassipes* (Martius) Solms conocidos localmente como «tapones de taruya». Lo anterior corroborado por el parámetro de profundidad en los diferentes puntos de muestreo y en las diferentes épocas del año, en donde, si bien se dan valores promedios similares en cada uno de ellos, se presentan diferencias importantes a lo largo del año y como es apenas obvio coincidiendo con las épocas de verano: 0.8 a 1.5 metros e invierno: 1.8 metros y hasta mayores a 3 metros.

3.2. Índices de estado trófico

El estado trófico es un fenómeno multidimensional y consecuentemente un solo indicador trófico no mide adecuadamente este concepto (Kratzer & Brezonik, 1981). Carlson (1977) considera que el índice ideal es aquel que preserva las ventajas de ser multidimensional y conserva la simplicidad del unidimensional. A pesar de esto, el problema no es fácil de resolver, ya que algunos lagos pueden ser considerados eutróficos por un criterio y oligotróficos por otro. Por lo tanto, la evaluación del estado trófico debe ser abordada, si es posible, bajo diferentes puntos de vista, a través de concentraciones absolutas de variables físicas, químicas y biológicas y de índices que utilizan estas variables a través de un cálculo matemático que ofrece un número comparativo que proporciona un lenguaje común. Una visión numérica del problema permitirá esbozar más claramente la condición trófica y su variabilidad en un ecosistema cualquiera (Nogueira & Ramírez, 1998).

En relación con los valores promedio obtenidos para los índices de estado trófico, se destacan los que incluyen la concentración de fósforo total en su medida, alcanzando valores que en algunos casos podrían interpretarse como eutrofia (valores entre 0,02 -1,00 mg/l) aparentemente ascendente, especialmente en el punto CQC1, producto, seguramente, del gran aporte de sedimentos provenientes de la actividad ganadera y del desmonte de los relictos de bosques ribereños, que en un momento determinado, actuarían como barrera al aporte de dichos sedimentos, lo que de igual manera, podría interpretarse por el aumento de la densidad de fitoplancton de la especie *Rhodomonas lacustris*, situación que se repite en el caso del resultado del muestreo en el punto CSE2.

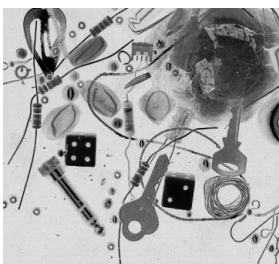
Puede considerarse el proceso de eutrofización dado en la Ciénaga Colombia y vinculado a los parámetros antes mencionados a la obtención de valores de oxígeno disuelto relativamente altos, especialmente en las horas del día, con descensos abruptos en la noche, producto de la respiración de plantas y animales, pudiendo declinar a puntos de casi anoxia en las épocas de verano; lo anterior se corroboró cualitativamente por la presencia de gran mortalidad de peces en esta época y grandes bandadas de aves que ocupan este nicho trófico: garzas de los géneros *Egretta*, *Florida*, *Nictibius*, *Ardea* y especies como el comorán o pato cuervo *Phalacrocorax olivaceo* y martines pescadores *Ceryle* sp y *Chloroceryle* sp.

3.3. Índices de contaminación

La contaminación por mineralización (ICOMI) se define en un rango de 0 – 1. En el caso de La Ciénaga Colombia, este valor promedio fue de 0.047, un valor próximo a 0, que indica baja contaminación por mineralización.

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) se define en un rango de 0 - 1, donde valores próximos a 0 describen la buena calidad del agua. Debido a los bajos valores de sólidos suspendidos, el resultado promedio de este índice en la Ciénaga fue de 0.071.

Los resultados de los anteriores índices muestran valores de baja contaminación por efecto de las variables incluidas en cada uno de ellos, entre las que cabe mencionar la presencia directa e indirecta de sólidos suspendidos, dureza y conductividad, mientras que el índice de contaminación trófico (ICOTRO), fundamentado en categorías dependiendo de la concentración (mg/l) de fósforo total (Oligotrófico < 0.01 mg/l; mesotrófico, 0.01-0.02 mg/l; eutrófico, 0.02-1.00 mg/l y hipereutrófico >1.00 mg/l), tuvo un valor promedio de 0.086 mg/l, lo que define la característica de eutrófico para el humedal, y permite inferir la posible independencia de cada uno de ellos, propiciándose así un



mayor detalle en la caracterización ambiental de este tipo de ecosistemas.

En Colombia, la única revisión documentada es la de Fernández et al (2003) en la que se comparan 30 índices y se demuestra la pertinencia del uso de los ICOs (índices de contaminación). Además, es común la evaluación física y química, pero el cálculo de índices no es tan común.

El índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) no fue calculado, debido a que la sensibilidad del método de análisis de laboratorio no detectaba valores exactos de DBO5.

Los tres índices mostraron correlaciones significativas estadísticamente, siendo la mayor aunque inversa la que se presentó entre ICOMI vs. ICOTRO (-0.9952), evidenciando que con baja contaminación por mineralización se tendrán valores altos de concentración de fósforo total).

3.4. Indicadores bióticos

Otros autores (Descy & Mischa, 1988) proponen el biomonitoreo de comunidades acuáticas para complementar directamente el análisis de contaminantes del agua, para determinar la calidad del recurso y de integrar a esta otras variables en el tiempo que dependan del ciclo de vida de los bioindicadores incorporados.

El fitoplancton responde a las condiciones físicas, químicas y biológicas de su entorno, en este caso, el agua. En palabras más adecuadas, se adapta a ellas. Puede hablarse entonces de tipos de organismos que viven y coexisten en un ambiente determinado (Reynolds, 1997) y que nos dicen algo acerca de su calidad trófica.

Los resultados de conteo e identificación de fitoplancton, arrojaron en total 68 especies pertenecientes a 36 géneros, 21 familias y 6 divisiones.

Los géneros mas representativos fueron: Trachelomonas y Rhodomonas. (ver Figura 2)

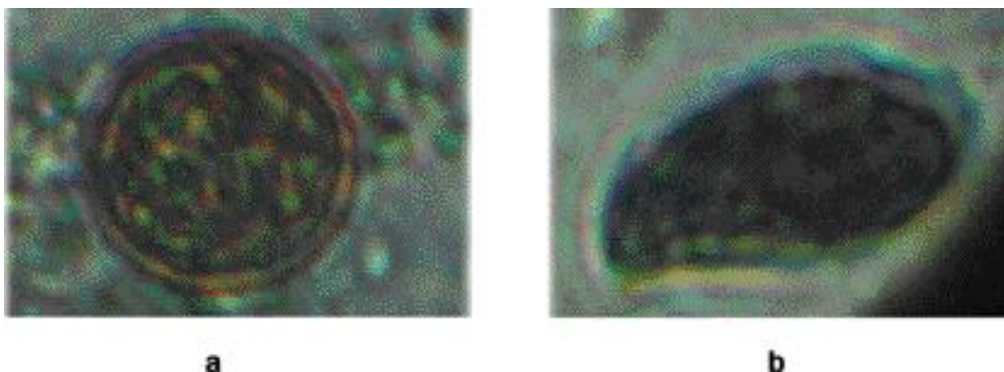


Figura 2. Algas representativas del Humedal Ciénaga Colombia: a, *Trachelomonas* cf. *vovocina* b. *Rhodomonas* cf. *Lacustris*

Al evaluar la diversidad a través del índice de Simpson, el cual se encuentra influenciado por la dominancia de las especies, se encontraron valores entre 0.76 -0.92, representando con ello una diversidad media, lo que puede interpretarse por el estado de eutrofización de La Ciénaga Colombia, contrastando con valores mas altos en Ciénagas tropicales de tierras bajas en las cuales no se presenta evidencia de este evento; la diversidad evaluada a través del índice de equidad de Shannon que hace alusión a la abundancia proporcional de las especies, presentó valores entre 1.7 - 2.8 y según Margalef (1983) en los ecosistemas lacustres continentales, el fitoplancton puede llegar a presentar una diversidad baja en ambientes muy eutroficados; este sistema presenta condiciones de valores medios a pesar de su condición de eutrófico.

La eutrofización, un fenómeno que altera la calidad ecológica del agua, puede definirse como el enriquecimiento de las aguas en nutrientes, lo que incrementa la producción de algas y macrófitas y produce el deterioro de la calidad del agua. Los sistemas poco profundos, como el estudiado, son más productivos y pertenecen, generalmente, a la serie eutrófica (Cole, 1988).

El grupo mas dominante correspondió a las euglenofitas, algas planctónicas de ambientes acuáticos, principalmente continentales, que predominan en condiciones de altas concentraciones de nutrientes, elevadas cantidades de materia orgánica y escasa profundidad, lo que corresponde



a las características encontradas en La Ciénaga.

3.5. Análisis de la distribución espacio temporal de las variables

3.5.1. Componentes principales de CQC1 (Primer sitio de muestreo)

Los tres primeros ejes de variación explican el 67% de la variancia total de las condiciones ecológicas del humedal, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2.
Análisis de componentes principales para el sitio de muestreo Quebrada Ciénaga.

Resultados	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5
Componentes principales	8,295	3,395	3,14	2,276	1,455
Porcentaje de varianza de cada eje	37,702	15,431	14,275	10,344	6,616
Porcentaje de varianza acumulado	37,702	53,134	67,409	77,753	84,368

La matriz de correlación refleja el grado de asociación que existe entre las diferentes variables; esta relación tanto directa como inversa (con valores superiores al 0.7) puede observarse en la gráfica de variables y fechas de muestreo (Figura 3), donde se distingue claramente tres grupos asociados a las épocas de medición: el primer grupo (fechas entre julio y agosto 2005) se encuentra asociado a las variables: N. total, Ortofosforos, turbidez y sólidos (suspendidos y disueltos).

Asociadas a la segunda temporada de medición (septiembre, octubre y noviembre de 2005) están las variables: profundidad, DBOT, oxígeno disuelto, temperatura, coliformes, coliformes fecales y transparencia.

Por último, con el tercer periodo de medición (enero de 2006) están relacionadas las variables: nitratos, pH, temperatura ambiental, conductividad y alcalinidad total.

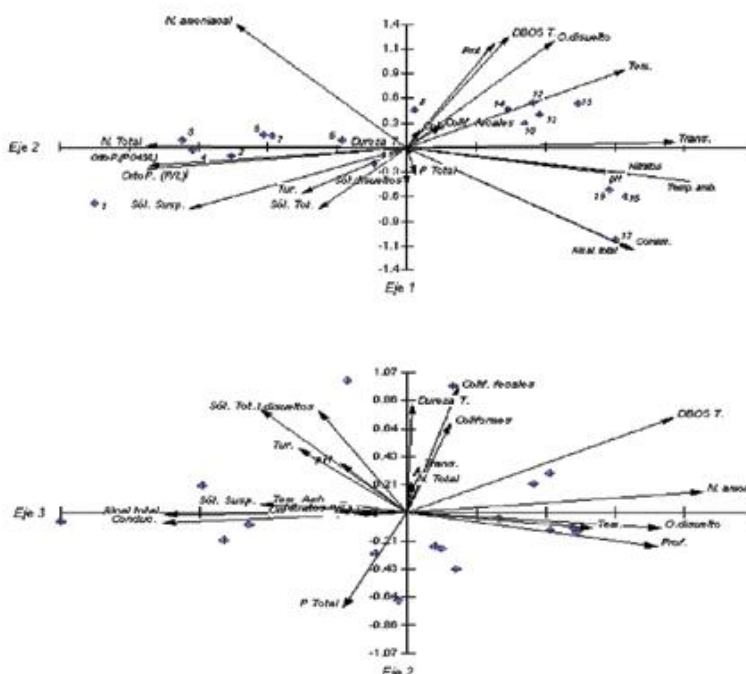


Figura 3.
Relación de las variables y los sitios de muestreo para los ejes 1 vs. 2 y 2 vs. 3.

3.5.2. Componentes principales de CSE2 (Segundo sitio de muestreo)

Los tres primeros ejes de variación explican el 70% de la variancia total de las condiciones ecológicas del humedal, con base en las variables medidas, donde se destaca la importancia de los dos primeros ejes pues entre ellos explican el 54% como se observa en la Tabla 3.

Resultados	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5
Componentes principales	6,628	5,332	3,456	2,227	1,542
Porcentaje de varianza de cada eje	30,126	24,238	15,709	10,348	7,010
Porcentaje de varianza acumulado	30,126	54,364	70,073	80,421	87,431

Tabla 3.
Análisis de componentes principales para el sitio de muestreo Caño Santa Elena (CSE2)

La relación que existe entre las variables se observa en la Figura 4 (variables y fechas de muestreo), donde se revela la tendencia de las variables a asociarse en tres grupos de acuerdo a la fecha de medición: el primer grupo (fechas entre julio y agosto de 2005), ubicado a la izquierda, reúne las variables de tipo orgánico (coliformes o subproductos de la actividad orgánica: nitrógeno amoniacal y total, ortofosfatos). Hacia la derecha se distribuyen dos grupos: el segundo (superior) está asociado a la segunda temporada de medida y las variables relacionadas son de tipo ambiental como: DBO, oxígeno disuelto, temperatura, pH, transparencia y sólidos disueltos

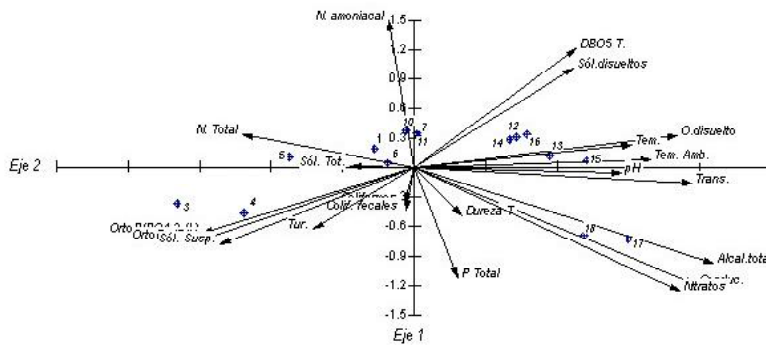


Figura 4.
Relación de las variables y los sitios de muestreo para los ejes 1 vs. 2

3.5.3. Componentes principales de CC3 (Centro de Ciénaga Colombia)

Los tres primeros ejes de variación explican el 66% de la varianza total de las condiciones ecológicas del humedal, con base en las variables medidas, donde los dos primeros ejes explican entre ellos el 51% como puede observarse en la Tabla 4.

La relación que existe entre las diferentes variables se observa en la Figura 5, (variables y fechas de muestreo), donde se devela una agrupación de las variables con relación a las fechas de medición: en el primer grupo (fechas entre julio y agosto de 2005), ubicado a la izquierda, se agrupan variables de tipo orgánico (coliformes o los subproductos de la actividad orgánica: nitrógeno amoniacal y total, ortofosfatos), también aparecen la turbidez y los sólidos totales

Resultados	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5
Componentes principales	8,022	3,384	3,178	1,696	1,531
Porcentaje de varianza de cada eje	36,462	15,382	14,446	7,707	6,960
Porcentaje de varianza acumulado	36,462	51,843	66,290	73,997	80,957

Tabla 4.
Análisis de componentes principales para el sitio de muestreo de Centro Ciénaga Colombia (CCC3)

Hacia la derecha se distribuyen dos grupos: el segundo (superior) está asociado a la segunda temporada de medidas y las variables relacionadas son de tipo ambiental como DBO, oxígeno disuelto, temperatura y temperatura ambiental. El tercer período de medición separa un último grupo, representado por variables físicas del medio como alcalinidad total, conductividad, transparencia, pH y dureza; también aparecen sólidos disueltos y nitratos.

Los resultados de los tres puntos de muestreo hacen alusión a los diferentes periodos climáticos: verano, invierno, tendencia al estiaje y las variables asociados a cada uno de ellos, donde la disminución del volumen de agua en la época de verano implica una menor concentración de sólidos suspendidos y disueltos, y dada la influencia de estos en la reducción de la penetración de la luz al agua por reflexión se explica el resultado de la turbidez, sucediendo lo contrario en época de invierno.

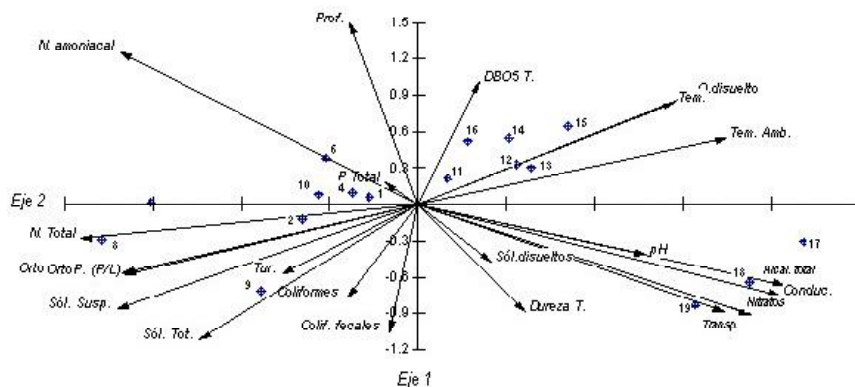


Figura 5.
Relación de las variables y los sitios de muestreo para los ejes 1 vs. 2

El incremento encontrando en el oxígeno disuelto en la época de lluvias se explica en razón de su coincidencia con el periodo de no descomposición de macrófitas, situación que se da en la época de estiaje donde el fenómeno de incremento de materia orgánica redundará en una menor concentración de oxígeno disuelto y de igual manera, la relación con coliformes y coliformes fecales, se asocia a situaciones de mayor escorrentía por mayor descarga de efluentes provenientes de acciones antrópicas. (Ver Tabla 6).

3.6. Análisis de correspondencia canónico

Este análisis relaciona simultáneamente las variables ambientales con las especies muestreadas, y evidenció la existencia de una alta correlación entre ambos componentes, ya que los coeficientes de correlación en los tres principales ejes de ordenación superaron el 0.9 (Tabla 5), aunque solo explican el 25% de la varianza total del comportamiento ecológico de la Ciénaga.

Las variables que mostraron una mayor asociación con las especies fueron: coliformes, turbidez, temperatura ambiental, alcalinidad, conductividad, nitratos; las mediciones formaron dos grupos, siendo el de mayor discriminación el segundo periodo, con los que llegaron mas lejos a lo largo de la medición de la variable ambiental, mientras que los que quedan cerca al origen o centro del diagrama, tienen poco poder de explicación (Figura 6).

Tabla 5.
Análisis de correspondencia canónico para todas las variables en los tres sitios de muestreo.

Resultados	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Componentes principales	0,281	0,065	0,044
Porcentaje de varianza de cada eje	17,590	4,098	2,763
Porcentaje de varianza acumulado	17,590	21,688	24,451
Correlación especies- variables ambientales	0,984	0,928	0,926

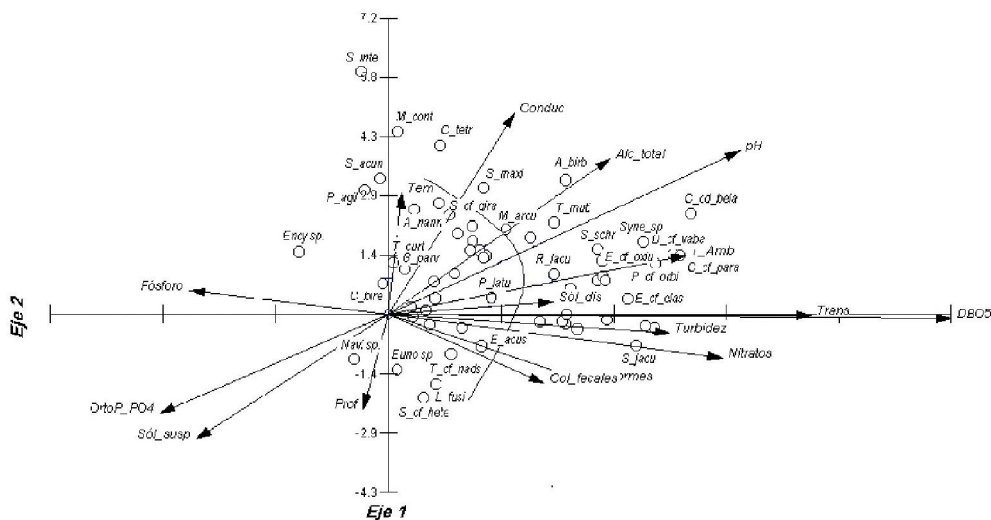


Figura 6.
Correlación de especies vs. Variables ambientales

Muestreo N°	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	PROM
1	Alcalinidad Total (mg CaCO3/L);	12,9	5,8	6,9	6,6	11,7	9,2	9,3	9,0	9,3	13,90	14,40	13,40	18,40	14,90	11,22
2	Coliformes (NMP/100ml)							1600000	250000	2500000	14000,00	11000,00	17000,00	35000,00	30000,00	247750,00
3	Coliformes Fecales (NMP/100ml)							25000	700	20,00	80	50,00	70,00	20,00	1700,00	3455,00
4	Conductividad (Us/cm)	27,6	16,4	7,9	13,1	22,5	21,7	17,4	17,4	17,5	24,20	30,30	27,70	33,80	30,30	22,97
5	DBO5 Total (mg O2/L)							<5,3	<5,3	<5,3	<5,3	<5,3	<5,3	<5,3	<5,3	<5,3
6	Dureza Total (mg CaCO3/L)							156,8	39,2	11,90	10,10	20,20	12,10	12,40	10,02	34,09
7	Fósforo Total (mgP/L)	<0,02*	0,04*	0,18	0,05*	0,10	0,02	0,07	<0,02*	0,02	0,043	0,088	0,064	0,087	0,062	0,07
8	Ortofósforos (mgPO4 3-/L)	0,06*	0,17*	0,27	0,19*	0,07	<0,02	0,06	0,04*	0,05	0,007	0,001	0,007	0,007	0,009	0,07
9	Ortoboratos (mgP/L)	0,02*	0,06*	0,09	0,06*	0,02		0,02	0,01*	0,02	0,002	0,0003	0,0023	0,0023	0,0029	0,02
10	Nitratos (mgNO3--N/L)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,70	<0,5	<0,5	0,93	<0,5	1,23	0,60	0,87
11	Nitrógeno amoniacal (mg NH3 -N/L)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
12	Nitrógeno Total Kjeldahl (mg NH3 -N/L)	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	0,448	0,994	0,420	1,070	1,680	0,92
13	Oxígeno disuelto (mg O2/L)	2,50		4,10	4,30	5,20	6,30	3,50	2,60	2,20	6,20	6,20	5,30	6,20	4,90	4,43
14	pH (unidades de pH)	5,95	5,74	5,73	5,32	6,44	6,46	5,76	6,04	6,59	6,74	6,01	6,01	5,94	5,61	6,06
15	Sólidos disueltos totales (mg/L)	68	15	42	57	38	63	42	33	101	58	61	58	26	63	53,33
16	Sólidos suspendidos totales (mg/L)***	14	123	64	66	24	31	46	43	31	13	9	12	12	11	34,40
17	Sólidos totales (mg/L)	82	138	106	123	62	94	88	76	132	92	70	70	38	74	87,73
18	Temperatura (°C)	29,10	28,50	28,70	28,10	29,60	32,00	27,8	28,00	30,00	32,00	32,80	30,30	32,60	31,80	30,02
19	Temperatura Ambiente (°C)	28,7	27,1	28,0	27,1	28,4	30,9	27,8	29,2	29,5	31,5	31,5	30,50	31,80	32,00	29,63
20	Transparencia (cm)							50	20	25	45	53	48	51	47	42,38
21	Turbidez (NTU)	16,6	118	84,8				36,1	68,4	29,4	28,9	21,2	24,20	26,20	25,50	43,75

* outlier



Tabla 6.
Parámetros químicos, físicos y biológicos evaluados en laboratorio.

4. CONCLUSIONES

- Las condiciones de la Ciénaga Colombia son relativamente estables de acuerdo con algunos de los parámetros examinados; sin embargo, se puede presentar inestabilidad, principalmente, por efecto de procesos antrópicos provenientes de usos inadecuados del suelo (ganadería), que a su vez implican un gran aporte de materia orgánica y nutrientes, producto del manejo de las praderas, el cual en muchos casos utiliza correctivos agrícolas y fertilizantes químicos, originando un gran aporte de sedimentos. De igual manera el desarrollo de obras civiles que conllevan a la desecación de los espejos de agua, tales como jarillones y canales de desecación, trae consecuencias similares.

- De acuerdo con los índices de estado trófico, la Ciénaga Colombia se considera eutrófica por la alta presencia de fósforo total, situación que se refleja en la abundante cobertura de macrófitas en el espejo de agua, y que a su vez incide en la mortalidad de peces, principalmente en la época de verano, cuando hay mayor aporte de materia orgánica por la descomposición de éstas y menor concentración de oxígeno disuelto. De allí que se hace necesario paralelamente disminuir el área ocupada por las macrófitas mediante técnicas apropiadas y realizar investigaciones vinculadas con los procesos de producción de macrófitas, de fitoplancton y de sustancias húmicas y su posible incidencia en la inhibición para la asimilación efectiva del fósforo total en la biomasa.

- El manejo del humedal Ciénaga Colombia debe comprometer las áreas de aporte hídrico a la misma (concepto de Cuenca hidrográfica) con el fin de realizar un tratamiento integral, evitándose así pérdidas económicas por trabajos exclusivamente relacionados con la recuperación del espejo de agua.

- Entre los factores de mayor incidencia en el deterioro de la Ciénaga Colombia está el relacionado con el aporte de sedimentos por escorrentía superficial, expresado en los valores de sólidos suspendidos y de allí la importancia inmediata de establecer bosques de ribera como barrera física para contrarrestar dicha situación.

- Las investigaciones futuras en el sistema de humedales del Bajo Cauca Antioqueño deben abordar entre otros temas, el relativo al zooplancton y su relación con las macrófitas, dadas las implicaciones que sobre el funcionamiento del sistema tienen estos organismos y de igual manera, deben continuarse las mediciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos a lo largo de un periodo mayor o igual a un año con el ánimo de reafirmar las tendencias encontradas en la presente investigación.

- La postulación de una metodología para la evaluación de la calidad ambiental de las ciénagas del sistema de humedales del Bajo Cauca, debe involucrar parámetros como sólidos suspendidos totales, pH, temperatura, profundidad, fósforo y área relativa ocupada por macrófitas, a partir de las cuales se puede obtener información preliminar importante sobre la dinámica de este tipo de ecosistemas.

- La Ciénaga Colombia presenta una morfología de tipo semicerrada, lo que deriva en la distribución espacial de las macrófitas, convirtiéndose ello en una seria dificultad para su sostenibilidad con repercusiones negativas de índole social, especialmente para los pescadores de la región.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a: Yezmin Johana Gallego Ortiz, Ingeniera Forestal. Dr. Cs. Jhon Jairo Ramírez, Profesor de la Universidad de Antioquia. ONG MONTAÑAS, por su colaboración en la información referente al PMA Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA Alcaldía Municipal de Caucaasia

5. BIBLIOGRAFÍA

- Carlson, R. E. 1977. A Trophic State Index for Lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: pp. 361-369.
 Cole, G. A., 1988. *Manual de Limnología*. Editorial Hemisferio Sur S.A. Montevideo, Uruguay.
 Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), Corporación

- Montañas, 2004. Plan de Manejo Ambiental del humedal de la Ciénaga Colombia en el municipio de Caucasia, Antioquia. Corantioquia. Caucasia. 250 P.
- Descy, J.P. & Micha, J.C. 1988. Use of biological indices of water quality. Statical journal of the United Nations. ECE 5. North holland. pp. 249-263.
- Fernández, N.; Ramírez, A. & Solano, F., 2003. Índices físico- químicos de calidad del agua. Un estudio comparativo. Vicerrectoría de Investigaciones. Universidad de Pamplona. En: Memorias Conferencia Internacional del Agua.
- Jímenez, G. J., 2006. Metodología de evaluación rápida de calidad ambiental en humedales, caso Ciénaga Colombia. Tesis de Maestría. 69 P.
- Holdridge, L. R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José de Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 50 P.
- Kratzer, C. & Brezonik, P. 1981. A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. Water resourses bulletin, august Vol. 17, N°4 pp. 713- 715.
- Margalef, R., 1983. Limnología. Editorial Omega, S.A. Barcelona. 1010 P.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2001. Política Nacional para humedales interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso racional. Bogotá.
- Nogueira, N. M. & Ramírez, J. J., 1998. Variação mescal da condição trófica do Lago das Garças (São Paulo, SP., Brasil). Acta Limnol. Bras. 10: pp. 21-34.
- Ramírez, A & Viña G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Reynolds, C. S., 1997. Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. Ecology Institute. Germany.
- Toledo, A. P.; Talarico, M.; Chinez, S. J. & Agudo, E., 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. XIX Congresso Interamericano de Engenharia e ambiental. Camboriú.
- En línea: www.ramsar.org/indexsp.htm Febrero 4 de 2006

