

Distribución espacio-temporal del nitrógeno y el fósforo, y su relación con las condiciones ambientales en el sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba, Colombia

Spatial and temporal distribution of nitrogen and phosphorus, and its relation to environmental conditions in the Ayapel wetland system, Córdoba, Colombia.

Carlos Augusto Benjumea Hoyos¹
Néstor Jaime Aguirre Ramírez²

Resumen

En esta investigación se presenta la dinámica de las principales formas de nitrógeno y fósforo como nutrientes principales en ambientes acuáticos, así como estudios de parámetros como el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura del agua del sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba.

La información de campo se recolectó durante cuatro campañas de muestreo en ocho estaciones. Los monitoreos se iniciaron en septiembre de 2006 y finalizaron en septiembre de 2007, e incluyeron condiciones de aguas altas y de aguas bajas en las ciénagas. En general se encontró que el sistema es un exportador de nutrientes hacia el río San Jorge dado que no se encontraron condiciones de hipereutrofia.

Palabras clave: *nutrientes, nitrógeno, fósforo, dinámica, ciénaga.*

¹ M.Sc. en Ingeniería. Ingeniero sanitario, Grupo de Investigación en Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Oriente, Colombia. Correo electrónico: carlosbenju@gmail.com; cbenjumea@uco.edu.co

² Dr. Rer. Nat., Grupo de Investigación GEOLIMNA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia. Correo electrónico: naguirr@udea.edu.co



Abstract

This paper shows the results of a study intended to understand the dynamics of the main forms of nitrogen and phosphorus as major nutrients in aquatic environments, as well as parameters such as dissolved oxygen, pH, conductivity and temperature of water in the wetland system of Ayapel, Cordoba.

Field data collected over four sampling campaigns in eight stations. The monitoring began in September 2006 and completed in September 2007, covering high water conditions and low water in the swamp. It was generally found that the system behaves as a exporter of nutrients, since no hypereutrofia conditions were found.

Keywords: nutrients, nitrogen, phosphorus, dynamic, wetland.

Introducción

Por su misma naturaleza, las ciénagas son ecosistemas altamente dinámicos, sujetos a una amplia gama de factores naturales y antrópicos. Un factor primordial es la dinámica de nutrientes, que influye en las características físicas, químicas y biológicas. La dinámica de nutrientes está asociada a los intercambios o aportes de materia orgánica desde ríos, caños tributarios, sedimentos y demás procesos que interactúan con la ciénaga, lo cual se refleja en un aumento considerable en los procesos de productividad. En regiones tropicales se presume que esta productividad es aún mayor, debido a sus condiciones naturales de mayor radiación solar y temperatura que aceleran los procesos biológicos. “Las ciénagas son consideradas elementos básicos de la llanura de inundación. Su forma y tamaño dependen de la relación de los niveles río-ciénaga y caños-ciénaga, que a su vez determinan la dirección del flujo con base al nivel relativo de energía entre estos” (Esteves, 1988).

El significado de las ciénagas y zonas inundables para el soporte de la producción biológica de las cuencas justifica su estudio, con el fin de conocer su dinámica y definir sus potencialidades como recurso y su tolerancia frente a tensesores (Aguirre et al., 2005).

Entre los estudios en los ambientes lacustres tropicales y especialmente en Colombia se podrían citar en los últimos años a Rincón (2002), Cuesta (2002), Vivas et al., (2002), Tuchkovenko y Calero (2003), Jaramillo (2003), Arrieta y Muñoz (2003), Herrera y Sepúlveda (2003), Aguirre et al. (2005), Hernández (2006) y Marín (2007). A pesar de estas investigaciones, aún es grande el desconocimiento acerca de la dinámica de los nutrientes en estos ecosistemas.

La evaluación de la dinámica de nutrientes en sistemas naturales como el de Ayapel es importante por su relación con los procesos de eutrofización y productividad. En este estudio se pretende identificar cómo varían en espacio y tiempo las concentraciones de las especies químicas de los macronutrientes nitrógeno y fósforo en el sistema cenagoso, como respuesta a los diferentes momentos hidrológicos y estadios de inundación.

Metodología

La ciénaga de Ayapel se encuentra en jurisdicción del municipio del mismo nombre, en el extremo oriental del departamento de Córdoba, Colombia. Geográficamente, la zona se ubica entre las coordenadas 8° 04' - 8° 30' de latitud norte y 74° 84' - 75° 20' de longitud oeste, a una altura de 22 m.s.n.m. (POT, 2012) (figura 1).

La ciénaga de Ayapel también hace parte de la región de La Mojana. Está delimitada por el río San Jorge al oeste, al norte por el caño Grande, el cual es la conexión con el río San Jorge, al este por el sistema de caños Trejos, Barro, Muñoz y San Matías y el río Cauca, al sur limita con las quebradas Quebradona y Escobilla, y también con el río Cauca. En sus orillas se encuentran la cabecera municipal de Ayapel (suroeste), el corregimiento de El Cedro (sureste) y varios caseríos de pescadores (Restrepo, 2005).

El espejo de agua de la ciénaga de Ayapel oscila entre 20 y 150 km² y posee un sistema hidrológico propio que recoge las precipitaciones de las quebradas de los costados oriental y sur: quebradas Quebradona y Escobilla, caño Barro, caño Trejos, caño Muñoz, y caño La Miel, entre otros. Su principal nexo hidrológico establece el flujo de intercambio con el río San Jorge por el

caño Grande. Como reguladora de los regímenes hidrológicos de la zona, la ciénaga se alimenta de los caudales de las cuencas propias y, ocasionalmente, de crecientes del río San Jorge y del río Cauca (Zapata, 2005).

El sistema cenagoso presenta un ciclo hidrológico particular que permite el ascenso y la contracción de su nivel en forma marcada durante el ciclo anual. El comportamiento temporal de la serie se puede describir en los siguientes términos: en el mes de marzo, se alcanzan los niveles más bajos, y a partir del mes de abril el nivel de la ciénaga comienza a ascender hasta julio, cuando los niveles se mantienen o aumentan levemente hasta el mes de noviembre; en el mes de diciembre los niveles empiezan a descender hasta marzo. Esto quiere decir que el comportamiento de la ciénaga es unimodal: cada año se presenta una época de niveles mínimos y una época de niveles máximos.

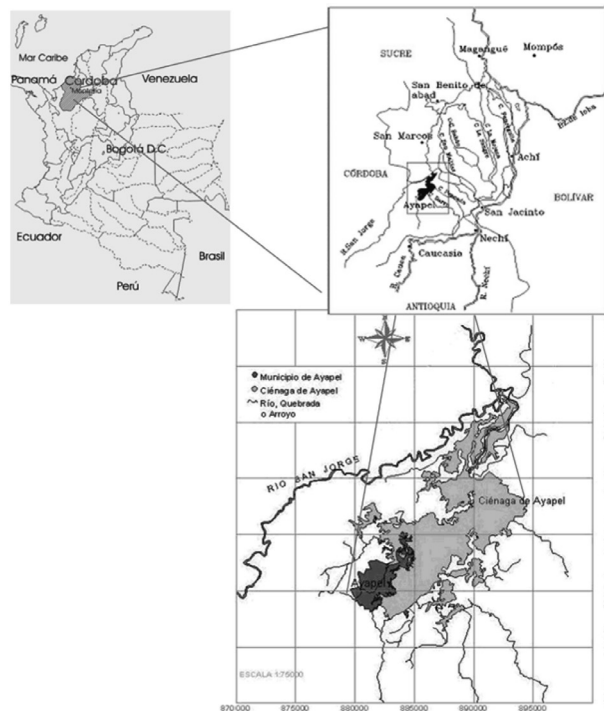


Figura 1. Ubicación geográfica de la ciénaga de Ayapel

El sistema cenagoso de Ayapel está constituido por varias ciénagas de menor tamaño en conjunto con el cuerpo principal de la ciénaga de Ayapel, estas son: ciénaga Hoyo, Los Bagres, Escobillas, Las Palomas, Larga, Los Toros, La Miel, Playa Blanca, Paticos y Playa Tendida. Según Zapata (2005), los caños y quebradas, especialmente del costado oriental y suroriental, son de baja velocidad y profundos, lo cual permite la conexión de sus aguas con las ciénagas menores en los periodos de baja precipitación. En el complejo cenagoso de Ayapel se ubicaron

ocho estaciones (Figura 2): una en el espejo principal de la ciénaga, tres en ciénagas satélites, tres en los principales caños de entrada a la ciénaga y una estación final en el caño de salida del sistema cenagoso. Previo a la escogencia de los sitios de muestreo se realizó una campaña de reconocimiento de la zona de estudio en la cual se definieron las zonas de interés. Estos ocho sitios fueron escogidos por ser los que mejor representan el mosaico de ambientes que se encuentran en el sistema cenagoso: ciénaga principal, ciénagas satélites y caños de entrada y salida.



Figura 2. Ubicación espacial, estaciones de muestreo en el sistema cenagoso de Ayapel

Se realizaron cuatro muestreos, teniendo en cuenta los diferentes niveles de agua en la ciénaga: septiembre de 2006 (aguas bajas en ascenso), diciembre de 2006 (aguas altas en descenso), marzo de 2007 (aguas bajas) y septiembre de 2007 (aguas altas). En cada una de las ocho estaciones y durante los cuatro momentos de muestreo se tomaron muestras compuestas de la columna de agua por medio de una botella tipo Kemmerer. Este procedi-

miento se realizó con el fin de obtener muestras de agua representativas de los diversos sitios. Con ellas se obtuvo el análisis de nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y ortofosfatos. Adicionalmente, se determinaron *in situ* y en sub-superficie, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, el pH y la conductividad eléctrica (Tabla 1). Las demás variables fueron analizadas en el laboratorio en el menor tiempo posible después de coleccionar la muestra.

Tabla 1. Métodos para el análisis de las variables físicas y químicas

Variables	Unidades	Instrumento y/o método
Temperatura del agua	°C	Termómetro
Oxígeno disuelto	mg/L OD	Oxímetro WTW. 300/Set. Nr.200 232
pH	Unidades de pH	pH-metro WTW. 330/Set- I. Nr. 100 787
Conductividad eléctrica	μs/cm	Conductímetro WTW 300/set
Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	Fotométrica con ácido sulfanílico y I-naftilamina tras reducción a nitrito
Nitritos	mg/L NO ₂ ⁻	Fotométrica con ácido sulfanílico y I-naftilamina
Nitrógeno amoniacal	mg/L NH ₄ ⁺	Fotométrica como indofenol
Fósforo	mg/L PO ₄ ⁻³	Fotométrica de azul de molibdeno

La información obtenida de campo y laboratorio fue procesada mediante estadígrafos de tendencia central como la media aritmética, la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de variación, además de los valores máximos y mínimos para cada parámetro durante los cuatro monitoreos realizados. Se llevó a cabo un análisis de varianza por factores (muestreo,

zona y estación) con el fin de estimar la variabilidad contribuida para cada factor sobre las variables respuesta.

Resultados y discusión

Los resultados de los análisis físico-químicos del agua y sus correspondientes cálculos estadísticos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores estadísticos de las variables físicas y químicas analizadas en las muestras de agua

Variable	n	Media (x)	Varianza (S ²)	Desviación Estándar (S)	Coficiente Variación (CV)	Máximo (máx)	Mínimo (mín)
Temperatura del agua (°C)	32	30,9	1,9	1,4	4,5	35	28,8
OD (mg/L)	32	4,50	4,25	2,06	45,84	8,77	0,31
pH (unid pH)	32	6,8	0,5	0,7	10,3	8,4	5,25
Conductividad eléctrica (μs/cm)	32	56,4	1786,1	42,3	74,9	208	12,1
NO ₃ ⁻ (mg/L)	32	1,629	2,162	1,471	90,291	5,0	0,057
NO ₂ ⁻ (mg/L)	32	0,100	0,018	0,134	134,059	0,71	0,002
NH ₄ ⁺ (mg/L)	32	0,078	0,007	0,086	110,153	0,42	0,010
PO ₄ ⁻³ (mg/L)	32	0,501	0,359	0,599	119,746	2,80	0,10

En general los resultados obtenidos mostraron grandes variaciones en las diferentes formas de nitrógeno y fósforo analizadas. La temperatura y el pH fueron los parámetros de menor variación, lo cual es indicativo de una relativa estabilidad en el comportamiento espacio-temporal de estos parámetros.

Las concentraciones máximas de las distintas formas de nitrógeno y fósforo analizadas durante el proyecto de investigación se comportaron de acuerdo a lo esperado. Estos valores se registraron durante la época de aguas bajas y los resultados se encontraron principalmente en la estación ciénaga satélite Patiscos, la cual tiene una marcada influencia por las descargas de agua residual del municipio de Ayapel. Las concentraciones halladas fueron de 5,0, 0,71, 0,42, y 2,8 mg/L de NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄⁻³ respectivamente.

Las concentraciones mínimas de nitrógeno y fósforo encontradas en la zona de estudio se presentaron durante la época de máximo nivel de agua en la ciénaga (aguas altas, septiembre de 2006); con los máximos volúmenes de agua

había por tanto mayor dilución en las concentraciones. Estos resultados se presentaron en diferentes ambientes, los valores mínimos para nitritos se encontraron en la ciénaga Escobillitas y Playa Blanca, los mínimos valores de nitrato y amonio fueron hallados en ambientes lóticos, caño Muñoz y caño Barro respectivamente. El mínimo valor de fosfato se registró en la ciénaga Escobillitas y en caño Barro. Las concentraciones halladas fueron de 0,057, 0,002, 0,01 y 0,1 mg/L de NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, y PO₄⁻³ respectivamente.

Análisis de componentes de varianza: después de explorar cada una de las variables en el marco de este análisis, se encontró que el factor con mayor contribución fue la estación 2. En la Tabla 3 se presentan los resultados de la exploración de cada una de las variables por medio del análisis de varianza entre factores. Como se puede observar, los valores de variación de este factor superan el 58,4%, mientras los valores por muestreo y zona se encuentran por debajo del 32,4 y 41,5% respectivamente.

Tabla 3. Porcentajes de los componentes de varianza para las variables físico-químicas

Variable	Muestreo (%)	Zona (%)	Estación (%)
T. agua	0	31,70	68,30
OD	0	41,58	58,42
pH	0	0	100
Conductividad eléctrica	0	0	100
Nitratos	19,12	5,81	75,07
Nitritos	24,96	17,91	57,13
Amonio	20,18	12,64	67,18
Ortofosfatos	32,41	7,02	60,57

Es importante mencionar que variables como la temperatura del agua, el OD, el pH y la conductividad eléctrica registraron tendencias similares al analizarlas

por muestreo y parcialmente por zona. Sin embargo, el pH y la conductividad fueron las variables con menor estabilidad en las estaciones (Tabla 3).

En términos generales, y sólo con algunas excepciones, las variables físicas y químicas presentaron una variación marcada entre las ocho estaciones y las 4 campañas de monitoreo (Tablas 2 y 3), lo que sugiere que la heterogeneidad espacial del sistema cenagoso de Ayapel puede estar influenciada principalmente por la diversidad de biotopos en todo el área de estudio, ya que se presentan zonas con alta intervención antrópica y otras con biota casi inexplorada. Estas variaciones espacio-temporales también se evidenciaron en los estudios realizados en este sistema por Aguirre et al. (2005) y el Centro de Investigaciones Ambientales (CIA y CVS, 1990). La variación se asocia principalmente al pulso hidrológico, es decir, a los cambios en los niveles de agua del sistema. La característica principal de esta variación se presenta, como era de esperarse, entre la época de aguas altas y la de aguas bajas debido al efecto de dilución.

Durante el periodo de estudio, la ciénaga de Ayapel presentó temperaturas entre 28 a 35 °C, valores característicos para este tipo de ambientes tropicales, que concuerdan con los diferentes estudios realizados en la zona y en ambientes similares (Aguirre et al., 2005; Ramírez y Viña, 1998; CIA – CVS, 1990; Eco-estudios y CVS, 1989). Los cambios en los registros de temperatura respondieron principalmente a la hora del día en la cual fueron tomados, por tanto, el sistema de Ayapel se puede considerar como un ambiente isotérmico, al no presentar gradientes superficiales ni verticales fuertes de temperatura.

En las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) se observaron variaciones con respecto a lo reportado en otros estudios para este parámetro; la media general del oxígeno disuelto durante el periodo de estudio fue de 4,5 mg/L. Este bajo promedio se presentó principalmente por las concentraciones de algunas estaciones de mo-

nitoreo, las cuales presentaron concentraciones realmente bajas durante los cuatro muestreos. Es el caso de la estación caño Muñoz, que registró un par de datos cercanos a la anoxia (0,6 mg/L) durante la época de aguas altas. Al comparar los resultados de esta estación en particular con algunos reportes y estudios para la zona (Aguirre et al., 2005; Restrepo, 2005; Hernández, 2006; Gallo, 2007), se observa una amplia diferencia, pues el promedio de la concentración nunca fue inferior a los 6 mg/L para esta estación en estos estudios. Sin embargo, en el estudio realizado por el CIA y la CVS (1990) también se presentaron bajos niveles de oxígeno disuelto para esta misma estación, con concentraciones tan bajas como 2,0 mg/L en la época de aguas altas. Al margen de la situación descrita anteriormente, el sistema Ayapel presentó concentraciones de oxígeno disuelto capaces de sostener la biodiversidad que habita en él.

El potencial de hidrogeniones fue una de las variables con mayor estabilidad durante el proyecto de investigación, con un promedio general entre muestreos que varió desde 6,5 a 7,1 unidades de pH. Estos resultados no discrepan de lo reportado en estudios similares (Aguirre et al., 2005; Ramírez y Viña, 1998; CIA – CVS, 1990; Eco-estudios y CVS, 1989; Hernández, 2006; Gallo, 2007). Los valores registrados fueron neutros o tendientes a la neutralidad, estos resultados están asociados a rangos de pH que son adecuados para la vida acuática. Si bien se presentaron diferencias temporales entre los resultados de pH (disminución en aguas altas y aumento en aguas bajas) no se evidencia un patrón de comportamiento particular con respecto al pulso hídrico para esta variable.

La conductividad eléctrica en el sistema cenagoso no reflejó lo planteado por algunos autores, pues no concuerda con lo expuesto en cuanto a que

en ciénagas de zonas cálidas tropicales las conductividades, como patrón general, superan los 100 uS/cm debido a que en ellas se recoge una mayor escorrentía (Roldán, 2002). El promedio general de la conductividad eléctrica del sistema cenagoso fue de 56,4 uS/cm, resultado que se aleja de este concepto. Las diferencias en los promedios por muestreo no son muy significativas, pues oscilan desde 45,20 uS/cm en aguas altas a 68,71 uS/cm en aguas bajas. Sin embargo, se puede apreciar cómo se presenta nuevamente la influencia del nivel de la ciénaga en los resultados de las variables físico-químicas. Según Ramírez y Viña (1998), los valores registrados para la conductividad eléctrica durante esta investigación coinciden con el comportamiento encontrado durante el estudio del Oleoducto Colombia – Ecopetrol (IPC, 1993) para esta variable.

Un comportamiento singular se observó con los registros de conductividad eléctrica en el sistema cenagoso, el cual tuvo que ver con su variación espacial. Este parámetro tendió a aumentar hacia el este, con los registros más altos en ciénaga Playa Blanca y caño Muñoz (119 y 97 uS/cm, respectivamente) y con registros más bajos hacia el oeste, en la ciénaga Escobillitas, caño Quebradona y ciénaga Paticos (21,25; 28,23, y 40,58 uS/cm, respectivamente). Este comportamiento puede estar influenciado principalmente por el mayor aporte de sólidos al este del sistema cenagoso, lo cual acarrea como resultado final un aumento en la conductividad eléctrica en estos sectores, que va disminuyendo a medida que ingresa al espejo de agua principal (hacia el occidente), donde el efecto de dilución ocasiona el descenso de la conductividad en estas zonas. Las diferentes formas de nitrógeno y fósforo también reflejaron el contraste o efecto del pulso hidrológico entre los diferentes periodos de muestreo. La tendencia al aumento en la concentración se dio durante el periodo de aguas

bajas (estiaje), situación que contrasta con la temporada de aguas altas (lluvias) durante la cual se presentaron valores más bajos.

Las formas de nitrógeno, nitrato, nitrito y amonio, así como las concentraciones de ortofosfatos, revelaron este patrón temporal; la concentración media de nitratos, nitritos, amonio y ortofosfatos para el periodo de aguas bajas fue de 2,39; 0,209; 0,130, y 1,003 mg/L respectivamente. Mientras que en el periodo de aguas altas fueron de 0,995; 0,087; 0,10, y 0,210 mg/L respectivamente. Este comportamiento se puede asociar al efecto de dilución en los periodos de máximo nivel en la ciénaga, así como a la aceleración de los procesos de mineralización de la materia orgánica presente y la reducción del volumen del agua en los periodos de estiaje. Según Tundisi (1994), las fluctuaciones en el nivel del agua en lagos, ciénagas, pequeños ríos y canales son responsables de los cambios temporales en las concentraciones de nutrientes y materia orgánica en estos ambientes.

Durante la temporada de aguas altas los diferentes caños aportan a la ciénaga una gran cantidad de material orgánico que arrastran de las zonas que permanecían secas, y aunque este proceso de inundación provoca un mayor aporte de nutrientes y un tiempo de retención hidráulico mayor, también produce otros efectos, como la disminución de cambios espaciales en los parámetros y, especialmente, la dilución de los nutrientes. Todo lo contrario sucede en la época de bajos niveles de agua en la ciénaga: el sistema cenagoso entrega una gran parte de su volumen de agua al río San Jorge, y aunque el tiempo de retención hidráulico es menor, la reducción de nivel hace que la concentración de iones y partículas en todo el sistema cenagoso sea mayor; además, la descomposición o mineralización del material orgánico presente se ve favorecida por un aumento en la temperatura del agua.

Al comparar los resultados obtenidos durante esta investigación con algunos estudios realizados en la zona (Aguirre et al., 2005; Ramírez y Viña, 1998; CIA – CVS, 1990; Eco-estudios y CVS, 1989; Hernández, 2006; Gallo, 2007), se encuentra similitud en el comportamiento influenciado por el pulso hidrológico en las concentraciones. Las discrepancias radican principalmente en las concentraciones máximas obtenidas en esta investigación para el nitrato y los ortofosfatos, con valores de 5,0 y 1,67 mg/L, ambas en la estación ciénaga Paticos, zona de influencia de las aguas residuales del municipio de Ayapel.

Estas altas concentraciones de nutrientes (formas de nitrógeno) se consideran indicadores de crecimiento algal masivo o posible eutrofización, según lo reportado por Bartram y Balance (1996) y Chapman (1996). Sin embargo, según lo reportado por investigadores como Vollenweider (1968) y Roldán (2002), estas concentraciones enmarcan el sistema cenagoso en el rango de mesotrofia. Además se encuentran dentro del rango promedio para lo reportado en cinco ciénagas tropicales en el bajo Magdalena (Roldán, 2002).

Las concentraciones de fósforo (ortofosfatos) registradas durante el periodo de investigación fueron altas, variando desde un valor mínimo, 0,21 mg/L en el periodo de aguas altas, hasta una concentración máxima de 1,003 mg/L en la época de aguas bajas. Estos resultados indicarían que el sistema no está limitado por fósforo. Sin embargo, según lo reportado en la literatura (Roldán, 2002; Bartram y Balance, 1996; Chapman, 1996; Vollenweider, 1968) los valores registrados de fósforo clasificarían al sistema Ayapel como eutrófico, clasificación que se aleja de lo observado durante los monitoreos a la zona y lo reportado en otras investigaciones para este ambiente (Aguirre et al., 2005; Ramírez

y Viña, 1998; CIA y CVS, 1990; Eco-estudios y CVS, 1989; Hernández, 2006; Gallo, 2007), salvo algún crecimiento masivo de algas en el sector de ciénaga Paticos, evento muy local por tratarse de una zona de alta influencia de aguas residuales domésticas.

A pesar de las concentraciones de nutrientes encontradas, el sistema Ayapel no es un ambiente retenedor o altamente productivo (eutrófico), sino más bien un ambiente exportador de nutrientes hacia el río San Jorge. Esta hipótesis se plantea debido a las características físico-bióticas encontradas y estudiadas durante aproximadamente un año y seis meses, además de las concentraciones de las distintas formas de nitrógeno y fósforo halladas en el sector del caño Viloría, las cuales se caracterizaron por ser altas durante el periodo de estudio, zona por donde la ciénaga desemboca sus aguas hacia el río San Jorge.

Conclusiones

La variación de las especies químicas de nutrientes en la ciénaga de Ayapel se encuentra influenciada y regulada directamente por la dinámica temporal de los niveles de agua (pulso hidrológico). Las concentraciones de las distintas formas de nitrógeno (nitrato, nitrito y nitrógeno amoniacal) y fósforo (ortofosfatos) presentaron variaciones temporales en respuesta a los cambios del régimen climático (lluvias y estiaje).

Los diferentes biotopos acuáticos influyeron espacialmente en los cambios y variaciones de las distintas formas de nitrógeno y fósforo. Esto se evidenció en el análisis de varianza por factores, al encontrarse que el factor con mayor contribución a la variabilidad fueron las estaciones de monitoreo. El sistema cenagoso de Ayapel es un mosaico de escenarios donde confluyen desde zonas con alta intervención antrópica hasta sectores con biota casi inexplorada.

El sistema cenagoso no es un ambiente retenedor de nutrientes sino, más bien, un exportador de estos hacia otros sistemas aguas abajo del río San Jorge.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, N. J., Palacio, J., Flórez, M. T., Wills, A., Caicedo, O., Jiménez, L. F., Villegas, N. E., Grajales, H., Palacio, C. (2005). Análisis de la relación río-ciénaga y su efecto sobre la producción pesquera en el sistema cenagoso de Ayapel, Colombia [Informe final del proyecto Colciencias]. Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental —GAIA—. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería.
- Arrieta, L. y Muñoz, R. 2003. Estructura de la comunidad íctica de la Ciénaga de Mallorquín, Caribe Colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras (Santa Marta). No. 32, p. 231-242.
- Bartram, J. y Balance, R. (1996). *Water quality monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. London: UNEP, WHO.
- Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. 2nd ed. London: UNESCO, WHO and UNEP.
- CIA – CVS (1990). Estudio de Impacto Ambiental por minería en la ciénaga de Ayapel [Informe Proyecto]. Medellín: Universidad de Antioquia. Centro de Investigaciones Ambientales.
- Cuesta, D. 2002. Estructura de la comunidad fitoplanctónica en dos profundidades de la ciénaga La Grande. Revista Institucional Universidad Tecnológica del Choco Diego Luis Córdoba, Quibdo. No. 17, Jul.-Dic. pag. 41-45.
- Eco-estudios, CVS (1989). Estudio del manejo integral de la ciénaga Ayapel. Montería.
- Esteves, F. (1988). *Fundamentos de Limnología*. Río de Janeiro: Ed. Interciencia Ltda.
- Gallo, L. J. (2007). Agremiación zooplanctónica (Rotífera y Microcrustacea) y su relación con los cambios del nivel del agua en la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia [Trabajo de Investigación de Maestría]. Universidad de Antioquia. Instituto de Biología.
- Hernández, E. (2006). Estructura de la agremiación fitoplanctónica en la ciénaga de Ayapel en diferentes periodos del pulso hidrológico [Trabajo de investigación de maestría]. Universidad de Antioquia.
- Herrera, J. y Sepúlveda, L. P. 2003. Aspectos del diagnóstico ambiental del complejo cenagoso Paredes-Chorros. Revista de Gestión y Ambiente Medellín. Vol. 06, No. 01, Ago.p. 17-24.
- Jaramillo, J. C. 2003. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas flotantes y su relación con la calidad del agua en la ciénaga Colombia, Cauca, Antioquia. Revista Ingenierías, Universidad de Medellín. No. 03, Jul.-Dic.p. 105-120.
- Marín, C. M. 2007. Producción y consumo de oxígeno en raíces de *Eichhornia crassipes* y material asociado bajo condiciones controladas en un sitio en la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ciencias Ambientales. Universidad de Antioquia.
- Municipio de Ayapel (2002). Plan básico de ordenamiento territorial de San Jerónimo de Ayapel. POT 2002-2012.
- Ramírez, A. y Viña, G. (1998). *Limnología colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Bogotá: Ed. Panamericana.

- Restrepo, C. A. (2005). Estudio de la dinámica del transporte del nitrógeno y del fósforo en la ciénaga de Ayapel [Trabajo de Investigación de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- Rincón, C. E. 2002. Estudio de peces promisorios en dos ciénagas del Río Atrato, Chocó. Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba (Quibdo). No. 16, Ene.-Jun. pag. 42-46.
- Roldán, G. (2002). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Ed. Universidad de Antioquia.
- Tuchkovenko, Y. y Calero, L. A. 2003. Modelo matemático del ecosistema de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras (Santa Marta). No. 32, pag. 145-167.
- Tundisi, J. G. (1994). Tropical South America: present and perspectives. In: R. Margalef (ed.) *Limnology now: A paradigm of planetary programs* (pp. 353-416). The Netherlands: Elsevier.
- Vivas, I., Álvarez J. C., Ramírez J. J. 2002. Variación espacial de la estructura de macroinvertebrados asociados a raíces de *Ponteria triflora* (Alga masa) de la zona litoral y limnética en las ciénagas Plaza Seca y La Grande, Sanceno, Quibdo. Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba (Quibdo). No. 15, Ene. p. 102-114.
- Vollenweider, R. A. (1968). Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to the nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development.
- Zapata, J. F. (2005). Dinámica hidrológica en la ciénaga de Ayapel. Modelación del balance hídrico y simulación hidrodinámica. [Trabajo de Investigación de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.