

## **Variabilidad fisicoquímica del agua en la ciénaga El Eneal, reserva natural Sanguaré municipio de San Onofre-Sucre, Colombia**

### **Physical chemistry water variation of the swamp El Eneal, Sanguaré natural reserve municipality of San Onofre-Sucre, Colombia**

*Elkin Libardo Ríos, Jaime Alberto Palacio, Néstor Jaime Aguirre\**

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

(Recibido el 14 de diciembre de 2007. Aceptado el 9 de mayo de 2008)

#### **Resumen**

Entre mayo del 2003 y abril del 2004, en la ciénaga El Eneal, municipio de San Onofre-Sucre, se midieron los perfiles de temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y salinidad a través de un diseño nictemeral. Se encontró que el sistema es un ambiente completamente mezclado desde el punto de vista térmico debido a la acción de los vientos, de su morfología y de su ubicación cerca de la línea costera. También, se halló que esta ciénaga costera es un ambiente oligohalino en época seca; sin embargo, la mayor parte del tiempo el sistema puede considerarse como un ambiente limnético. En épocas prolongadas de sequía, la salinidad alcanzó su valor máximo de 3,4 ppm, lo cual podría constituir un factor limitante para comunidades de organismos estrictamente limnéticos.

----- *Palabras clave:* Nictemeral, ciénaga, oligohalino, limnético.

#### **Abstract**

Profiles of water temperature, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity and the salinity were measured in the swamp El Eneal municipality of San Onofre, Sucre, following a nictemeral design between May/2003 and April/2004. It was found that the system is completely mixed from the thermal point of view due to the action of the wind, in combination with the morphology and its location near the coastal line. It was also found that this coastal swamp is oligohalin, nevertheless most of the time the system can be considered as a limnetic system. During prolonged droughts, the salinity reached its maximum value of 3.4 ppm, which could become a limited factor for communities of strictly limnetics organisms.

----- *Keywords:* Nictemeral, swamp, oligohalin, limnetic.

---

\* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 + 4 + 219 65 62, fax: + 57 + 4 + 219 65 64, correo electrónico: naguirre@udea.edu.co (N. Aguirre).

## Introducción

Las ciénagas son ecosistemas poco profundos que se localizan a baja altitud. Estas y las zonas inundables, actúan como reguladores de los regímenes hidrológicos de las áreas tributarias, son hábitat de flora y fauna, y son fuente de recursos pesqueros de gran valor económico. Los servicios que ofrecen los humedales se pueden resumir en tres grandes categorías: suministro de agua para diferentes usos, suministro de biomasa y suministro de beneficios no extractivos como la recreación y el transporte. Además, estos ecosistemas constituyen un referente cultural en algunas regiones [1, 2].

Las ciénagas se sitúan por lo general en el plano de inundación, es decir, en áreas periódicamente inundadas por el desbordamiento de los ríos o lagos, por precipitación pluvial directa o a partir de aguas subterráneas [3]. Según este concepto, los sistemas cenagosos no necesariamente están sometidos directamente a los pulsos de inundación de los ríos y pueden estar bajo la influencia de la pluviosidad, la cual afecta sus dinámicas físicas, químicas y biológicas.

La ciénaga El Eneal constituye un ambiente acuático de gran importancia debido a que se considera el resultado de un proceso de aislamiento de una antigua laguna costera y su transformación progresiva en un ambiente limnético. Este hecho, afectó probablemente en forma considerable la estructura biótica del sistema con la desaparición de especies de origen marino y la colonización sucesiva de especies limnéticas. En esta investigación se planteó la siguiente pregunta central: ¿Cómo son las características fisicoquímicas de la ciénaga El Eneal? Dado que la ciénaga El Eneal es un ambiente raso, entonces el carácter polimíctico del mismo se encuentra asociado a su ubicación costera tropical y a la acción del viento. Por lo anterior se planteó como objetivo determinar las características limnológicas básicas de la ciénaga El Eneal por medio del seguimiento de la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad eléctrica y la salinidad en la columna de agua a través de un diseño nictemeral.

## Zona de Estudio

El Golfo de Morrosquillo se encuentra en el mar caribe entre los 9° y los 10° latitud norte y entre los 75° y los 76° longitud oeste del meridiano de Greenwich. La llanura costera del golfo está formada por depósitos fluviales pleistocénicos de la formación Magdalena y por la sedimentación aluvial reciente. La llanura se extiende desde los límites con el departamento de Córdoba al sur hasta las ciénagas cercanas al canal del Dique al norte y desde la orilla del mar en dirección este, hasta comenzar la serranía de María. De sur a norte el golfo tiene un ancho aproximado de 17 km. El extremo sur está formado por punta mestizos y la bahía de Cispatá, antigua desembocadura del río Sinú [4].

La ciénaga El Eneal es un cuerpo de aguas oscuras, posee un área de 36 ha. y profundidad media de dos metros. Se encuentra localizada en el municipio de San Onofre-Sucre en el golfo de Morrosquillo y hace parte de la reserva natural de la sociedad civil en el Golfo de Morrosquillo.

## Metodología

Para las mediciones de la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad eléctrica y la salinidad se efectuaron cuatro muestreos de campo incluyendo períodos de lluvia y sequía. En la tabla 1 se presenta la información relacionada con las épocas de muestreo.

**Tabla 1** Ciénaga El Eneal. Fecha de los muestreos y características ambientales de la ciénaga

<i>Nro.</i>	<i>Fecha de muestreo</i>	<i>Condiciones de muestreo</i>
1	Mayo 14 y 15 de 2003	Período de aguas bajas.
2	Septiembre 8 y 9 de 2003	Período de aguas bajas.
3	Noviembre 23 y 24 de 2003	Período de aguas altas.
4	Abril 23 y 24 de 2004	Período de aguas altas.

Se seleccionaron dos sitios de muestreo en la ciénaga El Eneal, representativos del cuerpo de agua. Para ello, se ubicaron dos sitios en la zona pelági-

ca de la ciénaga. La estación uno se ubicó en las coordenadas N 09°42'44,2" W 075°40'35,1" y la estación dos en N 09°42'44,2" W 075°40'30,0".

Las mediciones se efectuaron durante un ciclo de 24 horas a intervalos de tres horas y a cada veinte centímetros de profundidad en la columna de agua siguiendo los métodos listados en la tabla 2.

**Tabla 2** Ciénaga El Eneal. Variables fisicoquímicas y metodología para su determinación [5]

<i>Variable</i>	<i>Unidad</i>	<i>Método</i>
Temperatura del agua	°C	Termistor
Oxígeno disuelto	mg/l	Celda WTW
pH	Unidades	Celda WTW
Conductividad eléctrica	μS/cm	Celda WTW
Salinidad	o/oo	Celda WTW

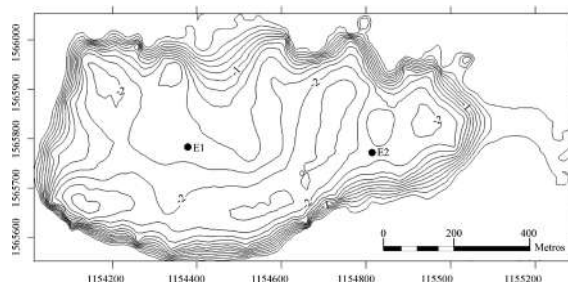
Para la batimetría se realizó un recorrido general en bote por el espejo de agua de la ciénaga. Se midió la profundidad en 93 sitios con una mira topográfica y se registró la posición de cada sitio de muestreo con un GPS Garmin®. Los datos obtenidos permitieron la construcción de un mapa batimétrico de El Eneal.

El análisis de la información consistió en un análisis univariado de las variables fisicoquímicas. En este sentido se calcularon las medidas de tendencia central, de variabilidad y se construyeron figuras propias del análisis exploratorio que permiten además conocer propiedades importantes en la distribución tales como la presencia de asimetrías y de valores atípicos, además de comparar las distribuciones en las diferentes estaciones [6]. Se procesó la información obtenida en los nictemales empleando el software Statgraphics®.

## Resultados y discusión

### Batimetría

Con los datos de profundidad y ubicación de 93 estaciones, obtenidos durante el primer muestreo de campo se construyó el mapa batimétrico de la ciénaga El Eneal (Figura 1).



**Figura 1** Estaciones de muestreo E1 y E2 en el mapa batimétrico de la ciénaga El Eneal

En la figura 1 se observan las curvas de nivel a diferentes profundidades en la ciénaga El Eneal. En total se presenta el contorno de tres isopletas: la cota 0, la cota de -1 m y la de -2 m.

La cota cero corresponde a la zona de aguas libres, cubierta por macrófitas acuáticas emergentes. La línea de costa es irregular, lo cual denota la formación temprana del cuerpo de agua.

La cota -1 m está asociada a la zona litoral, la cual se halla ampliamente colonizada por macrófitas acuáticas pertenecientes al género *Typha*. Allí se determinaron dos especies: *Typha angustifolia* y *Typha latifolia*. La abundancia de éstas se asocia al nombre del sistema Eneal. El género *Typha* se relaciona con otras plantas acuáticas y semiacuáticas que con el tiempo han acumulado material orgánico en una constelación de islotes. Estos últimos se distribuyen sobre las aguas abiertas como respuesta a la acción del viento.

La cota -2 m es la de mayor área en la ciénaga, ocupa la mayor área sumergida del sistema. Por ello esta ciénaga se constituye en un ambiente raso.

### Comportamiento nictemeral de las variables

#### Temperatura del agua

En la tabla 3 se consignan los principales resultados de temperatura del agua obtenidos en los cuatro nictemales.

**Tabla 3** Estadígrafos de la temperatura del agua en los cuatro muestreos

<b>Estadígrafos de la temperatura</b>	<b>Estación uno/muestreo</b>				<b>Estación dos/muestreo</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
N.º de datos	40	48	99	72	21	40	90	63
Media	31,55	30,04	29,11	29,50	31,66	30,19	29,37	29,62
Varianza	1,65	1,53	0,49	1,04	1,95	1,27	0,25	0,49
Valor mínimo	29,80	27,40	27,30	28,20	29,80	28,40	28,00	26,70
Valor máximo	35,90	34,30	30,70	32,80	34,80	34,20	30,20	30,90
Rango	6,10	6,90	3,40	4,60	5,00	5,80	2,20	4,20
Percentil 25	30,65	29,25	28,80	28,80	30,60	29,55	29,10	29,30
Percentil 50	31,35	29,90	29,30	29,10	31,20	30,00	29,45	29,50
Percentil 75	31,90	30,45	29,50	29,90	32,50	30,75	29,70	30,00

Como se observa en la tabla 3 la varianza de los datos fue muy baja, denotando una baja dispersión de la temperatura del agua. Esto se corroboró con una distribución homogénea de los datos para los percentiles 25, 50 y 75. En general, podría considerarse que la distribución del calor en el agua tanto a nivel espacial como temporal, fue homogéneo.

La distribución de la temperatura en la columna de agua en la estación uno durante el período de aguas bajas, corresponde a ciclos cortos de estratificación y mezcla. La estratificación se consolida durante las horas de la tarde como consecuencia de la incidencia intensa de la radiación solar sobre la superficie del agua. En contraste la mezcla se presentó durante la fase nocturna y en las horas de la mañana debido a los movimientos convectivos generados por el enfrentamiento del agua superficial por transferencia de calor desde el agua hacia la atmósfera. Este mismo fenómeno se ha observado en otros humedales tropicales como las ciénagas del bajo Atrato [7] en la ciénaga de Cachimero [8] y en la ciénaga de Ayapel [9].

Los resultados de los perfiles de temperatura en condiciones de aguas altas, muestran comportamientos relativamente homogéneos de la distribución de la temperatura del agua a través de la columna de agua y durante un ciclo de 24 horas. En estas circunstancias solo se presentan gradien-

tes de temperatura en las horas de la tarde pero que no consolidaron una verdadera estratificación.

La distribución del calor en la columna de agua en las épocas de aguas bajas y altas puede asociarse con dos factores: el primero se refiere a la transferencia de la energía calórica desde el agua hacia el aire y viceversa, y el segundo se asocia al trabajo del viento sobre la columna de agua. En aguas bajas, la alta irradiación solar produce el calentamiento de la capa superficial de la columna de agua hasta 40 cm de profundidad, este proceso asociado a la poca acción del viento consolidó termoclinas horarias en las horas de la tarde. Para el caso de las aguas altas la irradiación solar puede ser significativamente menor en comparación con las épocas de aguas bajas, debido a un incremento en la nubosidad y a la pérdida de calor del aire en la interfase aire-agua, el resultado de este fenómeno es la distribución homogénea del calor a través de la columna de agua.

De lo anterior, se infiere que El Eneal presentó condiciones típicas de un ambiente polimítico, especialmente durante el período de aguas altas.

*Oxígeno disuelto*

En la tabla 4 se consignan los resultados de las mediciones nictemerales del oxígeno disuelto.

**Tabla 4** Estadígrafos de los valores del oxígeno disuelto en los cuatro muestreos

<b>Estadígrafos del oxígeno</b>	<b>Estación uno/muestreo</b>				<b>Estación dos/muestreo</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
N.º de datos	40	48	99	72	21	40	90	63
Media	4,94	4,53	1,11	5,46	4,66	4,51	0,92	5,55
Varianza	5,57	5,33	0,38	1,35	8,13	4,25	0,16	1,05
Valor mínimo	2,40	1,47	0,40	3,40	1,30	1,50	0,40	3,61
Valor máximo	11,20	11,30	3,80	8,80	11,20	10,80	2,80	7,57
Rango	8,80	9,83	3,40	5,40	9,90	9,30	2,40	3,96
Percentil 25	3,55	3,00	0,80	4,60	2,30	3,19	0,70	4,50
Percentil 50	4,10	3,93	0,90	5,25	4,10	4,00	0,80	5,46
Percentil 75	6,15	5,40	1,30	6,00	6,30	5,75	1,00	6,07

La distribución del oxígeno en la columna de agua en la estación uno durante el período de aguas bajas, corresponde a ciclos cortos de estratificación química y mezcla como se señaló anteriormente para la temperatura. La estratificación se consolidó durante las horas de la tarde y se extendió hasta las 24 horas, debido a la actividad fotosintética diurna de las macrófitas enraizadas sumergidas *Najas guadalupensis* que crecen masivamente hasta unos pocos centímetros por debajo de la superficie del agua. La reducción de las concentraciones de oxígeno en las horas nocturnas conduce a fluctuaciones diarias importantes del oxígeno desde sobresaturación hasta hipoxia no prolongada. Estas amplias fluctuaciones en el oxígeno representan probablemente un factor de estrés para los organismos estenoxibiontes. Luego, como consecuencia de los procesos de convección térmica, la masa de agua se mezcla y propicia la homogenización del oxígeno en la columna de agua. Durante las horas de la madrugada el oxígeno disminuye gradualmente en la columna de agua hasta alcanzar cerca de 2,5 mg/l a las 6:00 horas.

La distribución del oxígeno en la columna de agua en la estación dos, corresponde a ciclos cortos de estratificación química y mezcla. La estratificación química se consolidó durante las horas de la tarde y permaneció hasta la media noche debido a la actividad fotosintética, y luego como

resultado de los procesos de convección térmica la masa de agua se mezcla y se homogeniza el oxígeno en la columna de agua. Durante las horas de la madrugada, el oxígeno disminuyó en la columna de agua pero no alcanzó niveles de anoxia durante este primer muestreo.

Los niveles críticos de oxígeno, probablemente se deben a la pérdida de biomasa viva de *N. guadalupensis* como resultado de un incremento abrupto de los niveles del agua. El comportamiento del oxígeno en el ciclo diario y a través de la profundidad evidencia claramente limitaciones para el desarrollo de una biota diversa y estable en la ciénaga El Eneal.

#### pH

En la tabla 5 se presentan los resultados de las mediciones nictemerales del pH.

En términos generales el comportamiento del pH indicó una gran estabilidad espacial y temporal en la ciénaga El Eneal. No obstante, se evidencia una ligera reducción de los valores de pH asociados al período de aguas altas. Los valores de pH a través de la columna de agua no reflejan el comportamiento del oxígeno disuelto con reducciones significativas de las concentraciones en las zonas más profundas para este gas. Este hecho indica una buena capacidad de amortiguamiento del agua.

**Tabla 5** Estadígrafos de los valores del pH en los cuatro muestreos

<b>Estadígrafos del pH</b>	<b>Estación uno/muestreo</b>				<b>Estación dos/muestreo</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
N.º de datos	40	48	99	72	21	40	90	63
Media	8,57	8,36	7,32	7,83	8,40	8,29	7,33	7,79
Varianza	0,08	0,12	0,04	0,02	0,18	0,16	0,01	0,02
Valor mínimo	8,19	7,80	6,90	7,10	7,71	7,70	6,92	7,30
Valor máximo	9,50	9,02	7,75	7,99	8,96	9,20	7,60	7,99
Rango	1,31	1,22	0,85	0,89	1,25	1,50	0,68	0,69
Percentil 25	8,34	8,02	7,20	7,80	7,97	7,94	7,26	7,75
Percentil 50	8,52	8,22	7,34	7,84	8,50	8,31	7,34	7,80
Percentil 75	8,74	8,68	7,43	7,91	8,80	8,50	7,42	7,90

### *Conductividad eléctrica*

La conductividad eléctrica mostró una gran estabilidad a través de la columna de agua y en consecuencia no se encontraron gradientes asociados a la profundidad ni diferencias significativas en el ciclo diario. Sin embargo, se presentaron diferencias importantes en la conductividad asociadas a los períodos climáticos. Mientras que en los muestreos de aguas bajas la conductividad alcanzó valores altos de 6.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en mayo, en noviembre los valores de conductividad no superaron los 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### *Salinidad*

En concordancia con los valores de conductividad, la salinidad también exhibió una gran homogeneidad a través de la columna de agua, indicando la presencia de condiciones de mezcla. Con relación al comportamiento estacional de esta variable se evidenció un cambio importante de los valores, desde 3,4 ppm durante el período de aguas bajas a 0,0 ppm durante el período de aguas altas. Los valores de salinidad durante el período seco explican los altos valores de la conductividad durante esta época en la ciénaga El Eneal y están relacionados directamente con el comportamiento del pH que fue básico.

Las variables que evidenciaron más diferencias en su comportamiento, relacionados con la estacionalidad climática fueron el oxígeno disuelto, la conductividad y la salinidad.

## **Conclusiones**

La ciénaga El Eneal es un sistema poco profundo, con una profundidad promedio de dos metros. Esta característica asociada a la vegetación macrofita tanto litoral y sumergida, afectan la distribución de la temperatura, los gases disueltos y los nutrientes en la columna de agua.

El sistema es un ambiente completamente mezclado desde el punto de vista térmico como consecuencia de la acción de los vientos, de su morfología y de su ubicación cerca de la línea costera.

La ciénaga El Eneal, es en época seca un ambiente oligohalino; sin embargo, la mayor parte del tiempo el sistema puede considerarse como un ambiente limnético. En épocas prolongadas de sequía, la salinidad alcanzó su valor máximo de 3,4 ppm, lo cual podría constituir un factor limitante para comunidades de organismos estrictamente limnéticas.

El comportamiento del oxígeno no solo depende del tiempo, de la variación nictemeral, sino también de la presencia y distribución espacial de la macrófita *N. guadalupensis* con distribución subacuática.

A pesar de que el mapa batimétrico del sistema es relativamente uniforme, las pequeñas diferencias de profundidad asociadas a la poca disponibilidad de luz en la masa de agua, incide sobre la presencia-ausencia de *N. guadalupensis*. Cuando ésta se presenta induce la producción de oxígeno y su transferencia a la columna de agua. En los parches del fondo donde la macrófita sumergida se ausenta, el oxígeno se deflecta significativamente. Este fenómeno es claramente evidente en época seca y hace que la distribución del oxígeno en la ciénaga sea irregular.

### Agradecimientos

Colaboradores de la reserva natural Sanguaré, del Grupo GAIA y de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

### Referencias

1. A. Ramírez, G. Viña. *Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano-BP Exploration Company (Colombia) Ltda. 1998. pp. 131.
2. S. Asprilla, J. J. Ramírez, G. Roldán. "Caracterización limnológica de la ciénaga de Jotaudó (Chocó-Colombia)". *Revista actualidades Biológicas*. Vol. 20. 1998. pp. 87-107.
3. N. Junk. "Free aminoacids in lakes, concentrations and assimilation rates in relation to phytoplankton and bacterial population". *Limnol Oceanogr*. Vol. 32. 1987. pp. 97-111.
4. F. Patiño, F. Amaya. *Estudio Ecológico del Golfo de Morrosquillo*. Universidad Nacional de Colombia. 1993. pp. 11-14.
5. WPCF, APHA, AWWA. *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17ª ed. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid. 1992. pp. 1816.
6. D. E. Johnson. *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. Internacional Thomson editores. Madrid. 1998. pp. 4 -221.
7. U. de A. Corporación Académica Ambiental (CAA). *Evaluación socioeconómica y ecológica para el ordenamiento pesquero en las ciénagas de Tumaradó, Perancho y Ungía*. Universidad de Antioquia. Medellín-Colombia. 2001. pp. 14.
8. U. de A. CAA, Corporación Ciénaga de Cachimbero, GAIA. *Estudio Ecológico de la Ciénaga de Cachimbero*. Universidad de Antioquia. Medellín. 2004. pp. 33.
9. U. de A. GAIA. *Análisis de la relación río-ciénaga y su efecto sobre la producción pesquera en el sistema cenagoso de Ayapel, Colombia*. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. 2005. pp. 159-164.