

Caracterización hidroquímica del Gran Humedal del Norte, Ciego de Ávila, Cuba

Homero Menéndez Pérez
Roberto Díaz Martínez
Roberto González de Zayas
Jacinto A González Fernández

Resumen

Se realizó una caracterización hidroquímica de las bahías interiores Los Perros y Jigüey, del Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila para establecer los factores que provocan modificaciones en las propiedades físico-químicas del ambiente hídrico y el estado de conservación o de deterioro actual del acuatorio. El comportamiento espacio-temporal de la temperatura, salinidad, porcentaje de saturación de oxígeno y pH se evaluó a partir de los resultados analíticos de once muestras de agua y de los mapas de distribución espacio-temporal generados en Surfer 8.0. Se encontró que en las bahías interiores Los Perros y Jigüey el intercambio con el agua del océano, la profundidad de fondo del acuatorio y, en menor medida, el escurrimiento superficial de las aguas son los factores que más influyen en el comportamiento espacio-temporal de las propiedades analizadas, por lo que se recomienda conectar las lagunas interiores con las aguas del océano para favorecer la disminución de la salinidad, el aumento del pH y temperaturas más estables durante todo el año.

Palabras clave

Hidroquímica; humedal; temperatura; salinidad; saturación de oxígeno; pH.

Hydrochemical characterization of the Northern Great Wetland of Ciego de Ávila, Cuba

Abstract

A hydrochemical characterization of the Northern Great Wetland of Ciego de Ávila province, Cuba, was carried out in order to identify the factors changing water physical and chemical properties and the current status of conservation or deterioration of the aquatic environment. Temporal and spatial behavior of temperature, salinity, oxygen saturation percentage and pH was evaluated based on analytical results from eleven water samples and temporal and spatial distribution maps generated using Surfer 8.0. It was found that interchange of ocean water, depth of aquatic bed and, to a lesser extent, surface water drainage in inland bays Los Perros and Jigüey are the factors which most influence temporal and spatial behavior of the properties analyzed; therefore, it is recommended to interconnect inland lakes with ocean water to contribute to the decrease of salinity and increase of pH and have more stable temperatures throughout the year.

Key words

Hydrochemistry; wetland; temperature; salinity; oxygen saturation; pH

INTRODUCCIÓN

Entre las causas que provocan cambios desfavorables en las características ecológicas de un humedal están los cambios en el régimen hídrico, la contaminación de las aguas y la modificación física (<http://www.ramsar.org/index.html>). A partir 1985, con vista al desarrollo turístico del archipiélago Sabana-Camagüey y como parte de la creación de una infraestructura que soportara dicho desarrollo, se inició la construcción de obras ingenieriles que enlazaran a Cuba con la cayería norte, quedando terminados en 1989 los pedraplenes Turiguanó-Cayo Coco y Cayo Coco-Paredón Grande. Estas obras han provocado cambios en algunos de los parámetros físico-químicos, así como en las comunidades bióticas allí presentes (Figura 1).

La convención sobre los humedales, celebrada del 19 al 27 de marzo de 1996 en Brisbane, Australia, elaboró varias recomendaciones entre ellas, la número 6.8, relacionada con la planificación estratégica de zonas costeras, y en el acápite 3 plantea que la planificación de las zonas costeras ha de abarcar todos los tipos de humedales y zonas aledañas de refugio para aves costeras y otras aves acuáticas, con inclusión, entre otros, de los sistemas de humedales de agua dulce que estén asociados, las lagunas costeras, las bahías, las caletas, los manglares, los bosques de algas, los lagos suspendidos, los pantanos de agua dulce y los estuarios, así como las zonas intermareales y hasta donde el agua en marea baja alcanza los seis metros de profundidad; en su acápite 4 reconoce la importancia económica, ecológica, cultural y recreativa de las zonas costeras, en particular en los pequeños estados insulares en desarrollo y en otros países (<http://www.ramsar.org/index.html>).

Los ecosistemas de humedales están adaptados al régimen hidrológico del que dependen (Valdés & Campoy 1994). La variación espacial y temporal de la profundidad de las aguas, el régimen de circulación de las corrientes y la calidad de los recursos hídricos, así como la frecuencia y duración de las inundaciones, suelen ser los factores más importantes que determinan las características

ecológicas de un humedal. Los humedales costeros y marinos dependen a menudo en gran medida de las entradas de agua dulce y de los nutrientes y sedimentos que aportan los ríos (<http://www.ramsar.org/index.html>).

El impacto en los humedales puede deberse tanto a las actividades humanas que se llevan a cabo en su interior como, por efecto de la interconectividad del ciclo hidrológico, a las actividades que tienen lugar en la cuenca más amplia. La modificación antrópica del régimen hidrológico mediante la extracción de agua (incluidas las aguas subterráneas) o la alteración de las corrientes, pueden tener consecuencias perjudiciales para la integridad de los ecosistemas de humedales. El aflujo insuficiente de agua a los humedales, debido a su absorción, almacenamiento y desvío para el abastecimiento a la población, la agricultura, la industria y la producción hidroeléctrica, es una de las causas principales de la pérdida y degradación de los humedales. Un requisito clave para su conservación y uso racional es proveerlos oportunamente de agua de buena calidad en cantidad adecuada (<http://www.ramsar.org/index.html>).

El aprovechamiento sostenido de los recursos hídricos de los humedales, las variaciones hidroquímicas que han ocurrido como consecuencia de la retención de los cauces naturales de los ríos y la constante entrada de agua dulce con sedimentos por medio del drenaje superficial, así como su conexión limitada con el agua de mar, ha creado diversos problemas ambientales así como conflictos entre los principales sectores productivos (turismo) dependientes de tan importantes áreas naturales. La construcción de un pedraplén en la bahía Los Perros para conectar la tierra firme con Cayo Coco es uno de los elementos antrópicos que más ha impactado este sector del Gran Humedal.

En el área del humedal se encuentra el tercer polo turístico del país, visitado por más de 200 mil turistas anualmente. La actividad turística en Cayo Coco y Cayo Romano ejerce una enorme presión sobre el Gran Humedal del Norte (GHN) de Ciego de Ávila,

expresada en la destrucción de los recursos naturales, la carga de contaminantes, la conversión y el relleno, todo lo cual tiene un impacto sobre la diversidad biológica existente en las bahías interiores Los Perros y Jigüey.

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la hidroquímica del GHN de Ciego de Ávila, específicamente en las bahías Los Perros y Jigüey, a partir del comportamiento espacio-temporal de la temperatura, salinidad, porcentaje de saturación de oxígeno y pH, con la finalidad de conocer los factores que provocan modificaciones en las propiedades físico-químicas del ambiente hídrico y el estado de conservación o de deterioro actual del acuatorio. Para ello se precisaron las tareas siguientes:

1. Caracterizar, desde el punto de vista físico-químico, las aguas de las bahías interiores.
2. Establecer las relaciones hidrogeoquímicas entre los parámetros temperatura, salinidad, saturación de oxígeno y pH.
3. Establecer los mecanismos que permitan un mejor manejo del GHN de Ciego de Ávila a partir de las particularidades geoquímicas establecidas mediante el estudio de las aguas de las bahías interiores.

1.1 Características físico-geográficas y económicas del área

El GHN se ubica al norte de la provincia de Ciego de Ávila (en la región central del país) y ocupa un área de 226 875 ha, abarcando la mayor parte de la costa, zona marítima inmediata y cayos adyacentes (Alcolado *et al.* 2007).

El área de estudio abarcó las bahías interiores Los Perros y Jigüey (Figura 1). Se caracteriza por tener más del 40 % de su área ocupada por bajos fangosos, con profundidades que varían entre 0,30-0,50 m fundamentalmente hacia la zona norte y central. Las profundidades mayores reportadas oscilan entre 2,10-3,00 m (Academia de Ciencias de Ciego de Ávila 1985). Estas bahías interiores poseen limitado intercambio con el agua oceánica como consecuencia de estar limitadas por la cayería del norte de Ciego de Ávila y el pedraplén de Cayo Coco.

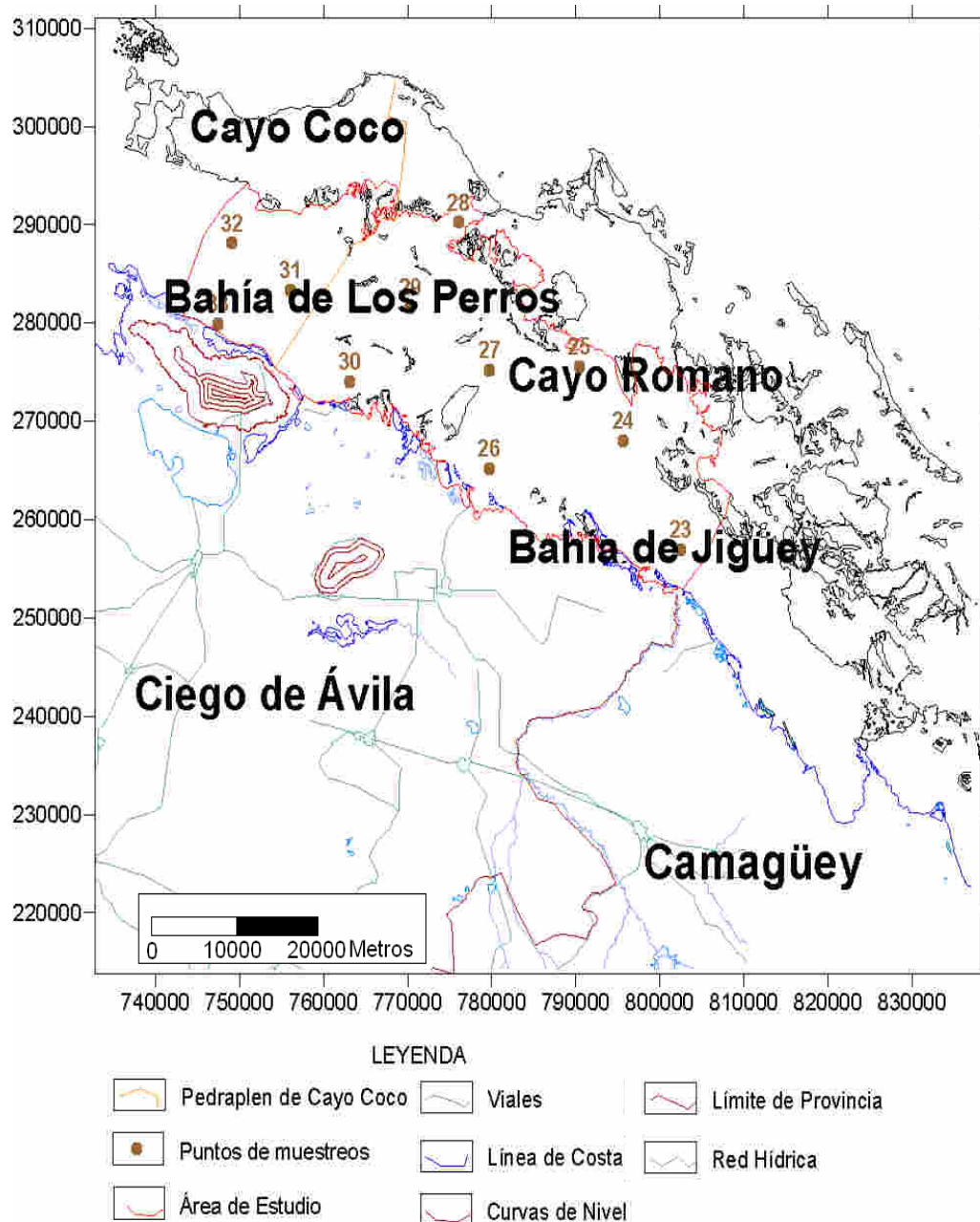


Figura 1. Ubicación del área de estudio y red de muestreo.

Las características geográficas de la zona nunca han propiciado un escurrimiento superficial abundante hacia el área de estudio (en 1988 no pasaba de 140 millones m³/año). Los principales ríos que desaguan en dicha área son el Calvario y el Junco–Los Naranjos de la actual provincia de Ciego de Ávila, y el Caonao, de la provincia de Camagüey. Además, existían otros aportes de aguas continentales a través de los canales de Chicota (desagüe de las lagunas de La Leche y La Redonda), de Manatí (desagüe del Canal de La Yana) y de las aguas prove-

nientes de la zona inundable permanentemente y de las cuencas subterráneas de Morón y Bolivia (Academia de Ciencias de Ciego de Ávila 1985).

El mayor aporte de agua continental hacia el área de estudio fue reportado entre 1989 y 1990, mediante los cierres de los esteros Socorro y Chicola y el cierre del canal de Manatí. Además, en febrero de 1990 se cerró, temporalmente, la Pasa de Paredón Grande (área de la estación 28), única área por la que existía intercambio directo de agua entre las bahías interiores y el océano, la que nunca ha vuelto a tener el caudal de agua inicial. Todas estas condiciones antrópicas han propiciado que el aporte de aguas continentales hacia el área de estudio se haya reducido hasta valores no calculados. Actualmente, la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Ciego de Ávila realiza estudios topográficos de las áreas inundables con el propósito de calcular las reservas de agua superficial y la regulación de su aporte periódico hacia las bahías interiores (Gobierno Provincial de Ciego de Ávila, comunicación personal).

El clima de la región se clasifica, según Koppen (1918), como clima tropical húmedo, con dos periodos bien definidos por las precipitaciones, uno poco lluvioso o periodo seco, desde noviembre hasta abril, y otro lluvioso o húmedo, de mayo a octubre.

Generalmente, la zona de estudio presenta temperaturas cálidas durante todo el año, con una media anual de 26 °C. El mes más frío es febrero, con una temperatura media de 23,4 °C y el más caluroso es julio, con temperaturas medias de 28,4 °C.

Las precipitaciones anuales promedio son inferiores a 1 200 mm, con mínimas de 200 a 300 mm en el período poco lluvioso, de noviembre a abril, y máximas de 1 100 a 1 200 mm durante el período lluvioso, de mayo a octubre (ACC, 1993).

El régimen de vientos muestra un predominio de los alisios provenientes del este y del noroeste. Durante el invierno actúan vientos fríos del norte y del noroeste que originan lluvias, por lo general de baja intensidad. La marea es débil, con una amplitud que varía entre 0,5 y 1,0 m (ACC, 1993).

La vegetación dominante en ambas bahías es de *Batophora oerstedii* y *Halodule weightii*, típicos representantes de especies eurohalinas. Su diversidad y riqueza de especies está condicionada por la turbidez, la salinidad, el intercambio de agua y el régimen de las corrientes marinas, disminuyendo su densidad hacia la bahía de Jigüey (Gandoy 1993).

La fauna esta representada fundamentalmente por especies eurohalinas como la chopá, el patao, el ponpón, y en menor proporción el macabí, entre otros. En ocasiones se pueden observar toninas, disminuyendo su variedad hacia la bahía de Jigüey. Existe una amplia variedad de aves migratorias como el flamenco, la corúa, el rabricortado, el coco, entre otros (ACC & ICGC 1990b)

2. MARCO GEOLÓGICO

De acuerdo con los modelos existentes sobre la constitución geológica de la isla de Cuba (Iturralde-Vinent, 1998), en la región de estudio están presentes materiales pertenecientes al substrato plegado, tanto de naturaleza continental como oceánica y los materiales del Neoautóctono (Figura 2).

Los materiales pertenecientes al sustrato plegado, de naturaleza continental forman parte de la plataforma mesozoica de Las Bahamas y están compuestos por rocas carbonatadas de aguas someras y evaporitas. Al norte de Ciego de Ávila, en la zona de Cayo Coco y la faja costera, se reconocen secuencias de evaporitas del Jurásico, bajo potentes paquetes de dolomías, anhidritas y calizas de agua someras, del Jurásico Superior-Albiense (Meyerhoff & Hatten 1968).

El elemento geológico más importante en la zona lo constituye el domo salino de Turiguanó y otras pequeñas intrusiones salinas, de edad Jurásico Superior, que se extienden en dirección NW-SE. Los materiales de naturaleza oceánica están representados por las ofiolitas septentrionales y rocas volcánicas de arco.

Ocupando la mayor parte de la superficie del territorio de la provincia se hallan las rocas pertenecientes al segundo nivel estructural principal en el que se divide el modelo geológico de Cuba, las cuales se originaron después de la consolidación del substrato plegado, a partir del Eoceno Superior hasta el Reciente. Según Iturralde-Vinent (1978), durante esta etapa y hasta el presente dominan los movimientos verticales oscilatorios que dieron lugar a la formación de una estructura de bloques distintamente elevados. Estos depósitos muestran muy pocas deformaciones y cubren casi subhorizontalmente de forma discordante al substrato plegado (Iturralde-Vinent, 1988).

En estos sedimentos se pueden reconocer tres ciclos sedimentarios o estadios de transformación de la paleogeografía. Un estadio del Eoceno Superior al Oligoceno, caracterizado por la presencia de facies terrígenas y siliciclásticas, derivadas de la erosión de rocas preexistentes. Sobre este conjunto terrígeno se fueron acumulando sedimentos carbonatados que predominan hacia la porción superior del mismo. Otro estadio se extiende desde el Mioceno Inferior hasta Medio Superior, con características estratigráficas más uniformes, mostrando un predominio de facies carbonatadas. Los sedimentos propios del tercer estadio de sedimentación del Neoautóctono cubano ocupan el período comprendido entre el Plioceno al Reciente. En los mismos se evidencia un marcado carácter terrígeno, las cuales se conforman por calizas órgano detríticas, calcarenitas, biocalcarenitas y biolititas (Figura 2).

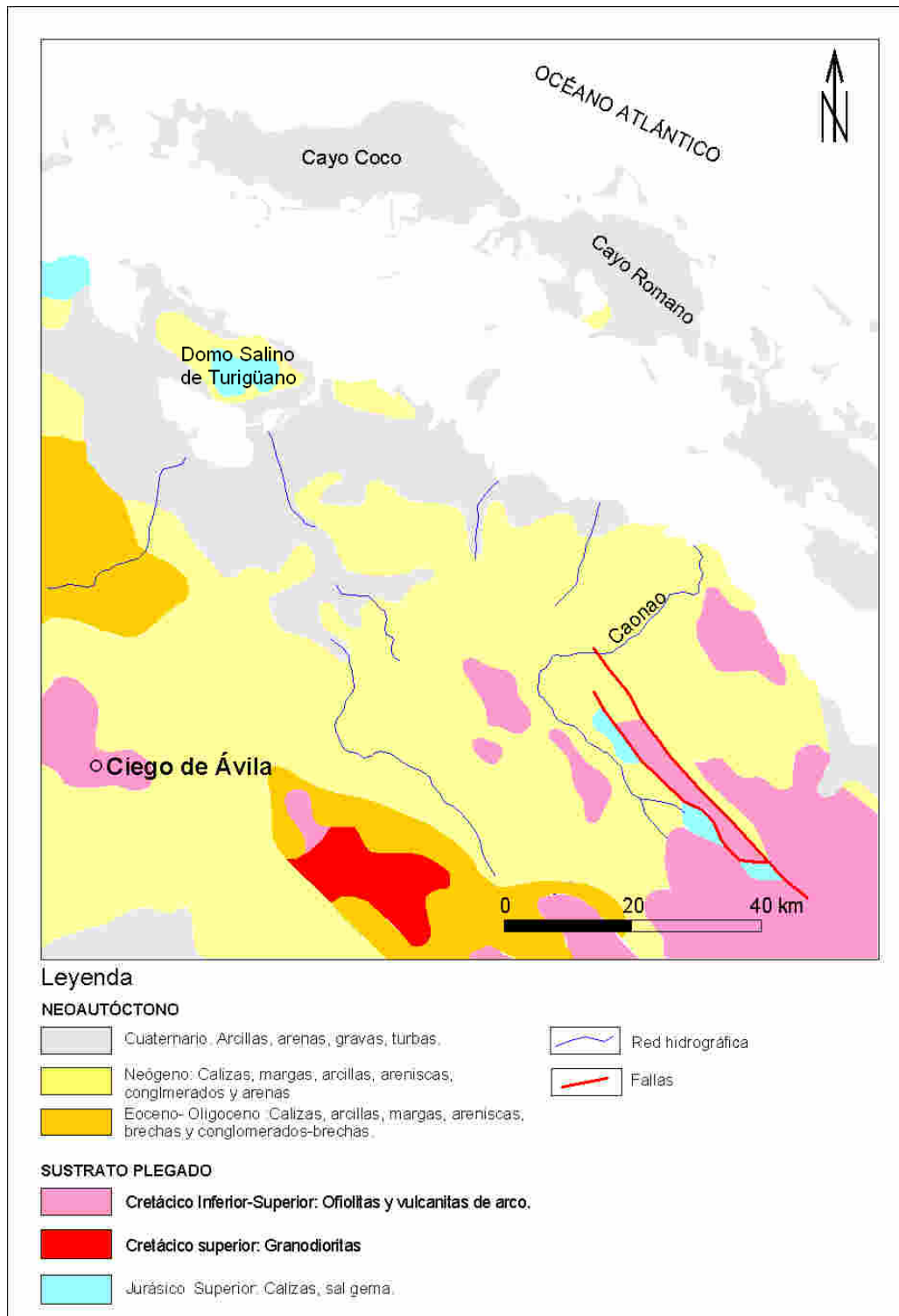


Figura 2. Mapa geológico regional de la provincia Ciego de Ávila (modificado del mapa geológico de la República de Cuba, 1:1 500 000 (Atlas República de Cuba, 1981).

La geología del área de estudio es poco compleja, tanto litológica como tectónicamente. Desde el punto de vista litológico el área está

compuesta fundamentalmente por calcarenitas biodetríticas masivas de color blanco crema, generalmente carsificadas y en ocasiones agrietadas, de edad Pleistoceno Medio Superior "Seco". Aflora en los fondos de los canalizos donde la corriente no permite la acumulación de los sedimentos friables. El ambiente de sedimentación predominante es el de las facies de playa, postarrecifal, y más limitadamente arrecifal. El espesor de esta formación probablemente excede los 10 m. Sedimentos más jóvenes, del Holoceno Tardío componen la capa superficial y se distribuyen en el fondo de la bahías interiores, canalizos y alguno sectores costeros; están constituidos por turba, arenas arcillosas, limos, limos arenosos y arenas. Estos sedimentos están formados, fundamentalmente, por restos de Halimedas, en ocasiones con un alto contenido de fósiles, como bivalvos, moluscos y corales. Los ambientes de sedimentación predominantes son los palustres y lacustres de playa. (Empresa Geocuba, 2002).

Hacia las partes centrales y extremos de algunos canales, donde las corrientes no son muy fuertes, así como en algunos sectores que permanecen inundados ocasionalmente, existe un predominio de arenas, arenas limosas, limos arenosos y limos de color blanco crema, con granulometría variada, presentando espesores que oscilan entre 0,50 y 4 m de profundidad. Hacia los manglares predominan los depósitos de turba, que pueden alcanzar espesores entre uno y cuatro metros. Los eventos tectónicos presentes no son relevantes, debido al predominio de los sedimentos cuaternarios (período tectónicamente pasivo) y por tanto cubre los eventos de mayor envergadura. No obstante, se debe destacar que la linealidad que presenta la costa nororiental sugiere la presencia de movimientos neotectónicos de ascenso que deben ser esclarecidos en futuras investigaciones. La plataforma insular nororiental donde se enmarca el área investigada, puede definirse como una unidad morfoestructural, resultado de la tendencia general de los movimientos neotectónicos, las sucesivas regresiones y transgresiones marinas, la posición actual del nivel del mar y el desarrollo de procesos climáticos, biogénicos e hidrodinámicos (Empresa Geocuba 2002).

El humedal se desarrolla en una zona muy llana, con escaso relieve vertical (inferior a 10 m en general) y accidentes cársicos superficia-

les poco profundos. El borde costero del humedal se caracteriza por lagunas, ciénagas, esteros y otras formas; en algunos sectores se han producido acciones de canalizaciones (pólderes de Turiguanó). Las pendientes son inferiores al 0,8% en toda su extensión y en los fondos marinos (que forman parte del humedal) son inferiores al 3% (Empresa Geocuba 2002).

Geomorfológicamente, en síntesis, el humedal presenta una zona de llanura lacuno-palustre acumulativa, cenagosa, plana hacia el sur, continua con una zona del fondo marino de plataforma insular abrasivo-acumulativa, se interrumpe más al norte por la llanura lacuno-palustre de los 4 cayos (en su porción meridional) y termina en el borde norte de los cayos de nuevo en la misma plataforma insular abrasivo-acumulativa (Empresa Geocuba 2002).

Los suelos son del tipo hidromórficos pantanosos con subtipo turbosos, excepto en las partes más altas interiores (Turiguanó y Cayo Coco), que son húmicos calcimórficos típicos.

Extensas playas al norte de la cayería le confieren un enorme atractivo turístico, donde actualmente se desarrollan los polos turísticos más importantes de Ciego de Ávila, las playas de Cayo Coco y Cayo Romano, de trascendencia internacional (Empresa Geocuba 2002).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Muestreo

Las estaciones para el muestreo en la bahía se eligieron bajo el criterio de la dinámica de circulación y las características geográficas de la zona. Se seleccionaron 11 estaciones de muestreo (ver Figura 1) y se realizaron tres campañas de muestreo: época lluviosa del año 2005, época poco lluviosa comprendida entre el 2005 y el 2006 y la época lluviosa del año 2006. Las campañas se realizaron al final de cada etapa climática anual, según las precipitaciones en el archipiélago.

El muestreo en cada campaña se ejecutó en un barco de pequeño calado, durante las mareas vivas, comenzando en horas de la mañana, independientemente del ciclo de marea imperante en ese momento.

En cada una de las estaciones se colectaron 3 muestras de agua de forma manual, con una botella oceanográfica tipo Niskin, de 2 litros de capacidad, a la profundidad de 0,30 m de la superficie, independiente de la potencia de la capa de agua en el área investigada del GHN, la que varió entre 0,70 y 2,50 m. El orden de toma de muestras en cada una de las estaciones, a partir del comienzo de las mismas (08:00 a.m.), fue el siguiente: 26, 30, 33, 32, 31, 28, 29, 27, 25, 24 y 23.

3.2 Métodos analíticos

3.2.1 Salinidad

La salinidad es una medida de la cantidad (en gramos) de sustancias sólidas disueltas por kilogramos de agua de mar. Actualmente este parámetro se mide a partir de su conductividad eléctrica (IOC-UNESCO 1983). En esta investigación la salinidad se midió *in situ* empleando un refractómetro marca ATAGO con precisión de 1‰.

3.2.2 Temperatura

La temperatura del agua se determinó *in situ*, mediante un termómetro TM-4 con precisión 0,1 °C. En todas las estaciones de muestreo se realizaron mediciones en los periodos lluviosos y poco lluviosos de los años 2005 y 2006.

3.2.3 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto también se determinó *in situ*, utilizando un oxímetro digital, marca Hach, con precisión de 0,01 mg/L.

3.2.4 Porcentaje de saturación de oxígeno

El valor de saturación se calculó mediante la ecuación de Weiss (IOC-UNESCO 1983) a partir de los valores de temperatura (°C), salinidad (‰) y concentración de oxígeno disuelto (ml/L). Para determinar el valor de fondo del porcentaje de saturación de oxígeno se tomó un valor de temperatura de 27 °C, salinidad de 35 ‰ y valor medio de oxígeno disuelto de 4 ml/L, lo que dio un valor de 61,08%.

3.2.5 pH

El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. Por

ejemplo, las reacciones del cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor de entre 6,5 y 8 (http://www.lenntech.com/español/feedback_esp.htm).

El pH se obtuvo mediante un pHmetro. Se emplearon soluciones buffer de pH 4, 6, 8 y 9. El procedimiento consistió en medir el pH *in situ*.

El pH_{*in situ*} se calcula a partir de la expresión (IOC-UNESCO 1983):

$$pH_{in\ situ} = pH_{medio} + 0,0118 (t_2 - t_1)$$

Donde:

t₁- temperatura *in situ*.

t₂- temperatura de medición.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comportamiento espacio-temporal de la temperatura

Atendiendo a la ubicación y características físico-geográficas del área de estudio se estableció que el comportamiento de la temperatura del agua en el GHN de Ciego de Ávila depende de varios parámetros:

- Los niveles de profundidad del fondo
- El nivel de su intercambio con otras aguas más abiertas al océano
- Las precipitaciones que favorecen la existencia de temperaturas superficiales inferiores en sus aguas.

Según el mapa de distribución de la temperatura del agua en la temporada lluviosa del 2005 (Figura 3) en el GHN de Ciego de Ávila, los mayores valores se registran al norte de la bahía de Jigüey, en los alrededores de las estaciones 24, 25 y 27, con temperaturas de 29,2; 29,2 y 28,6 °C, respectivamente, mientras que hacia la porción occidental de la bahía de Los Perros los valores son más bajos llegando al valor mínimo de 26,4 °C en la estación 28 donde existe intercambio directo con el agua del océano. El valor medio de temperatura en esta temporada fue de 27,85 °C.

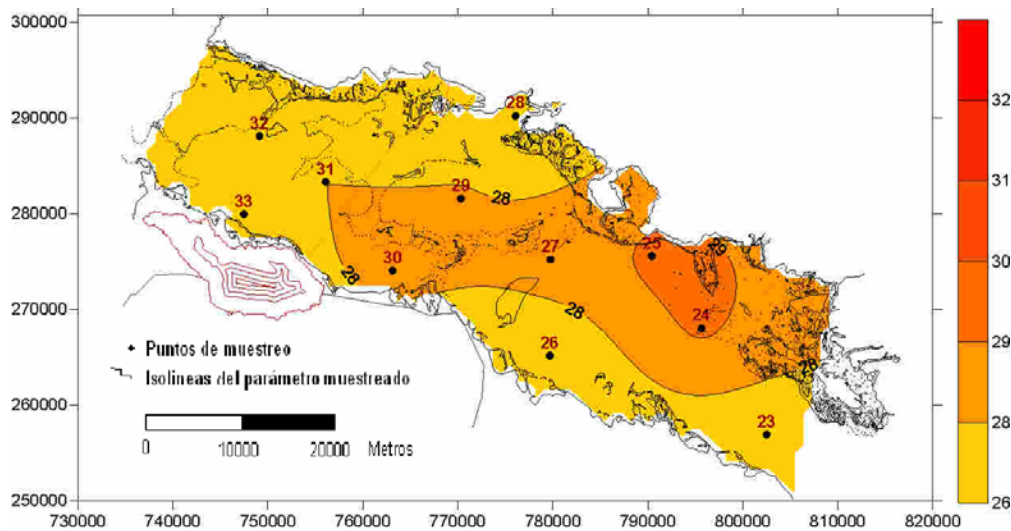


Figura 3. Comportamiento espacio-temporal de la temperatura en la temporada lluviosa del año 2005.

La temperatura del agua en la temporada poco lluviosa de los años 2005-2006 (Figura 4) se elevó aproximadamente dos grados con respecto al periodo lluvioso del año 2005. Se alcanzan valores de $28,2^{\circ}\text{C}$ en el extremo occidental de la bahía Los Perros hasta $31,8^{\circ}\text{C}$ al norte de la bahía Jigüey, principalmente en las estaciones 24 y 25. Este comportamiento espacio-temporal de la temperatura en el periodo poco lluvioso está dado por un mayor valor de esta variable en la capa superficial de agua durante ese periodo, a lo que contribuye la poca profundidad del fondo del acuatorio.

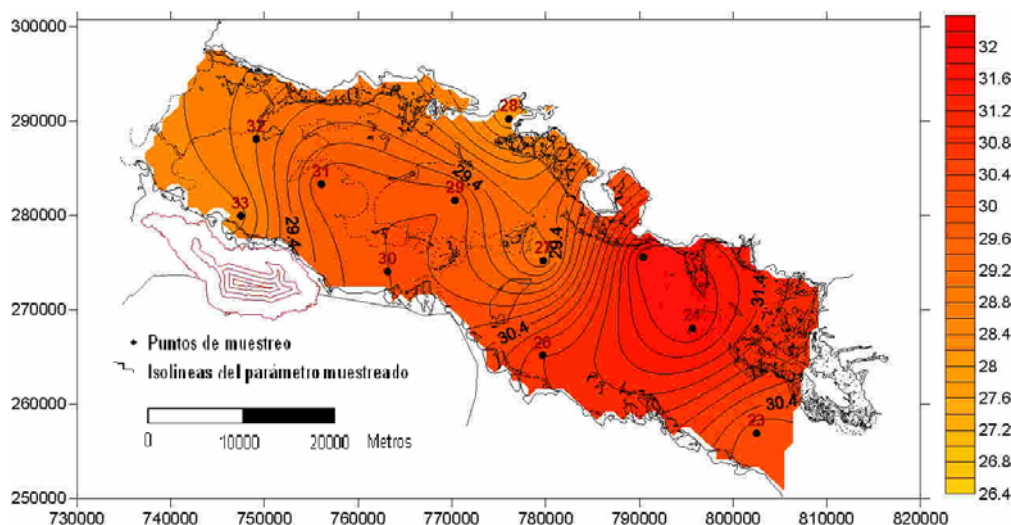


Figura 4. Comportamiento de la temperatura en la temporada poco lluviosa 2005-2006.

En la temporada lluviosa del año 2006 (Figura 5) la temperatura tuvo un comportamiento espacio-temporal más homogéneo. El valor medio fue de $28,59\text{ }^{\circ}\text{C}$, un grado más elevado que en igual periodo lluvioso del año 2005. Esto se debe a que el periodo lluvioso del año 2006 fue algo más seco que en el 2005.

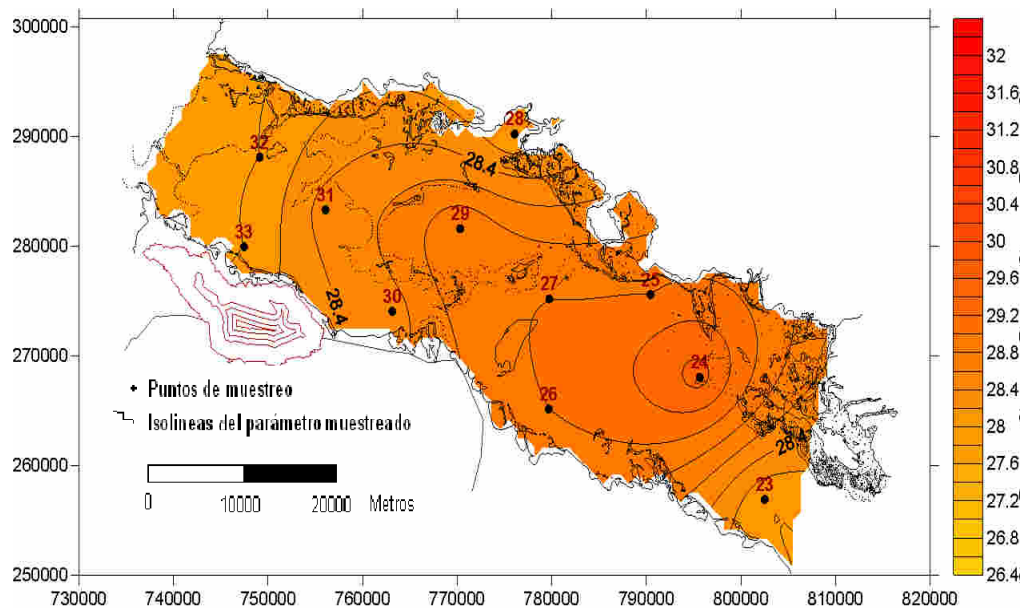


Figura 5. Comportamiento espacio temporal de la temperatura en la temporada lluviosa del año 2006.

La distribución espacio-temporal de la temperatura durante las temporadas lluviosa y poco lluviosa se correspondieron con las características fisiográficas y climáticas de la zona de estudio. Los valores medios en las tres temporadas estudiadas fueron de $27,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2005); $29,95\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2005-2006) y $28,59\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2006). En sentido general se aprecia una disminución de la temperatura hacia la zona oeste y noroeste de la bahía de Los Perros, que en mayor o menor medida persiste durante las 3 temporadas, causadas fundamentalmente por el intercambio de sus aguas con las de la bahía de Buenavista, de valores térmicos inferiores por provenir de zonas más profundas y con aceptable intercambio con aguas oceánicas. En las zonas de intercambio de agua, las temperaturas generalmente son bajas, independientemente de la profundidad del fondo de las bahías interiores. Por esta razón en la zona occidental, donde el intercambio con las aguas provenientes del océano es permanente, las temperaturas, independientemente del periodo de lluvia, siempre son más bajas que

en los sectores orientales, con excepción de aquellos puntos de mayor profundidad.

Se puede concluir que el comportamiento espacio-temporal de la temperatura del agua en las bahías interiores Los Perros y Jigüey, depende de factores tales como el intercambio existente con el agua del océano, la profundidad del lecho marino y las precipitaciones. El primero de ellos es perfectamente controlable por el hombre mediante la apertura de canales de interconexión con el océano y una mejor conexión con la bahía Buenavista, al noroeste de la bahía Los Perros, que sí tiene comunicación directa con el océano.

4.2 Comportamiento espacio-temporal de la salinidad

La salinidad del agua es un parámetro químico que depende de la concentración de sales disueltas y de la temperatura, que a su vez depende de la profundidad del fondo marino; además, en su comportamiento influyen las precipitaciones, la escorrentía superficial y subterránea y el intercambio con aguas de parámetros halinos cercanos a los oceánicos. En el océano libre la salinidad media es de aproximadamente 35‰, elevándose hasta el 40‰ en el Mar Rojo y en el Golfo Pérsico (Masson 1966). Según Clarke (1972), las aguas de lluvia arrastran alrededor de $27,35 \times 10^{14}$ gramos de sustancias disueltas, lo cual da una salinidad media para el agua de río de alrededor de 100‰. Sin embargo, los análisis de agua de río muestran salinidades comprendidas entre 13 y 9 185‰, aunque cifras superiores a 1 000 son poco frecuentes. Conway (1942) señala que las aguas con salinidad superior a 50‰ provienen de zonas compuestas principalmente de rocas eruptivas o metamórficas; cifras por encima de este valor (50‰) indican contaminación humana a gran escala o drenaje de regiones áridas donde son frecuentes suelos salinos.

La salinidad del agua en la parte marina del GHN de Ciego de Ávila se comporta de forma similar a la temperatura. Los valores de salinidad en el periodo lluvioso de 2005 (Figura 6) oscilan entre 50 y 70‰. Las variaciones espaciales indican que los mayores valores se distribuyen en las zonas menos profundas y sin intercambio de agua.

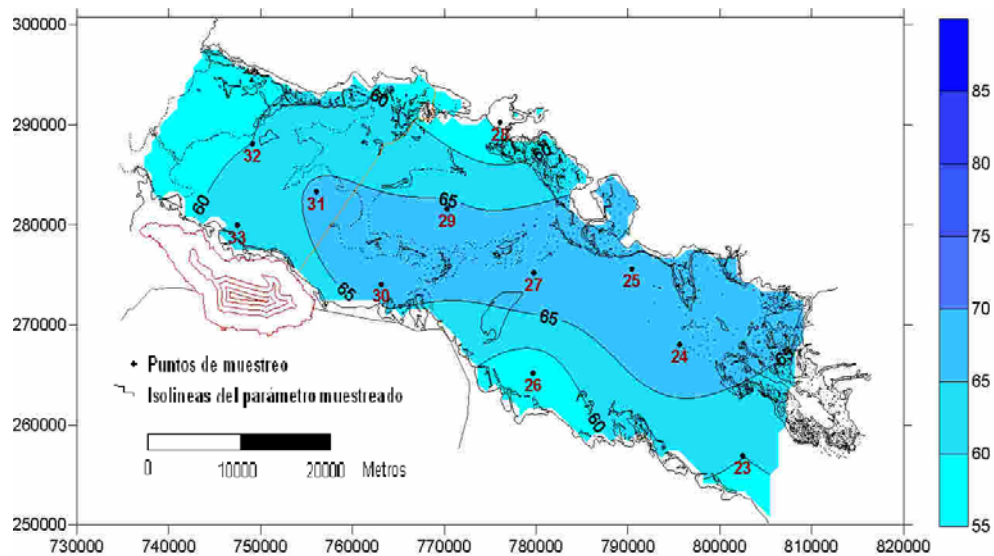


Figura 6. Comportamiento de la salinidad, temporada lluviosa del año 2005.

En el periodo poco lluvioso 2005-2006 (Figura 7) la salinidad alcanzó valores entre los 55 y 81‰, superando los registrados en la temporada lluviosa anterior, ya que los factores que influyen son los mismos.

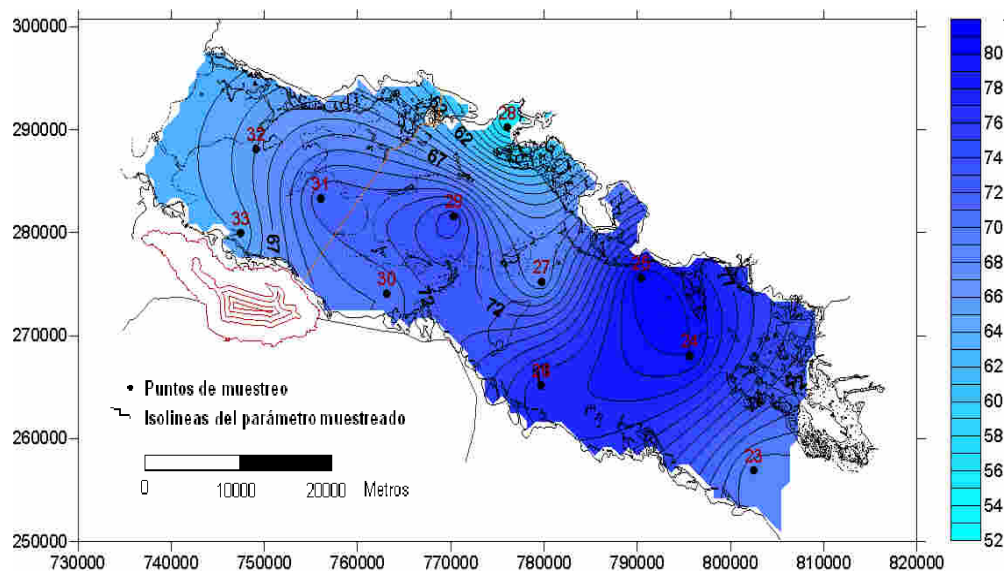


Figura 7. Comportamiento de la salinidad, temporada poco lluviosa 2005-2006.

En la temporada lluviosa del 2006 (Figura 8) los valores de la salinidad disminuyeron, encontrándose entre 52 y 67‰ y con similar distribución que las temporadas anteriores.

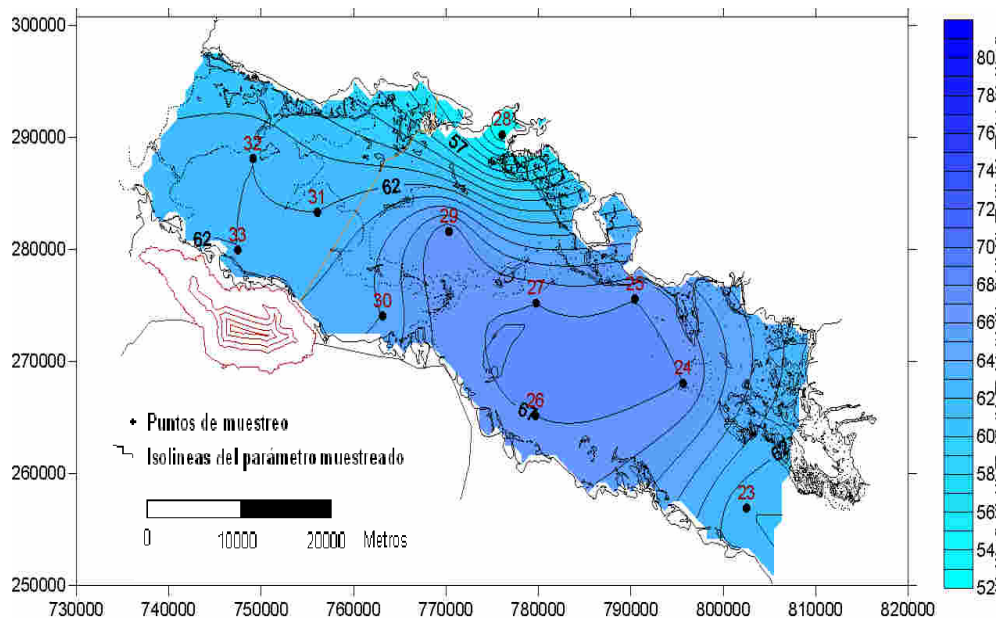


Figura 8. Comportamiento de la salinidad, temporada lluviosa 2006.

Durante las temporadas lluviosa y poco lluviosa 2005-2006 se aprecia una disminución de la salinidad del agua hacia el W y NW de la bahía de Los Perros debido al intercambio con las aguas de la bahía de Buenavista y a las precipitaciones, menos influyente durante la temporada poco lluviosa. Por otro lado hay que señalar que en esta zona la influencia de la profundidad en los niveles de salinidad parece no incidir, ya que es una zona con temperaturas moderadas para esta época.

Hacia la zona NE de las bahías, la salinidad aumenta como consecuencia de las altas temperaturas del agua, por encima de los 28°C; además, por la presencia de fondos a profundidades inferiores a los 0,30 m y al poco o nulo intercambio con aguas similares a las oceánicas.

Las aguas subterráneas influyen en el comportamiento del agua en los humedales (Buil-Gutierrez & Fernández-Escalante 2002), por lo que no se descarta que las aguas subterráneas que entran en contacto con el domo salino de Turiguanó alcancen las bahías interiores, sobre todo Los Perros, elevando su salinidad.

La zona SE de las bahías, costa NE de Ciego de Ávila, en la que se ubican las estaciones 23 y 26, presenta bajos valores de salinidad como consecuencia de mayores profundidades y de precipitaciones típicas de la temporada lluviosa. No obstante, durante la temporada lluviosa del 2006, los niveles halinos de la estación 26 no parece que fueran influenciados por el escurrimiento, quizás por el limitado aporte reportado por las precipitaciones de esa temporada. De igual manera sucede con el factor intercambio con aguas oceánicas, ya que son zonas cerradas. En el centro de la bahía se registraron los valores mayores de salinidad como consecuencia de ser una zona baja, con profundidades menores de 0,30 m; la temperatura y la falta de intercambio con aguas oceánicas influyeron notablemente.

Por todo lo antes expuesto se concluye que la salinidad en el GHN de Ciego de Ávila es elevada, con un factor de enriquecimiento de aproximadamente 2, lo que significa que se supera en dos órdenes su valor de fondo para las aguas marinas (35‰). Estas bahías interiores son consideradas hipersalinas (Alcolado *et al.* 2010); las causas fundamentales que provoca un aumento de la salinidad en la zona son la temperatura y el poco intercambio con las aguas oceánicas, que provoca una fuerte evaporación con el consiguiente aumento de la concentración de sales. La fauna existente en este humedal se ve amenazada por tales condiciones de vida, que solamente pueden ser adaptables para las eurohalinas. No se descarta la posible influencia de los domos salinos en el comportamiento de la salinidad del acuatorio.

4.3 Comportamiento espacio-temporal del porcentaje de saturación de oxígeno

En la Figura 9 se observa que el área ocupada por las estaciones 24, 25 y 27 presenta los menores valores de saturación de oxígeno con rangos que oscilan entre 67,82 y 68,43%. Estos valores están muy próximos a los valores de fondo, por lo que se consideran normales para esta temporada. En el resto del humedal los valores son algo superiores con rangos entre 70,26 y 71,80%.

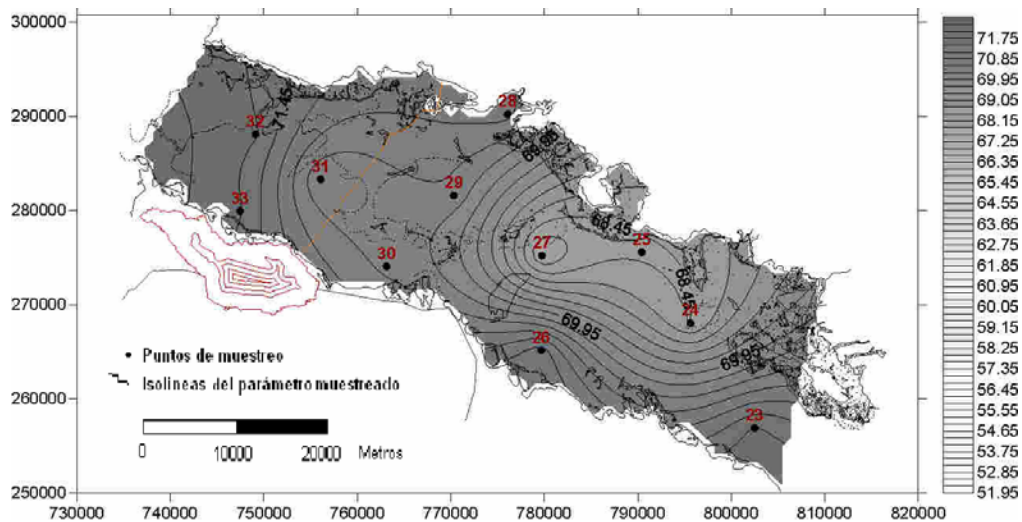


Figura 9. Comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno, temporada lluviosa 2005.

En el mapa de distribución de porcentaje de saturación de oxígeno, temporada poco lluviosa 2005-2006 (Figura 10) se observa una disminución del 4% con respecto al periodo lluvioso del 2005.

En la temporada de seca se observan valores por debajo de la media debido a una mayor concentración de sales disueltas; esto sucede en las zonas interiores donde no existe intercambio con el agua oceánica.

Los mayores valores se registran en la zona NW donde existe un intercambio permanente con el agua oceánica.

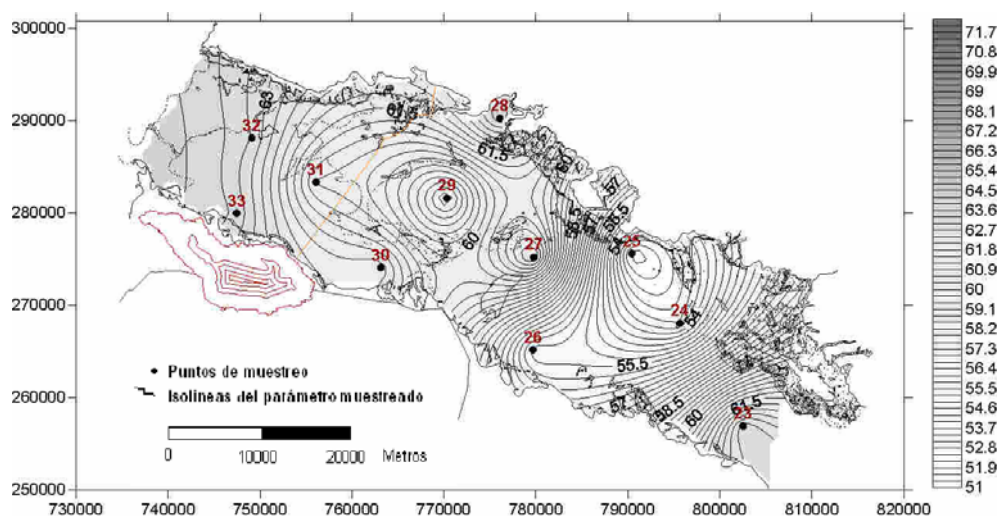


Figura 10. Comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno, temporada poco lluviosa 2005-2006.

La distribución del porcentaje de saturación de oxígeno en la temporada lluviosa del año 2006 (Figura 11) es muy similar a la de la temporada lluviosa del año 2005.

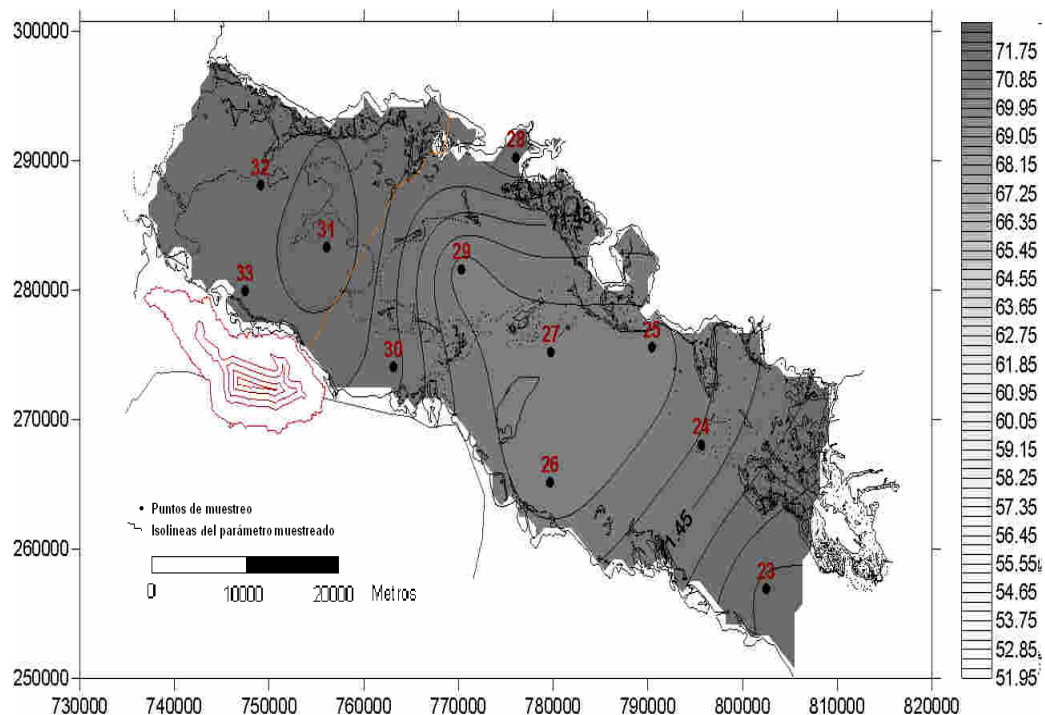


Figura 11. Distribución del porcentaje de saturación de oxígeno, temporada lluviosa 2006.

La distribución del porcentaje de saturación de oxígeno en las tres temporadas analizadas muestra que los mayores valores se distribuyeron en las zonas más frías y por consiguiente menos salinas, las cuales coinciden con los sectores W y NW del GHN. Por tanto, se puede concluir que este parámetro está influenciado por la temperatura y la salinidad del agua.

4.4 Comportamiento espacio-temporal del pH

En la temporada lluviosa del 2005 (Figura 12) el pH se distribuye de forma homogénea en todo el acuatorio del humedal, exceptuando la zona comprendida por las estaciones 24, 25 y 27, donde los valores descienden hasta 7,791. En el resto del área el pH se mantiene por encima de 8, ligeramente alcalino.

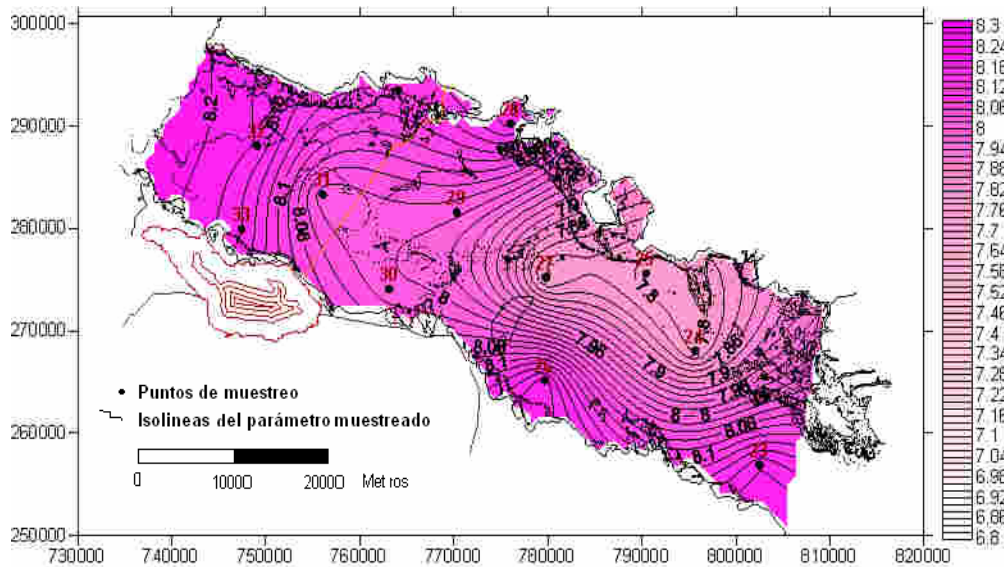


Figura 12. Distribución del pH en la temporada lluviosa del 2005.

La distribución del pH en la temporada poco lluviosa del año 2005-2006 en el GHN es muy irregular (Figura 13). Hacia la parte oriental los valores más bajos de pH forman una franja alineada en dirección a las estaciones 24, 25 y 26, con valores entre 6,96 y 7,18; es decir, que son aguas neutras. Similar situación ocurre en la estación 29 con un valor de 7,46. Hacia la zona W y NW las aguas del humedal entran en contacto con aguas oceánicas y pese a que es una temporada poco lluviosa el pH se mantiene por encima de 8.

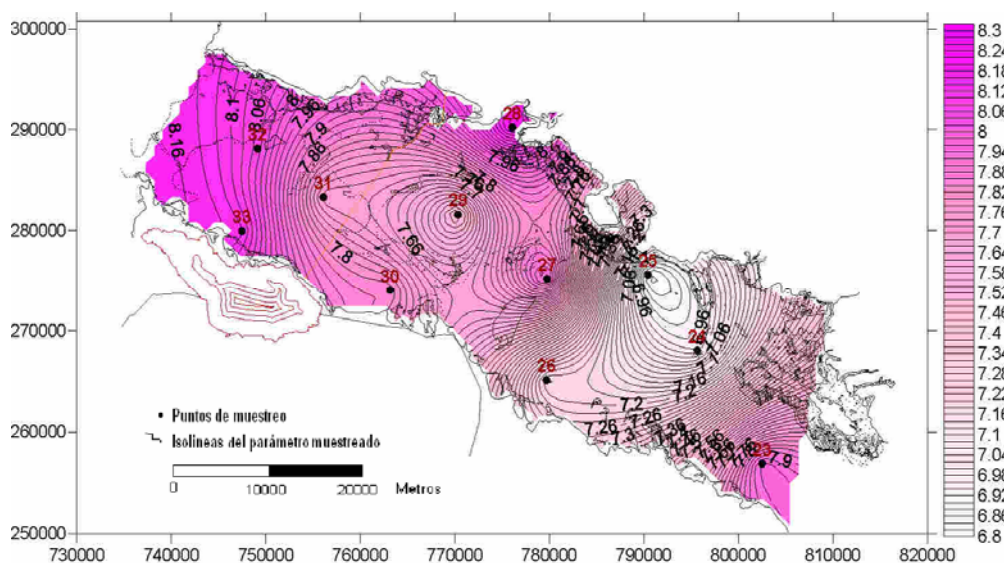


Figura 13. Distribución del pH, temporada poco lluviosa del 2005 – 06.

El pH durante la temporada lluviosa del 2006 (Figura 14) presenta una distribución bastante homogénea en todo el humedal, con valores que oscilan entre 8,0 y 8,2.

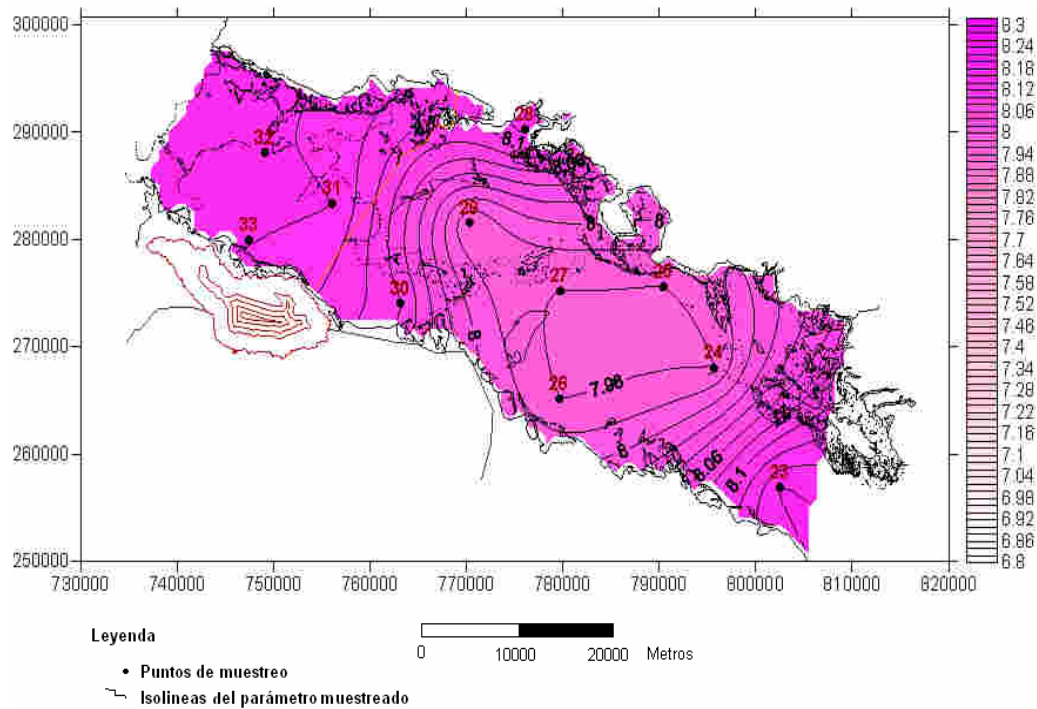


Figura 14. Comportamiento del pH en la temporada lluviosa del año 2006.

El comportamiento del pH, durante las temporadas lluviosa y poco lluviosa de los años 2005 y 2006 presentó un aumento hacia las zonas W y NW, con valores entre 8,6 y 8,2 indudablemente influenciado por un mayor intercambio con aguas oceánicas provenientes de la bahía de Buenavista, temperaturas y salinidades inferiores y porcentaje de saturación de oxígeno superiores, que favorecen las condiciones de vida del fitoplancton.

Los valores menores para este parámetro se reportaron al NE de las bahías, como consecuencia de ser una zona de temperaturas y salinidades altas, y bajo porcentaje de saturación de oxígeno, como consecuencia del casi inexistente escurrimiento superficial proveniente de cayo Romano, la ausencia de intercambio con aguas oceánicas, y los bajos fondos, lo que influyó, determinadamente, sobre las temperaturas y salinidades altas que limitan las condiciones de vida. Las temporadas lluviosas tuvieron poca influencia en el mejoramiento de las

condiciones. En la parte oriental del humedal, formado una franja en dirección NE-SW (estaciones 24, 25 y 26 de la figura 14) los valores de pH indican aguas neutras, alrededor de 7. Esto se debe al poco intercambio con aguas oceánicas, que dificultan notablemente las condiciones para la vida.

Por todo lo antes expuesto se puede concluir que los cambios de pH en el GHN de Ciego de Ávila se deben al intercambio con aguas oceánicas que provocan un aumento en relación a las zonas interiores con menor intercambio, poco profundas y de escaso escurrimiento superficial.

5. CONCLUSIONES

Las aguas de las bahías interiores Los Perros y Jigüey están afectadas por cambios en el régimen hidrológico y por la actividad antrópica. Los factores que más influyen en el comportamiento espacio temporal de los parámetros temperatura, salinidad, porcentaje de saturación de oxígeno y pH en las bahías estudiadas son el intercambio con el agua del océano, la profundidad de fondo del acuatorio y en menor medida el escurrimiento superficial de las aguas. No se descarta la influencia del domo salino de Turiguanó en el comportamiento de la salinidad. El control de estos factores en el GHN de Ciego de Ávila permite adoptar medidas para la confección y actualización de los planes de manejo de los recursos hídricos en las áreas protegidas del humedal. Se recomienda en tal sentido conectar las lagunas interiores con las aguas del océano, lo cual provocaría una disminución de la salinidad, aumento del pH y temperaturas más estables durante todo el año.

6. AGRADECIMIENTOS

El colectivo de autores desea dejar constancia de su agradecimiento al Ing. Rolando González Santana, Director de la Filial de Medioambiente de la UCT GEOCUBA Investigación y Consultoría Ciego de Ávila – Camagüey, y demás especialistas que laboran en dicha entidad. De igual manera a la Unidad Científico Técnica GEOCUBA Investigación y Consultoría, al Centro de Investigaciones Costeras de Cayo Coco (CIEC) y a las agencias de GEOCUBA de Ciego de Ávila.

7. REFERENCIAS

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA, Ciego de Ávila 1985: Intento de caracterización físico-geográfico de la provincia Ciego de Ávila [Inédito], Ciego de Ávila. Cuba.
- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA, Ciego de Ávila, CIEC de Cayo Coco 1993: Evaluación del estado actual de algunos parámetros ecológicos en bahía de los perros [inédito], Ciego de Ávila. Cuba.
- ACC & ICGC (Academia de Ciencias de Cuba e Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía 1990b): Estudio de los grupos insulares y zonas litorales del Archipiélago Cubano con fines turísticos. Cayos:Guillermo, Coco y Paredón Grande, Ed. Científico-Técnica,La Habana.
- ALCOLADO, P. M., GARCÍA, E. E. Y ARELLANO-ACOSTA, M. 2007: Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey en: Ecosistema Sabana-Camagüey. Estado actual, avances y desafíos en la protección y el uso sostenible de la biodiversidad. (Eds.) P. M. Alcolado, E. E. García y M. Arellano-Acosta. Ed. Academia, La Habana, 183 pp.
- ALCOLADO ET AL, 2010. Compuestos de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales de tres zonas de la plataforma marina cubana.. Acad. Cienc. Cuba. Serie Oceanológica, 7: 36 pp. ISSN 2072-800x
- BUIL-GUTIERREZ, B.; FERNÁNDEZ-ESCALANTE, E. 2002: Metodología para la determinación de la conexión hidráulica entre humedales y aguas subterráneas mediante criterios hidroquímicos en el ámbito de la provincia de Jaén. Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. ISBN. 84-7840-472-4
- CLARKE, G. 1972: *Elementos de Ecología*. Ediciones Revolucionaria. Ciudad de La Habana, p. 70 –75.
- CONWAY, E.J. 1942: Mean geochemical date in relation to oceanic evolution. *Proc. Roy. Irish Aad.* B 48 :119-159.
- EMPRESA GEOCUBA CIEGO DE ÁVILA 2002: Línea Base Ambiental Los Perros [Inédito], Ciego de Ávila. Cuba.
- GANDOY, E. 1993: Caracterización de la vegetación submarina en la bahía de Los Perros [inédito]. Ciego de Ávila. Cuba.
- IOC-UNESCO. 1983: *Chemical methods for use in marine environmental monitoring*. Manual and guides No. 12, 53 pp.

- ITURRALDE-VINENT, M. 1978: Geología del territorio Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas. Resultados de las investigaciones y levantamiento geológico a escala 1:250 000 [inédito], Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba
- ITURRALDE-VINENT, M. 1988: *Naturaleza geológica de Cuba*. Editorial Científico Técnica. La Habana.
- ITURRALDE-VINENT, M. 1998: Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta geológica hispánica*. 33(1-4):3-56.
- KOPPEN, V. 1918: En Microsoft® Encarta® 2006
- MASON, B. 1966: Principles of Geochemistry. Third edition. John Wiley and Sons. INC. New York. ISBN: 0471-57521.
- MEYERHOFF, A.A. & HATTEN, C. 1968: Diapiri structures in central Cuba. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 8, 315-357.
- VALDÉS C. & J. CAMPOY 1994: Los humedales costeros del sur de Sonora: Evaluación y perspectivas para su manejo. *Bol. Humedales de México* 2 (2): 9-11.

Internet:

http://www.lenntech.com/español/feedback_esp.htm. Consultado: 25 de febrero de 2009.

<http://www.ramsar.org/index.html>. Consultado: 26 de febrero de 2009.

Homero Menéndez Pérez

Máster en Geología Ambiental. Investigador Agregado Profesor Instructor. Unidad de Ciencia y Técnica GEOCUBA. Investigación y Consultoría. La Habana, Cuba.

homero@uct.geocuba.cu

Roberto Díaz Martínez

Doctor en Ciencias Geológicas Profesor Titular. Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez, Holguín, Cuba.

rdmart@ismm.edu.cu

Roberto González de Zayas

Investigador Auxiliar. Doctor en Ciencias Ambientales. Centro de Investigación de Ecosistemas Costeros de Cayo Coco (CIEC), Ciego de Ávila, Cuba.

filialciego@geocuba.cu

Jacinto A González Fernández

Máster en Ciencias Bioquímicas. Investigador Agregado. Profesor Auxiliar. Unidad de Ciencia y Técnica GEOCUBA. Investigación y Consultoría. La Habana, Cuba.

filialciego@geocuba.cu