

# **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD GEOAMBIENTAL DE LA BAHÍA BUENAVISTA, CON EMPLEO DE UN SIG, PROVINCIA SANTI SPÍRITUS**

M. Álvarez Ortiz, J. Artilés Pérez, L. Fernández Vila, y D. López García  
GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000,  
Ciudad de La Habana, Cuba, Teléf.: 797-8255, 797-7575, 797-0015-18,  
extensiones: 107, 114, 118, Email: mora@emarinós.geocuba.cu

## **RESUMEN**

La Bahía Buenavista situada al norte de las provincias Villa Clara y Santi Spíritus dentro del Archipiélago de Sabana – Camagüey, está confinada por un cordón de cayos, bajos, canales y pasas, así como dos pedraplénés; siendo considerada una laguna costera de renovación limitada. Constituye un ecosistema muy frágil; que responde rápidamente a los cambios originados por factores naturales y antrópicos.

Es objetivo del presente trabajo realizar una evaluación integral geoambiental de la región, para lo cual se analizó como un todo único la data histórica disponible: geológica, oceanográfica, hidrográfica y físico-geográfica. Con los mapas temáticos obtenidos se logró implementar un SIG que permitió un manejo eficiente de la información, a partir del cual se realizó una caracterización del estado actual de la naturaleza del medio marino y sus principales afectaciones ambientales.

El relieve submarino de esta bahía se describe como una llanura acumulativa de fondo en depresiones poco profundas. La presencia de sedimentos friables constituidos por limos hasta limo-arenosos, además de la inmediata yacencia del techo de la roca establecen las particularidades geomorfológicas y geológicas. El deterioro en la calidad del agua, así como el aumento significativo del tenor halino advierten de una alta vulnerabilidad a la contaminación, en correspondencia con el incremento de los procesos acumulativos y el tiempo de residencia de estas aguas, condicionado por los viales construidos. Estos resultados constituyen un valioso instrumento para la educación y la gestión ambiental en el ordenamiento territorial del polo y en la proyección de obras hidrotécnicas.

## **ABSTRACT**

The Bay Buenavista located to the north of the counties Villa Clara and Santi Spíritus inside the Archipelago of Savanna – Camagüey, it is confined by a cord of keys, first floor, channels and raisins, as well as two vials; being considered a coastal lagoon of limited renovation. It constitutes a very fragile ecosystem; that he/she responds quickly to the changes originated by natural factors and antropic.

It is objective of the present work to carry out an evaluation integral geoambiental of the region, for that which you analyzes as an all only one it dates it historical available: geologic, oceanographic, hydrographic and physical-geographical. With the obtained thematic maps it was possible to implement a GIS that allowed an efficient handling of the information, starting from which was carried out a characterization of the current state of the nature of the marine means and their main environmental affectations.

The submarine relief of this bay is described like an accumulative plain of bottom in not very deep depressions. The presence of friable silts constituted by slimes until sandy slimes, besides the immediate laying of the roof of the rock establishes the particularities geomorphologic and geologic. The deterioration in the quality of the water, as well as the tenor's saline significant increase notices from a high vulnerability to the contamination, in correspondence with the increment of the accumulative processes and the time of residence of these waters, conditioned by the built rock way. These results constitute a valuable instrument for the education and the environmental administration in the territorial classification of the pole and in the projection of works hydrotechnique.

## INTRODUCCIÓN

La Bahía Buenavista perteneciente al Archipiélago Sabana – Camagüey, se encuentra confinada por con un cordón de cayos, bajos, canales y pasas, así como pedraplén; constituyendo un ecosistema muy frágil; evidenciando los continuos cambios suscitados por factores naturales y antrópicos dado el alto desarrollo constructivo-turístico de la zona.

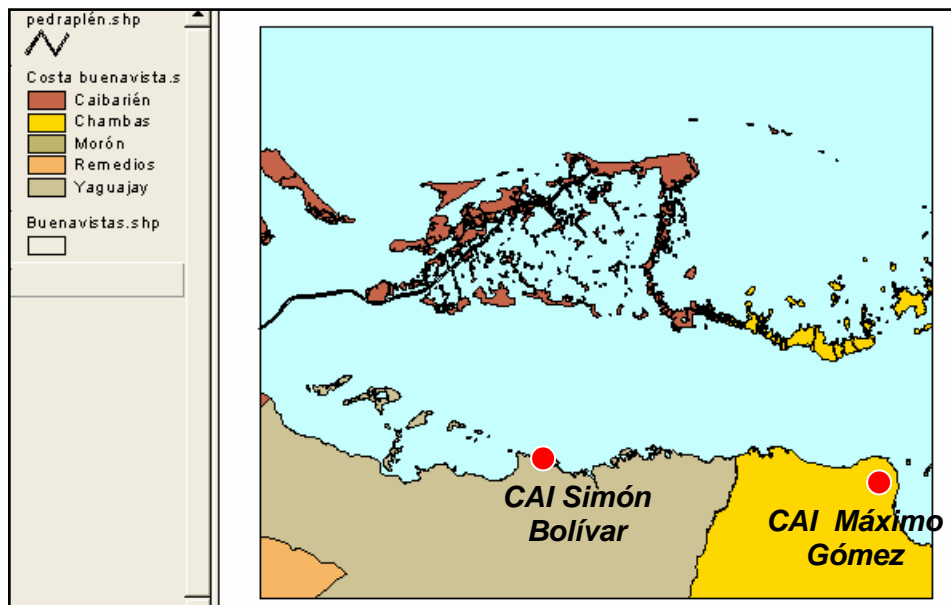


Fig. 1 Ubicación del área de estudio.

Es objetivo del presente trabajo realizar una evaluación integral geoambiental de la región, para lo cual se englobó la data histórica disponible: geológica, oceanográfica, hidrográfica y físico-geográfica de la región, cuyos mapas temáticos permitieron Implementar un SIG que permitirá un manejo eficiente y racional de la información.

En el Archipiélago de Sabana – Camagüey, se han construido hasta la fecha, cuatro pedraplenes, para garantizar el desarrollo turístico de algunos de sus cayos. En el límite las bahías San Juan de Los Remedios y Buenavista se emplazó el vial de que une los territorios desde Caibarién hasta Santa María y cuyas características se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Información acerca del pedraplén Caibarién – Cayo Santa María

Pedraplén	Extensión total sobre agua (km)	Total de puentes construidos	Total de puentes (km)	Total (km) de áreas abiertas	Relación (km) áreas abiertas/km de pedraplén
Caibarién – Santa María	45	45	2,166	2,166	0,048

Fecha de inicio: 15 de diciembre de 1989.

Fecha de terminación: 24 de junio de 1992.

Con esta información se realizó una caracterización del estado actual de la naturaleza del medio marino y sus principales afectaciones ambientales constituyendo un valioso instrumento para la educación y la gestión ambiental en el ordenamiento territorial del polo y en la proyección de obras hidrotécnicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización de los procesos histórico-geoambientales en el medio marino de la bahía Buenavista se realizó una recopilación y análisis de los trabajos precedentes, cuya finalidad fue llevar a cabo una búsqueda de archivo de toda la información disponible, ya sea en base analógica, como en digital, de todos los trabajos realizados en el área y que sean de interés para este trabajo. Además, se examinaron, según la posibilidad de consulta, otros trabajos realizados en el área por otras instituciones.

Toda la información recopilada fue verificada para garantizar la calidad de los datos y planos, revisando su contenido y corroborando su ubicación espacial, se emplearon softwares de procesamiento, permitiendo la visualización, organización e interpretación de la información siguiente:

Mapa batimétrico 1:150 000 elaborado a partir de los datos hidrográficos, obtenidos de los sondeos batimétricos ejecutados en 1990 por el Instituto Cubano de Hidrografía hoy GEOCUBA Estudios Marinos.

1. Mapa geológico del territorio marino de la República de Cuba a escala 1:100 000. (Cabrera, M.; 2006)
2. Mapa geomorfológico del territorio marino del ecosistema Sabana – Camaguey a escala 1:250 000. (Cabrera, M.; 2006)
3. Base de datos hidrológica e hidroquímica adquirida de la Agencia de Oceanografía de la Empresa GEOCUBA Estudios Marinos. Se agenció la información histórica enmarcada en todos los proyectos realizados por esta agencia a partir del año 1976 hasta la actualidad.
4. Base de datos geotécnica adquirida de la Agencia de Geología y Geofísica de la Empresa GEOCUBA Estudios Marinos. Fue incorporada a este trabajo toda la información histórica obtenida de los proyectos realizados en el área hasta la actualidad.

A partir de la base de datos procesada e interpretada, se construyeron los mapas temáticos por temática, garantizando la conformidad y la agrupación de los datos espaciales en función de la sistematización de una base única, con una adecuada precisión cartográfica como soporte indispensable del sistema.

La puesta en marcha de la base geoambiental sobre el SIG permitió presentar los resultados del manejo de los mapas temáticos y tablas de atributos realizando la evaluación integral geoambiental del área.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área de estudio constituye una zona muy importante desde el punto de vista ecológico y económico, caracterizada por la existencia de valiosos recursos pesqueros, desarrollo acelerado del turismo y relevantes ecosistemas altamente sensibles como: manglares, seibadales, bancos algales y arrecifes coralinos.

Las formaciones vegetales más importantes son el bosque de manglar sobre las zonas inundadas, influenciadas por las variaciones del nivel del mar por la fluctuación de las mareas y en el fondo marino la presencia de fanerógamas, donde se destacan las praderas de *Thalassia testudinum* (seibadal) con especies acompañantes de Halimedas. (Claro, R.; 2006).

En el área se observan las tres regiones geomorfológicas relacionadas directamente con el territorio marino dentro del ecosistema Sabana-Camagüey, que son: **región costera emergida, plataforma marina y el talud insular**. (Cabrera, M.; 2006)

El relieve submarino de esta bahía Buenavista se describe como una llanura acumulativa de fondo en depresiones poco profunda inferior a los  $-4$  m de profundidad. La profundidad promedio en el área total es de  $-2,0$  m; destacándose una pequeña disminución entre el comportamiento de las profundidades hacia el centro de la bahía. En ella los procesos acumulativos se caracterizan por una marcada incidencia de un régimen hidrodinámico con oleaje de moderado a débil, corrientes de fondo y un sistema general organizado de corrientes de flujo y reflujo. (Fernández, V. L.; Chirino N. A. *et al.*, 1993)

La configuración de los cayos, la orientación de los canales y la formación de estructuras alargadas y continuas expresan las principales manifestaciones tectónicas y neotectónicas. Se evidencia una homogeneidad en toda la estructura del basamento rocoso. Según el documento Normas Sismorresistentes de Cuba, el área de estudio entra en la zona 1A de riesgo sísmico bajo, que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas

La presencia de sedimentos friables constituidos por limos hasta limo-arenosos, además de la inmediata yacencia del techo de la roca establecen las particularidades geomorfológicas y geológicas del área.

La constitución de los sedimentos friables esta dada por limo a limo-arenoso de color blanco, constituido por carbonato amorfo (cerca del 50 %) y restos de fragmentos de conchas de foraminíferos, espículas de equinodermos, fragmentos de algas calcáreas, así como aislados restos de corales.

Este sedimento clasifica según el SUCS dentro del grupo ML. Se presenta menos denso, y en su composición existe un incremento de materia orgánica que en ocasiones, cuando es considerable, puede conllevar a un valor de cohesión no drenada de hasta 0,01 MPa.

Tabla 2. Propiedades físicas de los sedimentos

Sedimentos	Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )	Peso específico ( $\text{kN/m}^3$ )	Materia orgánica (%)	Ángulo de fricción interna
Limo a limo-arenoso	0,83 – 1,11	26,0-28,7	0,45-2,33	25°-32°

Subyaciendo estos depósitos, se localizan los sedimentos rocosos de la Formación Jaimanitas de edad Pleistoceno Superior (Q<sub>3js</sub>), formados por calizas biodetríticas (calcarenitas), carsificadas, fosilíferas con conchas, corales y biohermas de especies actuales, algo masivas, porosas, algo densas.

Los valores de las propiedades físico-mecánicas de este EIG, obtenidos a partir del análisis de la base de datos recopilada de los trabajos realizados en el área se representan a continuación.

Tabla 3. Propiedades físico-mecánicas de las rocas calcarenitas

<b>EIG No. 3 Calcarenita</b>	Coeficiente de Poisson	Densidad natural (g/cm <sup>3</sup> )	Factor de dureza Protodiakonov	Resistencia a la compresión (MPa)	Porosidad η (%)
<b>Mínimo</b>	0,22	1,2	0,73	1,24	18
<b>Máximo</b>	0,36	2,4	4,25	33,316	54
<b>Medio</b>	0,29	1,6	2,1	9,06	40

Según su resistencia a la compresión simple, el macizo rocoso constituido por este elemento clasifica como de baja a mediana resistencia. Dado el valor de su FKP (factor de dureza de Protodiakonov) puede ser considerado de fortaleza media a débil.

Tabla 4. Valores de los metales pesados en los sedimentos de las Bahías San Juan de los Remedios, Buenavista y la zona interior de la cayería

	Al (µg/g)	Cd (µg/g)	Co (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Fe (µg/g)	Mn (µg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)	Zn (µg/g)
Medio	13042	5,0	20,9	75,7	8,8	5892	89,2	129,1	35	20,1
Máximo	40868	7,9	30,8	390	198	15183	363,3	340,0	69,9	45,4
Mínimo	246,5	4,0	4,2	6,5	2,9	138,2	1,7	3,8	25,0	5,2

Los porcentajes de nitrógeno orgánico obtenidos del procesamiento de los sedimentos los incluyen como contaminados por aportes de materia orgánica, según la norma cubana NC 25: 1999. En cuanto al carbón orgánico atendiendo a la norma cubana no se observan anomalías, que puedan clasificar a estos sedimentos como contaminados.

Tabla 5. Valores de nitrógeno orgánico y carbono orgánico en sedimentos

No. Estaciones	N <sub>2</sub> Orgánico (%)	Carbono Orgánico (%)
Mínimo	0,71	0,30
Medio	1,92	0,82
Máximo	3,0	1,57

En general los valores puntuales de oxígeno disuelto durante los muestreos ejecutados en el área fueron superiores a los 5,0 mg/L, concentración por encima del cual los cuerpos de agua marina se consideran de Buena Calidad para uso pesquero (NC 25: 1999). También superan el límite consignado por la NC 22: 1999 para aguas de interés recreativo (70 % V.S).

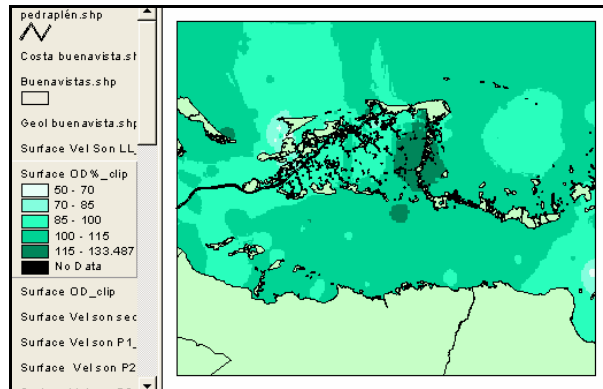


Fig. 2 Distribución del porcentaje de saturación (% V.S) en agua.

Las concentraciones del gas disuelto disminuyen al este de la bahía (< 70 %) asociado a la influencia de aguas altamente salinizadas y densas provenientes de la bahía de Los Perros y que pasan a la bahía de Buenavista a través de la pasa La Manuy. También se vincula con los procesos de destrucción de la materia orgánica acumulada en los sedimentos del fondo, asociados al impacto del CAI Simón Bolívar que vierte sus residuales líquidos con una alta carga en términos de DBO5.

En el área donde se encuentra situado el pedraplén Caibarién – Cayo Santa María se manifestó una disminución de la concentración del gas disuelto en la época de lluvia y posterior a la construcción del mismo, lo cual se debe a la limitación del intercambio de agua con el océano.

Los valores del pH para la bahía de Buenavista son en general ligeramente básicos y oscilaron entre 7,8 -8,3. Con respecto a la plataforma exterior el pH osciló en un rango entre 8,0 y 8,1 unidades y son indicativos de Buena Calidad tanto para la vida marina como para fines recreativos utilizando como indicadores las normas cubanas. (NC 25: 1999 y NC 22: 1999). Se reportan microzonas con valores del pH inferiores a 7,8, fundamentalmente en áreas muy someras y que se vinculan entre otros factores, con el aporte de residuales costeros de origen doméstico-industrial. La distribución espacial no homogénea, se debe presumiblemente, a insuficiencia numérica de dato pH, una distribución espacio-temporal irregular y las particularidades hidrodinámicas de la zona.

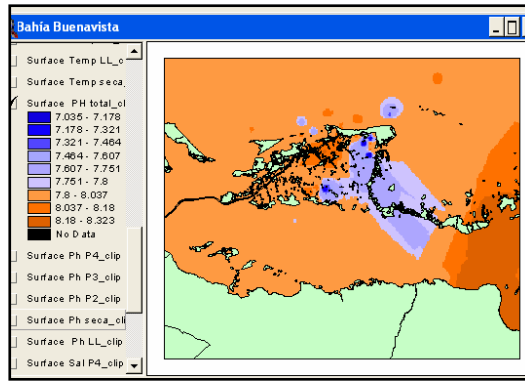


Fig. 3 Distribución del pH en agua.

Los valores de demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) en la totalidad de las estaciones fueron normales excepto en el período de seca reciente donde se observa una anomalía al este de la bahía.

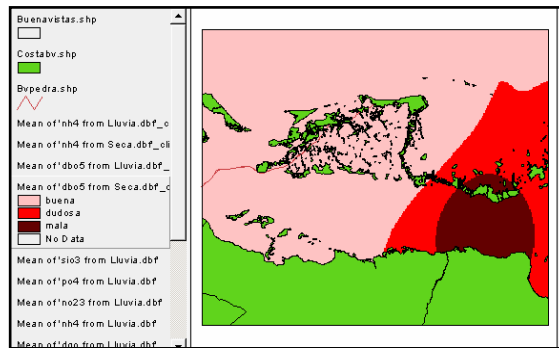


Fig. 4 Distribución de las concentraciones de la  $DBO_5$  en mg/L (superficie). Seca y reciente.

En el área afectada por el parámetro  $BDO_5$ , predominan valores superiores a 2,0 mg/L característicos de Calidad Dudosa a Mala teniendo en cuenta la NC 25: 1999. Esto se debe a una mayor influencia de los escurrimientos y la presencia de materia orgánica de naturaleza biodegradable de origen antrópico.

Estudios realizados en la bahía de Buenavista indican, que para el período 1983-1999, las concentraciones detectadas para los compuestos nitrogenados y los silicatos superan los valores medios históricos encontrados para el área. (Pérez, S. I.; 2000) Este comportamiento se asocia por la influencia de fuentes contaminantes (industria azucarera, núcleos poblacionales, actividad turística) que contribuyen a la degradación ambiental de la bahía.

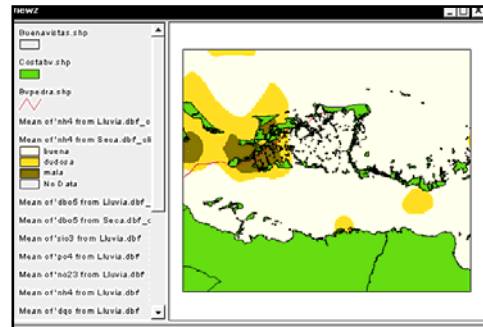
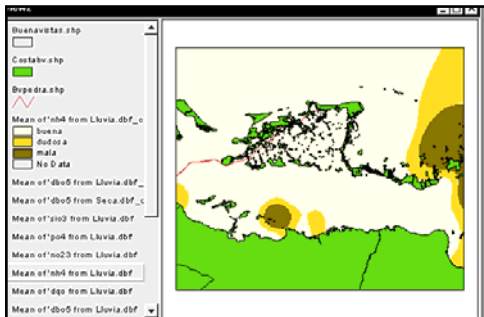




Fig. 5 Distribución espacial de calidad del agua por amonio  $N-NH_4^+$  ( $\mu\text{mol/L}$ ). Arriba en los períodos lluviosos y secos y debajo posterior a la construcción del pedraplén y más reciente.

La distribución horizontal del  $N-NH_4^+$  en el período de lluvias de 1999 muestra la existencia de tres zonas afectadas, con concentraciones superiores a  $9 \mu\text{mol/L}$ . La primera ubicada al W de la zona de estudio situada en la cercanía del Pedraplén Caibarién – Cayo Santa María, la segunda al NE del embarcadero del CAI Simón Bolívar, la cual se encuentra cercana a la costa y en la que se encontraron máximos para los nitritos y silicatos y por último la zona más oriental de la bahía en el área aledaña a la Pasa La Manuy donde ocurre la llegada desde el E de aguas concentradas por la evaporación y con elevado contenido de materia orgánica.

Las salinidades, que de manera natural han sido siempre altas al ser una bahía de renovación limitada, muy somera, con un intercambio con el mar adyacente en extremo limitado, han aumentado considerablemente con el tiempo, al estar más antropizadas con la construcción de pedraplenes.

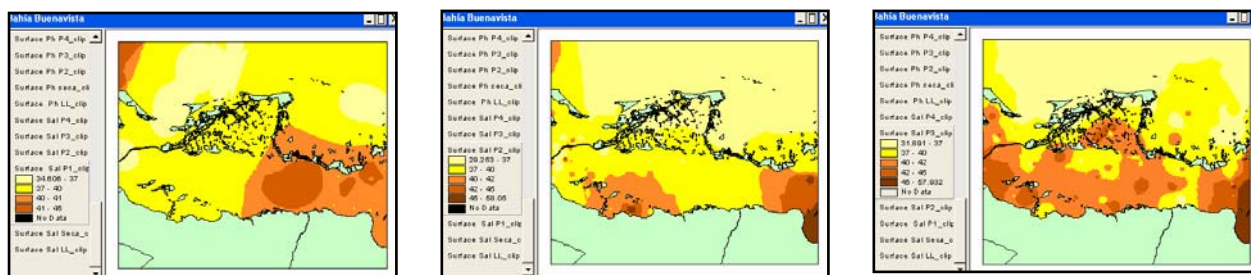


Fig. 6 Distribución de la salinidad media antes, durante y posterior a la construcción de los pedraplenes.

Al comparar la evolución de los valores promedio y extremos de la salinidad (‰), antes y después de 1992, en la bahía Buenavista afectada por la construcción de pedraplenes se observó un aumento de la salinidad promedio en 1,229 ‰ por lo que de continuar este incremento, los resultados pueden llegar a ser catastróficos para la biota marina del área.



Tabla 6. Valores extremos de la salinidad antes y después de la construcción de los pedraplenes

Período	S media (‰)	S máxima (‰)	S mínima (‰)
1989-1992	38,713	50,09	33,13
1993-2005	39,942	56,04	34,70
$\Delta S$	1,229	5,95	1,57

Los valores promedio y extremos de la temperatura del agua en su ciclo anual, con información promediada del período 1976-2005, ponen a relieve las peculiaridades de su distribución temporal en el área.

Tabla 7. Valores extremos de la temperatura para los períodos climáticos

Período	T media (°C)	T máxima (°C)	T mínima (°C)
Lluvia (verano)	29,6	32,6	24,3
Seca (invierno)	25,9	29,1	22,5
$\Delta T$	3,7	3,5	1,8

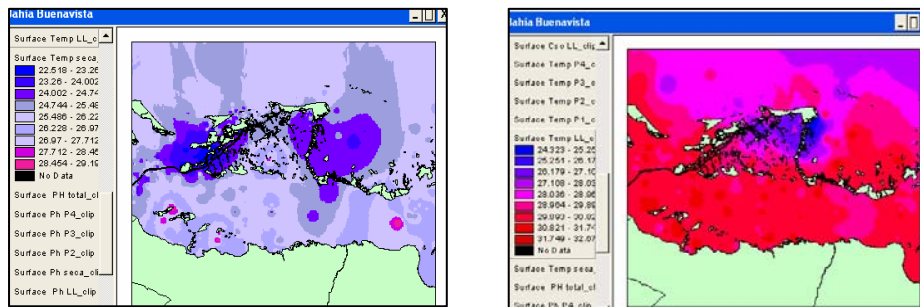


Fig. 7 Distribución de la temperatura media en los períodos de invierno y verano.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El relieve submarino describe una llanura acumulativa plana, de pendientes muy suaves con bajos valores de profundidad del fondo marino, menores de  $-5,0$  m y medios de  $-2,0$  m, lo cual resulta factible para el desarrollo del proyecto.
2. Los resultados obtenidos de nitrógeno orgánico muestran en las condiciones actuales contaminación por materia orgánica hacia el interior de la bahía, por lo que disminuir el intercambio de agua con el mar abierto implicaría un desequilibrio ecológico, con el consiguiente deterioro de sus fondos.
3. Los valores de salinidad han aumentado significativamente en las zonas de la bahía tras la construcción de los pedraplenes, alcanzando máximos de  $56,04$  ‰ en la bahía.
4. Las aguas de la bahía Buenavista presentan un ciclo térmico anual caracterizado por temperaturas promedio,  $29,6$  °C en verano y  $25,9$  °C en invierno.
5. Es necesario abordar un nuevo enfoque en la toma de decisiones para un uso racional de las

potencialidades y recursos del territorio a fin de lograr una indispensable armonía en la explotación de las riquezas naturales, su protección y conservación.

6. Al acometer cualquier obra hidrotécnica no debe obstaculizarse en el libre intercambio de agua, ya que régimen de erosión, transporte y sedimentación cambiante de origen natural, puede ser acelerado mediante modificaciones antrópicas.
7. El deterioro en la calidad del agua, así como el aumento del tenor halino advierten de una alta vulnerabilidad a la contaminación en correspondencia con el incremento de los procesos acumulativos y el tiempo de residencia de estas aguas dado su limitado intercambio con el océano, condicionado aun más por los viales ya construidos.
8. A partir de los resultados generados de este trabajo se recomienda realizar monitoreos hidroquímicos y biológicos en la Bahía de Buenavista, así como en aquellas zonas de mayor sensibilidad ambiental e importancia económica y turística.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Cabrera, M. (2006): Mapa geológico del territorio marino de la República de Cuba a escala 1:100 000. CNDIG. IGP.
- Cabrera, M. (2006): Mapa geomorfológico del territorio marino del ecosistema Sabana – Camagüey a escala 1:250 000. CNDIG. IGP.
- Claro, R. (2006): CD La biodiversidad marina en Cuba- Especies registradas. Instituto de Oceanología Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.
- Derrotero de las Costas de Cuba. Tomo II, ICH. 1995.
- Díaz, I. *et al.* (2000): Línea de base ambiental de los cayos Santa María y Guillermo. Geocuba Estudios Marinos, La Habana.
- Estrada, V. (1999): Estudio de línea de base ambiental proyecto PETROBRAS. Geocuba Estudios Marinos, La Habana.
- Estudio de los Grupos insulares y zonas litorales del archipiélago cubano con fines turísticos. Academia de Ciencias de Cuba, ICGC. Editorial Científico Técnica. La Habana. 1990.
- Fernández, L. y A. Chirino (1993): Atlas oceanográfico de las aguas de archipiélago Sabana - Camagüey. ICH, La Habana, pp. 1-235.
- Fernández L. J. *et al.* (2008) : Evaluación de las posibles afectaciones del Cambio Climático a la Biodiversidad Marina y Costera de Cuba. GEOCUBA Estudios Marinos, IDO, CIP, Acuario Nacional de Cuba, Centro Nacional de Áreas Protegidas.
- GEF-PNUD: "Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible de los ecosistemas Sabana – Camagüey".
- Norma cubana NC 22: 1999. Lugares de baño en costas y en masa de agua interior. Requisitos higiénicos sanitarios. Oficina nacional de normalización.
- Norma Cubana NC 25: 1999. Evaluación de objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones. Oficina nacional de normalización.

Ortega, F. (1999): Estudio ingeniero – geológico. Pedraplén Cayo Santa María – Cayo Guillermo. Etapa de factibilidad. Geocuba Estudios Marinos, La Habana.

Pérez, S. I. *et al.* (2000) : Estudio oceanográfico integral para la construcción de vial entre los cayos Guillermo y Santa María. 5to. Congreso de Ciencias del Mar. MARCUBA. Publicación electrónica CD-413: 116.