

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MARINA A PARTIR DE HERRAMIENTAS SIG, DE UN SECTOR DEL ARCHIPIÉLAGO SABANA-CAMAGÜEY

Jacquelines Artilés Pérez⁽¹⁾, ***Álvarez Ortiz***⁽¹⁾, ***L. Fernández Vila***⁽¹⁾, ***D. López García***⁽¹⁾ y ***W. Rodríguez Miranda***⁽²⁾

(1) GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de La Habana, Cuba. Email: yaquelin@emarinos.geocuba.cu Teléfonos: 7 978255, 7977575, 7970015-18, Extensiones: 107, 114, 118

(2) Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Calle 124 s/n Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba

RESUMEN

El Archipiélago Sabana - Camagüey (ASC), constituye en la actualidad un sector priorizado para el desarrollo de la industria turística del país, destacándose por su excepcional belleza natural sus cayos, con paisajes poco comunes, extensas playas de óptima calidad y atractivos fondos marinos, que hacen de ellos verdaderos paraísos para el descanso y la recreación. Este es considerado uno de los ocho ecosistemas más sensibles del mundo donde se desarrollan actividades fundamentalmente económicas.

Este desarrollo, aunque enfocado cada vez con más fuerza a la protección del medio ambiente, origina necesariamente un impacto ambiental, que debe valorarse integralmente.

El objetivo de este trabajo es obtener una evaluación de la calidad del agua marina mediante las técnicas de análisis y procesamiento de la información con la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para diferentes períodos de tiempo, respecto a la construcción de los pedraplenes, utilizando datos hidrológicos, hidroquímicos y bióticos.

Con este trabajo se logra integrar toda la información disponible de la oceanografía física y química realizada en nuestra empresa, a través de herramientas de un sistema de información geográfica (SIG), obteniéndose una **evaluación de la calidad de las aguas marinas en un área de alta sensibilidad geoambiental, con el empleo del criterio "CALIMAR"**, para diferentes periodos de tiempo y de forma general. Estos mapas permiten valorar regionalmente los distintos grados de contaminación en el área de estudio a partir de dicha evaluación, permitiendo enfocar y dirigir las posibles soluciones ambientales a las áreas de mayor afectación.

INTRODUCCIÓN

El Archipiélago Sabana - Camagüey (ASC), también conocido con el nombre de Jardines del Rey, constituye en la actualidad un sector priorizado para el desarrollo de la industria turística del país, destacándose por su excepcional belleza natural los cayos Coco, Guillermo y Santa María entre otros, con sus paisajes poco comunes, extensas playas de óptima calidad y atractivos fondos marinos, que hacen de ellos verdaderos paraísos para el descanso y la recreación.

Este trabajo de investigación se realiza en un sector de este archipiélago que incluye las bahías de San Juan de los Remedios, Buenavista, Los Perros y Jigüey caracterizadas por escasa profundidad y una costa irregular; así como el área exterior de las mismas representadas por una gran profusión de cayos, bajos, canales y pasas que permiten el intercambio de las aguas de la plataforma con el océano adyacente (figura No.1). El área de interés está limitada al oeste por la bahía de Santa Clara, al este por cayo Sabinal y por el sur con la franja costera que abarca las provincias Villa Clara, Santi Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey; mientras que al norte la demarca el talud insular constituido por una especie de flexura con pendiente abrupta, que representa el límite entre la depresión profunda y la plataforma marina insular.



Figura 1.- Imagen del área de estudio.

Estos cayos poseen planes directores bastante ambiciosos, para el desarrollo del turismo, los cuales requieren de fuertes aumentos en las capacidades que permitan alcanzar los niveles de explotación propuestos, para lo cual se crearon vías de comunicación con la Isla, entre las que se encuentran: dos aeropuertos y la construcción de viales o pedraplenes que unen cayos o áreas de interés, ocasionando notables variaciones antropogénicas en el medio marino, que a su vez modifican la geografía del Archipiélago.

Se han construido hasta la fecha, cuatro pedraplenes o carreteras de piedra, sobre el mar, para garantizar el desarrollo turístico de algunos de sus cayos: El pedraplén Caibarién – cayo Santa María, en el límite de las bahías San Juan de Los Remedios y Buenavista, el de Turiguanó – cayo Coco, en la bahía de Los Perros, el de Jigüey – cayo Romano, en la bahía de Jigüey y el vial a cayo Sabinal, en el extremo E de la bahía La Gloria. Estas obras ingenieras han provocado cambios en los regímenes hidrológicos de las bahías en que se ubican.

Con este trabajo se logra integrar toda la información disponible de la oceanografía física - química realizada en nuestra empresa y datos de la biota marina obtenidos del trabajo CESIGMA. (2006), a través de herramientas **de un sistema de información geográfica (SIG)**. Esto permitió la obtención de una **evaluación de la calidad de las aguas marinas en un área de alta sensibilidad geoambiental, con el empleo del criterio “CALIMAR”**, para diferentes periodos de tiempo respecto a la construcción de los pedraplenes y de forma general.

Estos mapas permiten valorar regionalmente los distintos grados de contaminación en el área a partir de dicha evaluación, permitiendo enfocar y dirigir las posibles soluciones ambientales a las áreas de mayor afectación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la base de datos generales.

Toda la información existente fue procesada e interpretada durante este diagnóstico 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.

Como propósito de este proceso se logró crear una base de datos en una tabla sobre una hoja de cálculo del software Excel, que permitió la estandarización de la información disponible en un mismo formato, a través del cual a cada atributo se le asignó una variable (columna) permitiendo ubicar la información por proyecto, año, ubicación geográfica, etc. garantizando un cuidadoso control de la información, así como una valoración inicial del grado de investigación del área de interés.

Esta base se procesó integralmente y posteriormente se dividió por periodos de tiempo respecto a la construcción de los pedraplenes.

Período 1976-1987 (en lo adelante **P1**): Período que corresponde a la etapa anterior a la construcción de los pedraplenes.

Período 1988-1992 (en lo adelante **P2**): Período que se halla dentro de la etapa de construcción de pedraplenes.

Período 1993-1999 (en lo adelante **P3**): Período contiguo a la construcción de los pedraplenes en el cual se demuestran las afectaciones inmediatas causadas por los mismos.

Período 2000-2005 (en lo adelante **P4**): Período con los datos más actuales posteriores a determinadas acciones mitigadoras y monitoreo de estas aguas.

Se sistematizó toda la información para su almacenamiento, reclasificación, análisis y presentación, facilitando su entrada a cualquier software o SIG para el manejo de mapas y tablas de atributos.

La premisa fundamental durante este trabajo fue garantizar que la información adquirida para estructurar la base de datos sea precisa, actual e integral y que refleje el estado del medio marino. Evitando errores en las datas de entradas que provoquen desviaciones en las componentes espaciales de los modelos. Burrough, A. et al. (1998).

Sistema de información geográfica.

Para realizar este trabajo fue utilizada la versión 3.3 de Arc View GIS, que constituye una herramienta poderosa para el manejo integrado de la información geográfica, tanto vectorial como raster, utilizando fundamentalmente las siguientes extensiones:

Spatial Analyst: Permite manipular los temas tipo grid con gran efectividad por lo que su aplicación en la distribución espacial y el algebra de mapas durante este proceso fueron las herramientas fundamentales.

3D Analyst: Permite crear modelos de tipo TIN a partir de cualquier combinación de objetos lineales, puntuales o poligonales.

Cad Reader: Permite la asimilación del formato AutoCad (dxf) para su entrada al SIG,

Xtool: Permite convertir polilíneas en polígono, fusionar, etc. y obtener finalmente la capa deseada.

Grid Tool: Permite a través de varios métodos hacer la interpolación de los datos y obtener una distribución espacial de los mismos (creación y manipulación de ficheros.grd).

Tratamiento de la base oceanográfica

A nivel internacional se han desarrollado una serie de normas y regulaciones referentes a la calidad de los cuerpos de aguas, donde se brindan valores guías y valores de obligatorio cumplimiento, en dependencia del tipo de exposición (directa o indirecta). Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua han sido normadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2000), la Comunidad Económica Europea (CEE, 1994) y la Agencia Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 1986). Cada gobierno y entidad sanitaria tienen la tarea de adaptar estos criterios y velar por su total cumplimiento, con el fin de preservar los recursos naturales de sus respectivos países. Citados por Fernández, L. et al. (2004).

El término “**Calidad de las aguas**” está relacionado con el uso para el cual esté destinada la misma, y se refiere a la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas ya sea por procesos naturales y/o actividades humanas, OMS, (2006); Por este motivo un agua puede

resultar contaminada para un determinado uso, y sin embargo, puede ser idónea para otro fin; de ahí que se establezcan criterios de calidad. Citado por Fernández, L. et al. (2004).

La determinación de la calidad global del agua de una determinada zona marina, ya sea por normativa de calidad, o utilizando índices de parámetros físico – químicos, es una tarea delicada, soportada básicamente por los años de experiencia de los especialistas, y por ende, está sujeta a razonamientos y análisis que tiene una gran dosis de subjetividad. Por esta razón, son válidos y muy necesarios, los esfuerzos por unificar criterios acerca de:

- La selección de los parámetros adecuados para cuantificar la calidad del agua, evitando la redundancia en la información que estos aportan.
- La determinación de la importancia relativa de los parámetros.
- La selección de la fórmula adecuada para la agregación de la información.
- El diseño correcto y la fundamentación científica de la escala numérica que definirá el resultado final.

Criterios de calidad para las aguas marinas cubanas.

Evaluación cualitativa

Para los datos hidrológicos e hidroquímicos de las aguas marinas se consideran las Normas Cubanas del Comité Estatal de Normalización, donde la calidad de las aguas, tanto para el baño, como para el sostenimiento de la vida marina está regulada por las siguientes:

1. Norma cubana NC - 22 - 1999: Lugares de baño en costas y en masas de agua interiores. Requisitos higiénicos sanitarios.
2. Norma cubana NC - 25 - 1999: Especificaciones y procedimiento para la evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero.
3. Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Estado del Medio Ambiente. Criterios Generales para su evaluación. (NC 93 - 00 - 004, 1987).

Evaluación cuantitativa

Se deben definir índices o relaciones de medidas de ciertos parámetros físicos, químicos y biológicos del agua, en la situación real y en otra, que se considere admisible o deseable, la cual vendrá definida por ciertos estándares o criterios, como los representados anteriormente. Secretaría General de Medio Ambiente España, (1998); citada por López, D. (2001).

La determinación cuantitativa de la calidad del agua se efectúa mediante dos métodos complementarios: métodos físico - químicos y métodos biológicos.

Métodos físico-químicos: La medición de los parámetros físico - químicos del agua es imprescindible para determinar la calidad del agua. Es el único método existente para la identificación y cuantificación de contaminantes. Sin embargo, el análisis periódico de los parámetros físico - químicos puede no ser suficiente para definir la calidad del medio acuático, puesto que estos métodos no valoran directamente la alteración del hábitat físico. Los parámetros físicos más importantes son: transparencia, turbidez, color, olor, sabor, temperatura, conductividad eléctrica y pH. Secretaría General de Medio Ambiente España, (1998); López García, D. (2001); Fernández, L. et al. (2004).

Por su parte, los parámetros químicos son los más importantes para definir la calidad del agua. Por ejemplo: Si el agua en estudio no ha recibido vertidos urbanos o industriales, la prospección debe comprender la determinación de los siguientes parámetros:

- Iones más importantes: bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio y sodio.

- Oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno.
- Carbono orgánico.

Métodos biológicos: Los métodos biológicos se utilizan como complementos de los físicos -químicos; sus ventajas son, que no se circunscriben al momento de toma de la muestra, puesto que las comunidades de seres vivos pueden integrar períodos anteriores, y el efecto de los posibles contaminantes se evalúa con relación al efecto que producen sobre la biocenosis. Los métodos biológicos más empleados son los que se basan en la composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. Con la presencia/ausencia de estos animales se pueden calcular "índices bióticos", que son sistemas para clasificar la calidad del agua, otorgando una puntuación. Secretaría General de Medio Ambiente España, (1998); López, D. (2001); Fernández, L. et al. (2004).

Asignación de unidades de calidad ambiental por Método CALIMAR.

A partir de criterio de expertos, Ido, CIP, CIMAB y GEM, se llegan a una serie de tablas, que relacionan los niveles de cada atributo (físico - químico, biológico) con las unidades de calidad ambiental.

Cálculo de la calidad del agua marina por índices generales de calidad del agua marina (IGCAM).

Para la **valoración cuantitativa**, en el Sistema CALIMAR se brindan 10 índices: siete índices con selección libre de 62 parámetros hidroambientales: IGCAM1, IGCAM2, IGCAM3, IGCAM4, IGCAM5, e IGCAM6, basados en variaciones alrededor de la media aritmética simple, ponderada y geométrica, y el índice JANSCHA, Janardan y Schaeffer, (1975), diseñado para ríos, y adaptado a los parámetros marinos de calidad, que introduce importantes variaciones en su formulación, tratando de obviar los inconvenientes de las estimaciones subjetivas.

Después de la asignación de unidades de calidad ambiental (ci en %) para cada atributo, a partir de las tablas ofrecidas por este, se procedió a analizar los índices generales de calidad del agua marina propuestos, de los 10 posibles, nosotros utilizaremos:

IGCAM1 CALIMAR. Media aritmética simple. Es una fórmula muy sencilla cuya aplicación permitió la obtención del mapa de calidad del agua marina del área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del índice de calidad de las aguas marinas

Para el estudio, manejo y control de la calidad de las aguas marinas se aplicó sobre el SIG el criterio CALIMAR. Fernández, L. et al. (2004). En el mismo se incluyeron hasta 14 parámetros ambientales (tabla No.1) considerándolo de igual importancia dentro del medio acuático. Los mapas resultantes de evaluación de la calidad del agua marina (figura No.2 y 3) antes mencionados se obtuvieron con la contribución de los siguientes atributos.

Tabla 1.- Relación de atributos que incidieron en la evaluación de la calidad del agua.

No. Orden	Atributos	Total	P1	P2	P3	P4
1	O.D (mg/l)	x			x	x
	CSO(mg/l)	x	x	x	x	x
2	V.S (%)	x			x	x

3	DQO	x				x
4	DBO ₅	x			x	x
5	Transparencia (%)	x				x
6	pH	x		x	x	x
7	Temperatura.	x	x	x	x	x
8	Salinidad	x	x	x	x	x
9	N-NO ₂	x			x	x
10	N-NO ₃	x			x	x
11	N-NH ₄	x		x	x	x
12	P-PO ₄	x		x	x	x
13	Pt	x				x
14	Ind. Diversidad.	x			x	
Total		15	3	6	12	14

Como se observa en esta tabla, la evaluación del P1 contó solamente con tres atributos hidrológicos, por no disponer de suficiente información hidroquímica. En los casos donde no existía el (OD) oxígeno disuelto (P1) y (P2), se utilizaron los datos de CSO, para el cálculo de la calidad del agua marina. De estos dos atributos, uno solo se utiliza para dicha evaluación, el OD sería el óptimo.

Este criterio tiene el propósito de tratar de unificar criterios nacionales, y de minimizar un tanto la “subjetividad” de la valoración personal de cada especialista, en estos menesteres. Se confecciona, teniendo en consideración los resultados y recomendaciones de Del Río, M. 1992, el Sistema CALIMAR: un sistema para la determinación de la calidad global del agua marina, según sus índices físico – químicos y bacteriológicos. Fernández, L. et al. (2004).

La conversión de los valores analíticos de los parámetros en una unidad de calidad ambiental normalizada se basó en criterio de experto, a partir de funciones de equilibrio o de transformación, donde se le asignó a la situación óptima posible del parámetro, el valor 100 de índice de calidad y a la situación pésima, el valor cero. De esta forma, todos los valores son conmensurables y se expresan en por ciento.

Para llevar a cabo este procedimiento nos auxiliamos de la opción del *ArcView Analysis/ Reclassify*, la cual nos permitió establecer una zonación espacial de índice de calidad de las aguas (Ci) para cada atributo tomando como modelo las tablas preestablecidas por criterio de expertos descritas en el capítulo de materiales y métodos.

La determinación del índice ponderal de cada parámetro, considerando su importancia relativa dentro del medio ambiente estudiado, se realizó teniendo en cuenta que cada parámetro representa solo una parte del medio ambiente y el conjunto de ellos representa la totalidad del medio ambiente marino. Se trata de reflejar la mayor o menor contribución de cada parámetro a la situación global. Teniendo en cuenta que esta es la primera vez que se aplica esta metodología de forma espacial no se le distribuyeron unidades de importancia o peso a los parámetros analizados.

Finalmente, se realizó el cálculo del índice de calidad del agua de mar (I), según la variante de cálculo IGCAM1 CALIMAR establecida por Fernández, L. et al. 2004 como la media aritmética simple, fórmula muy sencilla que se expresa como sigue:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{N}$$

Donde:

I = Índice de calidad del agua de mar.

C_i = Valor resultante de la curva para el parámetro i .

N = Peso total ($\sum C_i$).

La opción del *ArcView Analisis/ Map Calculator* fue muy efectiva en el cálculo espacial de la media aritmética simple obteniéndose como resultado los índices de calidad del agua de mar de forma cuantitativa para toda el área de estudio.

Este análisis matemático fue aplicado a la data total y los períodos de tiempo obteniéndose por primera vez una evaluación de la calidad del agua marina a partir de tecnología SIG en el área de estudio (figura No.2 y 3) como expresión de los cambios físicos - químicos y biológicos producto de la variabilidad antrópica en la zona.



Figura 2.- Mapa de evaluación de la calidad del agua marina en la población total.

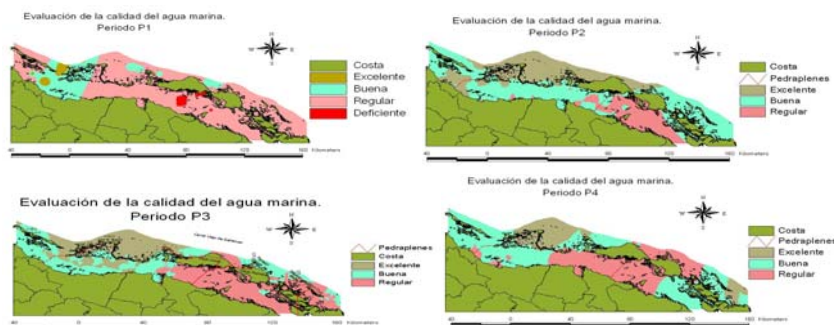


Figura 3.- Mapas de evaluación de la calidad del agua marina en los períodos de tiempo analizados.

Del análisis de estos mapas, se puede observar el deterioro progresivo de la calidad del agua marina hasta P3, luego posteriormente en P4 se aprecia una ligera mejoría de la misma en el área de la bahía de Jigüey, al parecer debido a un intercambio con las aguas de la plataforma exterior, evidenciado por los valores registrados en el período P4 (crucero 2005). Dentro de esta disminuye la DBO_5 , el amonio, el fosforo, mientras que en la parte exterior se muestran anómalos respecto a los valores característicos de esta zona.

El análisis de los atributos individuales permite corroborar que la calidad del agua es mucho menor para el período P3, observándose en este las mayores variaciones espaciales de casi todos los atributos estudiados.

Las variaciones en la calidad de las aguas pueden intervenir directamente en la desaparición de las formaciones coralinas, por cuanto, las mismas necesitan condiciones específicas de subsistencia. Igualmente se pueden ver afectados los pastos marinos, que pueden desaparecer o ser muy escasos debido a la turbidez o la excesiva salinidad.

A partir de estos mapas finales, se pueden apreciar, espacialmente, las zonas de mejor y peor calidad de las aguas en el área, teniendo en cuenta los criterios con los cuales fueron realizados los mismos.

En el período P1, es donde único se observa una pequeña zona clasificada de pésima, pero este fue el de menor información y su calidad se determinó, tan solo con tres atributos hidrológicos.

En los períodos se nota un deterioro hacia la parte E del área, bahía de Los Perros y Jigüey. En P4, en esta última bahía se aprecia una ligera mejoría, pudiéndose esto deber a la construcción de nuevos puentes y obras de fábrica en los pedraplenes, o a un posible intercambio más efectivo temporal y localmente con las aguas exteriores de la plataforma. Desafortunadamente en esta área la información disponible es escasa. Al mismo tiempo en P4 se observa un ligero desplazamiento hacia la parte central de la bahía de Buenavista de la clase deficiente. El P3 resulta el período más afectado en cuanto a calidad de las aguas se refiere.

Estos resultados demuestran que estas bahías se encuentran altamente degradadas por la acción conjunta de diversos factores naturales y antrópicos que han provocado serias afectaciones a la calidad geoambiental. La interrupción del régimen hidrológico por los viaductos construidos, sumado al represamiento de las aguas fluviales y a la alta tasa de evaporación característica para estos acuatorios, ha provocado niveles desfavorables de salinidad en estas bahías, destruyendo la vegetación del fondo, incrementando la turbidez del agua por la continua resuspensión de los sedimentos, y la probable acumulación de altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno en el fondo.

CONCLUSIONES

Por todo lo antes planteado llegamos a las siguientes conclusiones.

- Se obtuvieron los mapas de **distribución espacial de los atributos** en los períodos de tiempo analizados, respecto a la construcción de los pedraplenes.
- Se elaboran mapas de distribución de la **biodiversidad** a través de herramientas SIG.
- Por primera vez en nuestro país, se obtiene de forma espacial y con la utilización de un SIG, una **evaluación de la calidad del agua marina** a partir del criterio CALIMAR, teniendo en cuenta parámetros físico - químicos y biológicos, para diferentes períodos de tiempo, épocas del año y de forma general.
- A partir de esta evaluación se obtiene que el período 1995 – 1999 (P3) es el más afectado respecto a la calidad de las aguas marinas.
- El sector E del área de estudio es el de mayor grado de contaminación, debido a las características intrínsecas de la misma (cerrada), dando lugar a una escasa y lenta renovación de sus aguas.
- Los mapas aportados por el SIG confirman que la **obstrucción a la dinámica natural** del movimiento de las aguas en el archipiélago, sobre todo, en los acuatorios directamente afectados por la construcción de los pedraplenes, constituye un factor fundamental en el **deterioro de la calidad del agua**; la tendencia al estancamiento incrementa los coeficientes de evaporación en aguas muy someras y por tanto, incrementa la salinidad, así como la disminución del intercambio con aguas oceánicas menos salobres.
- Las investigaciones oceanográficas, especialmente la **hidroquímica**, dirigidas a estudios ambientales en aguas someras, en el interior de la plataforma son escasas, no obstante, el análisis de los resultados de las investigaciones realizadas nos permite percibir la influencia directa de la actividad antrópica en el medio marino, a través de los atributos en los períodos de tiempo analizados.

Recomendaciones

1. Realizar un muestreo sistemático en el área, para poder caracterizar las zonas de menor información.
2. Continuar y perfeccionar los estudios en el área y extrapolar estos a otras áreas de la plataforma

marina.

3. De ser posible realizar estudios de muestreos de sedimentos, con el objetivo de incorporarlos al SIG.
4. Realizar una validación de los diferentes atributos empleados en el estudio o evaluación de la calidad del agua marina, para establecer cuáles son los atributos óptimos.
5. Crear los **mecanismos e infraestructura** que permitan la recopilación y validación de los datos generados por las distintas instituciones cubanas que realizan investigaciones marinas, de manera que puedan ser integrados y utilizados en función de los estudios geoambientales.
6. Seleccionar áreas donde se establezca un **sistema de monitoreo de variables oceanográficas**, las cuales deberán ser ubicadas con pleno consenso entre los especialistas de las instituciones que se dedican a la protección medioambiental, teniendo en cuenta las capacidades reales de estas instituciones para ejecutar estos trabajos.

BIBLIOGRAFIA

- ACC - IG e ICGC. Atlas Nacional de Cuba. (1989). Edit. España.
- Alcolado, P., C. Jiménez., et al. (1990 a). Aspectos ecológicos del acuatorio del NE de Villa Clara, cayos Francés, Cobos, Las Brujas, Ensenachos y Santa María. Estudio de los grupos insulares y zonas litorales del Archipiélago Cubano con fines turístico (4). Edit.C-T, pp. 86-97.
- _____, et al. (1990 b). Ecología Marina. Cayos Guillermo, Coco y Paredón Grande. En: Estudio de los grupos insulares y zonas litorales del Archipiélago Cubano con fines turísticos. (3). Edit.C-T, pp. 101-112.
- _____, E. García y N. Espinosa. Editores Científicos. (1999): Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible en el ecosistema Sabana – Camagüey. Proyecto GEF/PNUD Sabana – Camagüey. CUB/92/G31, 1999, Cuba.
- Álvarez, O. M. 2007. Caracterización geoambiental entre los cayos Santa María y Guillermo para la proyección de un viaducto. GEOCIENCIAS 2007. Ciudad de La Habana.
- Artiles, P. J. 2007. Factibilidad geoambiental para la construcción de una marina en la ensenada Bautista. Cayo Coco. GEOCIENCIAS 2007. Ciudad de La Habana.
- Berry, K. (1990). Maps as data: Fundamental concepts and application in GIS technology for resource management, en Internal Report, Natural resources. Colorado University, Fort Collins, Colorado, USA, 50 págs. <http://www.ieg.csic.es/Age/boletin/31/3102.pdf>.
- Beron, P. et al. (1982). Indices de qualite des Eaux trib. Cbedeau 35 (467), pp.385-394.
- Brown, R. M. et al. 1970. A water quality index do we done? Water and sewage works.10: 633-672.
- Burrough, A., R. McDonnell. (1998). Principles of Geographical information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University press, Oxford, Reino Unido. <http://www.ieg.csic.es/Age/boletin/31/3102.pdf>.
- _____, L. Peñalver. et al. (1997). Estudio geólogo-ambiental del ecosistema Sabana-Camagüey. (inédito). Arch. IGP.
- _____. (2006). Mapa geológico del territorio marino de la República de Cuba a escala 1: 100 000. CNDIG. IGP.
- _____. (2006). Mapa geomorfológico del territorio marino del ecosistema Sabana –Camagüey a escala 1: 250 000. CNDIG. IGP.
- CESIGMA, (Octubre, 1999). Estudio de impacto ambiental del vial de enlace entre los cayos Santa María y Guillermo. Archipiélago Sabana Camagüey, Cuba. C-99-A-36.
- _____. (2006). La biodiversidad marina en Cuba - Especies registradas. IdO, CITMA.
- Comité Estatal de Normalización. (1987). Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Estado del Medio Ambiente. Criterios Generales para su evaluación. (NC 93 – 00 – 004, 1987). 6 pp.
- _____. (1999). Higiene comunal. Lugares de baño en costas y en masas de agua interiores. Requisitos higiénicos sanitarios. NC 22/1999. 8 pp.
- _____. (1999). Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Hidrosfera. Especificaciones y procedimientos para la evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. NC 25/1999. 9 pp.
- Del Río, M. I. (1992). Revisión crítica de los índices físicos-químicos de la calidad del agua. Rev. Ing. Civil. CEDEX. MOPU. Madrid. No 86/1992. Pag. 77-90.

- Díaz, I., I. Pérez y D. López. (1999). Estudio Oceanográfico Integral para la construcción de un vial entre los cayos Guillermo y Santa María. Arch. Téc. GEOCUBA. La Habana: 85 p.
- Domínguez G., C. Socorro y L. García. (1995). Caracterización oceanográfica de la bahía de Los Perros. Informe parcial de la primera etapa de trabajo (diciembre de 1994). Proyecto GEF – PNUD “Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible de los ecosistemas Sabana - Camagüey”.
- _____, L. Batista, R. Cárdenas, Y. Guerra, R. Gonzáles y A. Basulto. (1997): Estudio oceanográfico y estudio de calidad de las aguas en la localidad Los Perros, cayo Coco.
- Fernández de la Llera, M. y D. López. (1991). Informe hidroquímico en las bahías San Juan de los Remedios y Buenavista. Informe C-T. Arch. del IdO.
- Fernández, L., A. Chirino, et al. (1993). Atlas oceanográfico de las aguas del Archipiélago de Sabana – Camagüey. Dpto. de Investigaciones de Oceanografía Física. ICH. La Habana. 235 pp.
- _____, et al. (2004). Informe Científico: Desarrollo de un software para la determinación cualitativa y cuantitativa de la calidad del agua de mar. CALIMAR “. Diseño del software CALIMAR. Etapa 1 del Proyecto I + D: “Desarrollo de 4 softwares para el procesamiento y análisis de datos oceanográficos. Arch. GEM.
- _____, et al. (2006). Caracterización oceanográfica de la plataforma insular cubana y la influencia de variaciones antrópicas. (PNCT). **Resultado 01**. Arch. GEM y de AMA. La Habana. 154 pp.
- _____, et al. (2008). Evaluación de las posibles afectaciones del Cambio Climático a la Biodiversidad Marina y Costera de Cuba. **Resultado 02**. GEM, IdO, CIP, ANC, CNAP.
- _____, et al. (2008 a). Base de Datos Oceanográficos para el estudio futuro de las afectaciones del Cambio Climático y las variaciones antrópicas, sobre la biodiversidad marina y costera de Cuba. **Resultado 03**. Arch. GEM. Ciudad de La Habana.