

Análisis de la calidad del agua y su evolución temporal en la bahía de Guantánamo, Cuba

Analysis of water quality and its temporal evolution in Guantánamo Bay, Cuba

Annielis García-González^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-8293-3960>

Liliana M. Gómez-Luna² <https://orcid.org/0000-0002-1282-3392>

Yinet Marzo-Manuel³ <https://orcid.org/0000-0001-6605-5838>

Esvillel Ferrer-Pozo⁴ <https://orcid.org/0000-0003-1011-7424>

¹Subdelegación de Medio Ambiente, CITMA, Guantánamo, Cuba

²Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente, Laboratorio de Ecotoxicología y Servicios Ambientales, Cuba

³Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, Guantánamo, Cuba

⁴Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, Guantánamo, Cuba

*Autor para correspondencia. Correo electrónico: annielis1975@gmail.com

RESUMEN

La bahía de Guantánamo, situada en Caimanera, provincia de Guantánamo, presenta un deterioro significativo de la calidad del agua; sin embargo, no existe un estudio evolutivo que demuestre la dinámica del deterioro gradual de este ecosistema y su estado actual. En esta investigación se evalúan parámetros físico-químicos y microbiológicos indicadores de la calidad del agua, analizando su evolución temporal. Los muestreos se realizaron en los lóbulos interiores (Cerro Guayabo y Joa), durante los meses de diciembre 2022 y marzo de 2023 (período poco lluvioso), en ocho puntos de muestreo, siete de estos reportados en investigaciones previas, se añade un nuevo punto considerando la dinámica del ecosistema. Los resultados corroboran el deterioro del ecosistema y de la calidad del agua, obteniéndose valores de nitratos, nitrito, amonio, oxígeno disuelto y DBO₅ que corresponden a un agua de calidad mala y/o dudosa, con un índice de calidad de agua (CCME WQI= 23) (calidad baja); se identifica, además, la presencia de especies de cianobacterias y dinoflagelados con potencial tóxico. La contaminación y los riesgos asociados constituyen asuntos clave de manejo en ecosistema, lo que está agravado por el impacto del cambio climático, asociado a eventos frecuentes de sequía, fuertes vientos e inundaciones.

Palabras clave: bahía Guantánamo; calidad del agua; cianobacterias; contaminación orgánica; dinoflagelados.

ABSTRACT

Guantánamo bay, located in Caimanera, province of Guantánamo, presents a significant deterioration in water quality; however, there is no evolutionary study that demonstrates the dynamics of the gradual deterioration of this ecosystem and its current state. In this research, physical-chemical and microbiological parameters indicative of water quality are evaluated, analyzing their temporal evolution. Sampling was carried out in the interior lobes (Cerro Guayabo and Joa), during the months of December 2022 and March 2023 (dry rainy period), at eight sampling points, seven of these reported in previous investigations, a new point is added considering the dynamics of the ecosystem. The results corroborate the deterioration of the ecosystem and water quality, obtaining values of nitrates, nitrite, ammonium, dissolved oxygen and BOD5 that correspond to water of poor and/or doubtful quality, with a water quality index (CCME WQI = 23) (low quality); The presence of cyanobacteria and dinoflagellate species with toxic potential is also identified. Pollution and associated risks constitute key management issues in this ecosystem, which is aggravated by the impact of climate change, associated with frequent drought events, strong winds and floods.

Keywords: Guantánamo bay; water quality; cyanobacteria; organic pollution; dinoflagellates.

Recibido: 06/09/2024

Aceptado: 12/12/2024

Introducción

A escala internacional, y en especial en Cuba, las bahías poseen un complejo escenario ambiental, lo que incide en la calidad de sus bienes y servicios. Las bahías son sistemas muy frágiles, con gran influencia antrópica y un creciente ritmo de deterioro, destacándose problemas como calidad del agua, disminución y/o afectación de los recursos pesqueros, destrucción de hábitats y desaparición de especies.⁽¹⁾

Entre las bahías priorizadas por su importancia socioeconómica y ambiental se encuentra la bahía de Guantánamo, una de las más grandes de la región, localizada en la costa suroriental de Cuba. Este ecosistema presenta características ecológicas y geográficas únicas y un mosaico de hábitats

relativamente extensos, entre los que destacan manglares, pastizales y arrecifes de coral.

La bahía de Guantánamo ha sido objeto de investigaciones de corte ambiental definiéndose como aspectos clave el manejo de la contaminación, la necesidad de protección de los recursos pesqueros y la conservación de los manglares. Sin embargo, no existe un análisis integrado evolutivo, reportándose, por una parte, investigaciones realizadas solamente en los lóbulos interiores, y otras hacia la parte más externa.

Se considera que en este ecosistema existen múltiples conflictos y a pesar de haberse mantenido una estricta vigilancia sobre aspectos político-sociales, los problemas ambientales que hoy se presentan, agravados en los lóbulos interiores, en su mayoría son el resultado de una visión y gestión fragmentadas; mientras, aumenta el impacto de las presiones humanas, de las actividades a nivel de las cuencas hidrográficas y la vulnerabilidad ante los fenómenos naturales. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del agua en los lóbulos interiores de la bahía y su evolución temporal, para establecer bases y prioridades en función de la gestión integrada del ecosistema.

Materiales y métodos

Delimitación y breve caracterización del área de estudio

Para la delimitación del área de estudio se utilizó el Decreto- Ley No. 77.⁽²⁾ Los límites de la bahía de Guantánamo se establecieron atendiendo a la estructura y configuración de los distintos tipos de costas que la conforman (figura 1).

La bahía de Guantánamo se localiza en las coordenadas 19° 54'39'' de Latitud Norte y 75° 09'33'' de Longitud Oeste. Limita al Norte con las terrazas aluviales de los ríos Guaso y Hondo, al Sur con el Mar Caribe, al Este con las alturas de Boquerón y al Oeste con las alturas de Hatibonico. Tiene un área total de 122 km², largo y ancho, máximos de 20 y 9 km, respectivamente, su profundidad estimada es de 60 m aproximadamente, hacia la entrada, luego asciende abruptamente hasta los 14 m, elevándose posteriormente con una pendiente suave, según "Derrotero de las costas de Cuba, realizado por GEOCUBA en el año 2014". En la jurisdicción cubana la mayor profundidad es de 12,8 m, la que disminuye de forma progresiva hacia el norte, en dirección a las ensenadas de Joa y Cerro Guayabo. Al ecosistema se asocian tres asentamientos poblacionales (Glorieta, Boquerón o Mártires de la Frontera y Caimanera).

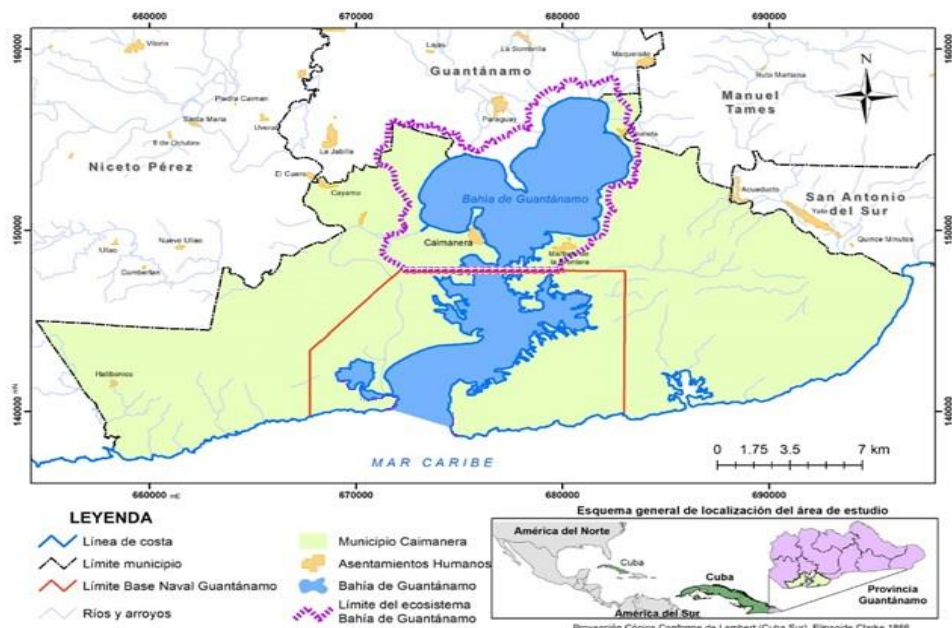


Fig. 1- Delimitación del área de estudio: ecosistema marino costero Bahía de Guantánamo, Cuba y asentamientos poblaciones*

Metodología para el análisis de la evolución ambiental del ecosistema

Se realizó un estudio exploratorio y de intervención, además de un análisis evolutivo a partir de la data histórica de parámetros físico químicos y biológicos existente; esta consiste básicamente en reportes de informes no publicados del estado de la calidad del acuatorio en los años 2006, 2013, 2016-2019, 2020, 2022-2023), además de publicaciones científicas.⁽³⁾

Monitoreo y análisis en 2022-2023

Para el diagnóstico situacional (2022–2023) se realizó un muestreo en los lóbulos interiores (Cerro Guayabo y Joa), pertenecientes a la jurisdicción cubana, en los meses de diciembre y marzo respectivamente (período poco lluvioso), en el horario de la mañana y durante la marea baja (vaciente).

Previa selección de los puntos de muestreo se realizó un estudio de los puntos seleccionados históricamente en los muestreos realizados en la bahía (figura 2), para tener criterios de selección rigurosos; identificando, además, zonas con vacíos totales de información que deben ser consideradas en próximos estudios (círculos en blanco).

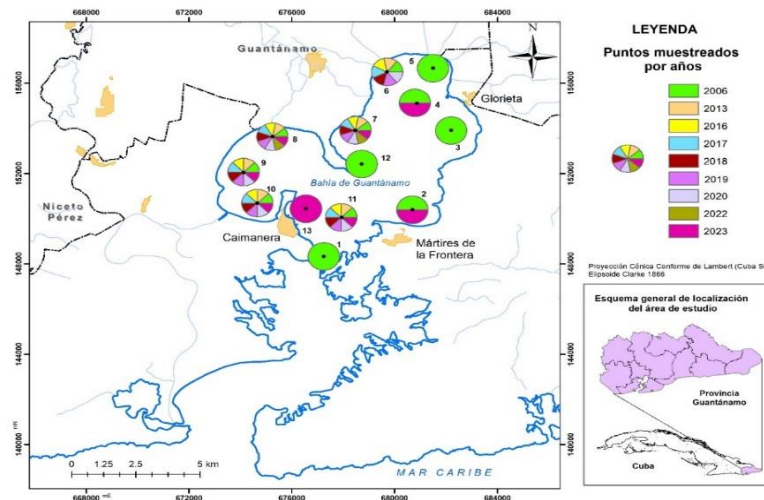


Fig. 2- Mapa con la ubicación de los puntos de muestreos realizados por años*

En los muestreos de 2022, por cuestiones logísticas y considerando las restricciones aún existentes debido a la COVID-19, se seleccionaron solo dos puntos (7 y 8) los que se eligen entre los cinco puntos más analizados en estudios previos, teniendo en cuenta que estuvieran representados ambos lóbulos.

En 2023, en condiciones de normalidad, se analizan ocho puntos: 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11 y 13, siete puntos analizados en estudios previos, y un punto que se incluye, considerando reportes previos de problemas ambientales en playa Tokio. El punto uno no pudo ser incluido en este estudio por restricciones temporales. De esta manera los ocho puntos se distribuyen de esta manera: tres puntos por cada lóbulo, uno en playa Tokio ⁽⁸⁾, y uno hacia la parte central del ecosistema.⁽⁷⁾ Las coordenadas de los puntos de muestreo de 2022 y 2023 se presentan en la tabla 1.

Tabla 1- Coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo

Puntos de muestreos	Localización	Latitud	Longitud	2022	2023
2	Playa Boquerón	19°59'29.5"	075°06'43.1"		X
4	Ensenada Joa	20°01'40.40"	075°05'30.16"		X
5	Ensenada Joa	20°03'12.28"	075°05'53.19"	X	
6	Entre la desembocadura de río Seco y río Hondo	20°03'14.7"	075°06'55.3"	X	
7	Lóbulo este de la Ensenada de Joa	20°01'37.8"	075°07'59.8"		X
8	Cercana a la desembocadura del río Guaso	20°01'30.7"	075°09'16.8"		X
9	Lóbulo oeste de la Ensenada de Joa, cercana a la toma de agua de la salina	20°01'4.1"	075°10'28.4"		X
10	Lóbulo oeste de la Ensenada de Joa	19°59'46.9"	075°10'17.4"		X
11	Cercana a la entrada del canal parte cubana, Boya amarilla	19°59'39.0"	075°08'11.1"		X
13	Playa Tokio	19°59'49.6"	075°09'13.6"		X

Dos de los puntos muestreados se ubican en zonas de baño: playas Tokio ⁽⁸⁾ y Boquerón.⁽³⁾ Se tomaron muestras integradas en los primeros 50 cm de la columna de agua. Las muestras fueron procesadas en dos laboratorios: Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos, Unidad Empresarial de Base Guantánamo (ENAST-UEB), del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, y el Laboratorio de Ecotoxicología y Servicios Ambientales (LESA) del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba; ambos funcionan bajo un Sistema de Gestión de la Calidad implementado por la Norma Internacional ISO/IEC 17025: 2017.⁽⁴⁾

Determinación de parámetros físico químicos de las muestras

Para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica se empleó el método electrométrico, con mediciones en multi paramétrico HANNA, previamente calibrado con soluciones patrones comerciales certificadas, utilizando electrodo de referencia con solución saturada de cloruro de potasio (3 mol/L) y celda de conductividad de constante aproximadamente 1. La salinidad se calculó mediante medidas de la conductividad eléctrica. La determinación de oxígeno disuelto se realizó por el método Winkler, determinándose su concentración mediante titración con tiosulfato sódico. Para la determinación de los nutrientes nitritos y amonio se empleó el método colorimétrico, con mediciones realizadas a longitudes de onda 543 y 640 respectivamente, basándose en la aplicación de la Ley de Lambert-Beer.

Los fosfatos se determinaron a 690 nm, a través del método colorimétrico a reducción con Cloruro de estaño.

En todos los casos se utilizó un espectrofotómetro ultravioleta Biochrom. Se empleó el método de electrodo selectivo para la determinación de nitratos, con el uso de un potenciómetro y electrodo selectivo de nitrato (CRISON 92 62 C). Se utilizó balanza analítica para la preparación de las soluciones de control analítico y curvas de calibración de cada ensayo. Los sólidos sedimentables se determinaron mediante el método gravimétrico con un cono Imhoff de 1L graduado en ml. La determinación de turbiedad se realizó utilizando un turbidímetro que mide la absorción de luz para calcular la turbidez de las muestras.

Se empleó el Método de incubación por 5 días a 20°C por Winkler para la determinación de la DBO y el método digestión acelerado en autoclave al dicromato para determinar la DQO, con el uso de una autoclave horizontal RAYPA, las muestras se sometieron a una temperatura de 121°C, 1 atm de presión durante una hora. Para la determinación de la concentración de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes se empleó el método de los tubos múltiples de fermentación para miembros del grupo de coliformes, las muestras se incubaron a $35 \pm 1^\circ \text{C}$ durante 24 a 48 h.

Identificación de especies fitoplanctónicas

Se realizaron observaciones en fresco y de muestras fijadas (Lugol neutro al 1 %), utilizando un microscopio óptico Motic B profesional vertical (Alemania). Se observaron muestras concentradas a partir de la resuspensión en 1 mL de un filtrado de 20 mL, el que se realizó con ayuda de membranas filtrantes de acetato de celulosa de 25 mm y 0,2 μm , además de las tomadas con la red, y en el caso de las cianobacterias de muestras previamente sedimentadas. Se incluyeron en estos análisis muestras previamente incubadas durante siete días después de haber sido enriquecidas con medio f2, mantenidas en condiciones de luz continua Daylight, Philips 40 W (TLT 40 W/54 RS), a una intensidad de $58,59 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ y una temperatura de $20,12 \pm 2^\circ\text{C}$. Se colocaron 2 a 3 gotas de cada muestra en un portaobjeto para su observación al microscopio óptico, observando y fotografiando al menos cinco réplicas panorámicas por muestra, y fotografías individuales, mediante una cámara digital Panasonic DMC-LC50 de 3,2 Mpixs con 3X de zoom óptico y 9X de zoom digital.⁽⁵⁾

A partir de estas observaciones se identificaron las microalgas presentes hasta especie, siempre que fue posible, utilizando varias claves dicotómicas y criterios taxonómicos; ^(6,7) además de consultas on-line en diferentes sitios: Infoseek (Japón), la galería de especies fitoplanctónicas del MIT (EUA); y las bases on-line, entre las que destaca AlgaeBase.⁽⁸⁾ Complementariamente se realizaron tinciones con Lugol y observaciones de la estructura de las tecas de los dinoflagelados.⁽⁵⁾ Se identifican los quistes de dinoflagelados presentes tanto en la columna de agua como en el sedimento, con el objetivo de entender la dinámica y recurrencia del fenómeno. Las muestras de sedimento se tomaron en zonas someras (menos de 2 m de profundidad) en los puntos de muestreo predefinidos. La limpieza y tamizado de los quistes se realizó siguiendo la técnica descrita por Matsuoka y Fukuyo (2000).⁽⁹⁾

Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)

A partir de los resultados de los análisis se calculó para cada punto de muestreo el desarrollado por el Consejo de Ministros de Medio Ambiente Canadiense (CCME WQI) (2017), ⁽¹⁰⁾ empleando la herramienta digital correspondiente, por la flexibilidad que brinda en la selección de los parámetros que intervienen, las posibilidades que ofrece para clasificar de acuerdo a diversos criterios y la facilidad de su interpretación y comunicación por especialistas y público en general.

Para este fin se seleccionaron los indicadores: coliformes termotolerantes, salinidad, fosfato, temperatura, amonio, oxígeno disuelto, nitrito y nitrato. Una vez calculado el valor del ICA, la calidad del agua se clasifica en una de las siguientes categorías: (tabla 2)

Tabla 2- Herramienta para la clasificación del agua, según el valor calculado del índice de calidad de agua

Categoría	Índice	Descripción
Excelente	95 - 100	Ausencia virtual de deterioro. Condiciones muy cercanas a las prístinas
Bueno	80 - 94	Grado menor de deterioro. Condiciones que rara vez se alejan de los niveles deseables
Aceptable	65 - 79	Deterioro ocasional. Algunas veces las condiciones se alejan de los niveles deseables
Marginal	45 - 64	Deterioro frecuente. Las condiciones se alejan con frecuencia de los niveles deseables
Pobre	0 - 44	La calidad del agua casi siempre presenta deterioro. Las condiciones se alejan generalmente de los niveles deseables

Análisis e interpretación de los datos

Para el análisis e interpretación de los resultados se consideró el uso del ecosistema como cuerpo receptor Clase C: área marina donde se desarrolla la pesca (NC 521: 2007) ⁽¹¹⁾ y su uso como área de baño en zona costera (NC 22: 1999). ⁽¹²⁾ En el caso de la presencia de *E. coli*, se consideraron, además, los límites reportados por la Agencia de Protección Ambiental de los EUA.⁽¹⁰⁾

Recopilación y análisis de la información

Para la recopilación, análisis y síntesis de la información se utilizaron métodos como el análisis documental y el análisis-síntesis. Se analizaron datos procedentes de la Oficina Provincial de Estadísticas en Guantánamo ⁽¹³⁾ (población, asentamientos humanos, indicadores ambientales) en el período 2010-2022, así como informes de inspecciones efectuadas por la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH), la Oficina de Regulación y Seguridad Ambiental (ORSA) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y la Empresa Pesquera Guantánamo. Además, se consultó la base de datos existente en la Subdelegación de Medio Ambiente de la Delegación Territorial del CITMA en Guantánamo, así como informes de la DPRH para la ubicación, previa confirmación de los principales focos contaminantes en la cuenca Guantánamo-Guaso, cuyo destino final de los residuales es la bahía.

Resultados y discusión

En la tabla 3 se presentan los valores de pH y temperatura, y su comparación con la Norma Cubana NC 25:1999.⁽¹⁴⁾

Tabla 3- Valores promedios de pH y temperatura en cuerpos de agua marina de uso pesquero, Clase C, según NC 521/2007

Puntos muestreados	Años	pH	Salinidad (ups)	Temperatura (°C)
5		6,51	-	30
6		6,76	-	30
Valor medio	2022	6,63±0,17		30±0,00
2		8,25	37,0	32
4		8,31	36,0	32
7		8,32	39,0	32
8		8,39	41,0	32
9		8,56	39,0	32
10		8,53	37,0	32
11		8,35	39,0	32
13		8,3	39,0	32
Valor medio	2023	8,37±0,11	38,37±1,59	32±0,00
Índices de Calidad Obligatorios y Complementarios según NC 25:1999	Calidad BUENA	8,1 – 8,3	26 - 35	-
	Calidad DUDOSA	6,5 – 8,0	10 - 25	
	Calidad MALA	< 6,5	< 10	

* Referencia: NC 25/1999

Atendiendo a los valores de pH calculados se puede evaluar el agua de calidad dudosa en las estaciones estudiadas en 2022 (Ensenada de Joa: La Punta y Estación de Bombeo de Salina Joa), resultados que coinciden con los obtenidos en los años 2005 (noviembre), 2016, 2017 (en el período lluvioso) y 2020 con valores de 7,40; 7,87; 7,6 y 7,79, respectivamente. Es de calidad buena en los 8 puntos analizados, valores que coinciden con los obtenidos en los años 2013, 2017, 2019 con valores de 8,5; 8,56 y 8,08, respectivamente.

Análisis evolutivo comparativo de los parámetros medidos en diferentes muestreos

En la figura 3 se presentan los valores de pH y salinidad en el ecosistema por años, su tendencia y análisis de regresión con ajuste a un modelo compuesto, incluyendo la constante de la ecuación (SPSS v27). Se observa una tendencia discreta a la acidificación, con valores medios de pH que van desde 8,25 a 7,90. La salinidad ha presentado fluctuación, sin embargo, en estudios previos (2006, 2013, 2016-2020, 2022-2023, datos no publicados) los valores de salinidad permitieron clasificar el ecosistema con calidad buena. No obstante, se muestran la tendencia de este parámetro a decrecer, manteniéndose los valores promedio dentro del rango de 29 a 34 ups.

Se reportan salinidades atípicas debido a la ocurrencia de intensas lluvias y las limitaciones de circulación interna en la bahía. Si bien hay que considerar que solo se describe el momento de estos análisis durante el mes de marzo de 2023, correspondiendo con el período poco lluvioso, cuando las tasas de evaporación en el ecosistema son altas.

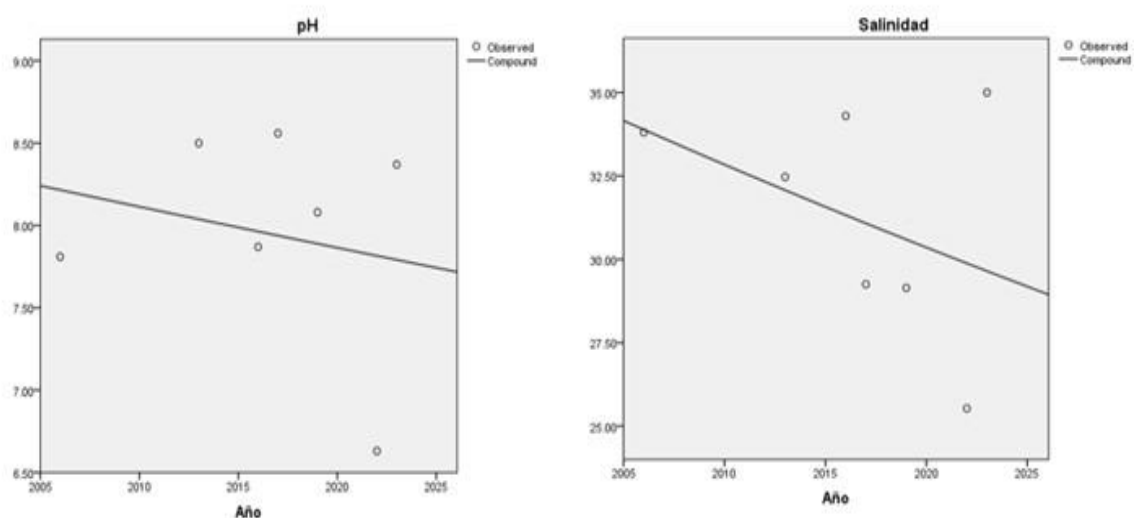


Fig. 3- Estimación de la tendencia de los valores de pH ($R=0,206$, $p=0,01$) y salinidad ($R=0,397$, $p=0,01$), a partir de la variación de sus valores promedio en los lóbulos interiores de la bahía de Guantánamo (2006-2023)

En la tabla 4 se muestran los valores promedios obtenidos de oxígeno disuelto (OD-2023), turbidez y sólidos sedimentables totales (SST- diciembre, 2022 y marzo, 2023) en los puntos analizados. Los valores obtenidos de OD permiten clasificar el agua de mala calidad, resultados que no coinciden con los obtenidos en los estudios previos, en los que la misma ha sido clasificada de buena calidad.

Tabla 4 -Valor promedio obtenido de oxígeno disuelto (OD), transparencia y sólidos sedimentables totales (SST) en los puntos analizados

Parámetros	Cantidad de ptos muestreados	OD (mgL ⁻¹)	Turbidez (Transparencia) (NTU)	SST (mgL ⁻¹)
2022	2	-	0,165±0,06	19,54±0,15
2023	8	2,25±0,14	6,75±0,65	46,32±1,10
Clasificación: Clase C, según NC 521/2007 Valores según NC 25/1999	Buena calidad	> 5	100 a 50	< 100
	Calidad Dudosa	3 - 5	50 a 20	100,0 a 300,0
	Mala Calidad	< 3	< 20	> 300

Respecto al OD, hasta el año 2020 los valores estaban dentro de los límites de calidad establecidos en la norma cubana. ⁽¹⁴⁾ Sin embargo, en 2023 disminuye drásticamente (2,25 mgL⁻¹), lo que coincide con valores puntuales obtenidos en los puntos más internos hacia el fondo, en estudios realizados en 2016 (2,80 mgL⁻¹) y 2019 (por debajo de 4,70 mgL⁻¹), confiriéndole al agua calidad mala.

Al comparar los valores de turbidez con los establecidos en la NC: 25/1999 se pudo clasificar el agua de calidad mala en ambos años evaluados. Los resultados pueden obedecer a la disposición final de los residuales generados en la cuenca y al arrastre natural de los ríos que descargan sus aguas en la bahía (Seco, Hondo, Guaso), sin embargo, al realizar un análisis comparativo con los años 2006, 2013 y 2016-2020 se puede expresar que hubo coincidencias, en dichos años el agua fue clasificada de calidad dudosa y mala en todas las estaciones analizadas.

En la figura 4 se muestra la tendencia a la disminución del OD y aumento de la turbidez en el ecosistema, con un análisis de regresión con ajuste a un modelo compuesto, incluyendo la constante de la ecuación (SPSS v27). Los valores de sólidos suspendidos totales (SST) están por debajo del comportamiento histórico de la bahía, lo que permitió clasificar el agua de calidad buena. Resultados que coinciden con los valores obtenidos en los años 2006, 2013, 2016-2020.

El mayor aporte de carga total es el proveniente de las corrientes fluviales en términos de sólidos totales, relacionado con la deforestación en las cuencas hidrográficas de los cursos de agua dulce tributarios; además de los aportes

urbano-industriales que reciben y transportan los ríos, reportando un gasto total de agua dulce de entrada a la bahía de 405 527 m³día⁻¹, con una contribución del Río Guaso del 80 %.

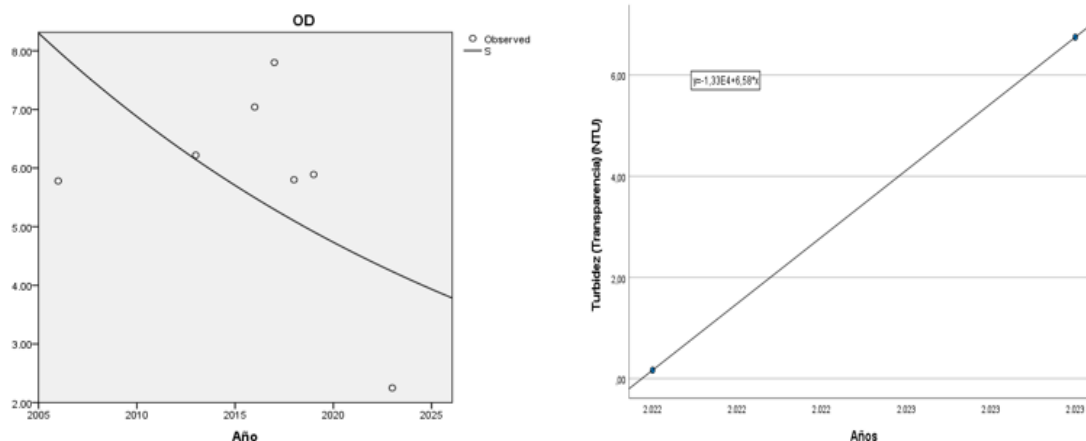


Fig. 4- Análisis de tendencia, a partir de la variación de sus valores promedios en los lóbulos interiores de la bahía de Guantánamo (2006-2023): (a) oxígeno disuelto ($R=0,489$, $p=0,01$) y (b) turbidez ($R^2=1$, $p=0,01$)

Se identifica la destilería “Argeo Martínez”, como la entidad que mayor aporte realiza. El valor calculado de la carga contaminante generada en la cuenca Guantánamo Guaso, en el año 2022, fue de 10 990,6675 tn/año y, de ella, se disponen 5917,491615 tn/año. En la tabla 5 se muestran los valores estudiados de los compuestos del nitrógeno (amonio, nitratos, nitritos) y fósforo (fosfato). De acuerdo con los valores de nitrato, nitrito y amonio obtenidos se puede clasificar el agua de calidad mala. En la figura 5 se muestra el análisis de tendencia de estas sustancias con la información disponible en el período evaluado (2006, 2013, 2016-2020, 2022-2023), con un análisis de regresión con ajuste a un modelo compuesto, incluyendo la constante de la ecuación. (SPSS v27).

Al comparar estos resultados con los obtenidos en el período 2017-2020, se observa que los valores de nitrito no coinciden, en dicho período se clasificó de calidad buena, salvo en algunas estaciones puntuales en las que se clasificó con calidad dudosa; en los años 2006 y 2013 fue evaluado de calidad dudosa, en 2016 buena calidad, el amonio la clasificó de calidad mala y el nitrato calidad dudosa (2018) y mala; en los años 2006 mala calidad, en 2013 y 2016 la calidad era dudosa.

Tabla 5 -Valores promedios obtenidos de compuestos nitrogenados y fosforados en ocho puntos analizados

Cantidad de puntos muestreados	NO ₃ (mgL ⁻¹)	NO ₂ (mgL ⁻¹)	NH ₄ (mgL ⁻¹)	PO ₄
2	155	0,5	0,1	0,1
4	217	2,0	0,9	0,9
7	282	2,0	0,9	0,9
8	328	2,0	1,0	1,0
9	376	2,0	0,8	0,8
10	332	1,0	0,8	0,8
11	109	0,2	0,1	0,1
13	340	2,0	0,8	0,8
Valor medio	267,37	1.83	1,0	1,0
Buena calidad*	< 0,01	< 0,05	< 0,03	< 0,05
Calidad Dudosa*	0,01 a 0,60	0,05 a 1,50	0,03 a 0,05	0,05 a 0,20
Mala Calidad*	> 0,60	> 1,50	> 0,05	> 0,20

*Referente: NC 25/1999. Marzo, 2023. Clasificación del cuerpo de agua: Clase C, según NC 521/2007

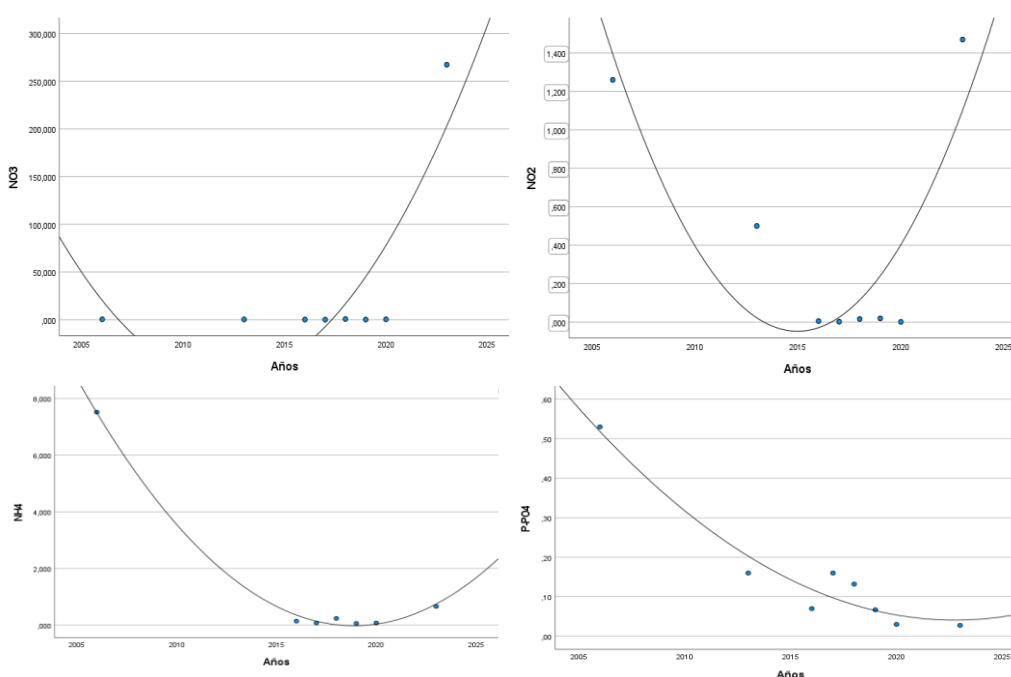


Fig. 5- Análisis de tendencia en los valores de nitratos, nitritos, amonio y fosfatos a partir de la variación de sus valores promedios en los lóbulos interiores de la bahía de Guantánamo (2006-2023)

Al analizar los resultados obtenidos en estudio de calidad de agua del río Guaso (principal corriente superficial que aporta la mayor carga contaminante a la bahía de Guantánamo) en el año 2021 se evidencia que los valores de nitrato, nitrito y amonio, en su desembocadura, son similares a los obtenidos en el presente estudio en la bahía. En relación con los valores de fosfatos obtenidos, el agua puede clasificarse de calidad mala, resultados similares a los obtenidos en estudios anteriores (2013, 2016-2019) momentos en los que fue evaluada de calidad dudosa, y en 2006 de mala calidad.

En la tabla 6 se muestran los valores promedios obtenidos de coliformes termotolerantes, *E. coli* y coliformes totales. Respecto a las concentraciones de coliformes fecales, estas no fueron elevadas, pero en las zonas de baño Caimanera (playa Tokio) y Boquerón, los valores de estreptococos fecales sobrepasaron los valores permisibles ($1,0 \times 10^2$ PNMP/100mL) según la norma cubana (NC-22:1999).⁽¹²⁾ Estos resultados son similares a los obtenidos por la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos en Guantánamo en un estudio realizado al río Guaso, desde su nacimiento hasta su desembocadura (Informe Técnico 2021, datos no publicados), en el cual se observa que en las estaciones de muestreo cercanas a la zona costera predomina una extensa vegetación y elevada cantidad de sólidos que limita la circulación libre del río hacia su desembocadura.

Tabla 6- Valores promedios obtenidos de Indicadores bacteriológicos (coliformes termotolerantes (CTT), *Escherichia coli* (*E. coli*) y coliformes totales (CT)

Parámetros	Cantidad de puntos muestreados	<i>E. coli</i>	CTT (NMP 100 mL ⁻¹)	CT (NMP/100 mL)
2023	8	< 1,8	< 1,8	12,675
Clasificación: Clase C, según NC 521/2007. Valores según NC 25/1999	Buena calidad	< 700	< 200	< 200
	Calidad Dudosa	700 a 1000	200 a 1000	200 a 1000
	Mala Calidad	> 1000	>1000	>1000

Los valores obtenidos de *E. coli* y coliformes termotolerantes fueron relativamente bajos, lo que se corresponde con los valores asociados a ecosistemas marinos.

Los resultados logrados del presente estudio también coinciden con los obtenidos en 2006 y 2013, considerando su uso pesquero al que está destinada. Sin embargo, en 2010 y 2016 los resultados fueron superiores, apreciándose un deterioro de la calidad bacteriológica del agua, sobre todo en playa Tokio.

Por otra parte, el estudio de los hidrocarburos totales en los sedimentos arrojó valores que clasifican al ecosistema como moderadamente afectado (107 mgkg⁻¹ materia seca). Se realizan análisis de metales pesados concluyendo que los Ríos Guaso y Hondo, los que pueden ser considerados como una fuente potencial de contaminación a la bahía, fundamentalmente por Pb, Ni y Cr.

En 2023, al analizar los valores de los parámetros microbiológicos, y compararlos con los establecidos en la NC: 25/1999, se registran valores de DBO de 15 mgL⁻¹ (> 8: mala calidad) y la DQO fue de 45,875 mgL⁻¹ (> 30: mala calidad) en los ocho puntos evaluados, resultados que coinciden con los obtenidos en 2016, en

el que se explica que las condiciones ambientales de la bahía estaban deterioradas debido a la contaminación del agua con materia orgánica.⁽¹⁵⁾

Se evidencia un deterioro gradual de las aguas en el ecosistema, con un aumento significativo de la DQO, lo que confirma lo obtenido en 2016. Se estima que la principal causa de tales resultados pueden ser las descargas de residuales líquidos que llegan al ecosistema costero a través del principal curso superficial: el río Guaso, provenientes de los focos contaminantes existentes en la cuenca (11 priorizados).

Se analizaron los valores de clorofila *a* fitoplanctónica (25 mg m^{-3}) en dos puntos de los muestreos realizados en diciembre 2022. De acuerdo con el criterio de clasificación establecido por la Unión Europea (2000), las aguas clasifican como eutróficas, con alta productividad primaria ($8\text{-}25 \text{ mg m}^{-3}$), resultados que coincidieron con los obtenidos en los años 2017, 2018 y 2019. Lo anterior se atribuye al limitado recambio de las aguas y el aporte de carga orgánica de los ríos. En las zonas de baño muestreadas (Playa Tokio y Playa Boquerón), se detectaron concentraciones de coliformes termotolerantes por debajo del límite máximo ($2 \times 10^2 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$). Hubo una disminución del valor medio de clorofila-*a* fitoplanctónica, con relación a los años 2010 y 2013, aunque los valores cuantificados indicaron un florecimiento moderado de la masa fitoplanctónica en las aguas superficiales de la bahía.

Sin embargo, en 2020 las aguas del ecosistema clasificaron como mesotróficas ($2,5 - 8 \text{ mgm}^{-3}$) característico de cuerpo de agua con una productividad primaria media.

Los estudios realizados en la ensenada Joa evidenciaron concentraciones de fitoplancton $876 \times 10^6 \text{ cel.mL}^{-1}$ con algunas especies identificadas, fundamentalmente diatomeas, dinoflagelados y cianobacterias. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Gómez en 2014⁽¹⁶⁾ y Loza en 2016,⁽¹⁵⁾ aunque difieren ligeramente en cuanto a las concentraciones de fitoplancton, que en 2014 fueron de $623 \times 10^4 \text{ cél. mL}^{-1}$ (inferior) y en 2016 de $914 \text{ y } 300 \times 10^4 \text{ cél. mL}^{-1}$, lo que pudo estar relacionado con el período climático en el que se tomó la muestra. En la tabla 7 se muestran las especies identificadas en 2022 y 2023.

La presencia de especies potencialmente tóxicas fue advertida previamente por Gomez en 2014, siendo el primer reporte de *Karlodinium*, *Aphanothece clarthrata*, *Chroococcus* sp. y *Synechococcus* sp. en la bahía de Guantánamo, sin que se

exista un plan para atender este riesgo, fundamentalmente debido a la baja percepción del riesgo por contaminación con ficotoxinas.

Tabla 7- Diversidad de especies de fitoplancton identificadas en la bahía de Guantánamo en los muestreos realizados durante los años 2022-2023.

No.	Grupos	Especies	2	4	7	8	9	10	11	13
1.	Dinophyta	* <i>Karlodinium</i> sp.		x	x	x	x	x		x
2.		* <i>Prorocentrum</i> sp.		x		x	x			x
3.		<i>Oxyrrhis marina</i>	x	x	x	x	x	x		x
4.	Heterokontophyta	* <i>Coscinodiscus</i> sp.			x		x	x	x	x
5.	Cyanophyta	<i>Planktothrix agardii</i>	x	x	x	x	x	x		x
6.		<i>Chroococcus limneticus</i>	x	x	x	x	x		x	x
7.		* <i>Microcystis aeuginosa</i>	x	x	x	x	x	x		x
8.		<i>Synechococcus</i> sp.	x	x	x	x	x			x
9.		<i>Aphanothece chlorata</i>	x		x	x	x	x		x

* especies asociadas a producción de ficotoxinas.

Se observan además abundantes quistes de dinoflagelados, compatibles con especies como *Gymnodinium* sp., *Prorocentrum* spp. y *Protoperidinium* spp., todas con potencial tóxico.

En 2023 se introduce la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA) para los 8 puntos muestreados, el que estuvo en el rango de 15 a 23. De acuerdo con la escala para la clasificación utilizada, todas las estaciones de muestreo mostraron un ICA "pobre", representativo de un deterioro considerable del medio marino. Similar resultado se obtuvo en una de las estaciones monitoreadas en 2020, así como en varios puntos en 2013 y 2019. Al realizar el análisis evolutivo del estado que presenta la bahía, se evidencia que existe una degradación progresiva del espejo de agua, con evidencias de un aporte significativo de carga contaminante proveniente del río Guaso con efectos colaterales como la proliferación de especies fitoplanctónicas potencialmente tóxicas, lo que pone al ecosistema, sus servicios ambientales y sus recursos en riesgo.

Conclusiones

La bahía de Guantánamo presenta un marcado deterioro ambiental lo que le confiere vulnerabilidad a eventos de contaminación que pueden afectar la calidad de los recursos pesqueros y el bienestar de sus usuarios. La mayor parte de la carga orgánica contaminante proviene de la cuenca Guantánamo-Guaso, con alteración de parámetros físico-químicos y microbiológicos que repercuten en el bajo índice de calidad del agua (ICA), siendo la Ensenada Cerro Guayabo la más

comprometida, lo que podría estar condicionado por la propia hidrodinámica del ecosistema. La contaminación y los riesgos asociados constituyen asuntos clave de manejo en este ecosistema.

Referencias bibliográficas

1. ARIAS-LAFARGUE T.; RODRÍGUEZ HEREDIA D.; CÓRDOVA RODRÍGUEZ V.; TITO FERRO D.; SALAZAR ARRASTRE P.; BESSY HERRUITINER T. y col. Influencia de residuales industriales en la contaminación de la bahía de Santiago de Cuba en el 2020. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 2022; **43**(2):3-13. [Consultado 13 agosto 2022] ISSN 2788-6050. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382022000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
2. GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA. Decreto Ley 77 “DE COSTAS” y legislación complementaria. 2023-915-O108. [en línea]. 2023. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.cu/sites/default/files/goc-2023-o108_0.pdf
3. RODRÍGUEZ TITO J.C.; GÓMEZ LUNA L.M. Trophic status of twenty-four water reservoirs in the eastern of Cuba. *Revista Cubana de Química*. 2020; **32**(1):136-53. [Consultado 25 octubre 2023]. e-ISSN: 2224-5421. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-54212020000100136&lng=es&nrm=iso&tlng=en
4. ISO/IEC 17025- US EPA. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. 2017. Disponible en: <https://webstore.ansi.org/standards/iso/isoiec170252017>
5. LUNA L.M.G.; PALANQUÉ A.Z.; OCHOA Z.C.C.; ARENCIBIA Y. Á.; ALONSO J.A.B.; MAZAR A. DE LAS M.B. Implementación de un protocolo de gestión de riesgo por presencia de ficotoxinas en la laguna de Baconao, Santiago de Cuba. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 2021; **50** (1):43-78. [Consultado 30 junio 2021]. e-ISSN 2590-4671. DOI: 10.25268/bimc.invemar.2021.50.1.980 Disponible en: <http://boletin.invemar.org.co/ojs/index.php/boletin/article/view/980>
6. DILLARD G.E. *Common Freshwater Algae of the United States: An Illustrated Key to the Genera (excluding the Diatoms)*. [en línea]. 2, ilustrado. J. Cramer; 2008. 200 p. ISBN: 3443500331, 9783443500337. Disponible en:

- https://books.google.com/cu/books/about/Common_Freshwater_Algae_of_the_Unit_ed_St.html?id=h01FAQAAIAAJ&redir_esc=y
- 7 FAUST M.A.; GULLEDGE R.A. Identifying harmful marine dinoflagellates. Washington, DC: Departamento de Botánica, Museo Nacional de Historia Natural. *En Contribuciones del Herbario Nacional de los Estados Unidos* [en línea]. 2002 [Consultado 2 febrero 2024]; Disponible en: <http://repository.si.edu/xmlui/handle/10088/27121>
8. GUIRY M.; GUIRY G.; MORRISON L.; RINDI F.; VALENZUELA S.; MATHIESON A.; y col. AlgaeBase: An On-line Resource for Algae. *Cryptogamie Algologie*. 2014; 35: 105-15. [Consultado 9 febrero 2024] ISSN: 0181-1568, 1776-0984. doi/10.7872/crya.35.iss2.2014.105. Disponible en: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.7872/crya.v35.iss2.2014.105>
9. MATSUOKA K.; FUKUYO Y. Technical Guide for Modern Dinoflagellate Cyst Study. *Westpac-hab, Jap Soc Prom Sci, Tokyo*. 2000;72. [Consultado 2 febrero 2024] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228587234_Technical_Guide_for_Modern_Dinoflagellate_Cyst_Study
10. US EPA O. National Recommended Water Quality Criteria - Aquatic Life Criteria Table [en línea]. 2015. Disponible en: <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table>
11. ONN. NC 521: 2007 Vertimiento a Zona Costera [en línea]. 2007. Disponible en: <https://studylib.es/doc/8336696/nc-521-vertimiento-a-zona-costera>
12. ONN. NC 22: 1999 Requisitos higiénicos sanitarios en lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Norma Cubana. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana. Cuba; 1999a.
13. ONEI. Caimanera en Cifras 2022. Edición 2023. [en línea]. [Consultado 25 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.onei.gob.cu/sites/default/files/publicaciones/2023-01/aem-2021-edicion-2022-caimanera.pdf>
14. ONN. NC 25: 1999 Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Norma Cubana. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana; 1999b.
15. LOZA S.L.; SÁNCHEZ M.; MONTALVO J.F. Implicaciones del deterioro ambiental para los ecosistemas costeros. Estudio de caso: “Bahía de Guantánamo,

Cuba". *Serie Oceanológica*. 2016;(15):15. [Consultado 24 octubre 2023] ISSN 2072-800x. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1834/12932>

16. GÓMEZ LUNA L.; ASÍN O.; ORTEGA Y. Primer reporte de *Oxyrrhis marina* DUJARDIN 1841 en la Bahía de Guantánamo, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* [en línea]. 2014; **34**(1):1-8. [Consultado 24 octubre 2023]. ISSN 1991-6086. Disponible en: <https://revistas.uh.cu/rim/article/view/6328>

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Annelis García González: delimitación del área de estudio, conceptualización, investigación, tomas de muestras y procesamiento de los resultados, curación de datos, redacción - borrador original.

Liliana María Gómez Luna: conceptualización, investigación, experimentación, identificación taxonómica de las cianobacterias, supervisión, redacción - revisión y edición.

Yinet Marzo Manuel: ubicación geográfica del área de estudio, de los puntos de muestreos en la bahía y elaboración de la cartografía digital.

Evillel Ferrer Pozo: revisión y curación de datos para la elaboración de la cartografía digital.