

Evaluación de la calidad ambiental a partir de indicadores fisicoquímicos de las aguas de la bahía de Jigüey 2010-2011

Assessment of Environmental Quality based on Physicochemical Indicators of Water Bay Jigüey

MSc. Oralís Alburquerque-Brooks, Lic. Ileana García-Ramil, MSc. José F. Montalvo-Estévez

oralis@oceano.inf.cu, ileana@oceano.inf.cu, montalvo@oceano.inf.cu

Instituto de Oceanología, CITMA, La Habana, Cuba

• Resumen

La bahía de Jigüey, ubicada en el archipiélago Sabana-Camagüey, al NE de Cuba, se muestreó en diciembre de 2010 y septiembre de 2011, con el objetivo de evaluar la calidad ambiental de las aguas a partir de indicadores fisicoquímicos (temperatura, salinidad, pH, demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), nitrito NO_x, amonio, nitrógeno inorgánico (NI), nitrógeno total (NT), fósforo inorgánico (PI) y fósforo total (PT), y a su vez las causas que favorecen la contaminación. Las aguas de la bahía se clasifican como contaminadas por materia orgánica y de mala calidad, por las elevadas concentraciones de DQO y nutrientes.

Palabras clave: salinidad, materia orgánica, nutrientes.

• Abstract

Jigüey Bay, located in the Sabana-Camagüey Archipelago, NE of Cuba, was sampled in December 2010 and September 2011, with the aim of assessing the environmental quality of water from physicochemical indicators (temperature, salinity, pH, chemical oxygen demand (COD), dissolved oxygen (DO), nitrite NO_x, ammonia, inorganic nitrogen (NI), total nitrogen (NT), inorganic phosphorus (IP), and total phosphorus (TP), and in turn the causes that favor pollution. bay waters are classified as contaminated by organic matter and poor quality, high concentrations of COD and nutrients.

Keywords: salinity, organic matter, nutrients.

• **Introducción**

La acentuada degradación de las condiciones ambientales de la zona marino y costera, asociada a procesos de eutrofización y contaminación por la actividad antropogénica, y los cambios climáticos globales favorecen el incremento de contaminantes con impactos drásticos sobre los recursos pesqueros, turísticos y la salud pública /1/. El enfoque ecológico para evaluar la calidad ambiental constituye una vía idónea para determinar la naturaleza y la magnitud de los impactos ambientales /2/.

El archipiélago Sabana-Camagüey (ASC) es una de las regiones de la plataforma marina cubana más estudiada en las últimas décadas, por su importancia en los procesos biogeográficos relacionados con la diversidad biológica en el Gran Caribe septentrional y, por lo tanto, en las acciones de conservación y uso sostenible de los recursos naturales regionales. Las potencialidades naturales de este archipiélago fueron de gran importancia para el desarrollo del turismo, que a su vez generó importantes presiones sobre el ecosistema.

Según estudios realizados en la década de los 90, los cuerpos de aguas interiores del archipiélago Sabana-Camagüey se caracterizaron por altas salinidades y bajo contenido de nutrientes en las zonas de menor remoción de las aguas con tendencia a la saturación de oxígeno /3/.

La bahía de Jigüey es una de las zonas estudiadas en el proyecto GEF-PNUD CUB/98/G32 Sabana-Camagüey (ASC), en el cual la construcción de pedraplenes ha generado cambios significativos en las características oceanográficas y la biodiversidad de la zona. En general, la realización de estas obras alteró los patrones de circulación de corrientes, limitando el intercambio con aguas oceánicas aledañas y el flujo de agua dulce proveniente de la escorrentía de tierra. En consecuencia, aumentó la temperatura, la salinidad y la eutrofización de las aguas, al mismo tiempo que disminuyó el O₂ disuelto.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad ambiental de las aguas de la bahía de Jigüey a partir de indicadores fisicoquímicos.

• Materiales y métodos

Área de estudio

La bahía de Jigüey se localiza en la porción oriental del ecosistema Sabana-Camagüey, entre los 21°52'12''N y 77°52'01''W, los 22°17'31''N y 78°08'09''W. Es un cuerpo de agua semicerrado y abarca un área de 982 km². Sus límites naturales de oeste a este lo constituyen las bahías De Perros y La Gloria, y de Norte a Sur, Cayo Romano y la zona costera de las provincias Ciego de Ávila y Camagüey. La profundidad media es de 0,94 m, por lo que se considera un cuerpo de agua somero /4/. El único río que desemboca en la bahía es el Cañoa, de 133 km de longitud, el cual se encuentra represado, por lo que aporta pequeños flujos de agua a la bahía.

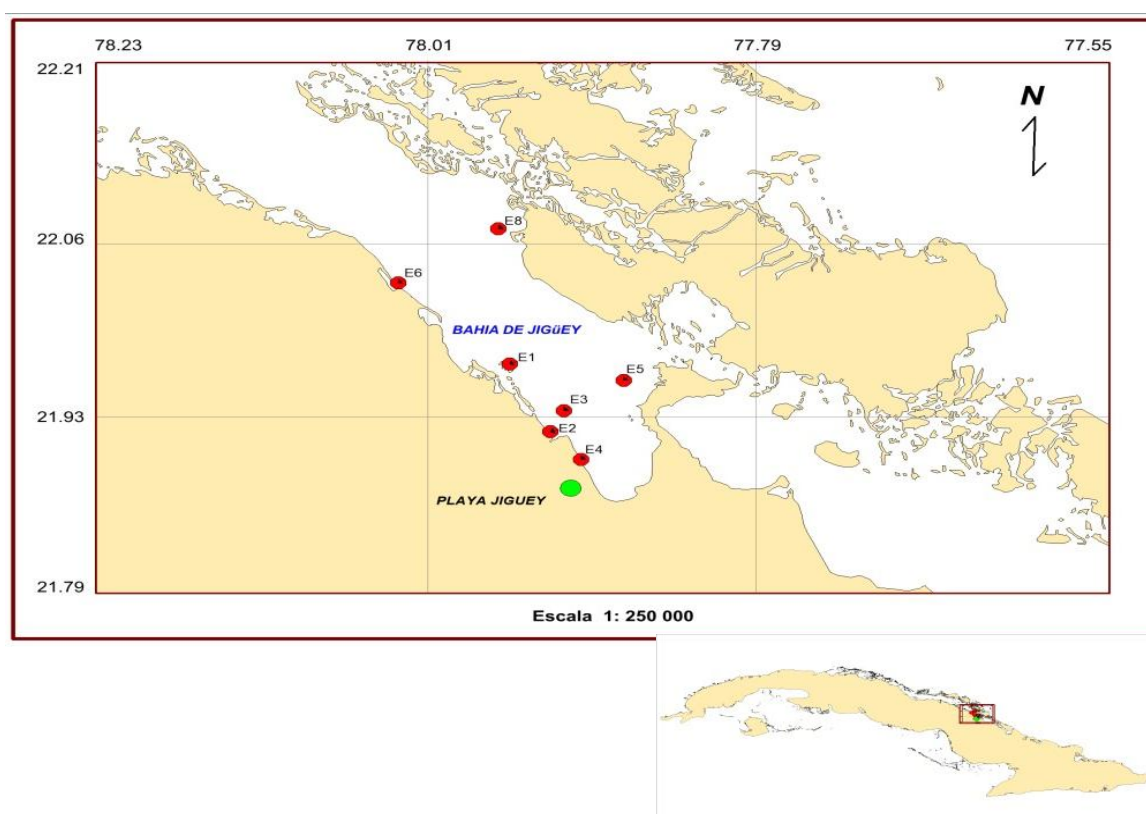


Fig. 1 Ubicación de las estaciones de muestreo en la bahía de Jigüey

Muestreo y análisis químico

Los muestreos se realizaron en diciembre de 2010 y septiembre de 2011 en una red de ocho estaciones (figura 1). En cada punto de muestreo se realizaron mediciones *in situ* de temperatura sensibilidad 0,01 °C; salinidad con sensibilidad 0,01 ups y pH de sensibilidad

0,01 a través del Multiparámetro HI 9828 Hanna; el oxígeno disuelto (OD) se cuantificó por el método Winkler /5/. Las muestras fueron tomadas de forma manual /6/, colectadas en frascos plásticos de 1 L de capacidad, y permanecieron en congelación a -20 °C hasta ser procesadas en el laboratorio de análisis químico del Instituto de Oceanología, donde se determinó la demanda química de oxígeno (DQO) por oxidación de la materia orgánica con permanganato de potasio en medio alcalino /7/, nitrato más nitrito (NO_x), mediante la reducción de los nitratos a nitrito con hidracina /8/, amonio NH_4 según el procedimiento analítico FAO (1975) /7/, nitrógeno total (NT) por oxidación de las formas reducidas de nitrógeno a nitratos con persulfato de potasio en medio alcalino /9/, fósforo inorgánico PO_4 y total (PT), por los procedimientos analíticos FAO (1975) /7/.

Se calculó la saturación de oxígeno (SO) a partir de la relación entre el oxígeno medido y la concentración de saturación de oxígeno (CSO). Para la evaluación de la calidad se utilizó la norma cubana para uso pesquero NC 25:1999 /10/ y la norma japonesa EQS 2002/11/, teniendo en cuenta los parámetros hidroquímicos.

• Resultados y discusión

La temperatura de la masa de agua osciló entre 20 y 22 °C en temporada poco lluviosa, y entre 29 y 31 °C, con un valor medio de 8,22 °C, en el periodo lluvioso (tabla 1), valores que se corresponden con la época del año y la hora en que se realizó la observación (tabla 1).

El pH presentó valores entre 7,85 y 8,39 en la temporada poco lluviosa, mientras que en la temporada lluviosa se obtuvo una variación entre 8,16 y 8,64; en ambos muestreos los valores de pH fueron ligeramente alcalinos y se encuentran dentro de los valores permisibles por la norma /10/.

La salinidad registrada en ambos muestreos correspondió a un medio hipersalino (> 40 ups); los valores superiores se registraron en septiembre de 2011 con un valor promedio de 73,9; la estación E-6 reportó la mayor salinidad en este muestreo; en el 2010 la estación E-4 mostró una disminución de este parámetro (figura 2). La elevada salinidad en la bahía se asoció al desbalance entre las precipitaciones y la evaporación en la zona, la escasa interacción con cuerpos de agua dulce y el limitado intercambio con el océano, debido a la solvatación de las pasas existentes en Cayo Romano (el mayor de los cayos del ASC) por la acumulación de sedimentos y vegetación; a su vez se incrementa el tiempo de residencia de las aguas /1-4/.

Tabla 1. Distribución de los valores promedios, desviación estándar intervalos de los parámetros evaluados

Variables	Diciembre 2010		Septiembre 2011			
	X	Intervalo	X	Intervalo	Referencias	Valor de la norma
Temperatura °C	21,2 ± 0,7	20,3 - 22,1	30,6 ± 0,5	29,7 - 31,9	-	-
pH	8,2 ± 0,2	7,85 - 8,39	8,36 ± 0,15	8,16 - 8,64	NC-25-1999	8,1 - 8,3
Oxígeno disuelto mg/L	6,5 ± 0,6	5,9 - 7,7	5,69 ± 0,44	5,0 - 6,33	NC-25-1999	< 5
SO (%)	107,5 ± 13	86,2 - 126,8	130,7 ± 7,6	119,0 - 139,2	-	-
DQO mg/L	6,1 ± 2,88	1,58 - 9,61	7,20 ± 1,30	1,69 - 7,21	EQS-2000	
DBO mg/L	1,3 ± 0,5	0,69 - 2,6	2,61 ± 0,71	1,67 - 4,00	NC-25-1999	> 1
NH ₄ µmol/L	1,38 ± 1,16	0,36 - 4,03	3,44 ± 2,02	1,73 - 7,29	NC-25-1999	> 0,03
PT µmol/L	0,48 ± 0,13	0,35 - 0,69	0,55 ± 0,26	0,10 - 0,84	EQS-2000	≤ 0,03
NT µmol/L	39,51 ± 19,9	7,97 - 71,54	80,93 ± 8,3	69,49 - 91,49	EQS-2000	≤ 0,3

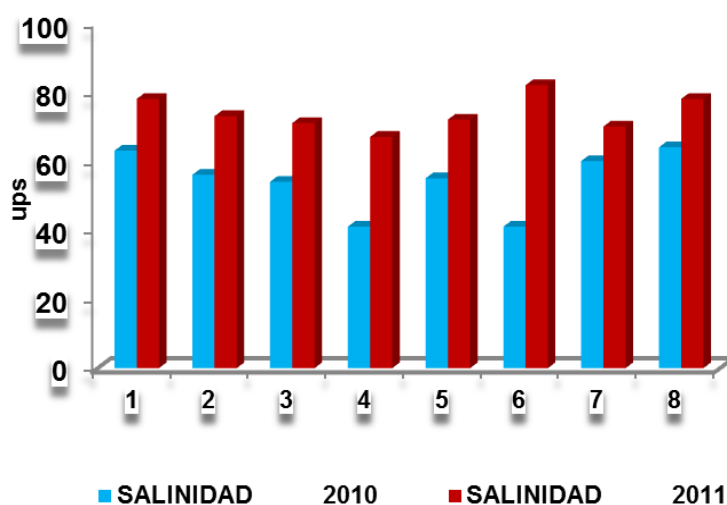


Fig. 2 Valores de salinidad en la bahía de Jigüey

Como consecuencia de la escasa profundidad (0,94 m) y la construcción de pedraplenes, se incrementó la salinidad en la bahía por el aumento de la evaporación /12/.

Información recopilada del *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* (1989) /14/ indicó que la tasa promedio anual de evaporación en la costa N de las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey fue de 2 050 mm y 2 068 mm. Por otra parte, el río Caonao, de 133 km de longitud, es el único que desemboca en la porción W de la bahía, en una zona con proceso de empantanamiento; en la parte E existe un grupo de canales (Jigüey, Manantiales y Mijail), cuyo aporte de agua dulce es muy escaso.

Las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua superan el valor de 5,0 mg/L (tabla 2), concentración establecida por /10/ para un cuerpo de agua marina de buena calidad para uso pesquero. En el periodo poco lluvioso este parámetro mostró un valor promedio 6,5 mg/L; las altas concentraciones se asociaron a una elevada producción primaria y a la difusión del oxígeno atmosférico por la agitación turbulenta ocasionada por el viento en un cuerpo de agua somero /4/.

El análisis temporal de la saturación de oxígeno en el cuerpo de agua indicó una tendencia a la sobresaturación del gas. Las saturaciones de oxígeno inferiores correspondieron a diciembre de 2010, periodo poco lluvioso con un valor promedio de 107,5 % (tabla 1), que coincidió con los valores inferiores de salinidad y temperatura /15/.

La demanda química de oxígeno (DQO), como indicador de los niveles de materia orgánica, presentó las concentraciones más bajas en temporada poco lluviosa, con un valor medio de 6,13 mg/L y una variación de 1,58 a 9,61 mg/L. La estación E-8 reportó el menor valor que coincidió con la salinidad más alta; el mayor fue en la estación E-4, que coincidió con la salinidad más baja. En la temporada lluviosa el valor medio fue de 7,2 mg/L, con un intervalo de 1,69-7,21 (tabla 1). La mayor concentración se observó en la estación E-5.

Según la norma /11/, se establece que valores superiores a 2,0 mg/L son típicos de agua marina de mala calidad para uso pesquero. Esta bahía siempre se ha caracterizado por presentar elevadas concentraciones de materia orgánica con valores superiores a los reportados por otras bahías del archipiélago Sabana-Camagüey, como la bahía de Cárdenas, con valores promedios de 4,68 y 1,82 mg/L, en julio de 2005 y mayo de 2001, respectivamente.

En la bahía de Santa Clara, en el 2001, se obtuvo un valor medio de 4,42 mg/L y, en julio de 2005, de 1,99 mg/L. Según /16/, la DQO al permanganato es el mejor indicador para medir la contaminación orgánica en ambientes costeros. Otros aspectos a tener en cuenta en el análisis de la naturaleza y procedencia de las elevadas concentraciones de materia orgánica encontrada son la disminución de la dinámica de transporte de las aguas por la construcción de los pedraplenes y el tiempo de residencia del agua, que incrementan los procesos acumulativos, lo que aumenta la vulnerabilidad de la zona a la contaminación.

Tabla 2. Concentraciones de oxígeno disuelto OD, saturación de oxígeno SO, demanda química de oxígeno y pH en los periodos de muestreo 2010-2011

Estación	2010					2011				
	OD mg/L	SO %	DQO mg/L	Temp °C	pH	OD mg/L	SO %	DQO mg/L	Temp. °C	pH
1	6,48	113,8	8,40	20,6	8,33	5,00	119,1	6,1	30,4	8,33
2	6,68	112,3	8,13	21,4	8,36	5,83	133,4	6,0	30,9	8,38
3	6,01	98,6	8,24	20,9	8,39	5,83	130,6	5,8	30,7	8,34
4	5,87	86,2	9,61	20,3	7,85	6,33	139,3	6,6	31,9	8,16
5	7,72	126,8	4,86	20,6	8,36	5,38	119,5	9,2	29,7	8,17
6	6,33	95,9	5,07	22	8,14	5,50	136,6	8,4	30,5	8,38
7	6,60	116,0	3,17	22	7,95	6,17	135,9	7,4	30,3	8,64
8	6,08	110,7	1,58	22,1	8,21	5,50	131,2	8,3	30,5	8,45

De los compuestos de nitrógeno inorgánico, el amonio fue el más abundante; los mayores valores (44 $\mu\text{mol/L}$) corresponden al periodo lluvioso (tabla 3). La alta disponibilidad de amonio en la bahía se relaciona con los procesos de mineralización de la materia orgánica en las matrices agua y sedimento, y clasifica al cuerpo de agua marina como de mala calidad para uso pesquero de acuerdo con /10/, al predominar las concentraciones superiores a 0,35 $\mu\text{mol/L}$.

En cuerpos de agua de circulación limitada e hipersalinizados, las elevadas concentraciones de amonio son usuales debido a la alta tasa de liberación de amonio por los sedimentos y la poca tolerancia de estos ambientes a las bacterias nitrificantes /4/.

Tabla 3. Concentraciones de los parámetros evaluados en el 2010 y 2011

Estación	Diciembre 2010			Septiembre 2011		
	NH ₄ μmol/L	NT μmol/L	PT μmol/L	NH ₄ μmol/L	NT μmol/L	PT μmol/L
1	0,45	37,90	0,44	7,29	86,26	0,33
2	0,98	30,75	0,39	1,75	90,28	0,36
3	0,36	53,99	0,38	2,36	76,83	0,56
4	1,74	56,35	0,69	1,73	70,37	0,10
5	1,37	7,97	0,46	2,14	69,49	0,71
6	1,11	21,98	0,35	4,66	86,16	0,76
7	4,03	32,56	0,51	2,46	91,49	0,76
8	1,03	71,54	0,64	5,08	76,53	0,84

En los dos periodos de muestreo se observaron concentraciones de nitrógeno total superiores a 21,4 μmol/L establecido por la norma /11/. Las concentraciones más elevadas se presentaron en el periodo lluvioso con valor promedio de 80,93 μmol/L, con un intervalo entre 69,49 y 91,49 (tabla 1); la estación E-2 mostró la mayor concentración en este periodo, sin embargo, en el periodo poco lluvioso, cuyo valor promedio fue de 39,51 μmol/L, con una variación entre 7,97 y 71,54, la estación E-5 presentó el menor valor, que coincide con la DQO más elevada en el periodo lluvioso.

El fósforo total obtenido en las dos etapas fue inferior a 0,97 μmol/L, valor permisible para uso pesquero por /11/. En las estaciones E-6 y E-7, durante el periodo lluvioso se encontraron las mayores concentraciones, que coinciden con los valores más elevados de nitrógeno total en este mismo periodo.

• Conclusiones

La bahía posee un carácter hipersalino permanentemente.

Las aguas marinas de la bahía mostraron una tendencia a la sobresaturación de oxígeno.

La materia orgánica y nutrientes son de origen autóctono, debido a la escasa influencia antropogénica en una zona escasamente poblada y carencia de industria en el área costera.

La escasez de fósforo en las bahías se relaciona con el poco desarrollo de la red fluvial en el ASC, y actúa como nutriente limitante para los productores primarios en la mayoría de las bahías estudiadas.

• Bibliografía

1. CARMÉNATE, M. “Calidad ambiental de la bahía de Jigüey (NE de Cuba) y su relación con intoxicaciones alimentarias de origen marino”. *Serie Oceanológica*. 2011, núm. 9 (número especial), p. 42-53.
2. *Organismos de indicadores de la calidad de agua y de la contaminación (bioindicadores)*. De la Lanza Espino, G.; Hernández Pulido, S; Carbajal Pérez, J. L. (compiladores). México: Plaza y Valdés Editores, S. A de C.V., 2000. ISBN 968-856-853-8.
3. MONTALVO, F. “Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba”. *Serie Oceanológica*. 2008, núm. 4, p. 71-84.
4. MONTALVO, F.; LOSA, S. “Flujos de materiales conservativos y no conservativos en la bahía de Jigüey (archipiélago Sabana–Camagüey, Cuba y el océano. *Serie Oceanológica*. 2006, núm. 2, p. 1-10.
5. INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION. *Chemical Methods for Use in Marine Environmental Monitoring; Manual and guide*. 1983.
6. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Water Quality Part 9 Guidance on Sampling from Marine Waters*. ISO 5667-9. 1992.
7. FAO. “Methods for Detection and Monitoring of Water Pollution”. En: *Manual of Methods in Aquatic Environmental Research*. 1975.
8. VANN MELL, L. I. J. *Les Eauxsaumâtres de Belgique. Approches progress perspectives*. Brussels, Belgique: Institut Royal du Sciences Naturelles de Belgique, 1982.
9. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Water quality. Determination of Nitrogen. Part 1. Method Using Oxidative Digestion with Peroxidisulfate*. ISO 11905-1. 1997.
10. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Evaluación de objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones*. NC 25. 1999

11. MINISTRY OF THE ENVIRONMENT GOVERNMENT OF JAPAN. *Environmental Quality Standards*. Tokyo, 2000.
12. JACINTO, A., et al. "Papel regulador de las zonas inundables del humedal en el intercambio salino subterráneo entre las bahías interiores-acuíferos en el gran humedal del norte de Ciego de Ávila". *Ciencia en su PC*. 2008, vol. 27, núm. 2, p. 66-74.
13. ALCOLADO, P., et al. "Compuestos de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales de tres zonas de la plataforma marina cubana". *Serie Oceanológica*. 2010, núm. 7, p. 36-52.
14. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. La Habana: Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1989.
15. MENÉNDEZ, H., et al. "Caracterización hidroquímica del gran humedal del norte, Ciego de Ávila, Cuba". *Minería y Geología*. 2011, vol. 27, núm. 2, p. 15-41.
16. LOZA, S., et al. (2006). Diagnóstico de la situación ambiental existente en la bahía de Jigüey (NE de Cuba) en relación con la problemática de intoxicación alimentaria de origen marino. Archivo Científico Inst. Oceanol., 2006. Informe final. Programa Ramal Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano.