

## X CONGRESO CUBANO DE METEOROLOGÍA

### TITULO: “MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL ECOSISTEMA DE LA BAHIA DE CAYO MOA. 2017- 2018”.

*Dalgis Estévez Legrá. Cuba. Cimab. dalgis@cimab.transnet.cu.*  
*Víctor Sende Oduardo. Cuba. Cimab. victor@cimab.transnet.cu*  
*Jesús Beltrán González. Cuba. Cimab. beltran@cimab.transnet.cu*  
*Miriam Martínez Varona. Cuba. Cimab. Miriam@cimab.transnet.cu*

*Colaboradores: Colectivo de trabajo del laboratorio de Contaminación CIMAB*

*Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte (Cimab) Carretera del Cristo N° 3, Casablanca, Regla, Ciudad Habana, Cuba; Fax 339681, Teléfono: 77937051 al 58 ext. 214, 254 y 255.*

#### **Resumen**

La bahía de Cayo Moa, ubicada en la provincia de Holguín, forma parte del estudio integral que lleva a cabo el Cimab para conocer la calidad ambiental de las principales bahías de Cuba. Por su importancia económica y social es objeto constante de estudios sobre su estado ambiental, dicha bahía presenta en forma general, un deterioro en la calidad de sus aguas y sedimentos. El objetivo de este trabajo fue brindar el estado actual de la calidad ambiental de la bahía a través de un estudio realizado en el año 2017 y 2018 en ambos periodos hidrológicos: Lluvioso y poco lluvioso, en una red de estaciones representativa de toda la bahía. Además se actualizó el inventario de las fuentes terrestres de contaminación marina (FTCM), evaluándose el estado de cumplimiento de las medidas mitigadoras propuestas en estudios precedentes relacionadas con la gestión ambiental. Los resultados obtenidos se compararon con los Índices de Calidad establecidos en la NC 25:1999 y se calculó el ICA desarrollado por CCME WQI (2003). Estos resultados ponen en evidencia que de forma general la calidad del cuerpo de agua de la bahía de Cayo Moa **no es satisfactoria**, este deterioro está relacionado específicamente, con las altas concentraciones de nutrientes en particular de amonio y el pH detectado en este ecosistema. Además de la baja transparencia de sus aguas. A pesar que los índices de calidad (ICA) obtenidos reflejan una ligera mejoría en la calidad del agua en varias de las estaciones estudiadas con relación al año 2017.

**Palabras claves:** índices de calidad, medioambiente, Calidad ambiental

## **Abstract.**

The bay of Cayo Moa, located in the province of Holguín, is part of the comprehensive study carried out by Cimab to know the environmental quality of the main bays of Cuba. Due to its economic and social importance, it is a constant object of studies on its environmental status, this bay generally presents a deterioration in the quality of its waters and sediments. The objective of this work was to provide the current state of the environmental quality of the bay through a study carried out in 2017 and 2018 in both hydrological periods: Rainy and rainy, in a representative network of stations throughout the bay. In addition, the inventory of terrestrial sources of marine pollution (FTCM) was updated, assessing the status of compliance with the mitigation measures proposed in previous studies related to environmental management. The results obtained were compared with the Quality Indexes established in NC 25: 1999 and the ICA developed by CCME WQI (2003) was calculated. These results show that in general the quality of the water body of the Cayo Moa bay is not satisfactory, this deterioration is specifically related to the high concentrations of nutrients in particular ammonium and the pH detected in this ecosystem. In addition to the low transparency of its waters. Although the quality indices (ICA) obtained reflect a slight improvement in water quality in several of the stations studied in relation to 2017.

Keywords: quality indices, environment, environmental quality.

## **TABLA DE CONTENIDO**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1    Objetivos .....   | 4         |
| <b>2. MATERIALES Y METODOS.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>  | <b>6</b>  |
| 3.1    Índice de Calidad del Agua (ICA).....   | 9         |
| 3.2    Calidad de los sedimentos .....   | 9         |
| 3.3    Actualización del inventario de las fuentes terrestres de contaminación a la bahía de Cayo Moa.   | 10        |
| 3.4    Evaluación de la efectividad de las medidas propuestas para el control y mitigación de las afectaciones a la zona costera estudiada. .... | 11        |
| <b>4. CONCLUSIONES .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>5. RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>13</b> |
| <b>6. REFERENCIAS .....</b>  | <b>14</b> |

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las favorables condiciones que ofrecen las zonas costeras, ha potenciado el desarrollo urbano, comercial y agroindustrial en áreas contiguas a las principales bahías y litorales, esta actividad ha dado lugar a que estos ecosistemas presenten con frecuencia diferentes grados y tipos de perturbaciones, provocados fundamentalmente por la introducción de aguas residuales que frecuentemente no cumplen los requisitos para ser dispuestas en tales ecosistemas. Debido al mal manejo e inadecuado control de los desechos sólidos y líquidos, afectan el medio marino con significativas implicaciones a nivel ecológico, socioeconómico y de salubridad.

Así, las principales bahías de Cuba se encuentran sometidas a las acciones derivadas de los asentamientos poblacionales e industriales en sus cuencas. La principal fuente de contaminación de las bahías cubanas la constituyen las fuentes terrestres (residuos urbanos, industriales, mineros, agrícolas y otros). Los residuos generados por la actividad marítima y portuaria, cuando no se actúa adecuadamente, también contribuyen de manera significativa a la degradación de estos ecosistemas

La bahía de Cayo Moa, ubicada en la provincia de Holguín, se encuentra afectada fundamentalmente por residuales urbanos – industriales, fundamentalmente de origen minero. Debido a la naturaleza de la minería y al procesamiento de minerales, los volúmenes de residuos de la actividad minero-metalúrgica son significativamente mayores que los residuos domésticos e industriales juntos. (Rodríguez et al., 2009)

La bahía es un área semi cerrada, que mantiene un fuerte intercambio con el océano abierto por sus extremos este y oeste y por los quebrados de Quesigua y Moa respectivamente, este último, constituye el canal de entrada al Puerto de Moa.

En el interior de la bahía de Cayo Moa desembocan los ríos Moa, Yagrumaje, Punta Gorda y Cayo Guam. A través del río Moa llegan a la bahía residuales líquidos provenientes de los procesos níquelíferos y sedimentos arcillosos rojos, provenientes de la corteza de interperismo de la roca serpentinitica, los que provienen tanto de las minas a cielo abierto como de las zonas deforestadas, que son erosionados y arrastrados por las corrientes de aguas superficiales durante las precipitaciones y transportada por los ríos. (Estévez et al., 2017).

### **1.1 OBJETIVOS**

- Evaluar la evolución de la calidad ambiental del espejo de agua en la zona marina - costera.
- Analizar y comparar los resultados alcanzados con los registros históricos, así como con las normas ambientales cubanas que se adecuen.
- Evaluar la calidad de los sedimentos a través de la determinación de la composición geoquímica (carbono, nitrógeno y materia orgánica).
- Actualizar el inventario de las fuentes terrestres de contaminación marina y evaluar la efectividad de las medidas propuestas.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

La red de estaciones para los muestreos de la calidad de las aguas y sedimentos, se diseñó teniendo en cuenta los resultados alcanzados en los estudios de monitoreo anteriores y la ubicación de las fuentes terrestres de contaminación ya conocidas. También se tuvieron presentes la extensión del área a estudiar y el tipo de actividades actuales que se desarrollan en el ecosistema. (Figura 1).



| Estación | Descripción                     | Estación | Descripción                            |
|----------|---------------------------------|----------|--|
| 1        | Arroyo Punta Gorda              | 7        | Asentamiento costero de Moa            |
| 2        | Frente al río Yagrumaje         | 8        | Cementerio de Moa                      |
| 3        | Frente río Moa                  | 9        | Zona Sur de Cayo Moa                   |
| 4        | Frente la piscina de colas      | 10       | Frente a Punta Pájaro (zona del Canal) |
| 5        | Frente al puerto de Moa (Canal) | 11       | Frente a Punta Coca (zona del Canal)   |
| 6        | Punta Yaguasey                  | 12       | Frente a la Playa de Cayo Moa          |

**Figura 1. Red de estaciones para los muestreos de calidad de las aguas.**

**Fuente:** (Google Earth).

Los muestreos se realizaron en los meses de julio (periodo lluvioso) y noviembre (periodo poco lluvioso) de 2017 y marzo (periodo poco lluvioso) y agosto (periodo lluvioso) de 2018. Todos los muestreos se realizaron en condiciones meteorológicas normales.

Los indicadores físicos químicos evaluados en las aguas fueron: oxígeno disuelto (OD), mediante el método Winkler, sólidos suspendidos totales (SST) según APHA (2017). Los compuestos nitrogenados ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ), fosforados (PT,  $\text{PO}_4$ ) y silicato disuelto ( $\text{SiO}_3$ ), se determinaron por espectrofotometría según Grasshoff y Ehrhardt (2002), salinidad según Grasshoff (2002), pH ISO 10523, 2008 y temperatura según APHA (2017).

La toma de muestras se realizó de acuerdo a la instrucción I - 06: “Indicaciones específicas para la toma, transportación y conservación de muestras”, implementado en el Sistema de Gestión de la Calidad del Laboratorio de Ensayos del Cimab y la norma internacional ISO 5667-9: 2012: “Sampling - Guidance on sampling from marine waters”.

La preservación y almacenamiento de los diferentes tipos de muestras se realizó de acuerdo a las especificaciones de la Norma Internacional ISO 5667-3:2012 y Grasshoff and Ehrhardt (2002). En los casos requeridos las muestras inmediatamente después de ser colectadas, fueron preservadas de acuerdo a las recomendaciones del Standard Methods (APHA, 2017).

Para la determinación de los indicadores de calidad evaluados, las muestras fueron colectadas con una botella oceanográfica tipo Van-Dorn de 2.2 litros de capacidad, a dos niveles de profundidad: el nivel superficial y un nivel intermedio en la columna de agua en dependencia de la profundidad existente, con la excepción de aquellas muestras que se toman directamente en frascos destinados para análisis con características específicas.

De forma general, se colectaron muestras de agua a un nivel de profundidad (superficie) en las estaciones representadas en la Figura 1, no se pudieron colectar las muestras de fondo debido a la poca profundidad existente (menor de -3 metros). Excepto en las estaciones 5, 6, 9, y 11 donde se colectaron muestras de agua a dos niveles de profundidad (superficie y fondo). Los valores obtenidos de los indicadores de calidad ambiental de las aguas se compararon, cuando fue posible, con los Índices de Calidad de la NC 25: 1999.

A partir de los resultados de los análisis se calculó el Índice de Calidad del Agua (ICA) desarrollado por CCME WQI (2003) y empleando el calculador digital de CCME WQI (2001), el cual propone diferente escala para la categorización del índice.

El CCME Water Quality Index (CCME WQI. 2003) propone la siguiente escala para la categorización del índice:

- **Excelente:** Índice entre 95 - 100. Ausencia virtual de deterioro.
- **Bueno:** Índice entre 80 - 94. Grado menor de deterioro.
- **Aceptable:** Índice entre 65 - 79. Deterioro ocasional.
- **Marginal:** Índice entre 45 - 64. Deterioro frecuente.
- **Pobre:** Índice entre 0 - 44. La calidad del agua casi siempre presenta deterioro.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados casi en su totalidad, en cuanto al pH exhiben valores que en sentido general clasifican según el Índice de Calidad Obligatorio de la NC 25:1999 (ONN, 1999a), como de **Calidad DUDOSA**, para ambos periodos estudiados en el año 2017. Para el año 2018 el pH casi en su mayoría exhibe valores que clasifican el agua como de **Calidad BUENA**, exceptuando cuatro (4) estaciones en marzo que clasifican el agua de **Calidad DUDOSA**, de igual manera en agosto existen otras cuatro (4) estaciones que clasifican el agua de **Calidad DUDOSA**. Estos resultados muestran diferencias con los obtenidos en el año 2017 por Estévez, et al. (2017), donde en sentido general casi todas las estaciones clasificaron el agua de **Calidad DUDOSA**.

La temperatura, a pesar de no estar regulada en la norma referida (ONN, 1999a), su estudio e interpretación es importante, en vista de establecer un acertado diagnóstico ambiental de un cuerpo de agua por su interrelación con otros indicadores y la biota existente. Los valores registrados son típicos de cada período climático y zona estudiada y no mostraron variaciones entre estaciones, muestreos y ambos años estudiados, los resultados son inferiores en todos los casos al límite máximo de 30 °C recomendado por el documento Guidelines for Canadian Recreational Water Quality (MASC, 1992).

Todos los valores de salinidad cuantificados en ambos niveles y ambos períodos estacionales, para los dos años estudiados permiten clasificar las aguas de **Calidad BUENA** según la NC 25:1999.

En ambos períodos hidrológicos del 2018 en casi todas las estaciones de la bahía, los porcentos de transparencia, se encontraron entre 100 – 50 %, que es el intervalo establecido en el Índice de Calidad Obligatorio para aguas marinas de **Calidad BUENA** (ONN, 1999a). No siendo así en el año 2017 donde en varias de las estaciones de muestreo, para ambos periodos hidrológicos, se observaron valores dentro del intervalo (50 – 20 %) establecido para aguas marinas en el Índice de Calidad Complementario de **Calidad DUDOSA** en NC 25:1999.

En la tabla 1 se muestran los valores promedio de los principales indicadores físicos químicos obtenidos por periodos hidrológicos en los años 2017 y 2018 comparándose con los Índices de Calidad establecidos por la NC 25:1999 (ONN, 1999a).

Los valores del ión nitrito (NO<sub>2</sub>) obtenido, en ambos años analizados en el 100 % de las estaciones monitoreadas, así como los valores medios obtenidos son inferiores a 0.05 mg L<sup>-1</sup>, límite máximo establecido en la NC 25:1999, para clasificar el agua de **Calidad BUENA**.

Las concentraciones de oxígeno disuelto, así como sus valores medios, en ambos períodos estacionales en todas las estaciones de la bahía en el año 2018, se encuentran por encima del límite (5 mgL<sup>-1</sup>) recomendado en el Índice de Calidad Obligatorio de **Calidad BUENA** establecido en la NC 25 (ONN, 1999a). Resultados similares se obtuvieron en 2017 en la misma zona de estudio en el periodo poco lluvioso (Estévez et al., 2017). Los resultados correspondientes al periodo lluvioso de 2017, evidencian que el 38 % de las determinaciones clasifican las aguas de las estaciones comprometidas como de **Calidad DUDOSA**, inclusive un valor en el nivel de fondo llega a **Calidad Mala** (Est. 5 Frente al puerto de Moa (Canal).

**Tabla 1. Valores promedio de los principales indicadores físico-químicos, obtenidos por períodos estacionales. 2017- 2018.**

| Periodo               | OD                 |      | NO <sub>2</sub> |       | NO <sub>3</sub> |       | NH <sub>4</sub> |      |
|-----------------------|--------------------|------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|------|
|                       | mg L <sup>-1</sup> |      |                 |       |                 |       |                 |      |
|                       | 2017               | 2018 | 2017            | 2018  | 2017            | 2018  | 2017            | 2018 |
| lluvioso              | 5.52               | 5.71 | 0.018           | 0.015 | 0.05            | 0.31  | 0.08            | 0.19 |
| poco lluvioso         | 6.75               | 7.45 | 0.028           | 0.011 | 0.05            | 0.01  | 0.51            | 0.24 |
| <b>Calidad BUENA</b>  | >5                 |      | <0.05           |       | <0.01           |       | <0.03           |      |
| <b>Calidad DUDOSA</b> | 3 - 5              |      | 0.05 – 1.50     |       | 0.01 – 0.60     |       | 0.03 – 0.05     |      |
| <b>Calidad MALA</b>   | <3                 |      | >1.50           |       | >0.60           |       | >0.05           |      |
| Periodo               | SiO <sub>3</sub>   |      | PO <sub>4</sub> |       | PT              |       | SST             |      |
|                       | 2017               | 2018 | 2017            | 2018  | 2017            | 2018  | 2017            | 2018 |
|                       | lluvioso           | 0.81 | 0.96            | 0.034 | 0.015           | 0.083 | 0.060           | 12   |
| poco lluvioso         | 2.31               | 0.68 | 0.013           | 0.023 | 0.053           | 0.138 | 13              | 18   |
| <b>Calidad BUENA</b>  | -                  |      | <0.05           |       | -               |       | <100            |      |
| <b>Calidad DUDOSA</b> | -                  |      | 0.05 - 0.20     |       | -               |       | 100 - 300       |      |
| <b>Calidad MALA</b>   | -                  |      | >0.20           |       | -               |       | >300            |      |

Los valores promedios para el nitrato en ambos periodos estacionales y en ambos años analizados clasifican casi en su totalidad las aguas de **Calidad DUDOSA**, según la propia norma (ONN, 1999a). Los resultados obtenidos en el período lluvioso del año 2018 muestran un incremento de los valores

de nitrato en casi todas las estaciones, reportándose valores que oscilaron entre 0.18 – 3.08, clasificando las aguas como de **Calidad DUDOSA** o **MALA** indistintamente, según la NC 25:1999.

El amonio ( $\text{NH}_4$ ) por su parte, presentó concentraciones en ambos periodos hidrológicos en los dos años analizados que hacen clasificar las aguas como de **Calidad MALA** y en pocos casos de **Calidad DUDOSA**, según el Índice de Calidad Complementario de la NC 25:1999 (ONN, 1999a)

En el año 2017 solo en dos (2) estaciones 1 (Arroyo Punta Gorda) y 2 (Frente al río Yagrumaje) en el periodo lluvioso clasificó el agua como de **Calidad BUENA**. En el periodo poco lluvioso tuvo lugar un incremento de todas las concentraciones en todas las estaciones muy superiores a  $> 0.05 \text{ mg L}^{-1}$ , valor que refiere la NC 25:1999 para aguas de **Calidad MALA** y en el año 2018 solo en tres (3) estaciones 11 (Frente a Punta Coca (zona del Canal)), 12 (Frente a la Playa de Cayo Moa) y la estación 3 (Frente a río Moa) en el periodo lluvioso clasificó el agua como de **Calidad BUENA**. En el periodo poco lluvioso solo la estación 9 (Zona Sur de Cayo Moa) clasificó el agua como de **Calidad BUENA**.

Los valores promedios de los fosfatos disueltos ( $\text{PO}_4$ ) obtenidos en las estaciones en los periodos lluvioso y poco lluvioso en ambos años fueron inferiores a los reportados como valor máximo exigido en la NC 25:1999, lo que clasifican el agua de acuerdo al Índice de Calidad Complementario para aguas marinas de **Calidad BUENA** (ONN, 1999a).

El fósforo total no está contemplado en las especificaciones de la NC 25:1999 (ONN, 1999a). Para su evaluación se utilizaron, entre otros, los criterios internacionales señalados por Wheatland, et al. (1971), los cuales establecen como índice para aguas no contaminadas un valor de fósforo total de  $0.067 \text{ mg L}^{-1}$  y un valor de  $0.24 \text{ mg L}^{-1}$ , como indicativo de aguas eutróficas.

Los valores medios de fósforo total (PT) en el 2017 fueron de  $0.083$  y  $0.053 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, el valor medio del periodo poco lluvioso es inferior al valor límite reportado por Wheatland et al. (1971), Paranhos, Pereira y Mayr (1998) y Braga et al. (2002), por lo que se considera que este valor no es propio de aguas eutróficas. No siendo así en el periodo lluvioso cuyo valor supera el valor límite establecido.

Para el 2018 los valores medios fueron  $0.060$  y  $0.138 \text{ mg L}^{-1}$  donde el valor medio del periodo poco lluvioso ( $0.138 \text{ mg L}^{-1}$ ) supera el valor límite establecido ( $0.067 \text{ mg L}^{-1}$ ) como índice para aguas no contaminadas y el valor medio del periodo lluvioso no es propio de aguas eutróficas.

Los valores medios obtenidos de silicato en 2017 en su mayoría fueron elevados en ambos periodos hidrológicos comparados con otros estudios anteriores, estos oscilaron entre  $0.06$  y  $6.24 \text{ mg L}^{-1}$ . Presentando notables diferencias en los resultados entre ambos periodos hidrológicos. Los mayores valores se alcanzan en las estaciones 4 (Frente la piscina de colas) y 5 (Frente al puerto de Moa Canal) en el periodo lluvioso  $1.37$  y  $1.29 \text{ mg L}^{-1}$  y en el periodo poco lluvioso el mayor valor se obtuvo en la estación 2 (Frente al río Yagrumaje) con un valor de  $6.24 \text{ mg L}^{-1}$ . En el 2018 los valores obtenidos oscilaron entre  $0.06$  y  $2.83 \text{ mg L}^{-1}$ . No presentando notables diferencias en los resultados entre ambos periodos hidrológicos.

Los sólidos suspendidos totales en todas las estaciones, en ambas etapas de muestreo en los dos años analizados fueron inferiores a  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , clasificando las aguas de **Calidad BUENA**, (ONN, 1999a).



## 2.1 Índice de Calidad del Agua (ICA)

Los ICA son herramientas que permiten conocer el estado ambiental general de un cuerpo de agua, resumiendo el análisis multivariado de diversos indicadores de calidad.

Los resultados alcanzados en cuanto al Índice de Calidad del Agua en el año 2017 y 2018 en la bahía de Cayo Moa se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Valor del índice CCME WQI por estación de muestreo años 2017 y 2018.**

| Estaciones | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11  | 12 |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| ICA 2017   | 79 | 44 | 61 | 54 | 47 | 53 | 47 | 51 | 57 | 63 | 57  | 59 |
| ICA 2018   | 93 | 44 | 75 | 57 | 81 | 64 | 53 | 76 | 63 | 57 | 100 | 93 |

De acuerdo con la escala para la clasificación del ICA en el año 2017 once (11) de las estaciones de muestreo poseen un ICA **Marginal**, con deterioro en la calidad de sus aguas, la estación 1 (Arroyo Punta Gorda) tiene un ICA que clasifica como **Aceptable**.

De acuerdo con la escala para la clasificación del ICA en el año 2018, las estaciones 4 (Frente a la piscina de colas), 6 (Punta Yaguasey), 7 (Asentamiento costero de Moa), 9 (Zona Sur de Cayo Moa) y 10 (Frente a Punta Pájaro zona del Canal) poseen un ICA **Marginal**, con deterioro en la calidad de sus aguas, las estaciones 3 (Frente a río Moa) y 8 (Cementerio de Moa) tienen un ICA que clasifica como **Aceptable**, las estaciones 1 (Arroyo Punta Gorda), 5 (Frente al puerto de Moa (Canal)) y 12 (Frente a la Playa de Cayo Moa) tienen un ICA que clasifica como **Bueno**, la estación 2 (Frente al río Yagrumaje) clasifica como **Pobre** y la estación 11 (Frente a Punta Coca zona del Canal) posee un ICA que clasifica como **Excelente**.

Este resultado no coincide en su totalidad con los obtenidos por Estévez et al. (2017) en el año 2017, sólo en la estación 1 (Arroyo Punta Gorda) se obtuvo un ICA **Aceptable**, en el resto de las estaciones los ICA fueron **Marginal**, en este año sólo la estación 2 evidencia un deterioro en la calidad del agua, con un ICA correspondiente a **Pobre**; este deterioro está relacionado específicamente a las alteraciones en las concentraciones del pH y del nutriente amonio detectados en esa estación, en las restantes estaciones se mantuvo el ICA o mejoraron de **Marginal** a **Aceptable**, **Excelente** y **Bueno**.

Estos resultados ponen en evidencia que, aun así, la calidad del agua física - química en las estaciones monitoreadas de la bahía de forma general sigue siendo no satisfactoria, a pesar que los índices de calidad (ICA) obtenidos reflejan una ligera mejoría en la calidad del agua en varias de las estaciones estudiadas.

## 2.2 Calidad de los sedimentos

La caracterización de los sedimentos es un factor importante en los estudios de calidad de un cuerpo de agua, ya que provee de información sobre el origen del material sedimentable y los posibles efectos de intercambio (en la capa de contacto) entre el agua y los sedimentos.

Los resultados de la caracterización geoquímica de los sedimentos superficiales colectados en el año 2017 y 2018 se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Materia orgánica (MO), nitrógeno orgánico (NO) y carbono orgánico (CO).**

| Años                                 | Período lluvioso             |                  |      |              |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------|------|--------------|
|                                      | NO                           | MO               | CO   |              |
|                                      | %                            |                  |      |              |
| Valores medios 2017                  | 0.16                         | 3.97             | 2.13 |              |
| Valores medios 2018                  | <b>0.30</b>                  | 2.95             | 1.74 |              |
| Referencia de Calidad<br>NC- 25:1999 | Buena (estabilizados)        | < <b>0.2</b>     | -    | < <b>4</b>   |
|                                      | Dudosa (intermedio)          | <b>0.2 a 0.3</b> | -    | <b>4 a 5</b> |
|                                      | Mala (activa descomposición) | <b>&gt; 0.3</b>  | -    | <b>&gt;5</b> |

En la Tabla 4 se aprecia que el valor medio del nitrógeno orgánico (NO) en el año 2017 es inferior al límite establecido en la NC 25:1999 por lo que es considerada agua de **Calidad BUENA (Sedimentos estabilizados)**. En el año 2018 se encuentra por encima del límite establecido en la NC 25:1999, por lo que es considerada agua de **Calidad DUDOSA (Sedimentos Intermedios)**.

Según la clasificación Ballinger and McKee (1971) el valor medio del 2018 supera el valor establecido (0.20 %) para el NO, el año 2017 es clasificado como **Tipo I** (sedimentos con depósitos orgánicos estables). Para el carbono orgánico (CO) ambos valores medios obtenidos clasifican como **Tipo I**.

El valor medio de la materia orgánica (MO) en el 2017 fue de 3.97 %. Este valor los sitúa como sedimentos influidos por elevadas concentraciones de materia orgánica de acuerdo con el criterio de Mc Kenthun (1992), el cual establece que el límite máximo para reportar contaminación por acumulación de materia orgánica en los sedimentos es de 2.3 % y el valor medio del 2018 es de 2.95 % igualmente superior al límite máximo.

Según la clasificación establecida por Ballinger and Mc Kee (1971), si los valores del Índice Orgánico de los Sedimentos (IOS) son menores de la unidad, corresponden con sedimentos influidos por detritus orgánico parcialmente estabilizados. Mientras valores mayores que 1 son típicos de sedimentos influidos por lodos residuales. En el estudio realizado en el 2017 los valores de IOS fueron inferiores a 1, valor medio (0.43) por lo que corresponden con sedimentos influidos por detritus orgánico estabilizados y en el 2018 los valores de ISO fueron igualmente inferiores a 1, valor medio (0.60) por lo que corresponden de igual manera con sedimentos influidos por detritus orgánico estabilizados.

### **2.3 Actualización del inventario de las fuentes terrestres de contaminación marina a la bahía de Cayo Moa.**

En Cuba se desarrolla el Programa Científico-Técnico Ramal y Proyecto No Asociado a Programas, con el objetivo de analizar la contaminación ambiental existente en las diferentes bahías del país, principalmente en las fuentes terrestres de contaminación marina (FTCM).

En la actualidad nos enfrentamos a un enorme reto: la contaminación de nuestras fuentes de agua más importantes, como son los ríos, los océanos, las bahías, los canales, los lagos y los embalses. Esto constituye una de las grandes preocupaciones de nuestra época, pues **sin agua de buena calidad es imposible garantizar el bienestar del medio ambiente**, de la especie humana, de los animales y de las plantas.

La explotación de minerales níquelíferos constituye la principal fuente de sustancias tóxicas en la bahía de Cayo Moa, por la gran cantidad de metales pesados que produce la extracción y producción de níquel, zinc, cromo, cobre, etc. Uno de los inconvenientes del minado a cielo abierto es que provoca un arrastre considerable de mineral, que a través de las corrientes fluviales (entre otras) llegan a la zona litoral.

Teniendo en cuenta el objetivo general del Proyecto y las características específicas del municipio de Moa, fueron visitadas y/o consideradas las fuentes de mayor relevancia e incidencia en el grado de contaminación de la bahía. Al ser la actividad minera la principal de la zona, se consideraron, desde el punto de vista industrial, 4 empresas pertenecientes al Grupo Empresarial Cubaníquel y otro grupo de entidades fuera de la actividad minera, y desde el punto de vista urbano los principales asentamientos poblacionales del municipio de Moa propiamente, estas fueron:

1. **Empresa Minero-Metalúrgica “Comandante Ernesto Che Guevara” (ECG)**
2. **Empresa minero-metalúrgica “Pedro Soto Alba” (Moa Nickel S.A.)**
3. **Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”**
4. **Centro de Investigación y Desarrollo del Níquel (CEDINIQ).**
5. **Empresa Puerto Moa (EPM) “Comandante Raúl Díaz Arguelles.**
6. **Empresa Establecimiento Lácteo de Moa.**
7. **Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa. (ISMM)**
8. **UEB Cría - Porcino Yaguaneque Moa.**
9. **UEB Generación FUEL Moa.**
10. **Asentamientos poblacionales del municipio de Moa.**

Se han identificado en la zona de estudio un total de 10 fuentes contaminantes, de las cuales, las empresas Comandante Ernesto Che Guevara, Pedro Soto Alba y el Puerto de Moa son las que más contribuyen al deterioro ambiental de la Bahía de Cayo Moa.

#### ***2.4 Evaluación de la efectividad de las medidas propuestas para el control y mitigación de las afectaciones a la zona costera estudiada.***

En el municipio Moa deben ejecutarse inversiones en función de aumentar las capacidades de tratamiento en cada uno de los repartos, con el fin de garantizar que se viertan a la bahía las aguas tratadas cumpliendo con los parámetros de vertido según la NC 521:2007.

La UEB de Acueducto y Alcantarillado del municipio de Moa, deberá solicitar y gestionar con el organismo Central a través de su grupo empresarial el financiamiento necesario para la realización de acciones de mantenimiento y rehabilitación tanto en las redes de alcantarillado como de acueducto, así como la aprobación de presupuestos de inversiones para la ejecución de sistemas de alcantarillado y de tratamiento de las aguas residuales generadas por los diferentes asentamientos poblacionales.

En cuanto al sector empresarial, las acciones deberán estar dirigidas, fundamentalmente, al cumplimiento de los aspectos ambientales identificados en cada una de las actividades que afectan al medio ambiente en cada una de las fuentes contaminantes evaluadas, así como a la aprobación de inversiones que logren minimizar los impactos a la zona costera, fundamentalmente las aguas residuales.

La siguiente tabla resume la evaluación de la efectividad de las medidas mitigatorias recogidas en estudios anteriores, evaluadas nuevamente en este período, para el control y mitigación de las

afectaciones a la zona costera estudiada y las propuestas que serían objeto de evaluación en futuros estudios.

**Tabla 4. Evaluación de la efectividad de las medidas propuestas para el control y mitigación de las afectaciones a la zona costera estudiada.**

| No.            | ENTIDADES   | MEDIDAS   |            |             |            |
|----------------|---|-----------|------------|-------------|------------|
|                |   | Evaluadas |            |             | Propuestas |
|                |   | Cumplidas | en proceso | Incumplidas |            |
| 1              | Empresa Minero-Metalúrgica “Comandante Ernesto Che Guevara”     | 9         | 4          | 2           | 3          |
| 2              | Empresa minero-metalúrgica “Pedro Sotto Alba” (Moa Nickel S.A.) | 4         | 3          | 2           | 4          |
| 3              | Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de  | 2         | 2          | 1           | 2          |
| 4              | Centro de Investigación y Desarrollo del Níquel (CEDINIQ).      | 2         | 5          | 1           | 2          |
| 5              | Empresa Puerto Moa (EPM) “Comandante Raúl Díaz Arguelles”.      | 7         | 8          | 2           | 3          |
| 6              | Empresa Establecimiento Lácteo de Moa.                          | 2         | 2          |             | 3          |
| 7              | Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa. (ISMM)            | 2         | 2          |             | 4          |
| 8              | UEB Cría - Porcino Yaguaneque Moa.                              | 1         | 1          | 2           | 4          |
| 9              | UEB Generación FUEL Moa.  | 2         | 1          |             | 2          |
| <b>TOTALES</b> |   | <b>31</b> | <b>28</b>  | <b>10</b>   | <b>27</b>  |

De un total de 69 medidas dictadas en estudios anteriores, se cumplen 31 para un 44% de cumplimiento, se encuentran en proceso de cumplimiento 28, para un 40%, y se incumplen 10 para un 14%. Se dictaron un total de 27 nuevas medidas. Una vez evaluadas las capacidades de manejo de los desechos de cada fuente contaminante, se impone la necesidad de fortalecerlas de acuerdo a determinadas prioridades, en la Tabla 6 se reflejan el orden de prioridades asignadas.

**Tabla 5. Orden de prioridad en la Gestión.**

| Instalaciones   | OACE/OSDE | Orden de prioridad |
|---|-----------|--------------------|
| Empresa Minero-Metalúrgica “Comandante Ernesto Che Guevara” (ECG) | MINEM     | 1                  |
| Empresa minero-metalúrgica “Pedro Sotto Alba” (Moa Nickel S.A.)   | MINEM     |                    |
| Empresa Puerto Moa (EPM) “Comandante Raúl Díaz Arguelles”.        | MINEM     |                    |
| Empresa Establecimiento Lácteo de Moa.                            | MINAL     | 2                  |
| UEB Generación FUEL Moa.  | MINEM     |                    |
| UEB Cría-Porcino Yaguaneque.                                      | MINAL     |                    |
| Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa. (ISMM)              | MES       | 3                  |
| Centro de Investigación y Desarrollo del Níquel (CEDINIQ)         | MINEM     |                    |
| Empresa Mecánica del Níquel (EMNi)                                | MINEM     |                    |

Al mismo tiempo, el ser humano, para vender más y mejor se esmera en poner a la tecnología en función de crear desechos que constituyen verdaderos manantiales de riquezas. Así, la vida camina por la senda de la muerte, porque no existe una mentalidad de desarrollo sustentable, porque se crea y piensa en función del presente sin tener en cuenta el futuro ni nuestro, ni mucho menos el de nuestras venideras generaciones.

### 3. CONCLUSIONES

- Las aguas de la bahía de Cayo Moa presentan buena oxigenación ya que todos los valores hallados de OD estuvieron por encima de  $5 \text{ mg L}^{-1}$ .
- Los niveles de nutrientes en su mayoría fueron superiores en el período lluvioso del 2018. Las concentraciones más elevadas se detectaron en los nutrientes nitrato, amonio y silicato.
- Los resultados obtenidos en la determinación de pH y transparencia hacen que las aguas sean consideradas en la mayoría de las estaciones como de **Calidad DUDOSA**.
- En las determinaciones de nitrito en los dos años en ambos periodos estacionales hacen que las aguas sean consideradas como de **Calidad BUENA** no siendo así para el nitrato cuyos resultados corresponden a **Calidad DUDOSA**. Sin embargo, para el amonio en ambos periodos estacionales durante los dos años analizados los valores medios corresponden a aguas marinas de **Calidad MALA**.
- El Índice de Calidad del Agua (ICA) para la bahía de cayo Moa, de forma general mostró que la calidad del agua en las estaciones monitoreadas no es satisfactoria, lo que está relacionado a su vez, con la baja transparencia de sus aguas, las altas concentraciones de nutrientes en particular de amonio y nitrato además del pH.
- Los valores obtenidos de nitrógeno orgánico y el carbono orgánico en los sedimentos estuvieron dentro de los límites de la norma cubana, considerándose como de **Calidad BUENA**. También son categorizados del **Tipo I** (sedimentos con depósitos orgánicos estables).
- En cuanto a la implementación de las medidas relacionadas con el desempeño ambiental evaluadas en las industrias e instalaciones, de un total de 69 medidas dictadas en estudios anteriores, se cumplieron 31 para un 44% de cumplimiento, se encuentran en proceso de cumplimiento 28, para un 40%, y se incumplen 10 para un 14%. Se dictaron un total de 27 nuevas medidas.

### 4. RECOMENDACIONES

- Continuar con los monitoreos sistemáticos en ambos periodos estacionales, utilizando los principales indicadores de calidad, que reflejaron algún tipo de alteración en el espejo de agua e incorporando otros indicadores que puedan dar un criterio mayor más adecuado y sobre el estado ambiental de la bahía.
- Las entidades asociadas al grupo empresarial Cubaníquel deberán gestionar los recursos para las inversiones relacionadas con la implementación de sistemas de tratamiento para sus aguas residuales que garanticen el cumplimiento de los parámetros establecidos en las normas de vertimiento.
- La dirección del municipio debe continuar con las acciones para la protección y conservación del entorno, el medio ambiente y el rescate de ecosistemas fuertemente afectados.

## 5. REFERENCIAS

- APHA- (2017). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. 23th Edition New York. 1280 pp.
- Ávila, P., Cicerone, D. y da Costa, D. (2011). Propuesta de un índice de calidad de agua para la región de Latinoamérica y el Caribe. Ed. Patricia Bedregal, Lima, Perú, ISBN: 978-612-00-0615-3, 179 pp.
- Ballinger, D. G. y Mc Kee, G. D. (1971): "Chemical characterization of bottom sediments". Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 43 (2). 216-227.
- Beltrán, J., Pérez, M. y Gómez, Y. (2017). Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana y el litoral adyacente. Informe Final. Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte (Cimab), Cuba, 96 pp.
- Blanco Prieto, J. y Pereira Simo J. (1982). Química inorgánica. Tomo II. Ed. EMPES, La Habana, 596 pp.
- CCME EPC-98E (1995). Canadian Sediment Quality. Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Protocol. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada, 43 pp.
- CCME WQI. (2001). Calculador 1.0.e. (en línea) Canadá. Recuperado de: [http://www.ccme.ca/assets/zip/wqi\\_calculator\\_1\\_0\\_e.zip](http://www.ccme.ca/assets/zip/wqi_calculator_1_0_e.zip) TT.
- CCME WQI. (2003). A path forward for consistent Implementation and reporting. National Water Quality Index workshop proceedings". Halifax, Nova Scotia, Canada. 81 pp.
- CNNG (2000). "Comisión Nacional de Nombres Geográficos". Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia. ISBN: 959-7049-08-2. 250 pp.
- Estévez, D., Ruiz, F., Gómez, Y., Martínez, M., Beltrán, J. (2017). "Control de la calidad ambiental del ecosistema marino de la bahía de Cayo Moa". Proyecto No Asociado a Programa: "Evolución y control de la calidad ambiental del ecosistema marino de la bahía de Cayo Moa". Informe Final. Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte, Cimab. La Habana, 57 pp.
- Fitzpatrick, J.J. y M.B. Meyers (2000). "A Review of Methodologies for Use in Determining Nutrient" Criteria in Coastal and Estuarine Systems". <http://www.hydroqual.com/>.
- GEOCUBA (2018). Tablas de Marea de las Costas de Cuba. Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba. Agencia de Cartografía Náutica. Cuba, 248 pp.
- Gómez, Y., Regadera, R.; Beltrán, J., (2014). Evolución y control de la calidad ambiental del ecosistema marino de la bahía de Moa. Resultado 1. Informe Final. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (Cimab), Cuba, 39 pp.
- Grasshoff, K.; M. Ehrhardt; K. Kremling. (2002). Methods of Seawater Analysis. Third, completely revised and extended Edition, 600 pp.
- IOC/UNEP. (1991). Report of the Caribbean Environmental Programme for the Assessment and Control of Marine Pollution. Caribbean Environmental Programme. Technical Report 8. Jamaica, 41 pp.
- Isaac, P.C.G. (1962). The contribution of bottom muds to depletion of oxygen in rivers. Biological problems in Water Pollution. Eng. Centres Publ. No 999-w
- ISO 5667-3: 2012: Calidad de agua- Muestreo- Parte 3: Preservación y manipulación de muestras de agua.
- Lluis-Riera M. (1983). Régimen hidrológico de la plataforma insular de Cuba. Ciencia. Tierra. Espacio. 7: 81-110.
- Martínez Canals M. (2004). Monitoreo de la Bahía de Cayo Moa Grande-2004. CESIGMA S.A. Fondo de archivo de la firma CESIGMA S.A. División América. 15 pp.
- ONN (1999a). "Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero". Norma Cubana: (NC 25: 1999). Oficina Nacional de Normalización. La Habana, 9 pp.
- ONN (1999b). Requisitos higiénicos sanitarios en lugares de baño en costas y masas de aguas interiores. Norma Cubana. (NC: 22:1999). Oficina Nacional de Normalización, La Habana Cuba, 10 pp.

- ONN (2006). Requisitos Generales para la Competencia Técnica de los Laboratorios de Ensayos y Calibración. Norma Cubana. NC: ISO/IEC 17025. Oficina Nacional de Normalización, Cuba, 30 pp.
- Paranhos, R., Pereira, A.P. & Mayr, L.M. (1998). Diel Variability of Water Quality in a Tropical Polluted Bay. *Environmental Monitoring and Assessment*, 50: 131-141.
- Riley, J. A. and R. Chester (1978). *Chemical Oceanography*. Academy Press, 2nd Edition Vol. 7, London, 647 pp.
- Ros, A. (2011). El agua, calidad y contaminación. Capítulo 12: Parámetros químicos de la calidad del agua. Nitritos, nitratos y fosfatos. Citado en: <http://www.emagister.com/curso-agua-calidad-contaminacion-1-2/parametros-quimicos-calidad-aguas-nitritos-nitratos-fosfatos>
- Rudolph, A., Franco, C., Becerra, J., Barros, A. y Ahumada, R. (2002). Evaluación de materia orgánica e hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales, bahía Concepción-Chile. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 47(4).
- Quintana N, Ruiz, F. (2009). Diagnóstico de la calidad ambiental del ecosistema bahía de Guantánamo. Proyecto 003072 “Evaluación y control de la contaminación marina en la bahía de Cayo Moa”. Programa Ramal de Ciencia y Técnica “Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano”. Informe final. Resultado 03. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (Cimab), 43 pp.
- Ruiz, F., Beltrán, J., Pérez, M., García, L. (2009). Evolución y control de la calidad ambiental del ecosistema marino de la bahía de Moa. Resultado 1. Archivo Científico Cimab, Cuba 44 pp
- Sosa-Avalos, R., Gaxiola-Castro, G., Olivos-Ortiz, A. y Silva-Iñiguez, L. (2013). Nutrientes inorgánicos y producción de fitoplancton en una laguna costera subtropical de México. *Rev. Biología Marina Oceanografía*. Vol. 48, No 1. ISSN 0718-1957.
- Stein R. (1991). Accumulation of organic carbon in marine sediments. Results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program. *Lecture Notes in Earth Sciences*, vol. 34. Berlin: Springer-Verlag, 217 pp.
- Valcárcel, L., Alberro, N. y Frías, N. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* Año 9, No.16, 2009 ISSN-1683-8904, Cuba. 5 pp.
- Wheatland, A. B., Inste, A.M., Awe, A. R. y Bruce, A.M. (1971). Some observations on the dispersion of sewage from sea out fall. *UK. Wat. Pownt. Res. Lab. Ref.* 231 - 245.