

Bahía de Santiago de Cuba. Indicadores de contaminación en su costa este.

Telvia Arias-Lafargue email: tal@uo.edu.cu
Facultad de Ingeniería Química y Agronomía. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Dunia Rodriguez Heredia email: duniarh@uo.edu.cu
Facultad de Ingeniería Química y Agronomía. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Valdivina Córdova Rodríguez email: vcordova@uo.edu.cu
Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Esta investigación se ejecutó en el período 2016-2018. Su objetivo fue: “Determinar las concentraciones de nitratos, fosfatos y tensoactivos en la subcuenca del río Puyo y su correlación con otras variables y la precipitación. Se monitoreó 10 puntos en el curso principal y 18 en los afluentes. Se caracterizaron las zonas como alta, urbana y baja, se realizó un análisis de correlación entre las variables evaluadas. Los promedios mostraron mayor concentración en nitratos en los puntos: Rosario Yacu, puente del río Indulama y cabeceras del río Putuimi, fosfatos en: dique de Fátima, Bellavista baja, dique Pambay, dique las Palmas y Bellavista y en tensoactivos al dique de los Mecánicos y al puente del río Indulama. Se concluye que las concentraciones promedio, no superan los límites establecidos en la normativa.

Palabras clave: bahía de Santiago de Cuba, contaminación, metales pesados, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos.

Santiago of Cuba bay. Contamination in their coast east.

ABSTRACT

The Santiago de Cuba's bay is considered the second most polluted in the country. In 2020, due to Covid-19, the productivity of the industries that surround it, and the maritime port traffic decreased considerably. The objective of the work is to analyze the behavior of some pollution indicators on its east coast. The following were determined as indicative parameters of contamination: heavy metals, pH, nitrite, nitrate, ammonium, phosphate, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, dissolved oxygen, suspended solids and turbidity. Suspended solids and dissolved oxygen are shown to have values above Cuban standards at the entrance to the Bay. It is concluded that the quality of the waters of the studied area does not meet the requirements as a bathing or fishing area according to current regulations.

Keywords: Santiago de Cuba bay, pollution, heavy metals, dissolved oxygen, suspended solids.

INTRODUCCIÓN

Entre los diferentes ecosistemas existentes, las zonas costeras son las más frágiles y vulnerables, porque reciben directamente los impactos de la actividad del hombre. Las bahías, son los lugares donde estos impactos son mayores; por lo que a éstas son dedicados grandes esfuerzos para el saneamiento, la preservación y el cuidado de la calidad de sus aguas.

Concretamente en Cuba, por sus características geográficas, las costas son el principal reservorio y, por tanto, las áreas más dañadas. Por lo general, las sustancias contaminantes son de origen orgánico-biodegradables, debido a que son el componente principal de los residuales líquidos urbano-industriales; aunque los residuos generados por la actividad marítimo-portuaria, cuando no se actúa adecuadamente, contribuyen de manera significativa a la degradación de estos ecosistemas (Fernández et al. 2015).

En la bahía de Santiago de Cuba se asienta la ciudad y algunos poblados, con toda la problemática de antropización que esto genera. La cuenca se encuentra rodeada por un cinturón montañoso constituido por la Sierra del Cobre al oeste, la de Boniato al norte, y por la de la Gran Piedra al este, y al sur el Mar Caribe. La ciudad se desarrolla en forma de herradura, bordea la bahía en su zona norte y noreste, correspondiendo a esta última, el mayor peso en el crecimiento, y se ubica en una depresión relativa, que favorece las concentraciones de contaminantes y otros procesos (Arias-Lafargue 2008).

Es una bahía de bolsa rodeada de elevaciones, con pocas posibilidades de renovación de sus aguas. Las costas son acantiladas, en ella el mar penetra para formar varias caletas y ensenadas. La superficie total es de 11,9 km² y tiene una profundidad promedio de 8 m, con un perímetro del litoral, que incluye sus cayos, de 41,35 km. La misma recibe un volumen de agua residual de 3 millones de metros cúbicos por día como promedio, al encontrarse dentro del territorio de la cuenca, 261 instalaciones industriales, agropecuarias y de servicios, que constituyen emisores de contaminantes de residuales líquidos de todo tipo (Arias-Lafargue 2008).

La zona se caracteriza por un desarrollo económico industrial diversificado. La actividad industrial representa el 57,4 % de la producción total del municipio. La fortaleza industrial se localiza en el lóbulo interior de la bahía y debe señalarse que el 75 % de las industrias cuentan con algún tipo de sistema de tratamiento. La bahía de Santiago de Cuba recibe la descarga, de aguas residuales industriales contaminantes, tres corrientes fluviales y un drenaje pluvial de importancia, así como otras industrias de menor grado que afectan directamente la calidad de los ríos que desembocan allí, más la actividad marítimo-portuaria (Arias-Lafargue 2008).

Por muchos años ha sido considerada la segunda bahía más contaminada del país, a pesar de que se han realizado múltiples acciones para contribuir a la disminución de los diferentes indicadores de contaminación cuyos valores se verifican anualmente.

En el año 2020, debido a la pandemia de la COVID-19, el nivel de productividad de las diversas industrias que comúnmente vierten sus residuos a la bahía santiaguera, se vio afectada por las bajas disponibilidades de materias primas y por la permanencia en los hogares de muchos trabajadores como una alternativa para reducir la propagación de esta enfermedad. Igualmente, disminuyó la llegada de barcos con mercancías al puerto, se suspendió el arribo de cruceros y se limitó el acceso a las playas y los centros recreativos de la zona costera. Todo ello pudo influir positivamente en las características de las aguas de la Bahía, al disminuir a su vez, el vertimiento de residuales. En consecuencia, el objetivo de este trabajo, es analizar el comportamiento de algunos indicadores de contaminación en la bahía santiaguera, específicamente en su costa este, que incluye su entrada.

SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para realizar el estudio se seleccionaron un total de 11 puntos de muestreo (figura 1) que abarcaron todo el litoral este de la Bahía, y que reciben los residuales de algunas empresas que vierten en su cercanía (Arias-Lafargue 2008). Se inicia el análisis con cinco puntos que se ubican en las proximidades de su entrada y que, por sus características, es un área donde puede concentrarse la contaminación, o al menos, diferir del resto del ecosistema estudiado. La zona está próxima a lugares de recreación de la población.

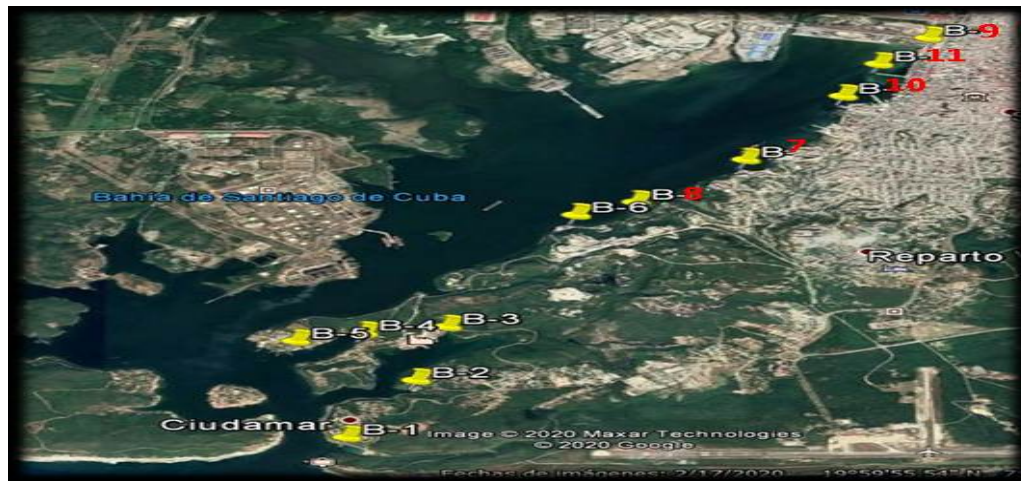


Figura 1. Ubicación de los 11 puntos de muestreo

En una segunda parte del trabajo, se valoran los restantes puntos, más hacia el interior de la Bahía y con mayor proximidad a otras industrias (figura 1), cuyos licores residuales han indicado cierto nivel de contaminación (Arias-Lafargue et al. 2021).

Las muestras de los 11 puntos, se colectaron en el periodo comprendido entre julio y septiembre de 2020. Las mismas fueron entregadas para su análisis en el Departamento de Calidad del Laboratorio "Elio Trincado" de la Empresa Geominera Oriente y en la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST) perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba, ambos laboratorios certificados. Las referidas muestras fueron simples y conservadas en neveras refrigeradas hasta su análisis entre 24 y 36 horas posteriores a su recolección. Se determinaron como parámetros indicativos de contaminación: metales pesados (Al, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn y Zn), pH, nitrato (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fosfato (PO_4^{3-}), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos (S.S.) y turbiedad. Estos indicadores fueron seleccionados según la Norma Cubana 521:2007.

Todas fueron tomadas en el horario de la mañana, siempre a la misma hora, en la superficie y a un metro de profundidad a lo largo de la orilla este y a la entrada de la bahía de Santiago de Cuba, según el caso, de acuerdo con las Normas Internacionales ISO 5667-9 e ISO 5667-3 Parte 3 (ISO 5667-9 1994). Se colectaron en envases de cristal con tapa esmerilada de 500 mL y 1 L para determinar DQO y DBO_5 , respectivamente. Para las restantes determinaciones, se emplearon frascos plásticos de 1 L de capacidad. Para las de oxígeno disuelto, se utilizaron también envases de cristal, pero de 200 mL, con la adición del correspondiente preservante. La evaluación de estas aguas residuales se realizó según las técnicas descritas en el Standard Methods (APHA 2017).

PUNTOS DE MUESTREO A LA ENTRADA DE LA BAHÍA

Se presentan las características de los cinco puntos a la entrada de la Bahía y se analizan en su conjunto para evaluar cuánto se diferencian de los restantes puntos que se estudiarán.

El punto 1 se ubica en la playa La Estrella, cerca del restaurante, en el momento en que se encuentran varios bañistas en el lugar. No se observan descargas líquidas al mar. Las muestras se presentan claras y transparentes (figura 2).

En la tabla 1 se presentan los valores medios obtenidos de los análisis químicos realizados a los cinco puntos que se analizan en esta parte inicial. Se puede apreciar que los valores de pH obtenidos para el punto 1 son ligeramente alcalinos, el contenido de nitrógeno en cualquiera de sus formas no supera los 2 mg/L y el de fosfato, es inferior a 1 mg/L. Además, se observa que, a pesar de existir un elevado contenido de sólidos suspendidos, la turbiedad no alcanza el valor de 1 NTU e indica que la transparencia del agua de mar en ese punto no se ve afectada. El contenido de oxígeno disuelto (OD) es de 3,6 mg/L con valores de DBO₅ y DQO de 86 y 264 mg/L, respectivamente. Sin embargo, de todos los parámetros presentados en la tabla, sólo el pH y el nitrito cumplen con las características de agua de buena calidad para la zona de baño que establece la norma NC 22:1999.



Figura 2. Punto de muestreo 1. Playa La Estrella

Tabla 1. Valores medios de los análisis químicos en los puntos a la entrada de la Bahía

Parámetros/Puntos de muestreo	La Estrella	Base de pesca El Nispero	Astilleros Damex	Barrio Técnico	Punta Gorda	NC 22: 1999
pH (u)	8,28	8,30	8,30	8,3	8,29	6,1 – 8,9
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	
NO ₃ ⁻ (mg/L)	1,56	4,97	1,61	1,82	4,12	
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,07	0,05	0,07	0,05	0,05	
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,71	1,24	0,91	1,14	1,18	
DBO ₅ (mg/L)	86	61,5	66,5	70	67	3 mg
DQO (mg/L)	264	192	208	216	208	
OD (mg/L)	3,6	4,2	4,4	4,0	4,0	
S.S. (mg/L)	355,5	426	370,5	332	280	
Turbiedad (mg/L)	0,36	0,2	0,36	0,24	0,2	No debe estar presente

El punto 2 fue ubicado en la base de pesca El Níspero, donde se encuentran ancladas varias embarcaciones. La muestra se toma desde una de ellas y no se observan descargas líquidas al mar. Las muestras son también claras y transparentes (figura 3).

Se puede observar (tabla 1) que el pH se presenta ligeramente básico, en norma, similar al punto anterior; el fosfato posee un valor de 1,24 mg/L y el contenido de sólidos suspendidos es elevado, incluso superior al punto de muestreo de la Estrella, aunque la turbiedad no alcanza el valor de 1 NTU. El oxígeno disuelto es 4,2 mg/L, con valores de DBO₅ y DQO de 61,5 y 192 mg/L respectivamente. El nitrógeno como nitrito y amonio no alcanza un valor de 0,1 mg/L, sin embargo, el nitrato es de casi 5 mg/L. El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de animales y plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se le encuentra como amoníaco, nitratos y nitritos. Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico y como nitrógeno amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá convirtiendo por oxidación, en nitritos y nitratos.



Figura 3. Punto de muestreo 2. Base de pesca El Níspero

Los nitratos son muy solubles en agua. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos. Estos provienen principalmente de los compuestos nitrogenados usados como abono. El predominio de los iones nitrato sobre el nitrógeno amoniacal indica contaminación albañal no reciente. El nitrógeno en el albañal fresco, aparece fundamentalmente como materia proteica y urea, donde una vez estabilizados, predomina el nitrógeno en forma de nitrato (Orozco et al. 2004).

En este punto de muestreo, al igual que en el caso anterior, el pH y el nitrito cumplen con las especificaciones de la NC 22:1999, aunque el amonio y el oxígeno disuelto se encuentran en el intervalo que clasifica el agua como de calidad dudosa para zona de baño.

En la Ensenada del Níspero, donde se ubica Astilleros DAMEX, se realizó el muestreo del punto 3. Aquí desemboca, además, el arroyo Níspero y confluyen los residuales de la Fábrica Renato Guitart Rosell (Marmolosa) y la Unidad Básica de Aseguramientos del Ministerio del Interior. Marmolosa es una entidad que requiere de grandes cantidades de agua y carece de control de sus volúmenes de vertimiento (Arias-Lafargue et al. 2018). La muestra se toma a poca distancia de donde se encuentra el casco de una embarcación abandonada. Aquí también, las muestras son claras y transparentes (figura 4).

En este caso el valor de pH coincide con el del punto 2 (tabla 1) y son similares también, el nitrógeno como nitrito. Aquí el nitrato disminuye (1,61 mg/L) respecto al punto 2, el fosfato es inferior a 1 mg/L y se aprecia, al igual que en los puntos de muestreo 1 y 2, un elevado contenido de sólidos suspendidos, aunque la turbiedad continúa inferior a 1 NTU.

El oxígeno disuelto es superior a los puntos anteriores (4,4 mg/L) y los valores de DBO₅ y DQO (66,5 y 208 mg/L respectivamente) son menores que en la base de pesca (punto 2), pero superiores a los alcanzados en las muestras de la playa (punto1). En este caso, también, el pH y el nitrito cumplen la norma NC 22:1999 y el oxígeno disuelto se encuentra próximo a los límites establecidos para agua de calidad en zona de baño.



Figura 4. Punto de muestreo 3. Astilleros DAMEX

El punto 4 se encuentra en el atracadero de lanchas del Barrio Técnico. Cerca se observa una cafetería, algunas viviendas y una zona baja donde hay numerosos cangrejos. No se notan descargas líquidas de ningún tipo al mar y las muestras fueron claras y transparentes (figura 5).



Figura 5. Punto de muestreo 4. Barrio Técnico

En esta ocasión, el valor de pH coincide con el de los puntos 2 y 3 (tabla 1), y resultaron ligeramente similares también, los contenidos de nitrógeno como nitrito y amonio que no alcanzan el valor de 0,1 mg/L. Sin embargo, el nitrato disminuye con respecto al punto de muestreo 2, pero se incrementa con respecto al punto 3 (Astilleros DAMEX). El fosfato es sutilmente superior a 1 mg/L y se aprecia nuevamente, un elevado contenido de sólidos suspendidos. La turbiedad en cambio, continúa inferior a 1 NTU. Nótese, que los contenidos de oxígeno disuelto (4,0 mg/L), DBO₅ y DQO (70 y 216 mg/L respectivamente), difieren ligeramente de los puntos anteriores. En este punto el pH y el nitrito continúan cumpliendo lo establecido en la NC 25:1999.

El punto 5 se ubica en la Playa Punta Gorda próximo al restaurante. No se notan descargas líquidas al mar. Las muestras son claras y transparentes (figura 6). Se aprecia que, tanto el valor

de pH, como los de nitrito y amonio, resultan muy similares a los obtenidos en los anteriores puntos de muestreo (tabla 1). No obstante, el contenido de nitrato supera los 4 mg/L como en el caso de la base de pesca El Níspero (punto 2).



Figura 6. Punto de muestreo 5. Playa Punta Gorda

El fosfato en este punto es levemente superior a 1 mg/L, algo similar al de la base de pesca (punto 2) y el Barrio Técnico (punto 4). Los sólidos suspendidos poseen el menor valor encontrado en los cinco puntos de muestreos (280 mg/L). La turbiedad permanece con cifras inferiores a 1 NTU y el oxígeno disuelto no difiere notablemente de los obtenidos previamente.

Los valores de DBO₅ y DQO poseen valores cercanos a los puntos de muestreos anteriores. En esta ocasión, el pH y el nitrito cumplen con las especificaciones para zona de baño, NC 25:1999, mientras el oxígeno disuelto, el amonio y los sólidos suspendidos se encuentran dentro del límite de agua de calidad dudosa para la zona de baño.

Análisis de los puntos a la entrada de la Bahía

Como se pudo apreciar en la figura 1, los cinco puntos de muestreo presentados se encuentran ubicados a la entrada de la Bahía. En la tabla 1 aparecen los valores medios obtenidos para el área estudiada, y que fueron analizados en cada uno de los puntos correspondientes. Sin embargo, al analizarlos en su conjunto, se puede observar que prácticamente no ocurren variaciones en el pH, el nitrito y el amonio.

La turbidez de un agua es provocada por la materia insoluble, en suspensión o dispersión coloidal. Es un fenómeno óptico de difusión. Las partículas insolubles responsables de la turbidez pueden ser aportadas tanto por procesos de arrastre como de remoción de tierra. En los casos que se analizan, la turbiedad se mantiene con valores en un intervalo desde 0,2 hasta 0,36 NTU.

Entre los parámetros químicos más importantes para detectar contaminación en las aguas, está el oxígeno disuelto. Los niveles de este parámetro en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica en un cuerpo de agua. La DQO está estrechamente relacionada de forma inversa con la concentración de oxígeno disuelto en las aguas, y es un factor muy importante para indicar contaminación.

En los cinco puntos que se analizan, los valores de DQO superan los 190 mg/L, y los valores de DBO₅ varían desde un valor superior de 86 hasta uno inferior de 61,5 mg/L. En cambio, la concentración de oxígeno disuelto nunca alcanza los 4,5 mg/L. Las cifras obtenidas, indican contaminación de las aguas a la entrada de la bahía santiaguera. Entre ellos se destaca, un

elevado contenido de sólidos en suspensión, siempre superior a 280 mg/L. Los parámetros indicadores de contaminación se han determinado por lo que implica su presencia para la vida acuática.

La contaminación de las aguas superficiales y marinas, constituyen un impacto ambiental negativo, derivado del manejo inadecuado de las aguas residuales. Los resultados obtenidos aquí son de gran importancia y preocupación, pues la Estrella, el Barrio Técnico y Punta Gorda constituyen zonas de baño de la población, por tanto, las características de sus aguas representan una alerta que debe ser atendida adecuadamente.

La NC 22:1999 establece las aguas utilizadas para el baño no tendrán olor ni sabor desagradable, sólo se permitirán los del agua en condiciones naturales, y no estarán afectadas por ningún color ajeno a sus características naturales. Se exige que el contenido de sólidos de tipo orgánico en las aguas destinadas para el baño no deberá producir deposiciones, turbiedad, ni ocasionar consumo de oxígeno en el área de baño. No se permitirá la presencia de sólidos flotantes. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo estarán en las aguas destinadas al baño, en una proporción que no ocasione eutrofización de las masas de agua. La concentración de oxígeno disuelto debe ser mayor de 2 mg/L y el pH de las aguas usadas para el baño, se mantendrá en un intervalo de 6,1 a 8,9 unidades.

Hasta este momento, se puede considerar que las aguas de la zona que se analiza pueden emplearse para el baño, a pesar del alto contenido de sólidos suspendidos que posea. Sin embargo, se indica que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de las aguas utilizadas para el baño, no será nunca mayor de 3 mg/L y en las tres zonas de baño que se analizan, superan en más de 22 veces el valor establecido moviéndose desde los 67 a los 86 mg/L, algo que denuncia la mala calidad del agua de la zona.

En los puntos analizados la población acude a pescar como una actividad de esparcimiento, es por ello que se analiza también la norma NC 25:1999, la cual establece las características de las aguas marinas para zonas de pesca, y en la tabla 1 se presentan los valores que permiten identificar el cuerpo de agua como de buena o mala calidad para la pesca.

El análisis demuestra que solo el pH y los nitritos cumplen con las características de un agua marina de buena calidad para la pesca, mientras el oxígeno presenta valores que indican calidad dudosa, y el resto de los parámetros indican claramente, la mala calidad del agua de la entrada de la bahía santiaguera para cumplir con la mencionada actividad recreativa.

PUNTOS DE MUESTREO EN EL INTERIOR DE LA BAHÍA

Las muestras tomadas en el interior este de la Bahía (figura 1) poseen relevancia, por la cercanía a industrias que circundan el ecosistema y su análisis proporcionará información de interés sobre el tema de la contaminación que aportan. Los valores medios de los análisis químicos realizados a los seis puntos en el interior de la Bahía se presentan en la tabla 2.

El punto 6 está ubicado en el atracadero de la fábrica de cemento José Merceron, a la salida de la zona de playa de la Bahía. En el momento del muestreo, se encontraba anclada una nave (figura 7). En las orillas se observa abundante acumulación de residuos sólidos (figura 8), a pesar de eso, las muestras fueron claras y transparentes.

Los análisis realizados (tabla 2), demuestran que el pH se mantiene en un valor medio de 8,21 unidades, y que los niveles de nitrito y amonio no alcanzan el valor de 1 mg/L, como sucedió anteriormente. Por otra parte, las concentraciones de nitrato y de fosfato, no superan los 2 mg/L. En este punto, se nota una disminución de la DBO_5 (que no alcanza los 55 mg/L) y la DQO, un incremento de la turbiedad (7,74 NTU) y los sólidos suspendidos son superiores a 280 mg/L. Los

resultados son coherentes con las características de la zona de muestreo, pues la fábrica de cemento es considerada la que más polvo genera en la zona costera. También se aprecia un incremento del oxígeno disuelto (OD).

Tabla 2. Valores medios en los puntos muestreados al interior de la Bahía

Parámetros	Fábrica de cemento	Astillero Fábrica de Harina No.13	Punta Los cocos	Puerto Guiller món Moncada	Muelle Los Cangrejitos	Espigón del Muelle Romero	NC 25: 1999 Buena calidad	NC 25: 1999 Mala calidad
pH (u)	8,21	8,82	8,33	8,30	8,23	8,3	6,5 – 8,5	< 5
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,05	0,05	0,76	1,39	0,81	0,71	< 0,1	> 3
NO ₃ ⁻ (mg/L)	1,70	1,70	4,11	2,36	2,61	1,56	< 10	> 80
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,48	0,48	0,05	0,05	0,05	0,05	< 1	> 3
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	1,24	2,74	1,31	1,51	0,94	1,51	< 1	> 3
DBO ₅ (mg/L)	54	39,5	47,5	9,0	83,5	58	< 3	> 8
DQO (mg/L)	184	125	150,5	95	256	153,5	< 15	> 30
OD (mg/L)	4,7	2,5	1,9	5,0	2,1	4,0	> 5	< 2
S. S. (mg/L)	285	254,5	359	437	663	567	< 100	> 300
Turbiedad (NTU)	7,74	46,2	0,28	0,39	0,81	0,42	-	-



Figura 7. Punto de muestreo 6. Fábrica de Cemento José Mercerón



Figura 8. Acumulación de basura en la zona

El punto 7 de muestreo estuvo ubicado en el Astillero, próximo a la fábrica de Harina No. 13, y a la desembocadura de un pequeño arroyo, al que vierten sus residuales las viviendas de la parte alta y aledaña al mismo. En la superficie del mar se observa abundante acumulación de basura. Hay una embarcación atracada en el muelle (figura 9). En este caso, como se puede apreciar en la tabla 2, el oxígeno, la DQO y la DBO₅ son inferiores a todos los reportados hasta el momento.

En esta ocasión el pH se eleva hasta 8,82 unidades (ligeramente alcalino), las concentraciones de nitrito y amonio continúan inferiores a 1 mg/L, mientras el nitrato alcanza 1,7 mg/L y el fosfato supera los 2 mg/L.



Figura 9. Punto de muestreo 7. Astillero, Fábrica de Harina No.13

La turbiedad alcanza valores mayores (46,2 NTU) y continúan elevados los sólidos suspendidos. Todo lo obtenido puede estar relacionado con los vertimientos realizados desde las viviendas aledañas, mayormente.

El octavo punto de muestreo estuvo localizado en Punta Los Cocos, próximo al Centro Turístico Belmares. Cerca se bañan algunas personas y se da mantenimiento a una pequeña embarcación. Las muestras eran claras y transparentes como se aprecian en la figura 10.

El nitrito y el amonio (tabla 2), continúan con valores inferiores a 1 mg/L, mientras el fosfato alcanza 1,31 mg/L y el nitrato es superior a 4 mg/L, a su vez, el pH disminuye hasta 8,33 unidades. La turbiedad vuelve a descender, esta vez abruptamente hasta 0,28 NTU, aunque la concentración de sólidos suspendidos continúa elevada al superar los 300 mg/L.

Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo, indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.

En este punto de muestreo, se reportan los menores valores de oxígeno disuelto en todo el recorrido que se ha realizado desde la entrada de la bahía santiaguera, con un valor de 1,9 mg/L, sin embargo, los valores reportados para la DBO₅ y la DQO no son muy diferentes a los reportados en el punto anterior (47,5 y 150 mg/L, respectivamente).

Detrás de la estación del ferrocarril, estuvo ubicado el punto de muestreo 9, en el Puerto. En las cercanías se encuentra atracado un barco y las muestras son claras y transparentes (figura 11).



Figura 10. Punto de muestreo 8. Punta Los Cocos

En la tabla 2 se puede observar que el pH es similar al punto de muestreo anterior y a los mostrados en los cinco puntos de la entrada de la Bahía. El amonio continúa con valores muy bajos (menor de 1 mg/L), y en este caso el nitrito, el nitrato y el fosfato reportan valores de 1,39; 2,36 y 1,51 mg/L respectivamente.

Significativo resulta, que por vez primera se reporta 5 mg/L de oxígeno disuelto, con una DBO₅ de sólo 9 mg/L, y que la turbiedad vuelve a permanecer por debajo de 1 NTU, a pesar que los sólidos suspendidos continúan con valores de tres cifras. Ello demuestra que, hasta este momento, los mejores valores de oxígeno disuelto, DQO y DBO₅ se encuentran en este punto, y puede relacionarse con que, en todo el período evaluado, no se produjo arribo de barcos a las costas santiagueras.

El punto de muestreo 10 se ubica en el muelle de Los Cangrejos, próximo al restaurante El Ranchón, donde se encuentran atracadas numerosas embarcaciones pequeñas. En las cercanías descarga el Dren trocha, al cual vierten sus residuales, una parte del Distrito 26 de Julio y del Distrito Antonio Maceo. Las muestras se toman desde una de las embarcaciones y se presentan claras y transparentes (figura 12). Los valores reportados en este punto de muestreo (tabla 2), revelan el pH con cifras de 8,23 unidades, valores de nitrito, amonio y fosfato inferiores a 1 mg/L, mientras el nitrato vuelve a superar los 2 mg/L.



Figura 11. Punto de muestreo 9. Puerto Guiller món Moncada

En esta ocasión, el oxígeno disuelto desciende nuevamente, esta vez hasta 2,1 mg/L, la turbiedad es baja (0,81 NTU), sin embargo, los sólidos suspendidos alcanzan los mayores valores reportados entre todos los puntos de muestreos (663 mg/L). La DBO₅ y la DQO se elevan con respecto al punto anterior con valores de 83,5 y 256 mg/L respectivamente. Los resultados alcanzados en este caso pueden deberse a los diversos vertimientos que se producen en la zona.



Figura 12. Punto de muestreo 10. Muelle Los Cangrejitos

La figura 13 representa el onceso punto de muestreo, el cual se ubica en el Espigón del Muelle Romero del puerto Guiller món Moncada. Se obtuvieron muestras claras y transparentes, con un pH similar al reportado hasta el momento. Los contenidos de nitrito y de amonio se mantiene con valores menores a 1 mg/L, aunque en esta ocasión el nitrato y el fosfato se encuentran alrededor de 1,5 mg/L.



Figura 13. Punto de muestreo 11. El Espigón del muelle Romero

En esta ocasión, los valores de oxígeno disuelto se elevaron hasta los 4,0 mg/L, los valores de DQO y DBO₅ resultaron inferiores a los del punto anterior, la turbiedad se mantuvo baja (0,42 NTU) y los sólidos suspendidos continuaron elevados, aunque inferiores al punto anterior.

Análisis de los puntos en el interior de la Bahía

En estos casos, ninguno de los puntos muestreados se utiliza como zona de baño, sin embargo, sí lo emplea la población para la pesca recreativa. Cuando se comparan los valores de los parámetros analizados, se aprecia que el pH, el nitrato y el amonio siempre cumplen lo establecido en la NC 25:1999 como agua de buena calidad para la pesca. Para el caso del nitrito, sólo el agua puede catalogarse de calidad dudosa en las muestras tomadas en el Puerto Guillermón Moncada, en el resto de los puntos la calidad es buena para la mencionada práctica. No obstante, en todos los puntos al interior de la bahía, se puede catalogar el agua como de calidad dudosa en cuanto al contenido de fosfato, DQO, DBO₅, sólidos suspendidos y turbiedad para realizar la actividad recreativa mencionada.

CONTENIDO DE METALES PESADOS EN TODOS LOS PUNTOS ESTUDIADOS

En todos los puntos de muestreo se analizó el contenido de metales pesados (Al, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn y Zn) y los valores reportados se mantuvieron en el intervalo de 0,0005 a 0,07 mg/L, excepto en una ocasión en que en el punto 3 (Astilleros DAMEX) el Al alcanzó un valor de 0,7 mg/L. Las NC 22:1999 y NC 25:1999 establecen los requisitos para la calidad sanitaria del agua en los lugares de baño y los índices para los cuerpos de agua marina de uso pesquero respectivamente. En la primera, para las aguas destinadas al baño, se estipula que no se permitirá la presencia de sustancias tóxicas o irritantes, cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana. En la segunda, se establecen los límites máximos permitidos sólo para el Cd (0,01 mg/L), Cu (0,05 mg/L), Hg (0,005 mg/L) y Pb (0,1 mg/L), como los valores para aceptar un agua de buena calidad para la pesca. Como se puede apreciar, en correspondencia con el contenido de metales pesados determinados, todos los puntos de muestreos se pueden evaluar de satisfactorios, o sea como agua sin peligro debido a la presencia de metales pesados.

CONCLUSIONES

En las aguas de la costa este de la bahía santiaguera en el año 2020, el contenido de metales pesados estuvo por debajo de la norma cubana en todos los puntos muestreados. Sin embargo, se presentan indicadores de contaminación por encima de lo normado, para los sólidos suspendidos (S.S.) y el oxígeno disuelto (OD) a la entrada de la bahía y para los demás parámetros estudiados en su interior. Por lo anterior puede asegurarse que la calidad de las aguas de toda la zona estudiada no cumple con los requisitos para zona de baño ni de pesca según lo que establecen las normas vigentes.

REFERENCIAS

- APHA** (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 23 ed. Washington D.C. USA. ISBN/ISSN/DL: 68879.
- Arias-Lafargue T.** (2008). “Caracterización de algunas de las principales fuentes contaminantes de la bahía de Santiago de Cuba y sus consecuencias en el medio ambiente”, Revista

Tecnología Química, vol.28, no.2, pp. 79 – 89, ISSN 2224-6185. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

Arias-Lafargue T., Giralt-Ortega G., Guerrero-Haber J. R., Hernández-Arias J. y Espinosa-Peña, A. (2018). “Propuesta de tratamiento para residuales de la fábrica Marmolosa en Santiago de Cuba”, Revista Tecnología Química, vol.38, no.3, pp. 719-731, ISSN 2224-6185. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

Arias-Lafargue T., Salazar Arrastre P., Bessy Horruitiner T., Córdoba Rodríguez V. y Rodríguez Heredia, D. (2021) “Opción de tratamiento para las aguas residuales del taller 1 de la empresa de fibrocemento”. Revista Tecnología Química, vol.41, no.1, pp. 34-45, ISSN 2224-6185. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

Fernández M.A., Rodríguez-Heredia D., García-Ulacia I., Santana-Gómez MA. y Córdoba-Rodríguez V. (2015). “Comportamiento de la contaminación orgánica de la bahía de Santiago de Cuba”. Ciencia en su PC, vol.42, no.1, pp. 29-42, ISSN 1027-2887. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

ISO 5667-9 (1994) Guía para el muestreo de aguas marinas, ISO 5667-3 Parte 3 Guía para la preservación y manipulación de las muestras. Ciudad de la Habana, Cuba.

NC-521:2007. “Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas-Especificaciones”. ISC: 13.060.30. 2da. Edición. Oficina Nacional de Normalización Vedado, Ciudad de La Habana. Cuba.

NC-22:1999. “Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénicos sanitarios.” ICS: 13.020; 13.060; 1ra. Edición. Oficina Nacional de Normalización (NC) Vedado, Ciudad de La Habana.

NC-25:1999. “Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones.” ICS: 65.150; 1ra. Edición. Oficina Nacional de Normalización (NC) Vedado, Ciudad de La Habana.

Orozco C.; Pérez A.; González M.; Rodríguez F. y Alfayate J. (2004). “Contaminación Ambiental. Una visión desde la química”. 1ra Edición. Editora Paraninfo S.A. Madrid. España, pp. 590. ISBN 9788497321785.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Telvia Arias-Lafargue <http://orcid.org/0000-0003-2610-1451>

Participó en el diseño de la investigación. Contribuyó en la interpretación de los datos, en el análisis de los resultados y en la redacción del informe final. Participó en la búsqueda de información.

Dunia Rodriguez Heredia <http://orcid.org/0000-0003-4676-7314>

Participó en el procesamiento de los datos experimentales y realizó contribuciones importantes en su análisis e interpretación. Realizó búsqueda de información y redacción del informe final.

Valdivina Córdova Rodríguez <http://orcid.org://0000-0002-6192-9898>

Trabajó en el diseño de la investigación, en la interpretación de los datos y en la búsqueda de información. Participó en la redacción del informe final.