

Influencia de residuales industriales en la contaminación de la bahía de Santiago de Cuba en el 2020

Telvia Arias-Lafargue

E-MAIL: tal@uo.edu.cu

Facultad de Ingeniería Química y Agronomía. Universidad de Oriente.

Dunia Rodriguez Heredia

E-MAIL: duniarh@uo.edu.cu

Facultad de Ingeniería Química y Agronomía. Universidad de Oriente.

Valdivina Córdova Rodríguez

E-MAIL: vcordova@uo.edu.cu

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente.

Daria Tito Ferro

E-MAIL: dariat@uo.edu.cu

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente.

Plácida Salazar Arrastre

E-MAIL: placida@uo.edu.cu

Facultad de Ingeniería Química y Agronomía. Universidad de Oriente.

Taimi Bessy Horrúitiner

E-MAIL: taimib@uo.edu.cu

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente.

RESUMEN

La bahía santiaguera es considerada la segunda más contaminada del país. Debido a la Covid-19, la productividad de las industrias que la rodean, y el trasiego marítimo portuario disminuyó. Por ello, el objetivo del trabajo es identificar la influencia que tuvieron los residuales de algunas industrias en la contaminación de la bahía en el 2020. Se determinaron once parámetros indicativos de contaminación como metales pesados, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos y turbiedad. Se puede asegurar que las empresas de Fibrocemento, ERASOL, Refinería de Petróleo, Procesadora de Soya, y Cervecería, son las que mayores concentraciones de contaminantes aportan a las aguas de la bahía y que la calidad de las aguas de la zona estudiada no cumple con los requisitos para zona de baño ni de pesca según las normas cubanas vigentes.

PALABRAS CLAVES: bahía Santiago de Cuba, contaminación, metales pesados, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos

Influence of industrial waste in the pollution of the bay of Santiago de Cuba in 2020

ABSTRACT

The Santiago bay is considered the second most polluted in the country. Due to Covid-19, the productivity of the industries that surround it, and the port maritime transfer decreased. Therefore, the objective of the work is to identify the influence that the residuals of some industries had on the contamination of the bay in 2020. Eleven parameters indicative of contamination were determined, such as heavy metals, dissolved oxygen, suspended solids and turbidity. It can be ensured that the Fiber Cement, Erasol, Oil Refinery, Soy Processing, and Brewery companies are the ones that contribute the highest concentrations of pollutants to the waters of the bay and that the quality of the waters of the area studied does not meet the requirements for bathing or fishing areas according to current Cuban regulations.

KEYWORDS: Santiago de Cuba's bay, pollution, heavy metals, dissolved oxygen, suspended solids

01 INTRODUCCIÓN

En la bahía santiaguera descargan sus aguas los ríos Cobre, Los Guaos, Yarayó, así como el dren Yarto o Trocha. En el lóbulo interior de este ecosistema se localiza la ciudad y el puerto de Santiago de Cuba, segundo de importancia del país, con seis zonas que presentan magníficas condiciones para fondeaderos de buques que son: Punta Gorda, noroeste de Cayo Ratones, este de Punta del Sol, noroeste del Bajo de los Compadres, este-noroeste del Espigón Antonio Maceo y sureste de Punta Buena Vista. (CITMA, 2018)

La Delegación Territorial de la Unidad de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), en Santiago de Cuba, en el diagnóstico que presentó de actualización de fuentes contaminantes de la bahía santiaguera en el 2018, identifica 22 fuentes principales de contaminación al mencionado cuerpo receptor, 13 de los cuales son industrias. En el mismo documento, luego de ser evaluadas las capacidades de manejo de los desechos de cada fuente contaminante, se establece un orden de prioridad de las industrias de mayor importancia dentro del total que inciden en la bahía de Santiago de Cuba. Las de mayor importancia y preocupación corresponden a la prioridad I, según se indica en la tabla 1, (CITMA, 2018). Aquí se muestra, además, el punto de vertimiento de cada una de ellas, aunque los residuales industriales de todas estas industrias de una forma u otra desembocan en la bahía.

Tabla 1. Orden de prioridad y puntos de vertimiento de las industrias de mayor importancia dentro del total que inciden en la bahía de Santiago de Cuba. Tomado de CITMA, 2018.

Industria	Punto de vertimiento	Prioridad
Refinería "Hermanos Díaz"	Bahía	I
Central Termoeléctrica "Antonio Maceo"	Bahía	I
Empresa Cervecería Santiago de Cuba "Hatuey"	Río Yarayó	I
Empresa Procesadora de Soya	Río Los Guaos	I
Empresa Refinadora de Aceite ERASOL	Río Los Guaos	I
Empresa de Cementos "José Merceron"	Bahía	III
Centro Genético Porcino	Río Gascón	III
Empresa Textil "Celia Sánchez Manduley"	Río Gascón	III
Empresa Productora de Prefabricados	Río Gascón	IV

Arias-Lafargue (2008) presentó una caracterización de 10 de las industrias que más contaminaban la bahía santiaguera en esos momentos, así como los ríos, arroyos, drenes y otras 10 instalaciones y servicios que también incidían negativamente en dicho cuerpo de agua. En el 2018 el diagnóstico del CITMA contiene esas mismas industrias, instalaciones y servicios identificados como altamente contaminantes (CITMA, 2018), lo cual indica que las modificaciones que se realizaron en algunas de ellas, no satisficieron los requerimientos establecidos en las normas de vertimiento vigente (ONN 2007, 2012).

Por muchos años la bahía santiaguera 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.

Debido a la pandemia de la COVID-19, en el año 2020, el nivel de productividad de las industrias que comúnmente vierten sus residuos directa o indirectamente a la bahía santiaguera, se vio afectado por las bajas disponibilidades de materias primas y por la permanencia en los hogares de

muchos trabajadores, como una alternativa para evitar la propagación de esta enfermedad. Todo ello puede influir positivamente en la variación de las características de las aguas de la bahía, al disminuir a su vez, el vertimiento de residuales industriales, y ese es el objetivo de este trabajo, analizar el comportamiento de algunos indicadores de contaminación en la bahía santiaguera y su relación con los mismos indicadores medidos en las principales industrias contaminantes.

02 SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para realizar el estudio se tomaron muestras de los residuales líquidos de ocho de las industrias identificadas como principales contaminadoras de la bahía, resultados que se muestran en la introducción. En una segunda parte del trabajo se comparan estos resultados, con la caracterización que se realizó de las aguas de la bahía en el mismo período, de modo tal que pueda valorarse la influencia que, sobre la calidad del agua de la bahía santiaguera, tienen las industrias aledañas. La bahía de estudio es considerada de bolsa y se encuentra 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 (Arias-Lafargue, 2008). Estas particularidades hacen que las características de las aguas de la bahía sean bastante similares en ambas costas. Para la valoración de la influencia se tuvo en cuenta las direcciones que toman las corrientes marinas en la bahía, lo que se muestra en la figura 1.

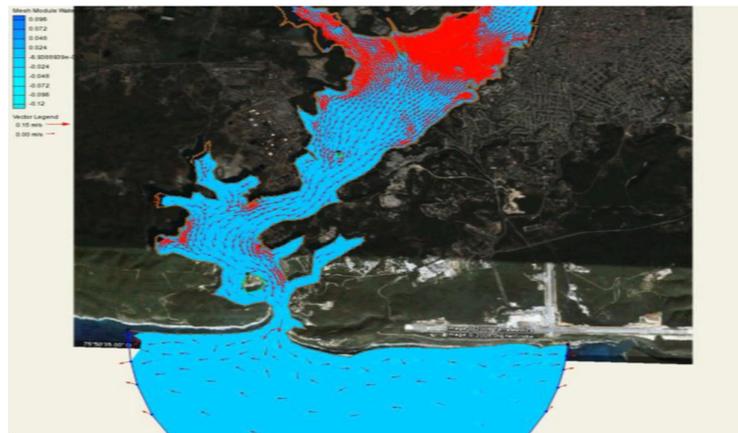


Figura 1. Mapa que muestra las direcciones que toman las corrientes marinas en la bahía de Santiago de Cuba (CITMA, 2018).

Las muestras de los residuales industriales y de las aguas de la bahía fueron analizadas en el Departamento de Calidad del Laboratorio "Elio Trincado" de la empresa Geominera Oriente y en la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (ENAST) de Santiago de Cuba, ambos laboratorios certificados. Se determinaron como parámetros indicativos de contaminación: metales pesados (Al, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn y Hg), pH, nitrito (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, sólidos suspendidos y turbiedad, según las exigencias de las normas empleadas (NC 521:2007 y NC 27:2012). Las mismas se colectaron en envases plásticos y de cristal de 1 000 mL y las de oxígeno disuelto en envases de cristal de 200 mL con la adición de los correspondiente preservantes.

Para el caso de las aguas de la bahía las muestras fueron tomadas en la superficie y a un metro de profundidad a lo largo de la orilla este de la bahía de Santiago de Cuba, de acuerdo con las Normas Internacionales ISO 5667-9 e ISO 5667-3 Parte 3 (ISO 5667-9 1994).

03 RESIDUALES INDUSTRIALES ESTUDIADOS

La empresa de fibrocemento “Armando Mestre Martínez” (resultados en tabla 2) es una de las instalaciones que conforman la empresa de Fibrocemento PERDURIT, pertenece al Ministerio de la Construcción (MICONS), está integrada al grupo Industrial de la Construcción GEICON y se ubica en la Carretera de la Refinería km 2½. Posee un área aproximada de 124 523,5 m². Esta industria abastece a la mitad oriental del archipiélago cubano de productos de fibrocemento y poliespuma (poliestireno expandido), dedicándose fervientemente a satisfacer estas producciones, ventas y comercialización. En los diferentes procesos que se realizan en el taller 1 de la misma, se genera una gran cantidad de residuales líquidos, los que son vertidos al río Gascón sin tratamiento previo contribuyendo así a la contaminación del ecosistema, pues el río desemboca en la bahía santiaguera. (Arias-Lafargue et.al. 2021a)

El taller 2 de la entidad, donde las tejas son procesadas, dispone de un sistema de tratamiento de los residuales líquidos, los que posteriormente se mezclan con los residuales del taller 1, antes de ser vertidos al medio. Todo el residual generado en las diferentes actividades productivas y de servicios que se realizan en esta empresa, son trasladados a través de diferentes canales hasta el canal principal que lo conduce hacia la fuente receptora final, río Gascón. El punto de muestreo se ubica al final del canal principal y antes de que los residuales sean vertidos al río Gascón. Aquí se unen todos los residuales generados en la empresa. Las muestras tomadas se presentan claras y sin materia flotante (figura 2).



Figura 2. Punto final de vertimiento de Fibrocemento.

En la tabla 2 se brinda la información correspondiente a los valores medios obtenidos de los análisis realizados a las muestras tomadas a los residuales de las cinco primeras industrias estudiadas.

Para el caso de la empresa de fibrocemento, los residuales investigados se tomaron al final del canal de descarga al río Los Guaos. Se podrá apreciar (en la tabla 2) que los residuales generados en la entidad presentan un alarmante pH muy básico, con valores por encima de 12 unidades, lo que evidentemente está influido por algunas de las materias primas utilizadas en el proceso productivo. Además, incumplen con la norma utilizada (NC 27:2012) los parámetros de conductividad, DBO₅, DQO y sólidos sedimentables, motivado por la propia naturaleza del proceso. En el caso de los valores obtenidos de Nitrógeno Total, Fósforo Total y metales pesados cumplen con la norma utilizada, estos últimos fueron valorados de acuerdo a la tabla 1 de la referida norma y en todos los casos los valores obtenidos están por debajo de la misma.

Tabla 2. Valores medios obtenidos de los análisis realizados a residuales procedentes de las primeras cuatro industrias.

Determinación	UM	NC 27:2012	Empresa de Fibrocemento	Textilera		Cervecería Hatuey	Genético Porcino
				Taller de acabado	Salida Homogenizador		
pH	u	6-9	12,17	7,03	7,7	5,71	7,7
NT	mg/L	20	4,89	3,67	1,73	1,28	9,5
PT	mg/L	10	1,48	12,26	1,07	6,16	18,3
Conductividad	µs/cm	3500	7193,3	2533,57	3219,50	837,5	3267,9
Sólidos Suspendidos	mg/L	150	-			148,73	181,8
Sólidos Sedimentables	ml/L	5	75,31	5,0	0,96	2,8	1,1
Materia Flotante		NP	NP	NP			
Cr VI	mg/L	0,5	0,3	0,13	0,02	0,06	0,1
Al	mg/L	<10	0,07	0,06	0,08	0,12	0,1
Cd	mg/L	<0,3	<0,002	<0,002	<0,002	0,004	0,002
Cr	mg/L	2	<0,28	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Co	mg/L	-	<0,005			<0,005	<0,005
Cu	mg/L	<5	<0,05	<0,05	<0,005	0,052	<0,05
Fe	mg/L	-	0,06			2,49	0,2
Mn	mg/L	-	<0,05			0,27	0,2
Ni	mg/L	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Pb	mg/L	1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sb	mg/L	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zn	mg/L	5	<0,02	0,06	<0,02	0,08	0,2
DBO ₅	mg/L	60	221,11	314	33,6	271,06	45,3
DQO	mg/L	120	674,67	937,83	109,0	825,81	142,1
Aceites y grasas	mg/L	50	-	75,40	46,53	222,4	163,6

NT: nitrógeno total, PT: fósforo total, NP: no presente.

La empresa textil “Celia Sánchez Manduley” (tabla 2) se encuentra en la actualidad con menos de un 60% de su capacidad instalada, debido a esto le han sido arrendados algunos espacios a varias pequeñas industrias y almacenes que contaminan en menor o mayor medida la bahía de Santiago de Cuba, dentro de estas empresas se encuentran: Distribuidora Suchel, Fábrica de Chanquetas Playeras, Base Mecánica ESTIL, Fábrica de Tabacos, Empresa de Servicios Empresarial y Distribuidora Combell. (Arias-Lafargue, 2008)

Durante el estudio realizado, la producción del combinado no incluyó el empleo de colorantes, sólo disoluciones detergentes, de hidróxido de sodio, de peróxido de hidrógeno, y de ácido acético para el blanqueo y descrudado de las piezas textiles que lo necesitaran. Se tomaron muestras de residual en dos puntos. Uno ubicado en el Taller de Acabado (figura 3), donde se genera un residual blancuzco producto del blanqueo de las telas. Otro punto se situó en el homogenizador (figura 4), donde se acumula residual algo turbio, resultante de diferentes actividades productivas. (Córdova et al. 2020)



Figura 3. Registro del taller de acabado



Figura 4. Registro del homogenizador

Los resultados revelaron que los valores de la concentración de los metales pesados determinados estuvieron dentro de las normas cubanas para el vertimiento de residuales a las zonas costeras, como se aprecia en la tabla 2. El resto de los parámetros oscilaron entre valores por debajo y por encima de los límites establecidos por la norma cubana. Se concluye que en estos residuales existen compuestos orgánicos, elevados valores de DBO, DQO, grasas y aceites, y que la industria expulsa un residual con insuficiente tratamiento, por lo cual es una fuente de contaminación a la bahía.

Otra de las entidades consideradas altamente contaminante a la bahía santiaguera, es la Cervecería Santiago de Cuba “Hatuey” (tabla 2), industria que lleva más de 94 años de explotación y contribuye a la contaminación del río Yarayó y la bahía santiaguera. El punto de muestreo se ubica en uno de los registros del sistema de alcantarillado, donde se unen todos los residuales antes de su vertimiento al río Yarayó (figura 5). Los residuales se presentan turbios y con olores característicos.

En el 2020 debido a la pandemia se realizaron modificaciones en los productos a elaborar lo que influyó en que la DBO₅ superara en 4,52 veces y la DQO en 6,88 veces los límites máximos permisibles establecidos por la normativa cubana para el vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y al alcantarillado (ONN 2012). Se evidenció que la concentración de metales pesados, conductividad eléctrica, así como el contenido de nitrógeno y fósforo se mantuvieron dentro de lo establecido por la norma de vertimiento y que a pesar de que la norma establece que no debe existir sólidos suspendidos se reportan valores superiores a los 100 mg/L. Mientras las grasas y aceites constituyen el parámetro que supera en 7,4 veces lo que indica la norma cubana (tabla 2).



Figura 5. Registro del sistema de alcantarillado.

El Centro Genético Porcino (tabla 2) se ubica al noroeste de la ciudad de Santiago de Cuba en el km 11 de la carretera central vía Palma Soriano. Esta entidad tiene como objetivo producir y comercializar cerdos genéticamente mejorados, carnes y subproductos porcinos. Durante la limpieza de las naves donde se crían los cerdos se genera cantidad de residuales líquidos y sólidos, los cuales son sometidos a un proceso de tratamiento antes de ser vertidos al medio. Las tres primeras lagunas retienen los sólidos sedimentables que lleva el residual y las dos últimas retienen el residual líquido que luego pasa a un filtro percolador antes de su vertimiento al medio en este caso al terreno y finalmente al río Los Guaos. Algunas de las lagunas se encuentran ubicadas muy próximas al cauce del río, por lo que se encuentran en zona de riesgo ante los agentes erosivos, fuertes aguaceros, y sismos de moderada intensidad, estos riesgos podrían provocar el colapso del sistema y un fuerte impacto sobre el río. Todas carecen de mantenimiento.

El punto de muestreo se ubica en la última laguna de retención de los residuales líquidos y en el registro por donde pasa el residual antes de llegar al filtro percolador. Toda la zona alrededor de la laguna se encuentra cubierto de lajas (figura 6). El líquido acumulado en la misma presenta una coloración verdosa. Las muestras tomadas se observan algo turbias. En este caso los residuales superan la norma (ONN 2012) en lo referido a los sólidos suspendidos, DQO y aceites y grasas tal como se puede apreciar en la tabla 3.



Figura 6. Laguna 5 y registro.

La Refinería de Petróleos Hermanos Díaz, forma parte de las restantes cuatro industrias muestreadas que se analizarán en esta parte del trabajo, cuyos resultados se muestran en la tabla 3. Esta industria dispone de sistema de tratamiento de todos sus residuales cuyo destino final lo constituyen las aguas de la bahía santiaguera. La misma ocupa alrededor de 136 hectáreas y tiene la

misión de producir derivados del petróleo y brindar servicios de alta calidad al territorio nacional. Entre los productos que se comercializan están: el gas licuado, kerosene, turbo combustible, asfalto, gasolina y diesel. Además, posibilita la producción del gas refrigerante LB-12 y el solvente RL-95, que sustituye al Freón 11 en la limpieza de equipos de refrigeración.

Tabla 3. Valores medios obtenidos de los análisis realizados a residuales procedentes de otras cuatro industrias.

Determinación	UM	NC 521:2007	Refinería			Procesadora de soya	ERASOL	Prefabricado	
			Ensenada Miradero	Ensenada Cajuma	Separador			Paneles	Descarga final
pH	u	9	7,74	7,70	7,32	6,52	6,6	7,39	7,85
NT	mg/L	20	0,75	0,85	1,93	1,43	1,07	2,63	1,16
PT	mg/L	7	0,05	0,14	1 481,06	32,17	23,56	1 085,7	0,22
Sólidos suspensión	mg/L	150	180,67	242,5	219,67	170,83	623,83	84,05	60,66
Sólidos Sedimentables	ml/L	15	0,1	0,93	0,46	5,13	4,13	0,30	0,30
Cr VI	mg/L	0,1	< 0,02	< 0,02	0,07	0,08	0,12	0,06	0,03
Aceites y grasas	mg/L	50	70,8	77,2	27,73	299,6	19 658,4	<0,02	113,27
Materia flotante		Ausente	NP	P	P	P	NP	NP	NP
CN ⁻	mg/L	0,5	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Al	mg/L	1	0,22	0,09	0,34	0,07	0,34	1,03	0,08
Cd	mg/L	0,05	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,006	<0,002	<0,002
Cr	mg/L	2,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cu	mg/L	1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fe	mg/L	5	0,18	0,15	1,4	<0,02	3,26	1,66	0,09
Ni	mg/L	2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Pb	mg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sb	mg/L	0,7	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zn	mg/L	4	0,34	0,03	0,07	0,034	0,84	0,05	<0,2
Hg	mg/L	0,005	<0,04	<0,04	<0,04	<0,02	<0,02	<0,04	<0,02
DBO ₅	mg/L	150	1 342,5	435,14	25,43	49,22	4 904,1	26,33	33,21
DQO	mg/L	300	4 063,0	1 327,86	85,0	33	14 747,2	85,17	105,14
Conductividad	µs/cm	-	413,8	420,6	433,1	1 253,67	2 355,91	403,6	1 183,94

NP: no presente, P: presente.

Varios son los elementos contaminantes que en sus procesos productivos se generan, así como los efectos que acarrearán sobre el ecosistema bahía (Arias-Lafargue, 2008). Por consiguiente, es necesario que los sistemas de tratamiento de que dispone cumplan eficientemente su función.

Para caracterizar los residuales generados fueron elegidos varios puntos de muestreo: uno dentro de cada una de las barreras flotantes que retienen los vertimientos provenientes de la laguna de oxidación y del separador y un punto a la salida del mismo hacia la laguna.

Como se plantea, estos residuales líquidos descargan a un sistema de barreras flotantes, ubicados en el cuerpo receptor (bahía de Santiago de Cuba), que actúan como trampas, cuya función es evitar que las grasas, aceites e hidrocarburos se esparzan libremente por las aguas de la Bahía. Estas grasas y aceites son de baja o nula biodegradabilidad y poseen características especiales como baja densidad y poca solubilidad en agua, por lo que tienden a separarse de la fase acuosa, y ocupan la superficie del líquido que las contiene y forman natas. Se observa una gruesa nata en el interior las barreras flotantes que reciben la descarga de residuales de la laguna de oxidación. La figura 7 muestra las afectaciones en la costa y en el área de las barreras flotantes.



Figura 7. Afectaciones en la costa en el área de las barreras flotantes.

Los análisis realizados demostraron que en los puntos de muestreo los residuales analizados cumplen las especificaciones de la norma utilizada para el pH, nitrógeno total, sólidos sedimentables, cromo hexavalente y metales pesados, sin detectarse nunca iones de cianuro.

La tabla 3 refleja los valores medios obtenidos de los análisis realizados a las muestras tomadas en los tres puntos de muestreos correspondiente a la ensenada Cajuma, ensenada Miradero y a la salida del separador. Los residuales en los Punto 1 y 2 no cumplen con las exigencias de la norma cubana (ONN 2007) para los casos de las concentraciones de sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, DBO y DQO. Mientras en el Punto 3, la composición de los residuales no cumple con la norma para los casos de las concentraciones de fósforo total, sólidos suspendidos totales, además de grasas y aceites.

Los resultados obtenidos y analizados, evidencian que los residuales no cumplen con la norma de vertimiento cubana establecida, de acuerdo con su vertimiento al cuerpo receptor que se analiza. En consecuencia, deben determinarse los posibles lugares que mayor contaminación aportan dentro de la entidad a las ensenadas de la Bahía.

La empresa Refinadora de Aceites ERASOL (tabla 3), ubicada al oeste de la ciudad de Santiago de Cuba es una de las que descarga sus residuales a la bahía, los cuales afectan al bosque de mangles ubicado en la parte posterior de dicha entidad. (Rodríguez et al., 2021) Como resultado del proceso de refinación del aceite, esta industria genera un volumen de 283 m³/día de residuales líquidos, que son vertidos directamente al área de los manglares de la bahía sin ningún tratamiento. (Rodríguez-Heredia et al. 2022) El vertimiento de estos residuales provoca la muerte del mangle, el deterioro de

la calidad del agua de la bahía de Miradero y los ríos que desembocan en la zona, trae consigo la aparición de procesos de eutrofización, y, por tanto, contribuye a la reducción de oxígeno en el agua; el destino final de sus residuales líquidos termina finalmente en el manglar.

En la figura 8 se muestra el punto de muestreo, ubicado en la parte trasera de la fábrica. El residual sale a través de una tubería y descarga directamente al medio, donde se acumula. Este residual presenta un color blancuzco o amarillento y en la tabla 3 se podrá observar que los valores de sólidos suspendidos, DBO₅, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales y fósforo total se encuentran por encima de lo normado.



Figura 8. Zona de descarga de los residuales líquidos de ERASOL.

Dentro de las industrias que vierten a la bahía se encuentra también la Procesadora de Soya (tabla 3), encargada de obtener, a partir del grano de soya: aceite vegetal crudo, proteína vegetal texturizada, harina de soya para consumo humano, harina de soya para consumo animal y lecitina de soya, con una capacidad de instalación para procesar 500 ton/día. A partir de los diferentes procesos que se llevan a cabo en esta empresa, se generan residuales líquidos que son vertidos sin previo tratamiento a la Bahía, como receptor final. (Rodríguez et al., 2020).

La planta produce 74,4 m³/día de residuales líquidos provenientes del proceso industrial, consumo social y la limpieza de pisos. El residual del consumo industrial asciende a 56,4 m³/día. El punto de muestreo se ubicó a la salida del desagüe de la planta al cuerpo receptor, en este caso la bahía de Santiago de Cuba. Los residuales se presentan muy turbios y con abundante materia flotante (figura 9).



Figura 9. Punto de muestreo de la empresa Procesadora de Soya.

En la tabla 3 aparecen reflejados los valores medios obtenidos de los análisis realizados a las muestras tomadas en el punto de descarga de residuales de la procesadora a la bahía santiaguera. La evaluación de los residuales líquidos provenientes de la empresa Procesadora de Soya de Santiago de Cuba evidenció que en estos los metales pesados, la conductividad y el pH se encuentran dentro de lo normado, sin embargo, no se cumple con la norma de vertimiento vigente para las grasas y aceites, DQO y DBO.

La empresa de Prefabricado y Premezclado Santiago (tabla 3) es una entidad subordinada al ministerio de la Construcción, se encuentra ubicada en carretera de la Refinería km 2½, zona industrial. La misma tiene la misión de elaborar elementos prefabricados de hormigón armado, pretensado, premezclado, elementos alternativos, servicios de laboratorio, carpintería, acero elaborado y transportación de materias primas y materiales para satisfacer las necesidades de prefabricado y de viviendas. Como resultado del proceso de elaboración de hormigón se genera un volumen de residuales líquidos que es vertido a los manglares de la bahía sin ningún tipo de tratamiento. (Tito et al. 2021)

Las muestras se tomaron en la canaleta que sirve de descarga de los moldes donde se fabrican los paneles de prefabricado. En este caso el residual presenta un color oscuro y turbio. (figura 10). Y en el punto final de acumulación de todos los residuales que genera la entidad (figura 11). En este punto el terreno conforma una depresión en la cual se acumula el residual formando una poceta con una dimensión de aproximadamente 8 x 2 m. El líquido se observa turbio y con abundantes manchas de grasas.



Figura 10. Descarga de los moldes de los paneles de prefabricado.



Figura 11. Punto final de descarga de todos los residuales de la entidad.

Un análisis general muestra que de las ocho industrias estudiadas solo una (Fibrocemento) incumple con la norma de vertimiento en lo referido al pH, con un valor superior a las 12 unidades. Mientras el taller de acabado de la empresa Textil, la fábrica de aceite ERASOL, el separador de la Refinería de Petróleo, la Procesadora de Soya y los paneles de Prefabricado vierten residuales con concentraciones de fósforo superior a lo normado.

En lo concerniente a la conductividad viola lo establecido la industria de Fibrocemento, así como las industrias de Prefabricado y de Soya. Esta última tampoco cumple con las concentraciones establecidas de sólidos suspendidos al igual que ERASOL, Porcino y la Refinería de Petróleo, en todas las zonas estudiadas; aunque la concentración de los sólidos sedimentables solo incumple Fibrocemento. Sin embargo, algo en lo que coinciden las ocho industrias es en verter residuales con altas concentraciones de aceites y grasas. Mientras solo Prefabricado y Soya logran que los residuales que generan no tengan elevados contenidos de DBO₅ y DQO.

04 INFLUENCIA EN LA CONTAMINACIÓN DE LA BAHÍA SANTIAGUERA DE LOS RESIDUALES INDUSTRIALES ESTUDIADOS.

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.

Arias-Lafargue et al. (2021b), analizaron el comportamiento de algunos indicadores de contaminación en la bahía santiaguera en ese período, seleccionando 11 puntos de muestreos, seis de los cuales se ubicaban en el interior de la Bahía, donde confluyen los residuales de las industrias que se analizan en este trabajo.

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. (Arias-Lafargue et al., 2021b)

A pesar de las significativas reducciones de los niveles de producción en las diferentes industrias que vierten sus residuales a la bahía santiaguera, queda demostrado que las mismas continúan influyendo negativamente en las características de las aguas de la Bahía, debido al vertimiento de residuales con elevadas concentraciones de fósforo, aceites, grasas, sólidos suspendidos y las demandas químicas y bioquímicas de oxígeno.

05 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el año 2020, se puede asegurar que la empresa de Fibrocemento “Armando Mestre”, la empresa Refinadora de Aceites ERASOL, la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz”, la empresa Procesadora de Soya, y la Cervecería Hatuey, son las que mayores concentraciones de elementos contaminantes aportan a las aguas de la bahía, en cuanto a elevadas concentraciones de fósforo, aceites, grasas, sólidos suspendidos y las DQO y DBO₅. En cambio, el contenido de metales pesados estuvo por debajo de la norma cubana en todos los puntos muestreados. A la entrada de la bahía, los indicadores de contaminación que violan lo normado son los sólidos suspendidos y el oxígeno disuelto a la entrada de la bahía y los demás parámetros

estudiados en su interior, por lo que 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 cubanas e internacionales vigentes.

06 REFERENCIAS

- 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*, 28 (2), 79 – 89. ISSN 2224-6185. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=2224-18520200003&lng=es&nrm=iso
- Arias-Lafargue, T., Salazar-Arrastre, P., Bessy Horruitiner, T., Córdoba-Rodríguez, V., Rodríguez-Heredia, D. (2021a)** "Opción de tratamiento para las aguas residuales del taller 1 de la empresa de fibrocemento". *Revista Tecnología Química*. V.41, N.1, 34-46. ISSN: 2224-6185.
- Arias-Lafargue T., Rodríguez Heredia D., Córdoba Rodríguez V.** (2021b) "Bahía de Santiago de Cuba. Indicadores de contaminación en su costa este". *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. Vol. XLII, no.4, pp. 64-78 ISSN 1680-0338
- CITMA (2018)** Informe de Inspección Estatal Ambiental. Bahía de Santiago de Cuba: situación ambiental, diagnóstico y propuestas. Delegación Territorial. Unidad de Medio Ambiente. Santiago de Cuba
- Córdoba Rodríguez, V., Rodríguez Heredia, D., Tito Ferro, D., Arias-Lafargue, T., Bessy Horruitiner, T.;** (2020) "Composición de los licores residuales del Combinado Textil Celia Sánchez Manduley. *Revista Tecnología Química*. 40 (3), 502-516. ISSN 2224-6185
- 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.
- ONN, Oficina Nacional de Normalización** (2012) NC 27:2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y alcantarillado- Especificaciones. La Habana, Cuba.
- ONN, Oficina Nacional de Normalización** (2007), NC 521:2007 "Vertimiento de Aguas Residuales a la Zona Costera y Aguas Marinas — Especificaciones" La Habana. Cuba.
- Rodríguez Heredia, D., Calzado Lamela, O., Noguera Araujo, A. L., Córdoba Rodríguez, V., Arias Lafargue, T.** (2020); "Evaluación de la calidad de las aguas residuales de la Empresa Procesadora de Soya de Santiago de Cuba. *Revista Tecnología Química*., 40 (3), pp 598-610. ISSN 2224-6185
- Rodríguez Heredia D., Córdoba Rodríguez V., Arias Lafargue T., Tito Ferro D., Salazar Arrastre P.** "Evaluación de los residuales de la empresa refinadora de aceites ERASOL de Santiago de Cuba". *Revista Centro Azúcar*. Vol.48, No.1, enero-marzo, pp. 1-12, 2022. ISSN: 2223-4861. <http://centroazucar.uclv.edu.cu>
- Tito Ferro D., Córdoba Rodríguez D., Rodríguez Heredia D., Arias Lafargue T., Salazar Arrastre P., Bessy Horruitiner T.** (2021) "Composición del licor residual de la Empresa de Prefabricado y Premezclado de Santiago de Cuba" *Revista Centro Azúcar* Vol. 48, no.4, 42-52. ISSN: 2223-4861

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Telvia Arias-Lafargue <https://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 <https://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 participó en la redacción del informe final.

Valdivina Córdova Rodríguez <https://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.

Daria Tito Ferro <https://orcid.org/0000-0002-5276-8017>

Colaboró con la interpretación de los datos y revisión del informe final.

Plácida Salazar Arrastre <https://orcid.org/0000-0002-7965-5127>

Colaboró con la interpretación de los datos y revisión del informe final.

Taimi Bessy Horruitiner <https://orcid.org/0000-0001-7595-5547>

Colaboró con la interpretación de los datos y revisión del informe final.