

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Detección de microorganismos patógenos en agua de lastre de buques de tráfico internacional que arribaron en puertos marítimos de la costa Atlántica colombiana durante los años 2020 a 2023

Detection of pathogenic microorganisms in ballast water of internationally trafficked vessels that arrived at maritime ports on the Colombian Atlantic coast during the years 2020 to 2023

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2025.639>

Fecha de recepción: 2024-05-06 / Fecha de evaluación: 2025-07-25 / Fecha de aceptación: 2025-08-11

Ninibeth Nicol Cortés Leal¹, Karen López Suárez²

CITAR COMO:

Cortés, N. y López, K. (2025). Detección de microorganismos patógenos en agua de lastre de buques de tráfico internacional que arribaron en puertos marítimos de la costa Atlántica colombiana durante los años 2020 a 2023. *Boletín Científico CIOH*, 44(1), 19-28. <http://doi.org/10.26640/22159045.2025.639>

RESUMEN

El agua de lastre fue utilizada históricamente en las embarcaciones para mantener su estabilidad durante la navegación. Sin embargo, esta práctica representó un riesgo ambiental significativo, ya que facilitó el transporte de organismos marinos de un ecosistema a otro. Para mitigar este impacto, se implementaron regulaciones internacionales, entre ellas la norma D-2, establecida por la Organización Marítima Internacional (OMI), la cual exige la reducción o eliminación de organismos vivos mediante sistemas de tratamiento a bordo de los buques. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo realizar la detección de patógenos del agua de lastre en puertos marítimos colombianos, con la finalidad de verificar el cumplimiento de la Resolución 477 de 2012, emitida por la Dirección General Marítima (Dimar). El área de estudio incluyó los buques que arribaron a diversos puertos marítimos de Colombia. La metodología empleada fue la toma de muestras directamente de los tanques de agua de lastre para la detección de microorganismos indicadores definidos por la norma D-2, específicamente *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* (*E. coli*) y enterococos intestinales, así mismo el estudio de la documentación de registros de buques para contrarrestar la validez de la investigación. Los resultados mostraron que *Vibrio cholerae* presentó una concentración <1 unidad formadora de colonia (UFC) por 100 ml en todos los años monitoreados (2020 a 2023). En el caso de *E. coli*, se evidenció crecimiento en un tanque de agua de lastre en el año 2023; no obstante, los valores se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa. Por su parte enterococos intestinales mostró un crecimiento superior a 100 UFC/100 ml en dos buques muestrados durante los años 2020 y 2023, superando los valores estipulados por la norma D-2. De igual manera, los buques cumplen con los registros al día de la implementación de los sistemas de tratamiento. El estudio realizado refuerza la importancia de la existencia de normativas que permitan una gestión integral de la sostenibilidad ambiental en los océanos, y que al estar regulada el seguimiento es continuo.

PALABRAS CLAVE: agua de lastre, buque, filtración de agua, microorganismo, puerto, transporte marítimo.

¹ Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8417-6692>. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), Dirección General Marítima (Dimar). Correo electrónico: ninibethcortes@outlook.com

² Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6206-4577>. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), Dirección General Marítima (Dimar). Correo electrónico: klopez@dimar.mil.co



Publicado por la Dimar

ABSTRACT

*Ballast water has historically been used in vessels to maintain their stability during navigation. However, this practice posed a significant environmental risk, as it facilitated the transport of marine organisms from one ecosystem to another. To mitigate this impact, international regulations were implemented, including the D-2 standard established by the International Maritime Organization (IMO), which requires the reduction or elimination of living organisms through onboard treatment systems. In this context, the present study aimed to detect pathogens in ballast water in Colombian seaports, in order to verify compliance with Resolution 477 of 2012 issued by the General Maritime Directorate (DIMAR). The study area included the ships that arrived at various Colombian seaports. The methodology used was the sampling directly from the ballast water tanks for the detection of indicator microorganisms defined by standard D-2 specifically *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* (*E. coli*) and intestinal enterococci. The results also included a review of vessel log documentation to verify the validity of the investigation, showed that *Vibrio cholerae* presented a concentration of <1 colony-forming unit (CFU) per 100 ml in all monitored years (2020 to 2023). In the case of *E. coli*, growth was evidenced in one ballast water tank in the year 2023; however, the values remained within the permissible limits established by the regulation. For its part, intestinal enterococci showed a growth exceeding 100 CFU/100 ml in two sampled ships in the years 2020 and 2023, exceeding the values stipulated by standard D-2. Similarly, the vessels comply with the records as of the implementation of the treatment systems. The study reinforces the importance of having regulations that allow for comprehensive management of environmental sustainability in the oceans, and that, when regulated, monitoring is continuous.*

KEYWORDS: Ballast water, ship, water filtration, microorganism, ports, maritime transport.

INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo internacional constituye la columna vertebral del comercio global, movilizando cerca del 80 % del intercambio mundial de mercancías (UNCTAD, 2017; 2023). Sin embargo, esta misma actividad, indispensable para la economía planetaria, enfrenta desafíos ambientales significativos que demandan una transición urgente hacia modelos operativos más sostenibles. Entre estos retos, uno de los más críticos, aunque menos visibilizados es la descarga incontrolada del agua de lastre por parte de embarcaciones internacionales; un proceso rutinario que, paradójicamente, amenaza la biodiversidad marina y la salud humana a escala global.

El agua de lastre, esencial para la estabilidad estructural de los buques puede transportar y liberar miles de organismos acuáticos, desde microorganismos hasta especies invasoras en ecosistemas que no poseen mecanismos de defensa frente a ellos. Esta transferencia biológica no intencional ha sido asociada con impactos ecológicos profundos, alteraciones en la funcionalidad de los ecosistemas y la propagación de agentes patógenos (Ruiz *et al.*, 2000; Davidson *et al.*, 2017).

Como respuesta a este riesgo emergente, la comunidad internacional ha fortalecido las regulaciones sobre la gestión del agua de lastre particularmente a través de la implementación de la norma D-2 del Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques, establecida por la OMI, cuyo objetivo es determinar que la gestión del agua de lastre cumpla con los criterios microbiológicos y con el respectivo límite de descarga al mar, como se indica en la Tabla 1 (OMI, 2004).

Los tres microorganismos por determinar son patógenos. *Vibrio cholerae* forma parte de la microbiota acuática, tiene más de 200 serogrupos conocidos, solo 2 de ellos causan cólera; otros serogrupos no causan cólera, pero pueden causar diarrea sanguinolenta, gastroenteritis e infecciones extraintestinales (Bakalar, 2016). Por otra parte, *E. coli* es una bacteria que habita normalmente en el intestino de humanos y animales de sangre caliente, algunas de sus cepas pueden causar enfermedades gastrointestinales, urinarias o sistémicas. Su presencia en aguas ambientales es considerada como un indicador de contaminación fecal, su descarga al medio ambiente es a través de heces o efluentes de aguas residuales (Jang *et al.*, 2017).

Los enterococos son bacterias oportunistas que pueden causar un gran número de infecciones en humanos y animales. Dado que se excretan a través de las heces, se encuentran de manera habitual en aguas contaminadas y resultan fáciles de cultivar en laboratorio. Estas características han favorecido su uso como indicadores microbiológicos de contaminación fecal y como sustitutos de patógenos de transmisión hídrica en estudios de investigación y en programas de monitoreo de la calidad del agua a nivel mundial, especialmente en contextos de exposición a aguas recreativas (Byappanahalli *et al.*, 2012).

Asimismo, en Colombia, la Dimar, mediante la Resolución 477 de 2012, ha adoptado medidas concretas de verificación y monitoreo, con el apoyo técnico del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), para controlar el ingreso de organismos invasores a través de los puertos del Caribe colombiano.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la presencia y concentración de microorganismos patógenos en el agua de lastre descargada por embarcaciones internacionales en puertos del Caribe colombiano, con el fin de establecer el cumplimiento de los

estándares internacionales y nacionales vigentes, y aportar evidencia técnica que oriente la toma de decisiones en la gestión ambiental del transporte marítimo. Esta investigación busca así contribuir a la protección de los ecosistemas marinos, al tiempo que fortalece el rol de los puertos colombianos como actores responsables en el comercio marítimo sostenible.

Tabla 1. Límites de descarga según norma OMI D-2.

Microorganismos	Límite de descarga
<i>Vibrio cholerae</i>	<1 UFC/ 100 ml
<i>Escherichia coli</i>	<250 UFC/ 100 ml
Enterococos intestinales	<100 UFC/ 100 ml

ÁREA DE ESTUDIO

Durante los años 2020-2023 se seleccionaron aleatoriamente quince (15) embarcaciones de tráfico internacional que arribaron a los puertos de Coveñas (Sucre), Cartagena (Bolívar), Puerto Bolívar (La Guajira), Santa Marta (Magdalena) y Barranquilla (Atlántico), cuya ubicación se observa en la Figura 1, con el fin de realizar verificación de la gestión del agua de lastre.

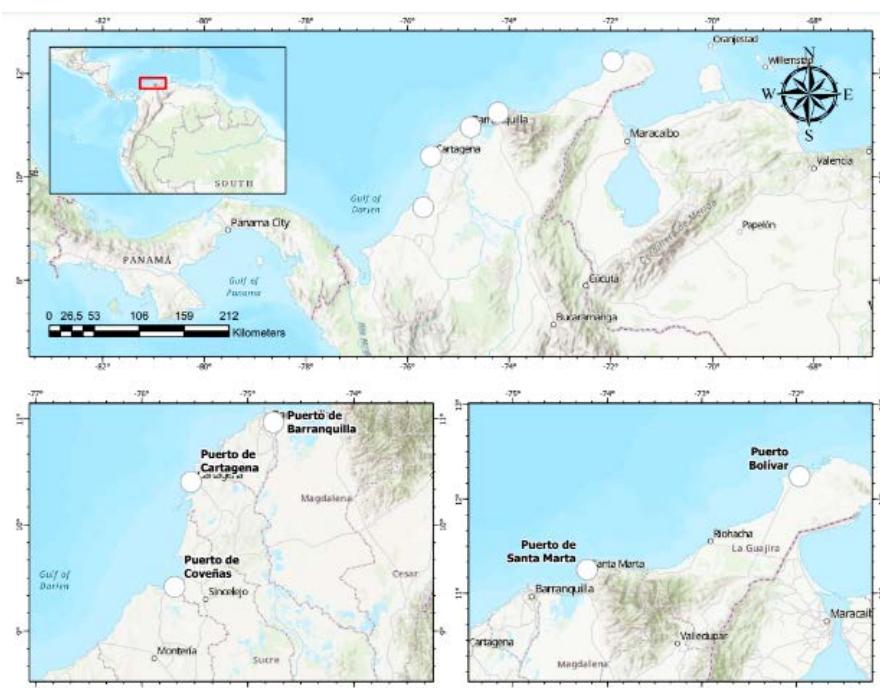


Figura 1. Ubicación puertos de Coveñas-Sucre, Cartagena-Bolívar, Puerto Bolívar-La Guajira, Santa Marta-Magdalena y Barranquilla-Atlántico.

METODOLOGÍA

Tomas microbiológicas

Para la recolección de muestras microbiológicas, se utilizaron frascos Schott® de vidrio, con una capacidad de 500 ml. Previo al inicio de la campaña fueron sometidos a un proceso de lavado especial y desinfección, con el objetivo de garantizar condiciones estériles durante la toma de muestra. Posteriormente, fueron empacados y rotulados en papel Kraft para asegurar su correcta identificación.

La toma de muestras se llevó a cabo mediante la recolección de agua de lastre desde los manholes de los buques, utilizando una botella Niskin. Este equipo fue introducido dentro del tanque de lastre hasta alcanzar la profundidad deseada, permitiendo la toma representativa de la muestra. Una vez colectada, el agua fue trasvasada a los frascos Schott®, dejando un espacio de aire en el interior de cada frasco para facilitar la agitación homogénea de la muestra durante su posterior análisis en el laboratorio (Fig. 2).



Figura 2. Muestreo microbiológico de agua de lastre a bordo de buques.

Finalmente, las muestras fueron almacenadas en neveras portátiles con hielo, asegurando una temperatura de conservación inferior a los 10°C durante todo el proceso de transporte hacia el laboratorio.

Procesamiento de muestras microbiológicas

La preparación de las muestras se realizó en campo, siguiendo los protocolos establecidos por el laboratorio de la Dimar, Sede Caribe, con el propósito de preservar la integridad de las muestras y asegurar la obtención de resultados microbiológicos confiables.

Las técnicas analíticas empleadas para cada parámetro se describen en la Tabla 2. Los métodos de detección de microorganismos han variado con el paso de los años, de acuerdo con los procedimientos vigentes del laboratorio (Dimar). Sin embargo, todos ellos se consideran válidos y responden a los estándares y capacidades técnicas disponibles en ese momento.

Los análisis microbiológicos se enfocaron en la detección y cuantificación de *Vibrio cholerae*, *E. coli* y enterococos intestinales, como indicadores de contaminación microbiana en el agua de lastre.

Tabla 2. Técnicas de análisis utilizadas para *Vibrio cholerae*, *E. coli* y enterococos intestinales.

Año de muestreo	Parámetro	Técnica	Norma de referencia	Descripción general
2020 - 2021	<i>Vibrio cholerae</i>	Filtración por membrana	SM 9260H "modificado" (APHA/AWWA/WEF, 2017).	Enriquecimiento: agua peptonada alcalina al 1 % Agar: TCBS, BHI, CromoAgar. T° de incubación: 35±2°C Tiempo de incubación: 18 a 24 horas. Pruebas bioquímicas: cuerda y oxidasa
	<i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana	SM 9222D (APHA, et al., 2017).	Aislamiento en agar selectivo: m-FC T° de incubación: 44,5 ± 0,2°C Tiempo de incubación: 24±2 horas Pruebas confirmatorias en: Caldo EC-MUG, Caldo Lauril Triptosa, Caldo Brilla, Indol y Citrato.
	<i>Enterococcus</i>	Filtración por membrana	SM 9230C (APHA, et al., 2017).	Aislamiento en agar selectivo: m-Enterococcus, BHI T° de incubación: 35±0,5°C Tiempo de incubación: 48± 3 horas Pruebas confirmatorias en: Caldo BHI, Agar Bilis Esculina, Caldo BHI, Caldo BHI con 6.5 % NaCl.
2023	<i>Vibrio cholerae</i>	Filtración por membrana	SM 9260H "modificado" (APHA, et al., 2017).	Enriquecimiento: agua peptonada alcalina al 1 % Agar: TCBS, BHI, CromoAgar. T° de incubación: 35±2°C Tiempo de incubación: 18 a 24 horas. Pruebas bioquímicas: cuerda y oxidasa.
	<i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana	ISO 9308-1:2014/A1:2017 "modificado" (International Organization for Standardization, 2017).	Aislamiento en agar selectivo: CCA T° de incubación: 36°± 2°C Tiempo de incubación: por 21-24 horas. Pruebas confirmatorias en: Indol
	Enterococos intestinales	Filtración por membrana	UNE-EN ISO 7899-2:2000 (Asociación Española de Normalización, 2000).	Aislamiento en agar selectivo: Agar Slanetz & Bartley (agar m-Enterococcus) T° de incubación: 36°± 2°C Tiempo de incubación: 44 ± 4 horas. Pruebas confirmatorias en: agar bilis esculina.

Sopores documentales de evidencia

Para respaldar los hallazgos de esta investigación, se recopilaron y analizaron diversos soportes documentales, tales como registros y trazabilidad de la documentación de los buques y normativa vigente relacionada con el tema de estudio. Estos documentos fueron seleccionados por su pertinencia y confiabilidad, verificando su autenticidad mediante la revisión de fuentes oficiales.

Los soportes documentales se utilizaron principalmente para contrastar la información obtenida mediante entrevistas y observaciones, permitiendo la triangulación de datos y fortaleciendo la validez de los resultados. Toda la documentación fue resguardada en formato digital y físico, según los protocolos de confidencialidad establecidos para la investigación.

RESULTADOS

Durante el periodo 2020-2023, de los quince (15) buques muestreados no se evidenció crecimiento de *Vibrio cholerae* en ninguno de sus tanques evaluados. En cuanto a *E. coli*, solo se detectó crecimiento en una de las muestras: el tanque WBT4S del buque *UBC Savannah*, muestreado en el puerto de Barranquilla durante 2023, con valor de 3 UFC/100 ml. No obstante, esta concentración se encuentra dentro del límite permitido por la Resolucion Dimar 477 de 2012.

En contraste, la presencia de enterococos intestinales fue más frecuente, detectándose en siete (7) de los quince (15) buques analizados a lo largo del período. Dos de estos casos excedieron los valores máximos establecidos por la normativa: el buque *Jackeline C.*, en el puerto de Cartagena (2020), con 152 UFC/100 ml, y el buque *UBC Savannah*, en el puerto de Barranquilla (2023), con 158 UFC/100 ml, tal como se detalla en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los microorganismos obtenidos en las muestras de los buques muestreados durante el periodo 2020-2023.

Año	Área	Buque	Tanque	<i>Vibrio cholerae</i> (UFC/100ml)	<i>E. coli</i> (UFC/100ml)	Enterococos intestinales (UFC/100ml)
2020	Coveñas	Eagle Kinarut	3BS	<1	<1	2
			6BS	<1	<1	22
			6P	<1	<1	23
	Velos Aquarius		3 PORT WGT	<1	<1	<1
			4 PORT WGT	<1	<1	9
			3 STBD WGT	<1	<1	3
			4 STBD WGT	<1	<1	5
			WBT 4P	<1	<1	<1
	Velebit		WBT 2P	<1	<1	<1
			WBT 2S	<1	<1	<1
			3SWBT	<1	<1	152
	Cartagena	Jackeline C.	5SWBT	<1	<1	97
			5BWBT	<1	<1	53
			5WBTS	<1	<1	<1
	Silver Manoora		5WBTP	<1	<1	7
			T5	<1	<1	<1
			T4P	<1	<1	<1
			T3S	<1	<1	<1

Año	Área	Buque	Tanque	<i>Vibrio cholerae</i> (UFC/100ml)	E. coli (UFC/100ml)	Enterococos intestinales (UFC/100ml)
2021	Santa Marta	Elizabeth II	5 TST	<1	<2	<1
			6 TST	<1	<2	<1
			4 TST	<1	<2	<1
		Tiger South	WBT 5	<1	<2	<1
			WBT 4	<1	<2	<1
		BW Japan	1TSWB	<1	<2	<1
			3TSWB	<1	<2	<1
			Algoma Victory	ST1P	<1	<2
		Puerto Bolívar	ST1S	<1	<2	<1
			ST 3T	<1	<2	3
			ST 1T P	<1	<2	8
			ST 1T S	<1	<2	<1
			UBC Santa Marta	4WB P	<1	<2
			4WB S	<1	<2	<1
2023	Cartagena	CMA CGM BERLIOZ	NO5 SWBT(P)	<1	<1	<1
			NO5 SWBT(S)	<1	<1	<1
		Polar Brasil	4BWTP	<1	<1	<1
			4BWBTS	<1	<1	<1
	Barranquilla	UBC Savannah	WBT4S	<1	3	15
			WBT4P	<1	<1	158

Nota. Los resultados resaltados en color gris indican que hubo presencia de microorganismos, los resultados en color rojo excedieron los valores permisibles.

Durante el análisis de los resultados, los soportes documentales recopilados como los registros técnicos de mantenimiento, la trazabilidad de la documentación de los buques y la normativa vigente sirvieron como evidencia complementaria para contrastar la información obtenida en las entrevistas y observaciones.

Estos documentos permitieron verificar la correspondencia entre las prácticas reportadas por el personal y los procedimientos establecidos oficialmente, evidenciando coincidencias y brechas en la aplicación de los sistemas de tratamiento de agua de lastre. La revisión documental también aportó contexto normativo y técnico que fortaleció la interpretación de los hallazgos y permitió comprender las variaciones observadas entre diferentes embarcaciones.

Estos hallazgos reflejan el cumplimiento con los parámetros establecidos por la normativa internacional D-2 en cuanto a *Vibrio cholerae* y *E. coli*, pero alertan sobre una recurrencia de enterococos intestinales fuera de norma; lo cual puede indicar deficiencias puntuales en los sistemas de tratamiento o en los protocolos de mantenimiento y monitoreo a bordo (OMI, 2004).

Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en el monitoreo de los tanques de agua de lastre de buques que arribaron a puertos colombianos entre 2020 y 2023, se evidenció que los indicadores microbiológicos *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli* cumplieron con los límites permisibles establecidos en la norma D-2 del Convenio

Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques (OMI, 2004). Sin embargo, se detectó la presencia de enterococos intestinales en los buques Jackeline C. y UBC Savannah, muestreados en los puertos de Cartagena (2020) y Barranquilla (2023), respectivamente.

Esta situación podría estar relacionada con la variabilidad en la eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua de lastre, los cuales pueden presentar un desempeño bajo o alto dependiendo del diseño, el mantenimiento y las condiciones operativas (Bakalar, 2016).

Según la documentación presentada por la tripulación encargada de los buques, la mayoría de los sistemas de tratamiento utilizan tecnologías combinadas de filtración mecánica y radiación ultravioleta (UV); un método efectivo, aunque con limitaciones frente a ciertos organismos resistentes, como algunos tipos de fitoplancton y zooplancton. Las bacterias, por el contrario, suelen ser más sensibles a la radiación UV (Nanayakkara *et al.*, 2011). Diversos estudios han señalado que la combinación de separación mecánica y radiación UV incrementa la tasa de inactivación de microorganismos (Hess-Erga, *et al.*, 2019; Romero-Martínez, *et al.*, 2014).

En contraste, el buque UBC Savannah emplea un sistema de filtración combinado con electrocloración, una tecnología considerada altamente eficaz para la desinfección del agua de lastre, particularmente en escenarios donde existe alto riesgo microbiológico. Este sistema genera cloro *in situ* mediante electrolisis de una solución salina, lo que permite la inactivación de bacterias, virus y otros patógenos (Hess-Erga *et al.*, 2019). Aunque diversos estudios han demostrado su efectividad frente a las fracciones planctónicas incluidas en la norma D-2, su principal desventaja es el elevado costo operativo (First, *et al.*, 2016; Tsolaki & Diamadopoulos, 2010).

La detección de crecimiento bacteriano en estos buques podría estar relacionada con fallas operativas en los sistemas de tratamiento, tales como un mantenimiento deficiente, concentraciones inadecuadas de sal o cloro, o la presencia de biofilms en las tuberías, lo cual compromete la efectividad del proceso (Stehouwer, *et al.*, 2015).

Específicamente enterococos intestinales fue más prevalente, por ser un microorganismo que tolera condiciones adversas como cambios de pH, altas concentraciones de sal y presencia de desinfectantes; asimismo, sobrevive mejor en aguas contaminadas y suelos en comparación con otras especies del mismo género (Byappanahalli *et al.*, 2012).

La detección de patógenos en el agua de lastre de buques de tráfico internacional es fundamental por su importancia sanitaria, ya que contribuye a la prevención de enfermedades infecciosas. Un buque contaminado puede convertirse en un foco de brotes a bordo y representar un riesgo de diseminación en los puertos de destino. Desde el ámbito ambiental, este control permite evitar la introducción de especies y microorganismos invasores que alteran los ecosistemas marinos locales y desplazan especies nativas, reduciendo así los impactos negativos sobre la fauna y flora occasionados por microorganismos no autoctonos (Sellera, *et al.*, 2024).

Finalmente, el presente estudio constituye una primera aproximación para evidenciar el estado actual de cumplimiento de la norma D-2 por parte de los buques que ingresan a puertos del Caribe colombiano (OMI, 2004).

Como proyección a futuras investigaciones, el presente estudio constituye una base metodológica para establecer correlaciones entre la trazabilidad del proceso y los sistemas de control, considerando su aplicabilidad como indicadores de desempeño en los resultados microbiológicos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación permitieron validar la hipótesis inicial: el monitoreo adecuado del agua de lastre en embarcaciones de tráfico internacional es fundamental para mitigar la introducción de especies no autóctonas y proteger los ecosistemas marinos. El análisis de los indicadores microbiológicos evidenció la presencia potencial de microorganismos que podrían alterar el equilibrio natural de los ecosistemas acuáticos, confirmando la necesidad de un control riguroso de este tipo de aguas. Asimismo, se constató que los sistemas de tratamiento que utilizan los buques no solo

cumplen con los requerimientos normativos vigentes, sino que también optimizan la eficiencia operativa de estas embarcaciones al reducir la carga contaminante antes de su descarga.

Esta investigación permite generar futuras líneas de trabajo, tales como el desarrollo de tecnologías más eficientes para el tratamiento del agua de lastre, estudios comparativos entre diferentes sistemas de tratamientos o la evaluación de impactos ecológicos a largo plazo en zonas receptoras. Los hallazgos aquí presentados refuerzan la importancia de una gestión integral y proactiva en el transporte marítimo internacional, con miras a preservar la salud ambiental y la sostenibilidad de los océanos.

AGRADECIMIENTOS

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) de la Dirección General Marítima (Dimar).

FUENTE FINANCIADORA

Proyecto 'Producir información técnica-científica para PMM en áreas marinas y zonas portuarias' para la verificación de cumplimiento de eficacia de acuerdo con Resolución Dimar 477/2012. Dirección General Marítima (Dimar).

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: N.N.C.L.; K.L.S.; Metodología: N.N.C.L.; Análisis formal: N.N.C. L.; K.L.S.; Redacción – preparación del borrador original: N.N.C.L.; Redacción – revisión y edición: K.L.S.; Supervisión: K.L.S.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almagro-Moreno S. y Taylor, R. K. (2013). Cholera: Environmental Reservoirs and Impact on Disease Transmission. *Microbiol Spectr* 1:10.1128/microbiolspec.oh-0003-2012. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.oh-0003-2012>. PMCid:PMC4321695

APHA/AWWA/WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (23rd ed.). American Public Health Association.

Asociación Española de Normalización. (2000). UNE-EN ISO 7899-2:2000. Calidad del agua

- Detección y enumeración de enterococos intestinales - Parte 2: Método de filtración de membrana. AENOR.

Bakalar, G. (2016). Comparisons of interdisciplinary ballast water treatment systems and operational experiences from ships. In *SpringerPlus* (Vol. 5, Issue 1, pp. 1-12). SpringerOpen. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1916-z>. PMID:27026934 PMCid:PMC4771674

Byappanahalli, M.N.; Nevers, M.B.; Korajkic, A.; Staley, Z.R. y Harwood, V.J. (2012). Enterococci in the environment. *Microbiol Mol Biol Rev*. 2012 Dec;76(4):685-706. DOI: 10.1128/MMBR.00023-12. PMID: 23204362; PMCID: PMC3510518.

Davidson, I. C.; Minton, M. S.; Carney, K. J.; Miller, A. W. y Ruiz, G. M. (2017). Pioneering patterns of ballast treatment in the emerging era of marine vector management. *Marine Policy*, 78 (November 2016), 158–162. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.01.021>

First, M. R.; Robbins-Wamsley, S. H.; Riley, S. C. y Drake, L. A. (2016). Towards minimizing transport of aquatic nuisance species in ballast water: Do organisms in different size classes respond uniformly to biocidal treatment?. *Biological Invasions*, 18(3), 647–660. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-1036-7>

Hess-Erga, O. K.; Moreno-Andrés, J.; Enger, Ø. y Vadstein, O. (2019). Microorganisms in ballast water: Disinfection, community dynamics, and implications for management. In *Science of the Total Environment* (Vol. 657, pp. 704-716). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.004>. PMID:30677936

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 9308-1:2014/A1:2017. Water quality — Enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria — Part 1: Membrane filtration method for waters with low bacterial background flora — Amendment 1*. ISO.

Jang, J.; Hur, H.G.; Sadowsky, M.J.; Byappanahalli, M.N.; Yan, T. y Ishii, S. (2017). Environmental Escherichia coli: ecology and public health implications-a review. *J Appl Microbiol*. 2017 Sep;123(3):570-581. doi: 10.1111/jam.13468. Epub 2017 Jul 3. PMID: 28383815.

- Nanayakkara, K. G. N.; Zheng, Y. M.; Alam, A. K. M. K.; Zou, S. y Chen, J. P. (2011). Electrochemical disinfection for ballast water management: Technology development and risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 63(5-12), 119-123. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.03.003>. PMid:21474153
- Organización Marítima Internacional. (2004). *Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques (Estándar D-2)*. Londres: OMI. <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/BallastWaterManagement.aspx>
- Resolución 477 de 2012, (2012).
- Romero-Martínez, L.; Moreno-Andrés, J.; Acevedo-Merino, A. y Nebot, E. (2014). Improvement of ballast water disinfection using a photocatalytic (UV-C + TiO₂) flow-through reactor for saltwater treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 89(8), 1203-1210. <https://doi.org/10.1002/jctb.4385>
- Ruiz, G. M.; Rawlings, T. K.; Dobbs, F. C.; Drake, L. A.; Mullady, T.; Huq, A. y Colwell, R. R. (2000). Global spread of microorganisms by ships. *Nature*, 408(6808), 49-50. <https://doi.org/10.1038/35040695>. PMid:11081499
- Sellera, F. P.; Lincopan, N.; Stehling, E. G. y Furlan, J. P. R. (2024). Critical-priority resistant bacteria hidden in ship ballast water: A challenge for global epidemiological surveillance. *New Microbes and New Infections*, 58, 101236. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2024.101236>. PMid:38533484 PMCid:PMC10963218
- Stehouwer, P. P.; Buma, A. y Peperzak, L. (2015). A comparison of six different ballast water treatment systems based on UV radiation, electrochlorination and chlorine dioxide. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 36(16), 2094-2104. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1021858>. PMid:25704551
- Tsolaki, E. y Diamadopoulos, E. (2010). Technologies for ballast water treatment: A review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 85(1), 19-32. <https://doi.org/10.1002/jctb.2276>
- UNCTAD, S. de la C. de las N. U. sobre C. y D. (2017). *Informe sobre el transporte marítimo 2017*. 19098.
- UNCTAD, S. de la C. de las N. U. sobre C. y D. (2023). *Informe sobre transporte marítimo 2023*. <https://doi.org/10.30875/f8c67971-es>