

VERIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE AGUAS DE LASTRE EN BUQUES DE TRÁFICO INTERNACIONAL

BARRANQUILLA Y TURBO



Informe Técnico
2023



VERIFICACIÓN DE LA GESTIÓN EN AGUAS DE LASTRE EN BUQUES DE TRÁFICO INTERNACIONAL

BARRANQUILLA Y TURBO



Informe Técnico 2023

PERSONAL PARTICIPANTE

DANIELA ROJAS SÁNCHEZ

Bióloga.

Centro de Investigaciones Oceanográficas e
Hidrográficas del Caribe CIOH

LUIS DE LA HOZ BARRIENTOS

Biólogo.

Centro de Investigaciones Oceanográficas e
Hidrográficas del Caribe- CIOH

NINIBETH NICOL CORTÉS LEAL

Microbióloga

Centro de Investigaciones Oceanográficas e
Hidrográficas del Caribe-CIOH

REVISOR

LISETH JOHANA ARREGOCÉS SILVA

Bióloga Marina.

Centro de Investigaciones Oceanográficas e
Hidrográficas del Caribe-CIOH

Citar como: Dirección General Marítima. 2023. Verificación de la gestión en aguas en lastre de buques de tráfico internacional- Barranquilla y Turbo. Informe Técnico Final. Dirección General Marítima. Cartagena. 22 p.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	4
2. METODOLOGÍA	5
2.1. Zonas Portuarias	5
2.1.1. <i>Turbo</i>	5
2.1.2. <i>Barranquilla</i>	5
2.2. Mediciones <i>in situ</i> y colecta de muestras	6
2.3. Procesamiento	7
2.3.1. <i>Muestras microbiológicas</i>	7
2.3.2. <i>Fracción 10-50 μm</i>	8
2.3.3. <i>Fracción > 50 μm</i>	9
2.4. Análisis de resultados	9
3. RESULTADOS	10
3.1. Parámetros <i>in situ</i>	10
3.2. Parámetros microbiológicos	10
3.3. Parámetros biológicos	11
3.3.1. <i>Fracción 10-50 μm</i>	11
3.3.2. <i>Fracción > 50 μm</i>	14
4. DISCUSION	16
4.1. Parámetros <i>in situ</i>	16
4.2. Parámetros microbiológicos	16
4.3. Parámetros biológicos	17
4.3.1. <i>Fracción entre 10-50 μm</i>	17
4.3.2. <i>Fracción > 50 μm</i>	18
5. CONCLUSIONES	19
6. REFERENCIAS	19

1. INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo traslada alrededor del 80% de las mercancías que se mueven por el mundo (García-Álvarez, 2018) y juega un papel fundamental en las cadenas de suministro internacional llegando a ser considerado como la columna vertebral del comercio internacional, por las condiciones de carga y volumen que permite transportar (Pineda-Poveda, 2022).

Particularmente para el año 2021, la demanda mundial del transporte marítimo presentó un crecimiento del 3.9% (Pineda-Poveda, 2022) y representó un aumento del riesgo potencial de contaminación biológica, debido a la transferencia implícita de organismos entre diferentes ecosistemas a nivel mundial a través de la carga y descarga de aguas de lastre y del material en suspensión. Se estima que anualmente se transfieren diez billones de toneladas de agua de lastre y que alrededor de 10000 especies se encuentran en tránsito entre distintas partes del mundo (García-Álvarez, 2018).

En cumplimiento a la normativa impartida por la OMI (2004) y de la resolución 0477/2012, la Dirección General Marítima a través del proyecto “Producir información técnico-científica para la protección del medio marino en áreas marinas y zonas portuarias” evalúa la gestión del agua de lastre en los puertos de Turbo y Barranquilla durante 2023, determinando la presencia de organismos planctónicos viables pertenecientes a dos fracciones de tamaño diferentes (10-50 μm y $> 50 \mu\text{m}$) y los recuentos de tres microorganismos indicadores (*Escherichia coli*, *Enterococcus intestinales* y *Vibrio cholerae*). El presente documento recopila la información obtenida en el año 2023 por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe a partir de los muestreos realizados al agua de lastre de buques de tráfico internacional en las zonas portuarias de Turbo y Barranquilla en el Caribe colombiano.

2. METODOLOGÍA

2.1. Zonas Portuarias

2.1.1. Turbo

El puerto de Urabá se encuentra localizado en la zona suroriental del golfo, dentro de la bahía Colombia en un sector conocido como “Punta de las Vacas”. La infraestructura portuaria en esta región tiene como función exclusiva atender las necesidades de la industria bananera moviendo cerca de 1.8 millones de toneladas anuales. Se estima que alrededor de 500 barcos llegan cada año a Urabá para cargar banano y dejar insumos, fertilizantes y papel (Arbeláez-Rivera et al., 2014). A la fecha se encuentran en construcción dos ambiciosos proyectos portuarios (Puerto Antioquia y Puerto Pisisí) que potenciarán la economía regional y movilizarán en conjunto cerca de 8.3 millones de toneladas de carga anualmente (Ministerio de Transporte, 2019).

2.1.2. Barranquilla

Está ubicada a 7.5 km del mar Caribe sobre el margen occidental del río Magdalena, por lo cual no sólo ofrece el servicio de puerto marítimo, sino que también es puerto fluvial (Otero et al, 2012). Este puerto se ubica a 22 Km de la desembocadura del río y cuenta con las instalaciones más extensas el país con alrededor de 200 Ha. Se cataloga como el puerto multipropósito más importante de la región Caribe al manejar cuatro tipos de carga: general, a granel, refrigerada y congelada. Respecto al volumen de carga transportada ocupa el cuarto lugar a nivel nacional (Vásquez-Quiroz y Hoyos-Escalante, 2019).

2.2. Mediciones *in situ* y colecta de muestras

Se realizó inspección de aguas de lastre en tres buques de bandera internacional en Turbo y uno en Barranquilla. La información correspondiente a las particularidades de los buques, el número de tanques muestreados y el volumen de agua filtrado es mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Información de los buques monitoreados durante 2023							
Zona	Nombre	Bandera	Sistema de tratamiento	Tanques	Abreviatura	H*	Vol. filtrado
Turbo	Gardiner Monrovia	Liberia	UV + Filtración	3DBWB 4DBWB	Gar1 Gar2	1 m (6)	0.42
	AS Paulina	Portugal	Sin sistema	3DBWB	AsP	**	0.06
Barranquilla	UBC Savannah	Chipre	Filtración+Electroclorinación	4WTP 4WTS	Sav1 Sav2	4 m (5)	1.41
Turbo	Hammonia Husum	Liberia	UV + Filtración	HTP	Hamm	2 m (6)	0.85

* H corresponde a la profundidad del arrastre realizado para la colecta de las muestras biológicas, el número entre paréntesis corresponde al número de lances de red realizados.

** En este muestreo se filtraron 60 L de agua con ayuda de un balde de 5 L de capacidad.

En cada tanque previo a la colecta de muestras se midieron *in situ* salinidad y conductividad (mS/s) empleando un conductímetro WTW 1330 (Figura 1a). Posteriormente, con una botella Niskin de 5 L se colectó una muestra microbiológica en una botella schott estéril de 500 ml (Figura 1b). En la colecta de muestras biológicas se emplearon redes de 20 μ m para la fracción entre 10-50 μ m y de 80 μ m, para la fracción > 50 μ m (Figura 1c). Para ambas fracciones se realizaron una serie de arrastres verticales de acuerdo con la profundidad del tanque. Cada muestra fue almacenada en botellas tipo nalgene ámbar de 500 ml.

En el caso de la muestra de la fracción > 50 μ m se adicionaron, con ayuda de una transferpipeta, 5 ml de solución de rojo neutro al 0.5 % p/v. Pasada media hora de la adición del colorante, se agregó formol neutralizado al 37% para alcanzar una

concentración final del 4 %. Todas las muestras fueron refrigeradas hasta su procesamiento.



Figura 1. De izquierda a derecha **(a)** Medición de parámetros *in situ* **(b)** colecta de muestras microbiológicas y **(c)** colecta de muestras biológicas empleando red de plancton.

2.3. Procesamiento

2.3.1. Muestras microbiológicas

Para el análisis de los parámetros microbiológicos, las muestras fueron filtradas a través de membrana y se siguieron diferentes metodologías (Tabla 2). Para *Vibrio cholerae* se utilizó la metodología descrita en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SM) 9260H modificado. En el caso de la determinación cuantitativa de *Escherichia coli*, se empleó la metodología descrita en la ISO 9308-1:2014/A1:2017 “modificado” mientras que para *Enterococcus intestinales*, se utilizó lo planteado en UNE-EN ISO 7899-2:2000.

Tabla 2. Técnicas de análisis utilizadas para parámetros microbiológicos y máximo admisible según artículo 6 de la Resolución DIMAR 477/2012.				
Parámetro	Técnica	Norma de referencia	Descripción general	Máximo admisible
<i>Vibrio cholerae</i>	Filtración por membrana	Standard Methods for the examination of water and wastewater (SM) 9260H "modificado"	Enriquecimiento: Agua peptona alcalina al 1%. Agar: TCBS, BHI, CromoAgar. Temperatura de incubación: 35±2°C Tiempo de incubación: 18 a 24 horas. Pruebas bioquímicas: Cuerda y oxidasa.	< 1 UFC/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana	ISO 9308-1:2014/A1:2017 "modificado"	Agar: CCA Temperatura de incubación: 36±2°C Tiempo de incubación: 21-24 horas Pruebas bioquímicas Producción de Indol: Incubar a 36 ± 2°C durante 4-6 horas	< 250 UFC/100 ml
<i>Enterococcus intestinales</i>	Filtración por membrana	UNE-EN ISO 7899-2:2000	Agar: Slanetz & Bartley Temperatura de incubación: 36±2°C Tiempo de incubación: 44± 4 horas. Confirmatorias en: Agar Bilis Esculina: Incubar a 44 °C ± 0.5 °C por 2 horas.	< 100 UFC/100 ml

2.3.2. Fracción 10-50 µm

En laboratorio, todas las muestras colectadas para esta fracción fueron nuevamente filtradas a través de mallas con tamaños de poro de 20 y 50 µm, con el fin de evitar un posible taponamiento de la celda de flujo por saturación de partículas. A partir de las muestras post-filtradas se tomaron submuestras por triplicado para los ensayos.

Se utilizó el reactivo FDA (Diacetato de fluoresceína) como método biológico para la discriminación entre el estado 'vivo' o 'muerto' a través de la técnica de citometría de flujo usando el equipo FlowCAM perteneciente a la serie VS-4 de la marca Fluid Imaging; equipado con un láser azul de 488 nm, dos canales de filtros (Ch1 = 650 nm y Ch2 = 525 ± 15 nm) y el software Visual Spreadsheet versión 3.2.3. Se preparó

una solución madre de FDA diluyendo 25 mg en 5 mL de dimetil sulfóxido (DMSO); a partir de esta, se preparó una solución de trabajo diluyendo la solución madre 100 veces con agua destilada. Estas soluciones fueron almacenadas a 4°C.

Las muestras se prepararon a una concentración de 1.7 µg/ml, añadiendo 100 µL de la solución de trabajo en 3 mL de submuestra. Las muestras teñidas se mantuvieron en oscuridad durante 10 minutos antes de la lectura.

2.3.3. *Fracción > 50 µm*

La totalidad de la muestra fue pasada a través de un tamiz de 34 µm. El material retenido en el tamiz fue lavado y almacenado en tubos falcon de 50 ml. Para el análisis, previo a la extracción de las alícuotas de 1 mL, la muestra fue sometida a agitación durante 1 minuto a 5 rpm. Empleando un microscopio óptico invertido (Olympus IX73) y una cámara de conteo Sedgwick-Rafter, se realizó cuantificación de organismos con tamaño mayor a 50 µm positivos a tinción con rojo neutro, los cuales fueron considerados como viables. Los organismos que no mostraban coloración rojiza o rosa no fueron considerados en los conteos. Se cuantificaron los organismos viables en siete alícuotas por muestra.

2.4. Análisis de resultados

Los datos de salinidad y conductividad fueron graficados y contrastados con los valores de referencia indicados por la regla D1. Los resultados microbiológicos y biológicos (para las dos fracciones de tamaño) fueron comparados con los valores de descarga permitidos y señalados en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores permitidos para cada parámetro según la Resolución DIMAR 477/2012.	
Parámetro	Valor permitido
Microbiológico	
<i>Vibrio cholerae</i>	< 1 UFC / 100 ml
<i>Escherichia coli</i>	< 250 UFC/100 ml
<i>Enterococcus intestinales</i>	< 100 UFC/100 ml
Biológico	
Organismos con tamaño entre 10-50 µm	< 10 organismos viables / ml
Organismos con tamaño ≥ 50 µm	< 10 organismos viables / m ³

3. RESULTADOS

3.1. Parámetros *in situ*

Los valores de salinidad en los seis tanques monitoreados oscilaron entre 31.1 y 35.1 y los de conductividad entre, entre 47.6 y 52.8. Los valores más bajos en los dos parámetros corresponden al único tanque monitoreado en AsP y los más altos al tanque Sav2 (Fig. 2). Los valores de salinidad en todos los tanques fueron superiores al límite inferior establecido por la regla D1 (Salinidad ≥ 30).

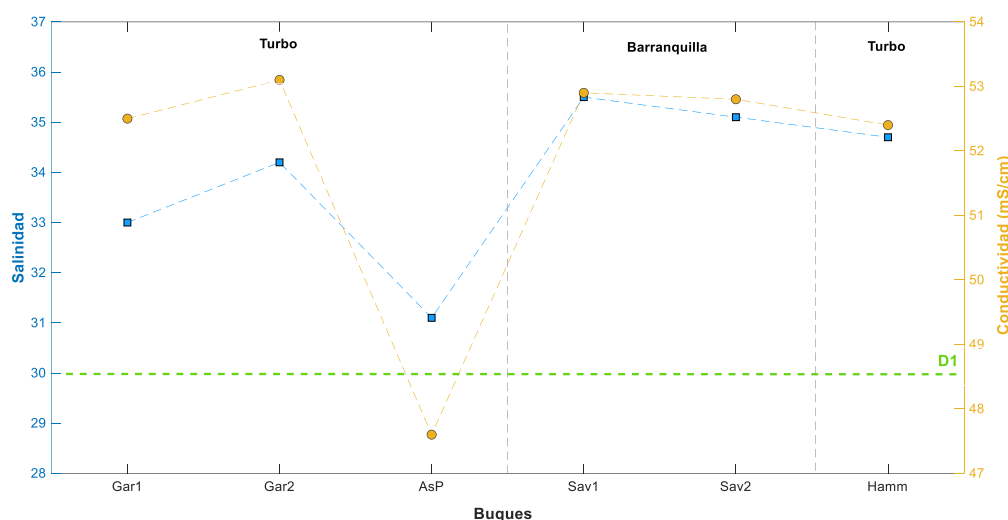


Figura 2. Salinidad y conductividad en tanques monitoreados. La línea verde indica el límite inferior de salinidad permitido por la regla D1.

3.2. Parámetros microbiológicos

Para *Vibrio cholerae* en todos los buques y tanques se registraron valores < 1 UFC/100 mL (Figura 3a). En cuanto a *Escherichia coli*, únicamente en el tanque Sav1 se evidenciaron crecimientos bacterianos > 1 UFC/ 100 mL; sin embargo, no superaron el límite superior establecido por la regla D2 (Figura 3b). Para *Enterococcus intestinales* (Figura 3c), se registraron crecimientos de 15 UFC/100

mL en el tanque Sav1 y de 158 UFC/100 mL en Sav2, excediendo este último el valor permitido por D2 (100 UFC/ 100 mL).

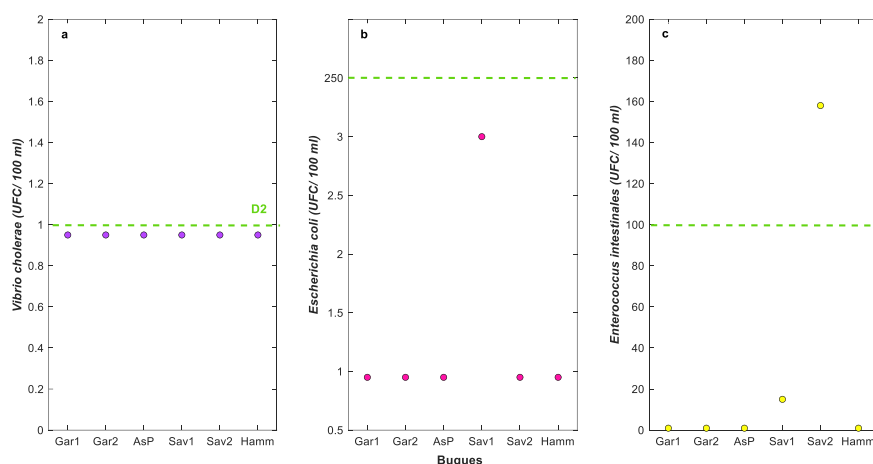


Figura 3. Parámetros microbiológicos en tanques monitoreados. La línea verde indica los límites superiores permisibles para cada microorganismo según la regla D2.

3.3. Parámetros biológicos

3.3.1. Fracción 10-50 μm

De manera general, en los análisis realizados se observó una baja fluorescencia en el Ch2, posiblemente por la poca adherencia de la tinción en las células. Con una fluorescencia media de 200,00 nm se infiere ausencia de viabilidad en las células. Entretanto, para partículas no identificadas, se observaron valores superiores al valor de referencia (1953.14 nm) indicando que no se trataba de organismos fitoplanctónicos (Fig. 4).



Figura 4. Imágenes de partículas teñidas con FDA capturadas por el FlowCAM en modo fluorescencia.

Las embarcaciones atracadas en el puerto de Turbo utilizaron la combinación de luz ultravioleta (UV) y filtración como sistema de tratamiento para garantizar la desinfección y eliminación de organismos. En los análisis desarrollados se evidenció que el sistema de tratamiento empleado fue óptimo dado que se observaron fluorescencias inferiores a los 200.00 nm en el Ch2 (Fig. 5).

Las imágenes obtenidas de los análisis de agua de lastre además de incluir fibras y materia orgánica, registraron la presencia de fragmentos de organismos fitoplanctónicos asociados a materiales inertes. Pese a que estos organismos no emitieron fluorescencias indicadoras de viabilidad fue necesaria su identificación mediante observación de personal especializado, debido a que las propiedades ópticas del equipo no son suficientes para la identificación automatizada de especies.

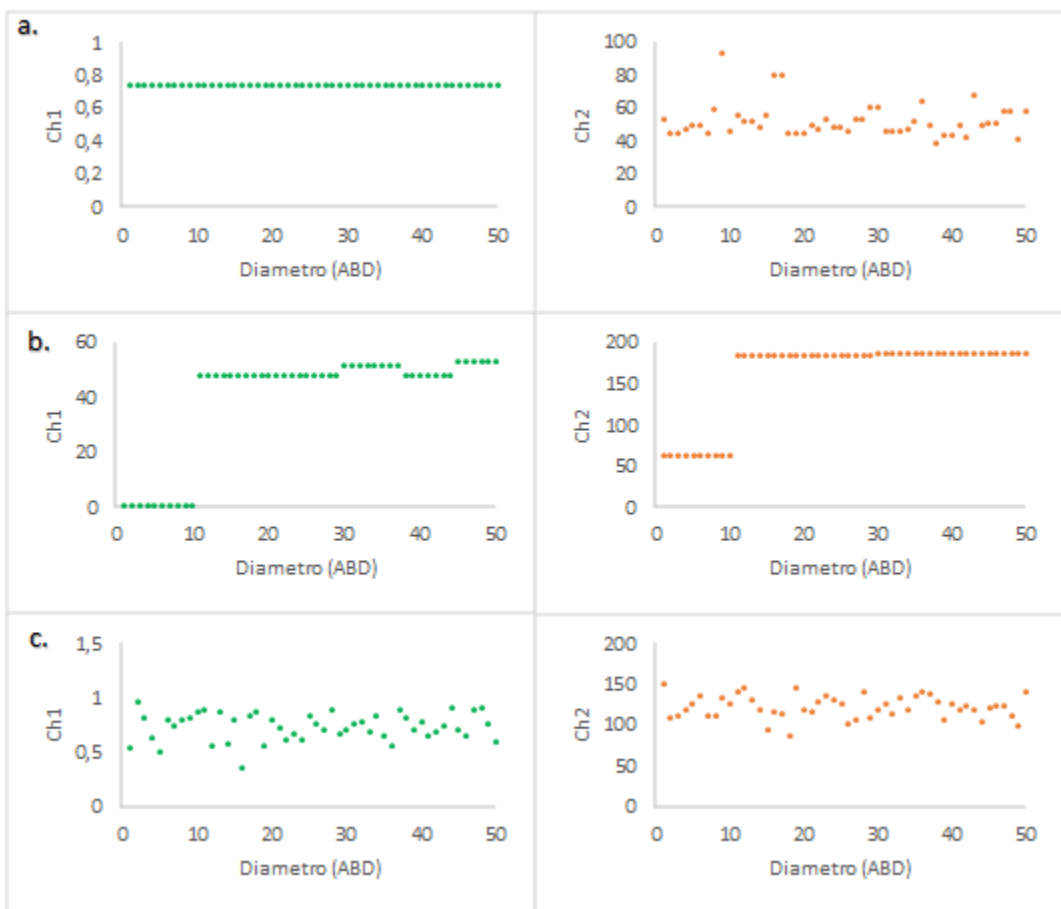


Figura 5. Histograma de clorofila (Ch1) y fluorescencia (Ch2) de partículas y/o células presentes en muestras de agua de lastre de embarcaciones atracadas en la bahía de Turbo. (a). AS Paulina, (b) Gardiner Monrovia y (c) Hammonia Husum.

El tratamiento de la embarcación analizada en Barranquilla (UBC Savannah), combina la filtración con la electroclorinación para garantizar el sistema de gestión de agua de lastre. A pesar de presentar un sistema de tratamiento distinto a los demás buques reportados, los resultados de viabilidad fueron satisfactorios para la fracción 10 – 50 μm , registrando valores inferiores a los 315 nm (Fig. 6). Se observaron fluorescencias superiores a los 400 nm, por lo que se infiere que dichas emisiones provenían de partículas como materia orgánica.

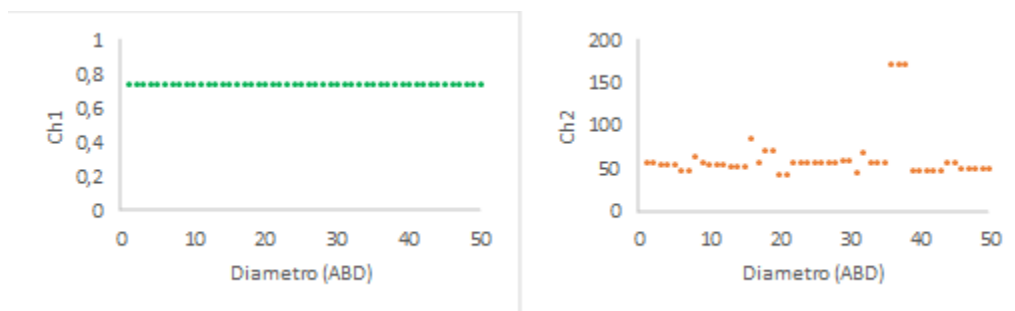


Figura 6. Histograma de clorofila (Ch1) y fluorescencia (Ch2) de partículas y/o células presentes en muestras de agua de lastre de la embarcación UBC Savannah atracada en Barranquilla.

3.3.2. Fracción > 50 μm

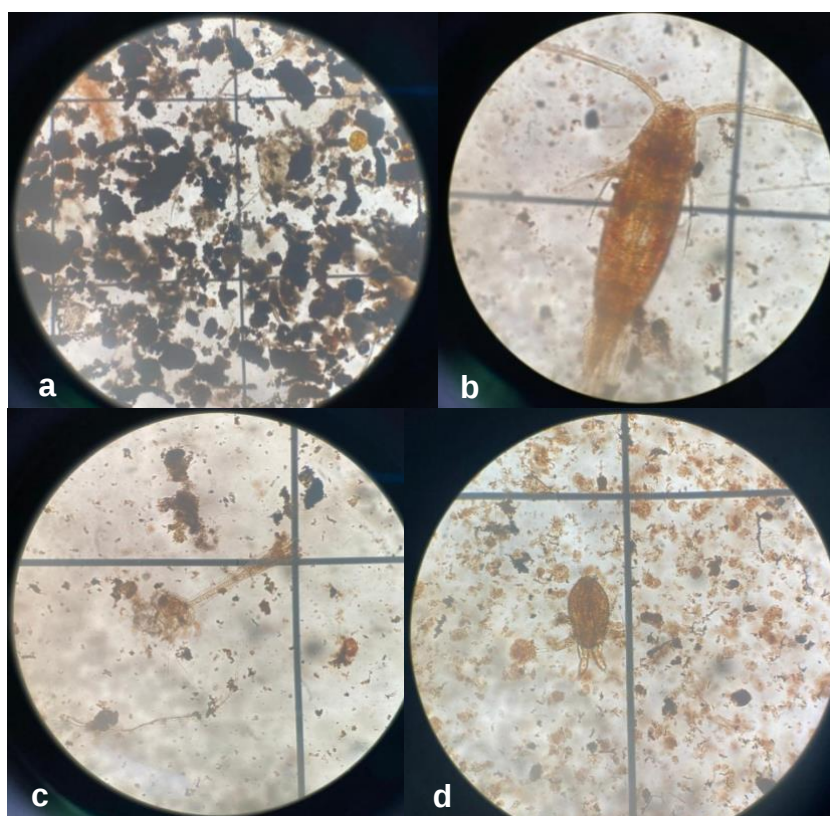


Figura 7. Organismos viables observados en los buques 'Gardiner Monrovia' (a y b) y 'AS Paulina' (c y d).

Las muestras analizadas en tanques de aguas de lastre de los buques 'Gardiner Monrovia' y 'AS Paulina', contaban con una gran carga de detritus y otras partículas que dificultaban la observación (Fig. 7a). En los tanques de estos buques se observaron organismos positivos a tinción con rojo neutro como copépodos (Fig. 7b), nauplios (Fig. 7c) y larvas de crustáceos (Fig. 7d). En el buque 'Hammonia' no se observó presencia de organismos viables. En Barranquilla, si bien, en el buque 'UBC Savannah' el agua de lastre se encontraba libre de partículas de interferencia, también se encontraron copépodos y nauplios viables en uno de los tanques (Fig. 8a). En este buque, se pudo observar con claridad la diferencia entre los organismos viables y los no viables (Fig. 8b).

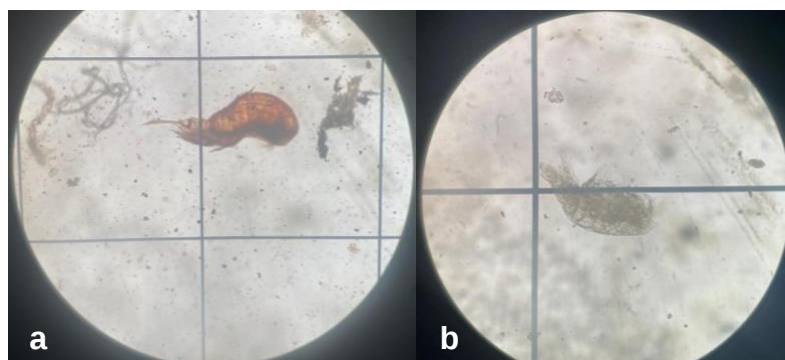


Figura 8. Organismos viables (a) y no viables (b) observados en el buque UBC Savannah (Barranquilla).

En términos de densidad, únicamente dos de los tanques muestreados mostraron densidades dentro del intervalo permitido por la regla D2. Los tanques del buque 'Gardiner Monrovia' (Gard1 y Gard2) exhibieron densidades de 850 y 36 Org*m³, mientras que en el buque 'AS Paulina' las cifras fueron dos órdenes de magnitud mayores al criterio permitido (2643 Org*m³). En el tanque Sav1 se registraron 11 Org*m³, valor justo por encima del límite. En contraste, en los en los tanques Sav2 y Hamm la densidad fue de 0 Org*m³ (Fig. 9).

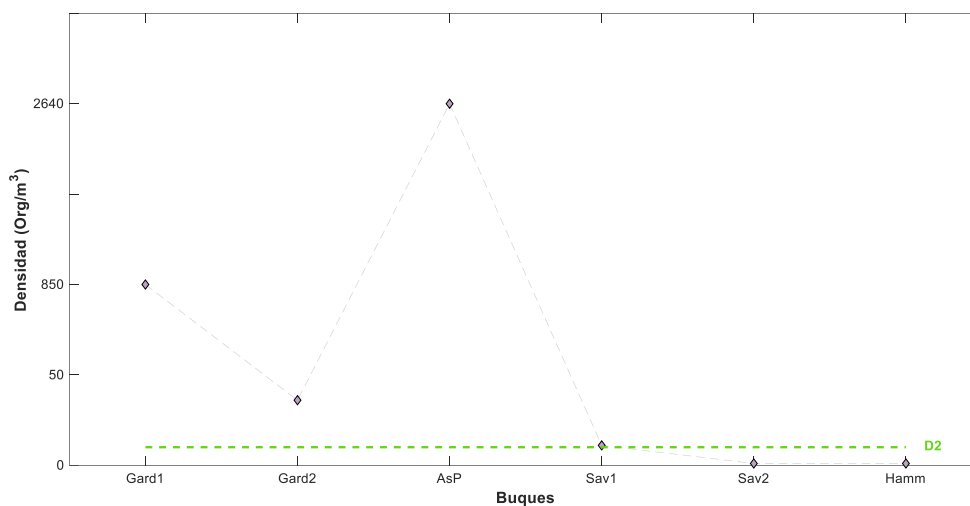


Figura 9. Densidad de organismos (> 50 µm) en los tanques monitoreados. La línea verde corresponde al límite de descarga permitido en la regla D2.

4. DISCUSION

4.1. Parámetros *in situ*

De los buques monitoreados únicamente el ‘AS Paulina’ no poseía sistema de tratamiento a bordo, por lo que debía acogerse a lo establecido en la regla D1 realizando el recambio del 95 % del agua de lastre a 200 millas náuticas de la costa y 200 m de profundidad (OMI, 2004). Empleando la salinidad como parámetro indicador de que el recambio se realizó en aguas oceánicas, este buque cumple con el criterio pues en el tanque monitoreado la salinidad fue superior a 30 (Fig. 2).

4.2. Parámetros microbiológicos

Según los resultados plasmados en la Figura 3, los buques monitoreados cumplen con los criterios establecidos por la regla D2 para *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli*. No obstante, uno de los tanques muestreados en el buque UBC Savannah (Barranquilla), mostró crecimientos bacterianos superiores a los permitidos para *Enterococcus intestinales* (158 UFC / 100 ml, Tabla 3). Lo anterior cuestiona la eficacia del tratamiento del buque (Filtración + electroclorinación, Tabla 1), teniendo

en cuenta que al parecer la combinación de métodos mecánicos como la filtración con radiación UV proporciona mejores resultados en términos de inactivación microbiana (Hess-Erga et al., 2019; Romero-Martínez et al., 2014); por esta razón el componente óptico es incluido en la mayoría de los sistemas de tratamiento a bordo (Nanayakkara et al., 2011). Otro factor que pudo incidir en el resultado es la fecha de aplicación del tratamiento, pues de haber sido reciente es entendible que al realizar el monitoreo aún se encontraran microorganismos funcionales en el tanque.

4.3. Parámetros biológicos

4.3.1. Fracción entre 10-50 μm

Al mezclar una muestra de agua de mar y/o estuarina con el FDA, se produce un precipitado que también es fluorescente (Tsukiyama et al., 1984; Lee et al., 2015 y Romero-Martínez et al., 2017). Este fenómeno pudo observarse tanto en muestras de aguas de lastre como en muestras de aguas de mar sintética (utilizada como blanco de ensayo), en las cuales se registraron emisiones de fluorescencia pese a que las imágenes capturadas no mostraban la presencia de células sino de algunas fibras (Fig. 4). Dichas fibras pueden constituir un falso positivo, por lo que se recomienda hacer verificaciones microscópicas para comprobar los resultados emitidos en las lecturas automáticas (Ormachea y Villazón, Garvey 2017).

De acuerdo con el criterio de viabilidad establecido, la ausencia de células viables confirma el buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento empleados por las diferentes embarcaciones monitoreadas. Ante la ausencia de células viables, se registraron emisiones de fluorescencia en todos los buques sin importar el sistema de tratamiento empleado (Fig. 5 y Fig. 6). Lo anterior coincide con reportes de otros autores (Garvey et al., 2007 y Romero-Martínez et al., 2017), quienes evidenciaron diferentes intensidades de fluorescencia en diversos sistemas.

La combinación de luz ultravioleta y filtración ha demostrado ser una estrategia efectiva para el control de microorganismos en el agua de lastre de los buques (Romero-Martínez et al., 2017). De acuerdo con la observación de muestras de agua tratadas con este método, se evidencia que la aplicación de luz UV provoca deformación celular incluso la eliminación de la célula (Fig. 4).

4.3.2. *Fracción > 50 µm*

Organismos pertenecientes a los artrópodos, anélidos, quetognatos y moluscos aparecen con frecuencia en ambientes marinos o costeros (Jang et al., 2020), por lo que tanto, la composición como la densidad de organismos con tamaños superiores a 50 µm registrada (Figs. 7 y 9) para los buques 'Gardiner Monrovia' y 'AS Paulina' son comunes en aguas sin tratar. Para el caso específico del buque 'AS Paulina', la elevada densidad (2640 Org * m³) puede ser atribuida a la ausencia de sistema de tratamiento a bordo (Tabla 1). Según algunos experimentos realizados, generalmente los filtros suelen remover gran parte de esta fracción de tamaño (Waite et al., 2003) y tras la aplicación de luz UV o electrolisis no se detecta presencia de organismos viables en el agua tratada (Jang et al., 2020). No obstante, una investigación reciente de García-Garay et al. (2018) mostró que la aplicación de diferentes combinaciones de luz UV con procesos avanzados de oxidación no son los suficientemente efectivos para inactivar a la fracción zooplanctónica. En este sentido, posiblemente el componente mecánico de los sistemas de tratamiento de los buques 'Gardiner Monrovia' y 'UBC Savannah' presentó alguna falla por colmatación, lo cual impidió la retención de la totalidad de organismos de esta fracción más no alteró el efecto de la radiación UV o del proceso de electrolisis sobre los microorganismos y la fracción de 10-50 µm. Se hace necesario entonces obtener más información sobre los sistemas de tratamiento a bordo empleados (por ejemplo: tamaño del filtro y fecha de aplicación del tratamiento) con el fin de hacer mayores inferencias sobre los resultados obtenidos. De igual modo se requiere continuar con el ejercicio de inspección de tanques de aguas de lastre pues la existencia de un sistema de tratamiento a bordo no garantiza la reducción del riesgo de contaminación biológica.

5. CONCLUSIONES

- La eficacia de los tratamientos parece ser diferente entre microorganismos, la fracción entre los 10-50 μm y la fracción $> 50 \mu\text{m}$.
- Uno de los tanques del buque 'UBC Savannah' no cumplió con los límites permisibles establecidos por la regla D2 para *Enterococcus intestinales* (158 UFC/ 100 ml vs 100 UFC/100 ml), sin embargo, los valores de salinidad registrados *in situ* concluyen adecuada gestión del agua de lastre para el cumplimiento de la regla D1 con vigencia de cumplimiento.
- Considerando que la regla D2 entra en vigor en septiembre de 2024, para fines de investigación científica, el presente trabajo incluyó además la verificación de cumplimiento de los límites de descarga para microorganismos y patógenos en el agua de lastre para buques que presentaran sistema de tratamiento abordo, evidenciando que algunos tanques sobrepasaron los valores plasmados en la regla D2 para la fracción $> 50 \mu\text{M}$ ($< 10 \text{ Org} * \text{m}^3$) al poseer cifras hasta un orden de magnitud mayor.

6. RECOMENDACIONES

Con el fin de ampliar el análisis de los resultados obtenidos en las inspecciones pormenorizadas, es necesario tener más información respecto a los sistemas de tratamiento a bordo tal como el tamaño del filtro y fecha de aplicación del sistema, esto permitirá concluir la eficiencia de la gestión de agua de lastre realizada y tomar decisiones acertadas al respecto.

Se considera necesario realizar seguimiento a la gestión del agua de lastre a través de inspección tanto documental como pormenorizada, pues pese a que el agua de lastre sea tratada antes de la descarga aún existe riesgo de contaminación biológica.

7. REFERENCIAS

- Arbeláez-Rivera, J.P, Builes-Rivera, D.A y Montoya, J.J. 2014. Puerto de Urabá, una apuesta de funcionamiento y mejoramiento logístico. Tesis de especialización. Universidad de Medellín. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Medellín, 71 pp.
- García-Álvarez, H. 2018. Estudio sobre la implementación del convenio BWM para la gestión de agua de lastre. Tesis de Máster. Universidad del País Vasco. 46 pp.
- García-Garay, J., Franco-Herrera, A. y Machuca-Martínez, F. 2018. Zooplankton sensitivity and phytoplankton regrowth for ballast water treatment with advanced oxidation processes. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-018-2308-4
- Garvey, M., Moriceau, B. y Passow, U. 2007. Applicability of the FDA assay to determine the viability of marine phytoplankton under different environmental conditions. *Marine Ecology Progress Series* 352, 17-26.
- Hess-Erga, O. K., Moreno-Andrés, J., Enger, Ø. y Vadstein, O. 2019. Microorganisms in ballast water: Disinfection, community dynamics, and implications for management. *Science of the Total Environment* 657, 704-716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.004>
- Jang, P.G., Hyun, B. y Shin, K. 2020. Ballast water treatment performance evaluation under real changing conditions. *Journal of Marine Science and Engineering* 8, 0817; doi:10.3390/jmse8100817
- Lee, J., Choi, E. y Rhie, K. 2015. Validation of algal viability treated with total residual oxidant and organic matter by flow cytometry. *Marine Pollution Bulletin* 97(1-2), 95-104.

- Ministerio de transporte. 2019. Disponible en:
<https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/7471/puerto-antioquia-y-puerto-pisivi-dos-proyectos-contemplados-en-el-plan-nacional-de-desarrollo-para-el-uraba-antioqueno/>
- 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>
- Organización Marítima Internacional (OMI). (2004). Implantación del Convenio sobre la gestión del agua de lastre.
- Ormachea, O. y Villazón, A. 2017. Desarrollo de un microscopio de epifluorescencia de bajo costo. *Investigación & Desarrollo* 1 (17), 5-14.
- Otero, A. 2012. El puerto de Barranquilla: retos y recomendaciones. *Revista de Economía del Caribe* 10, 126-159.
- Pineda-Poveda, F.R. 2022. Transporte marítimo de mercancías dentro del comercio internacional y los objetivos de protección del medio ambiente. Trabajo de Grado. Universidad Cooperativa de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Bogotá. 45 pp.
- 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>
- Romero-Martínez, L., van Slooten, C., Nebot, E., Acevedo-Merino, A. y Peperzak, L. 2017. Assessment of imaging-in-flow system (FlowCAM) for systematic ballast water management. *Science of the Total Environment* 603, 550-561.

- Tsukiyama, F., Katoh, M. y Matsuo, Y. 1984. Modification of the fluorescent staining method for mycobacterial cells. *Hiroshima Journal of Medical Sciences* 33(2), 293-295.
- Vásquez-Quiroz, E.J. y Hoyos-Escalante, M.Z. 2019. Contenedores y carga: Puerto de Barranquilla, Santa Marta y Cartagena. Misión Empresarial. Universidad del Rosario. Bogotá. 41 pp.
- Waite, T.D., Kazumi, J., Lane, P.V.Z., Farmer, L.L., Smith, S.G. Smith, S.L., Hitchcock, G. y Capo, T.R. 2003. Removal of natural populations of marine plankton by a large-scale ballast water treatment system. *Marine Ecology Progress Series* 258, 51–63.