

APROXIMACIÓN A LÍNEA BASE DEL FITOPLANCTON DE AGUA DE LASTRE, DE BUQUES QUE ARRIBARON A LA BAHÍA DE BARCELONA, ZONA NORORIENTAL DE VENEZUELA (ENERO-MAYO 2023)

ELENA HERNÁNDEZ-ANDRADE^{1*}, LUIS TROCCOLI², DORKI PADRÓN^{2,3}, ANTONIO BENÍTEZ¹ & JULIÁN CASTAÑEDA¹

¹*Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.*

**Autor de correspondencia: hernandezlna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8664-8494>*

arbm2210@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1390-9546>

jjcasta@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4705-9910>

²*Escuela de Ciencias Aplicadas al Mar, Núcleo de Nueva Esparta, Universidad de Oriente, Venezuela.*

luis.troccoli@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8684-6741>

³*Producciones Marinas C.A. PRODUMARCA, Av. Cacique Maraguey CC Marina Plaza, Cumana Edo.*

Sucre. Sucursal Calle Cecilio Acosta, casa 2486, Lechería Edo. Anzoátegui.

dorkipadron@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3748-3253>

RESUMEN: El fitoplancton transportado por agua de lastre constituye una amenaza en las zonas costeras receptoras de buques comerciales. En la bahía de Barcelona, existe tráfico de buques que transportan hidrocarburos, y es importante el monitoreo del fitoplancton del agua de lastre. En ese sentido, el puerto petrolero José Antonio Anzoátegui, representa un incremento en el riesgo de introducción de especies invasoras a través de aguas de lastre, con el riesgo potencialmente peligroso para el equilibrio biológico de los diferentes ecosistemas locales. En el presente estudio, se realizó el seguimiento de las aguas de lastre de 33 buques tanqueros que arribaron al puerto entre enero y mayo de 2023. Asimismo, se realizaron mediciones de los parámetros temperatura y salinidad tanto en el agua de los tanques y el agua superficial de la bahía. Se colectaron muestras con botellas (125 ml) para revisar al microscopio con método Utermohl. Se identificaron 61 especies de organismos fitoplanctónicos, distribuidas en 8 cianobacterias, 5 chlorophyta, 39 diatomeas, 6 dinoflagelados, 2 coccolitofóridos y 1 silicoflagelado. Siendo las diatomeas el grupo más representativo (54%), seguido de las cianobacterias (38%). Los géneros predominantes fueron *Trichodesmium*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Synedra* y *Gymnodinium*. Las muestras no mostraron abundancia fitoplanctónica excesiva y no se detectaron especies potencialmente tóxicas. Esta investigación constituye el inicio de una línea base para un posible seguimiento temporal de las especies que son transportadas regularmente en los buques tanqueros de ese puerto.

Palabras clave: Agua de Lastre, Organismos, Fitoplancton, Diatomeas.

ABSTRACT: Phytoplankton carried by ballast water is a threat in coastal areas receiving commercial ships. In Barcelona Bay, there is traffic of ships transporting hydrocarbons, and it is important to monitor the phytoplankton in ballast water. In this sense, the oil port José Antonio Anzoátegui represents an increase in the risk of introducing invasive species through ballast water, with the potentially dangerous risk for the biological balance of the different local ecosystems. In the present study, ballast water from 33 tankers that arrived at the port between January and May 2023 was monitored. Measurements of temperature and salinity parameters were taken in both the water in the tanks and the surface water of the bay. Samples were collected with bottles (125 ml) for microscopic examination using the Utermohl method. Sixty-one species of phytoplanktonic organisms were identified, distributed in 8 cyanobacteria, 5 chlorophyta, 39 diatoms, 6 dinoflagellates, 2 coccolithophorids and 1 silicoflagellate. Diatoms were the most representative group (54%), followed by cyanobacteria (38%). The predominant genera were *Trichodesmium*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Synedra* and *Gymnodinium*. The samples did not show excessive phytoplankton abundance and no potentially toxic species were detected. This research constitutes the beginning of a baseline for a possible temporal monitoring of species that are regularly transported on tankers in that port.

Key words: Ballast water, Organisms, Phytoplankton, Diatoms.

INTRODUCCIÓN

El agua de lastre (Ballast Water, BW, por sus siglas en inglés), constituye un componente crítico para garantizar la estabilidad hidrostática y la maniobrabilidad de los buques durante la navegación, optimizando la seguridad operativa. Este mecanismo opera mediante el bombeo de agua marina (o salobre de acuerdo a la ubicación geográfica) a tanques especializados durante la descarga de carga en puertos de origen, seguido de su posterior liberación en puertos receptores durante la recarga, generando así un flujo bidireccional de volúmenes considerables de agua. En tales casos, el BW del buque contiene una mezcla de aguas de múltiples puertos (BAILEY 2015; DAVID & GOLLASCH 2015; VEGA 2021; WAN *et al.* 2021; BILGIN GÜNEY 2022; KIM *et al.* 2022; KURNIAWAN *et al.* 2022; SERIDOU *et al.* 2024; NDLOVU 2025).

La dinámica de intercambio en múltiples puertos (común en rutas comerciales complejas) resulta en una mezcla heterogénea de aguas provenientes de distintas regiones biogeográficas, posicionando al BW como un vector de transferencia de organismos acuáticos, incluidas especies invasoras (NIS, por sus siglas en inglés) y los Organismos Acuáticos Nocivos y Patógenos (HAOP, por sus siglas en inglés) a escala global, que llegan a causar grandes cambios en la composición y la función de las comunidades ecológicas (ZAIKO *et al.* 2015; BAILEY & RAJAKARUNA 2017; CABRINI *et al.* 2018; DAVIDSON *et al.* 2018; HESS-ERGA *et al.* 2019; ABELANDO 2020; SAEBI *et al.* 2020; WANG *et al.* 2020). Tras la introducción primaria de especies, puede producirse una propagación secundaria, ya que las especies introducidas pueden seguir transfiriéndose, por ejemplo, mediante la navegación costera o local, la pesca, o también pueden propagarse por medios naturales y representar un alto riesgo a la biodiversidad marina (ZHANG *et al.* 2014; MIDWOOD *et al.* 2016; DAVID *et al.* 2018; ABELANDO *et al.* 2020; FERNANDES *et al.* 2021; HASANSPAHIC *et al.* 2022; HILLIAM *et al.* 2024; SERIDOU *et al.* 2024).

Algunos de los elementos de la masa superficial marina transportados en el BW son bacterias, fitoplancton, protozoarios, pequeños invertebrados, huevos, quistes y larvas de diversos organismos pelágicos (BRINKMEYER 2016; LYMPEROPOULOU & DOBBS 2017; DARLING *et al.* 2018; LV *et al.* 2018; ZAIKO *et al.* 2020; SHI *et al.* 2025), pero el volumen principal es el plancton, dividiéndose estos en dos grupos principales: el fitoplancton y el zooplancton (KACZMARSKA & EHRMAN 2015; VIDES *et al.* 2016; GARCÍA-GARAY *et al.* 2018; GOLLASCH *et al.* 2019; WU *et al.* 2019; ZAPATA 2020; ARDURA *et al.* 2021; ZHANG *et al.* 2024). En ese sentido, el fitoplancton costero, está generalmente dominado por diatomeas y dinoflagelados, incluidos taxones potencialmente tóxicos (HALLEGRAEFF 2015; KACZMARSKA & EHRMAN 2015; DARLING *et al.* 2018; WU *et al.* 2019; WANG *et al.* 2023), que pueden afectar negativamente a la salud pública y la economía local (STEICHEN & QUIGG 2015; DAVID *et al.* 2018; OROZCO *et al.* 2020; WANG *et al.* 2020). Las fases vegetativas de las microalgas suelen tener una tasa de supervivencia limitada en tanques de lastre debido a la falta de luz, turbulencia, cambios en la concentración de nutrientes, pastoreo por parte del zooplancton, ataques virales, competencia intra e interespecífica entre las especies. Por el contrario, las etapas de reposo como los quistes de dinoflagelados y las esporas de diatomeas se supone que sobreviven durante mucho tiempo incluso en condiciones ambientales adversas (ZAIKO *et al.* 2015, 2020; WU *et al.* 2019; ARDURA *et al.* 2021; DELLAGNOLO *et al.* 2021; VENKATNARAYANAN *et al.* 2022; WANG *et al.* 2023; SIMARD *et al.* 2024). En ese sentido, las especies oportunistas pueden prosperar y propagarse en tanques BW en determinadas condiciones. Por ello, los tanques de BW pueden servir de incubadoras para algunas especies en función de sus características (GOLLASCH *et al.* 2019; WU *et al.* 2019; OROZCO *et al.* 2020; ARDURA *et al.* 2021; WANG *et al.* 2023; SHI *et al.* 2025).

Como medida de mitigación a la transferencia de organismos en el BW y considerando la amenaza de introducción de especies potencialmente nocivas en puertos receptores, la Organización Marítima Internacional (IMO, por sus siglas en inglés) adoptó en 2004 el “Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques” (Convenio BWI, por sus siglas en inglés) (IMO 2004). Para abordar este problema ambiental global, en 2007 se crea el Programa GloBallast bajo la cooperación internacional entre Organización Marítima Internacional (IMO), el Programa de las Naciones

Unidas para el Desarrollo (UNDP, por sus siglas en inglés) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo es implementar el Convenio adoptado por la IMO en 2004 y así reducir la propagación de Organismos Acuáticos Nocivos y Patógenos (HAOP) y las especies no autóctonas (NIS) entre puertos y zonas, estableciendo normas y procedimientos para la gestión y el control del agua de lastre y los sedimentos de los buques (IMO 2018, 2024; GLOBALLAST PARTNERSHIPS 2017; GOLLASCH *et al.* 2019; BAILEY *et al.* 2020; CHEN *et al.* 2022).

Para cumplir con el IMO (2004) los buques deben gestionar su agua de lastre de acuerdo con la norma de cambio de agua de lastre en mar abierto, esto es, a 200 millas náuticas de la costa en aguas de una profundidad de al menos 200 metros (Regla D-1) o a través de la norma de eficiencia (Regla D-2), restrinja a un máximo especificado la cantidad de organismos viables permitidos que se van a descargar, así como que limite la descarga de determinados microbios indicadores perjudiciales para la salud humana (organismos $< 50 \mu\text{m}$ y mayores o iguales a $10 \mu\text{m}$ de dimensión mínima, en adelante $10\text{-}50 \mu\text{m}$, y organismos de dimensión mínima igual o superior a $50 \mu\text{m}$, en adelante $> 50 \mu\text{m}$).

El Programa GloBallast ha fortalecido la implementación global del Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos (Convenio BWB), incluso en países no signatarios. Venezuela, aunque no era inicialmente Parte Contratante, adoptó este marco regulatorio suscribiéndose a la Providencia N°363, debido a su condición de puerto receptor estratégico para buques de alto calado provenientes de naciones adherentes. Esta dinámica comercial expone sus aguas jurisdiccionales a descargas constantes de agua de lastre, generando riesgos ecológicos. Para solucionar esta problemática, establece en la Providencia Nro. 363 de fecha 10 de septiembre de 2012 que la autoridad para el control de la documentación referente a la gestión del agua de lastre, así como para la inspección de los tanques de BW, aprobar planes de gestión, y expedir certificados de todo buque, Nacional o Extranjero, que ingrese en aguas jurisdiccionales venezolanas la ejerce el Instituto Nacional de los Espacios Acuáticos, INEA (PROVIDENCIA N°363 2012). Sin embargo, la implementación práctica aún enfrenta desafíos.

De la revisión de la literatura, se encuentra un vacío en el conocimiento de los organismos que son introducidos a través de las aguas de lastre en la Bahía de Barcelona y en los demás cuerpos de agua receptores de lastre en Venezuela. Por lo anterior, se plantea el análisis del fitoplancton presente en las aguas de lastre de buques que arriban a la Bahía de Barcelona, Venezuela, con el fin de aportar más información para la construcción de una línea base y la información que determine la posible adaptación a este puerto. Se espera que los resultados obtenidos sean considerados por los organismos tomadores de decisiones en el manejo de aguas de lastre en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo de BW se realizó en la Bahía de Barcelona, Estado Anzoátegui, Venezuela, próximo a uno de los principales puertos petroleros del país, el Complejo Industrial Petroquímico y Petrolero “General de División José Antonio Anzoátegui” (Fig. 1). El muestreo se ejecutó dentro del programa de mediciones de la empresa Producciones Marina C.A., PRODUMARCA, empresa responsable de la inspección del BW en la zona. Estos muestreos fueron desarrollados de enero a mayo de 2023, colectando muestras de 125 ml usando colectores cilíndricos ($3/4'' \times 25 \text{ cm}$) introducidos en la boca de cada tanque seleccionado durante la inspección de cada buque, completando treinta y tres (33) buques, de diversos tipos y provenientes de diferentes puertos del mundo.

Las muestras del BW se recolectaron, empleando colectores cilíndricos de 100 ml de capacidad, a través de los tubos respiraderos de los estanques de agua de lastre, seleccionados al azar, en el momento de la inspección. La extracción de las muestras se tomó antes de realizar la maniobra de descarga de BW en la bahía.

Los parámetros físicoquímicos, temperatura y salinidad se tomaron *in situ* tanto en los tanques de BW como en la bahía de Barcelona, empleando una sonda multiparamétrica YSI modelo 600LS.

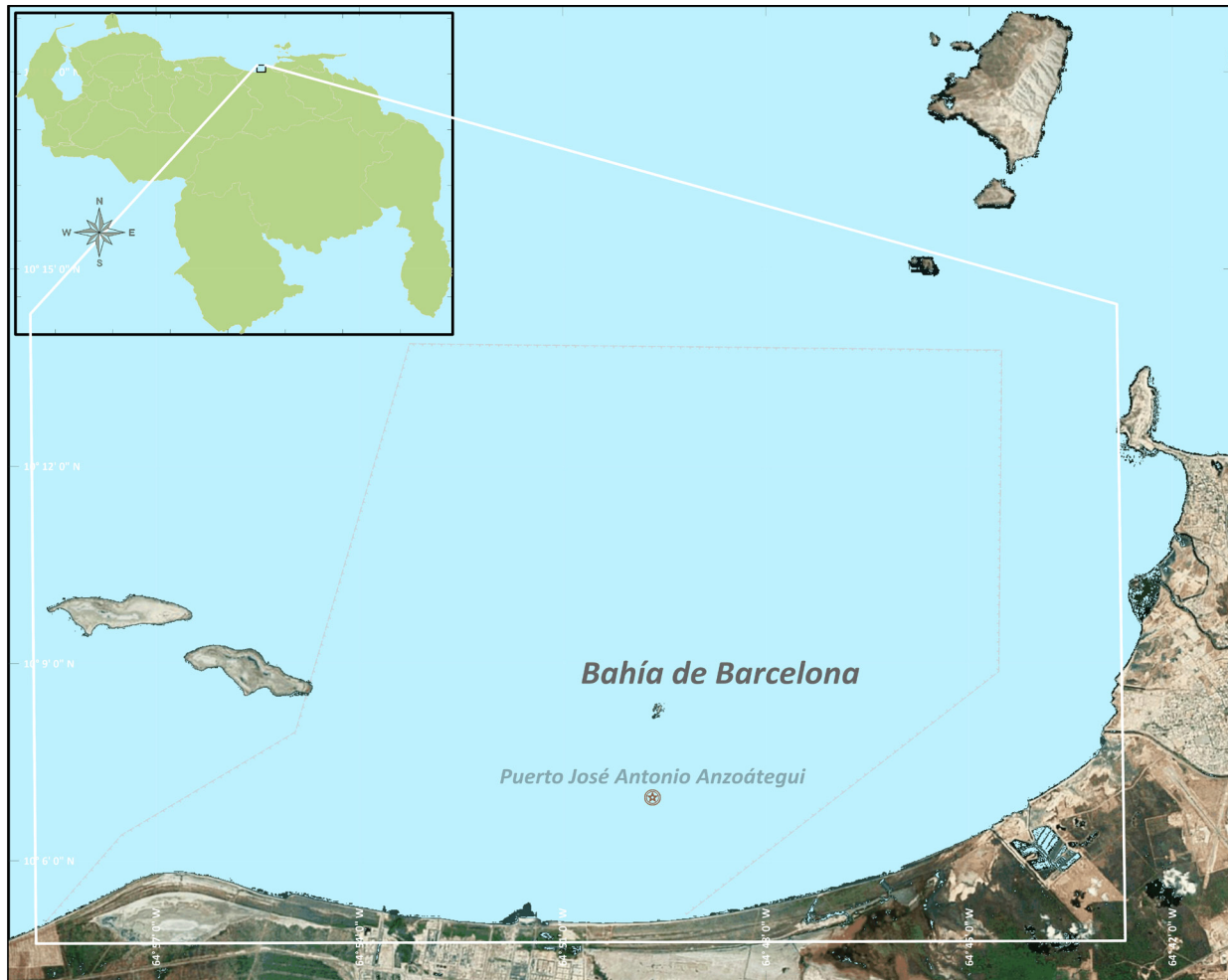


Figura 1. Ubicación relativa de la Bahía de Barcelona, Estado Anzoátegui, Venezuela.

A partir del volumen de agua recolectado en los tanques de lastre de las embarcaciones, se tomaron muestras biológicas para análisis de fitoplancton, fijándose al momento con formalina al 4% neutralizada con tetraborato de sodio. Las mismas se llevaron al laboratorio, para el análisis cualitativo y cuantitativo, mediante el uso de cámaras de sedimentación (50 ml), de acuerdo con el método UTERMÖHL (1958) (EDLER & ELBRÄCHTER 2010), mediante el uso de un microscopio invertido, equipado con mecanismo de contraste de fases. Se realizó la identificación utilizando claves especializadas de CUPP (1943), CLEVE (1951), SCHILLER (1971), TOMAS (1997) y BÉRNARD-THERRIAULT *et al.* (1999). Además, se calcularon los índices comunitarios de riqueza, equitatividad, diversidad de acuerdo con las recomendaciones de KREBS (1999) y se determinaron posibles diferencias estadísticas entre buques, mediante análisis de varianza a una vía, de acuerdo a las recomendaciones de SHESKIN (2004).

A partir de los análisis realizados se digitalizó la información obtenida y se realizaron figuras de abundancia de especies, porcentajes de organismos por grupo y de salinidad y temperatura de los tanques de BW utilizando la herramienta de código abierto (*open source*).

RESULTADOS

Los 33 buques muestreados fueron diferenciados según su tipo, puerto y país de procedencia del BW, además se tomó en cuenta el tiempo, en días, desde el momento de llenado del tanque de BW hasta el día de deslastro en la Bahía de Barcelona (TABLA 1).

La mayoría de los buques muestreados estaban lastrados principalmente con aguas procedentes de zonas del Mar Caribe (MC) y el Golfo de México (GM) (36,36%), mientras que muy pocos buques

TABLA 1. Detalles de la cantidad y tipo de buques, puerto o zona donante, zona marítima donante BW y días de BW en buques examinados en la Bahía de Barcelona, entre enero y mayo del 2023.

BUQUE	TIPO DE BUQUE	VOL. TANQUE BW (m ³)	PUERTO Y PAÍS DE PROCEDENCIA	ZONA MARÍTIMA DE PROCEDENCIA	BW VIAJE (días)
1	Crude Oil Tanker	41.107,00	ARUBA OPL, ARUBA	MAR CARIBE (MC)	8
2	Bulk Carrier	14.570,12	BARRANQUILLA, COLOMBIA	MAR CARIBE (MC)	1
3	Bulk Carrier	30.699,70	CURACAO, CURACAO	MAR CARIBE (MC)	52
4	Crude Oil Tanker	41.107,00	ALGECIRAS, ESPAÑA	MAR MEDITERRANEO (MM)	24
5	Bulk Carrier	30.508,90	PECEM, BRAZIL	ATLANTICO SUR (AS)	42
6	Bulk Carrier	30.699,70	CHAGUARAMAS, TRINIDAD	MAR CARIBE (MC)	65
7	Crude Oil Tanker	41.107,40	FREEPOR, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	10
8	Crude Oil Tanker	41.107,00	FREEPOR, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	9
9	Crude Oil Tanker	41.107,00	PASCAGOULA, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	7
10	Crude Oil Tanker	103.581,90	SINGAPORE, SINGAPORE	MAR DEL SUR DE CHINA (SC)	120
11	Crude Oil Tanker	26.500,00	MOA, CUBA	MAR CARIBE (MC)	3
12	Oil / Chemical Tanker	11.729,42	WILMINGTON, CURACAO	MAR CARIBE (MC)	7
13	Crude Oil Tanker	41.107,00	PASCAGOULA, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	7
14	Bulk Carrier	29.157,00	BARRANQUILLA, COLOMBIA	MAR CARIBE (MC)	3
15	Crude Oil Tanker	41.107,40	LAKE CHARLES, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	8
16	Crude Oil Tanker	101.954,90	CAPE TOWN, SOUTH AFRICA	ATLANTICO SUR (AS)	77
17	LPG Tanker	9.191,50	SANTIAGO DE CUBA, CUBA	MAR CARIBE (MC)	23
18	Crude Oil Tanker	38.796,00	ROTTERDAM, NETHERLANDS	ATLANTICO NORTE (AN)	19
19	Oil / Chemical Tanker	7.439,86	NUEVITAS, CUBA	MAR CARIBE (MC)	11
20	Crude Oil Tanker	39.975,00	ALGECIRAS, ESPAÑA	MAR MEDITERRANEO (MM)	27
21	Crude Oil Tanker	41.136,00	TARRAGONA, ESPAÑA	MAR MEDITERRANEO (MM)	16
22	Crude Oil Tanker	41.107,00	PASCAGOULA, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	7
23	Crude Oil Tanker	26.080,00	WILLEMSTAD, CURACAO	MAR CARIBE (MC)	23
24	Crude Oil Tanker	41.107,00	HOUSTON, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	9
25	Crude Oil Tanker	41.656,60	CORPUS CHRISTI, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	9
26	Crude Oil Tanker	41.107,00	PASCAGOULA, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	10
27	Crude Oil Tanker	96.693,00	ZHOUSHAN, CHINA	MAR DEL ESTE DE CHINA (EC)	46
28	Crude Oil Tanker	41.107,00	LAKE CHARLES, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	7
29	Crude Oil Tanker	38.796,00	MAMONAL, COLOMBIA	MAR CARIBE (MC)	4
30	Crude Oil Tanker	41.107,00	LAKE CHARLES, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	8
31	Crude Oil Tanker	36.235,00	FINNART, UK	ATLANTICO NORTE (AN)	16
32	Crude Oil Tanker	26.080,00	CIEN FUEGOS, CUBA	MAR CARIBE (MC)	8
33	Crude Oil Tanker	41.107,00	GOOD HOPE, USA	GOLFO DE MÉXICO (GM)	8

contenían BW procedentes del Mar Mediterráneo, Atlántico Sur y Norte (9,09%) y solamente dos de estos provienen de China (6,06%) (TABLA 1). Todos los buques tenían un plan de gestión de las aguas de lastre, y la gran mayoría contaba con un sistema de tratamiento de las aguas de lastre a bordo. El tiempo de retención de las aguas de lastre en los tanques variaba de 1 y 120 días: El 55% de las aguas de lastre se mantuvo a bordo en tanques entre 1 y 10 días, mientras que sólo el 45% de las aguas de lastre permaneció más de 30 días (TABLA 1).

La temperatura de la Bahía de Barcelona osciló entre 27 y 28 °C y la salinidad entre los rangos de 36,00 y 37,50 PSU durante los periodos de muestreo (TABLA 2). Sin embargo, el BW de los diferentes buques presentaron temperatura entre los 26 y 30 °C y salinidad típica de agua de mar 36 PSU, pero 2 muestras de BW tenían valores de salinidad inferiores a 35 PSU (en promedio de 31,82 PSU). Cuatro

TABLA 2. Valores de temperatura y salinidad en cada tanque de agua de lastre en la Bahía de Barcelona, entre enero y mayo del 2023.

BUQUE	SALINIDAD PSU	TEMPERATURA (°C)
1	37,57	28,91
2	37,68	27,07
3	32,42	28,38
4	38,99	27,11
5	32,15	29,90
6	33,00	28,20
7	29,92	26,56
8	27,74	27,89
9	33,57	28,05
10	35,90	26,49
11	36,29	28,00
12	35,63	26,66
13	29,93	27,87
14	34,35	29,33
15	15,21	27,80
16	30,39	26,68
17	37,14	29,60
18	27,82	27,94
19	36,32	28,00
20	39,48	27,22
21	38,80	27,50
22	29,66	28,01
23	37,57	28,90
24	9,43	28,40
25	34,08	27,71
26	27,97	28,78
27	35,14	29,35
28	36,98	28,02
29	36,98	28,02
30	32,64	29,20
31	33,55	28,38
32	37,10	29,67
33	31,82	29,13

muestras presentaron salinidad de 38 y 39,48 PSU y otras dos tenían muy baja salinidad (15,21 y 9,43PSU, respectivamente) (TABLA 2, Fig. 2.).

Como resultado del análisis de las aguas tomadas de los tanques de lastre provenientes de los 33 buques muestreados, permitió observar las diferentes especies de organismos fitoplanctónicos presentes, al igual que el número de individuos contenidos en el total de muestras evaluadas. Se identificaron 61 especies distribuidas en: 8 cianobacterias, 5 chlorophyta, 39 diatomeas, 6 dinoflagelados, 2 coccolitofóridos y 1 silicoflagelado. Siendo las diatomeas el grupo más representativo (54%), seguido de las cianobacterias (38%). Las especies más frecuentes fueron *Trichodesmium thiebautii*, *Navicula* sp., *Nitzschia lanceolata*, *Synedra* sp., *Nitzschia* sp., *Nitzschia longissima* y *Gymnodinium* sp. (TABLA 3 y Fig. 3).

TABLA 3. Especies de mayor frecuencia en el agua de lastre de los buques muestreados la Bahía de Barcelona, entre enero y mayo del 2023.

Trichodesmium thiebautii
Navicula sp.
Nitzschia lanceolata
Trichodesmium erithraea
Synedra sp.
Nitzschia longissima
Nitzschia sp.
Gymnodinium sp.
Heterocapsa triquetra
Anabaena sp.

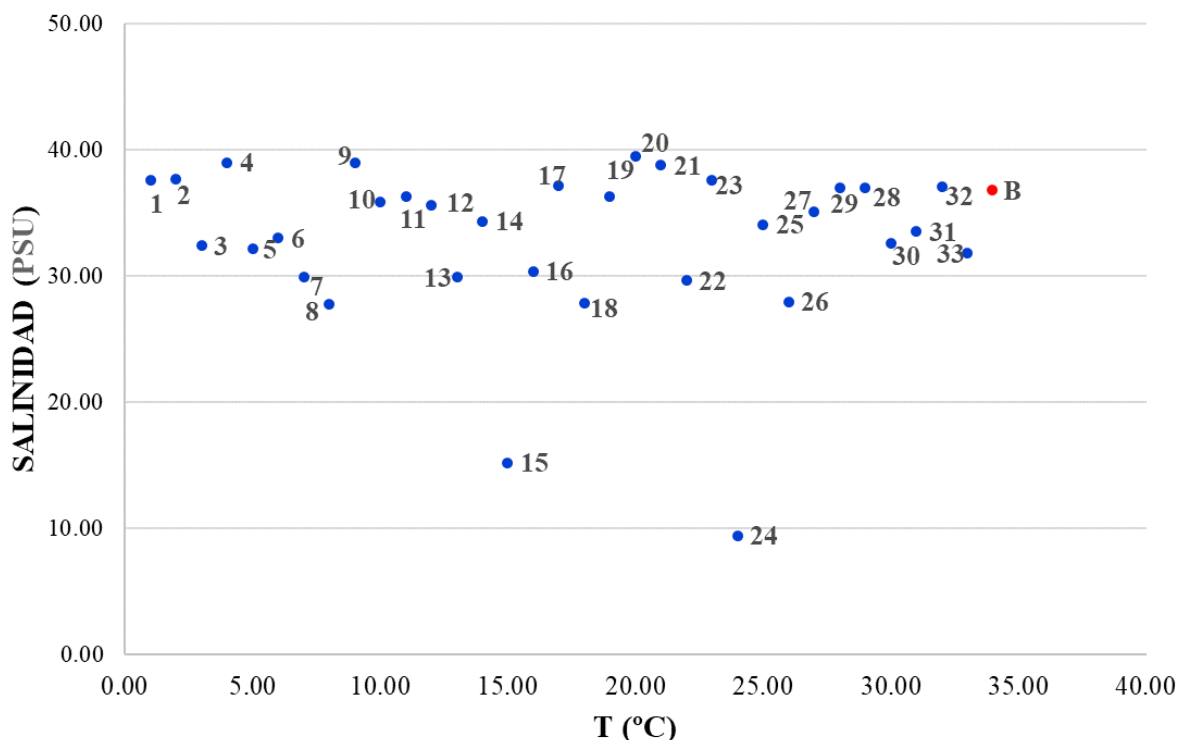


Figura 2. Temperatura y salinidad medidas en treinta y tres tanques de BW que arriban a la bahía de Barcelona (Azul: Tanques de BW, Rojo: Bahía de Barcelona), entre enero y mayo del 2023.

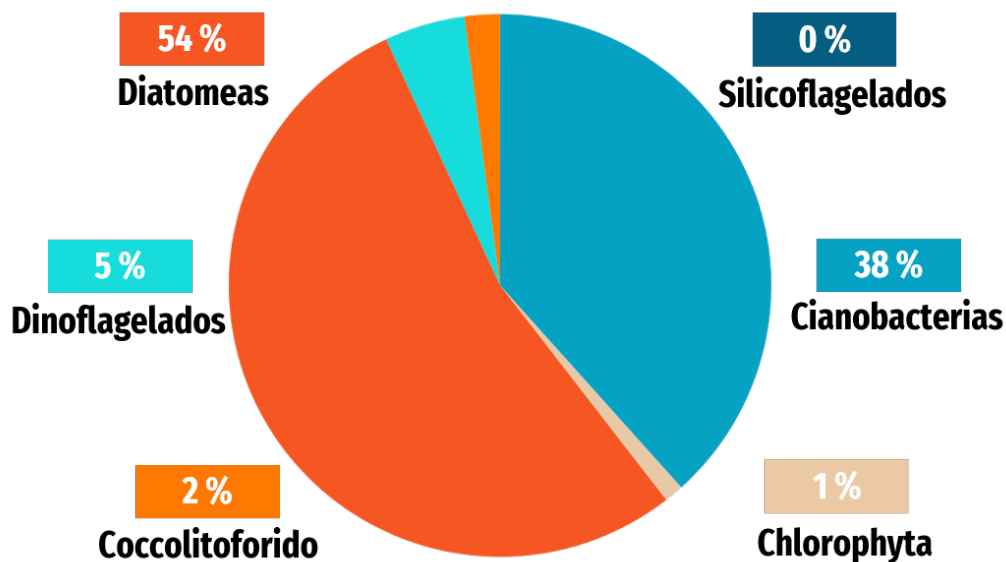


Figura 3. Composición porcentual de los principales grupos fitoplanctónicos transportados en aguas de lastre en la Bahía de Barcelona, entre enero y mayo del 2023.

Se logró cuantificar un total de 660,96 cels l⁻¹ organismos distribuidos en 6 divisiones (TABLA 4). La división que presentó mayor abundancia de organismos correspondió a las Diatomeas (354,23 cels l⁻¹), seguido de la división Cianobacteria (253,53 cels l⁻¹), Dinoflagelados (31,70 cels l⁻¹), Coccolitoforidos (13,85 cels l⁻¹), Chlorophyta (7,61 cels l⁻¹) y por último los Silicoflagelados (0,04 cels l⁻¹) (Fig. 4).

La riqueza de especies promedio fue de 5 especies/buque con mínimo de 3 y máximo de 9 especies por muestra. Detectándose diferencias significativas (F=2,43; p<0,05) entre buques (Fig. 5).

La abundancia promedio del fitoplancton fue de 6700 cels l⁻¹ con mínimo de 6733 cels l⁻¹ y máximo de 32000 cels l⁻¹, detectándose diferencias significativas (F=5,28; p<0,05) entre buques (Fig. 6).

La diversidad promedio fue de 1,69 Bits/ind. Con mínimo de 0 y máximo de 3,13 Bits/ind. Detectándose diferencias significativas (F=2,91; p<0,05) entre buques (Fig. 7).

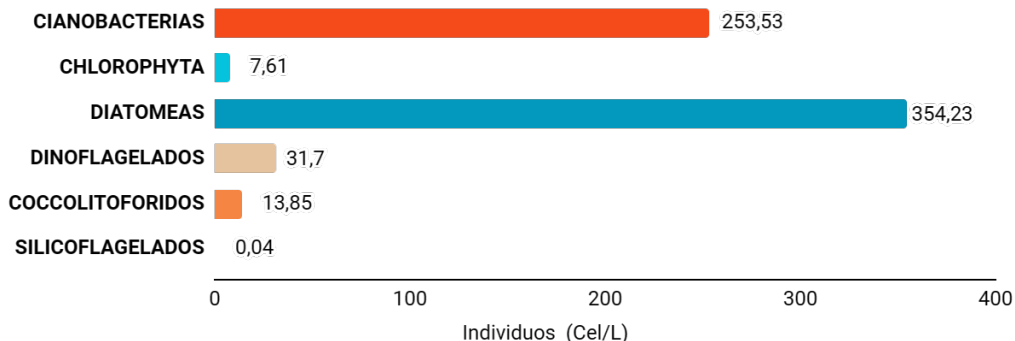


Figura 4. Abundancia de especies fitoplanctónicas en aguas de BW de los buques muestreados en la Bahía de Barcelona, entre enero y mayo del 2023.

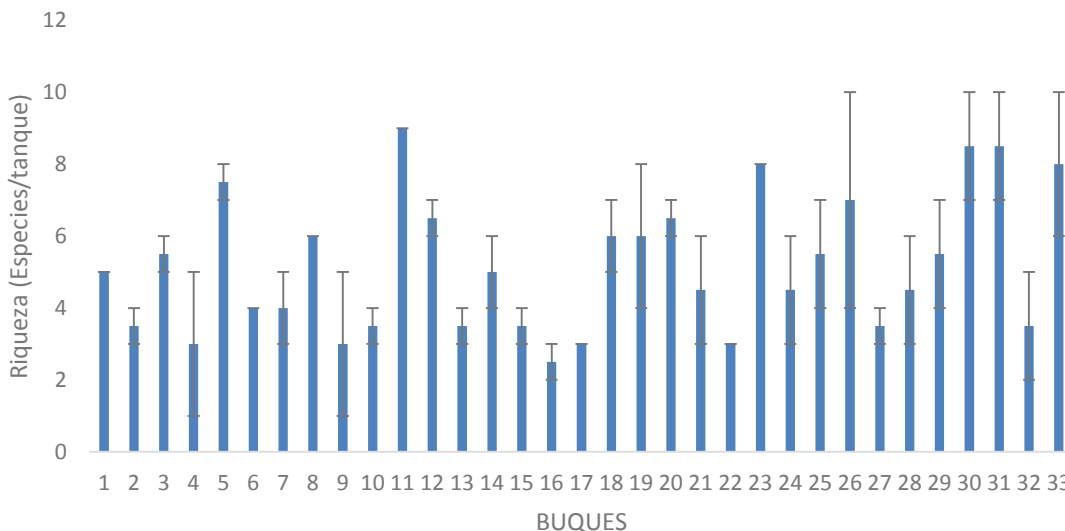


Figura 5. Riqueza de especies de fitoplancton identificadas en tanques de agua de lastre de buques muestreados en la bahía de Barcelona, entre enero y mayo del 2023.

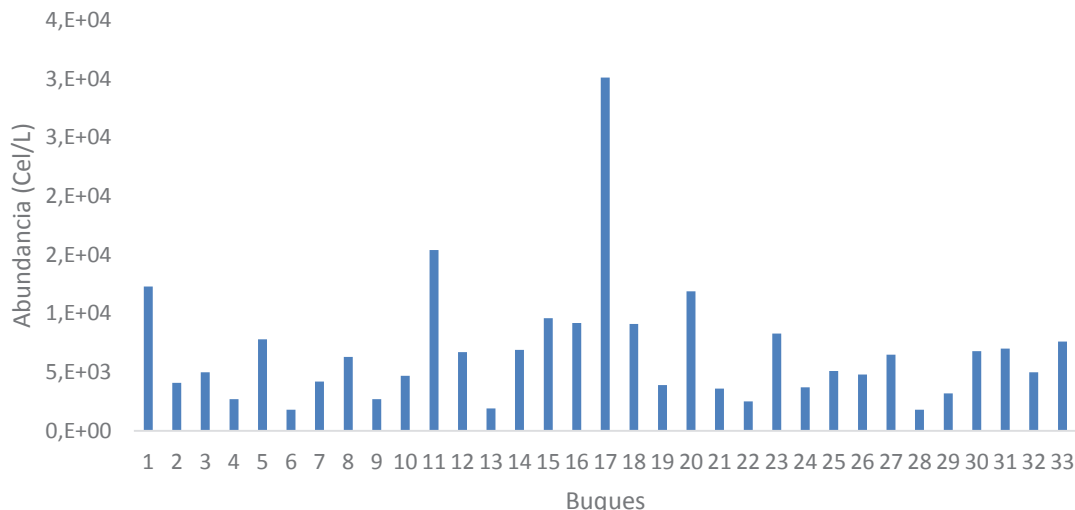


Figura 6. Abundancia del fitoplancton (Cel/L) en tanques de agua de lastre de buques muestreados en la bahía de Barcelona, entre enero y mayo del 2023.

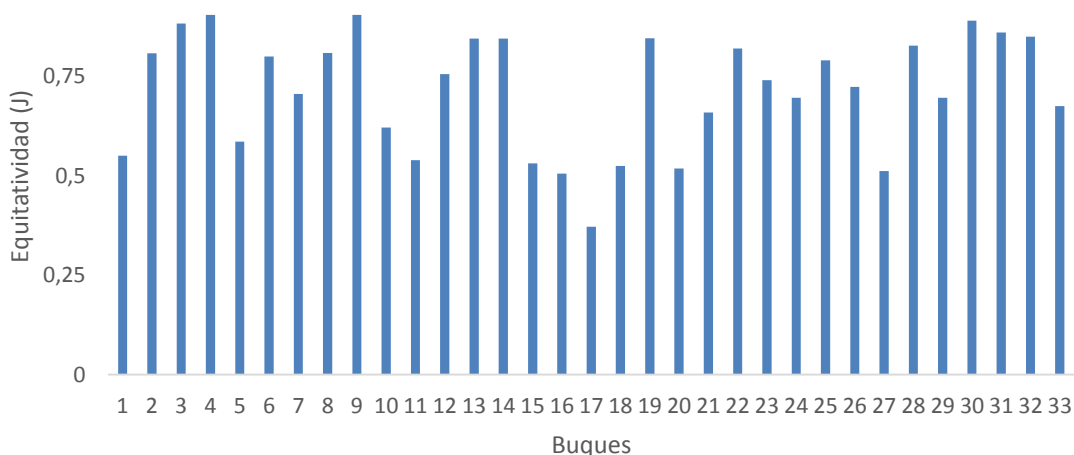


Figura 7. Variación del índice de equitatividad (J) del fitoplancton en tanques de agua de lastre de buques muestreados en la bahía de Barcelona, entre enero y mayo del 2023.

DISCUSIÓN

Los registros de temperatura y salinidad en los tanques de agua de lastre de los buques analizados no muestran muchas diferencias con la zona costera de la bahía. En ese sentido, la zona de estudio, muestra condiciones de más de 36 UPS y temperatura promedio mayor a 26°C. Aunque en la bahía de Barcelona puede haber influencia continental por aportes del río Neverí, durante el lapso del estudio, no se registraron aportes por efectos de lluvia. En ese sentido, la zona nororiental de Venezuela se caracteriza por presentar variabilidad hidrográfica bimodal, con surgencia costera estacional por efecto eólico durante los primeros meses de cada año (RUIZ-OCHOA *et al.* 2012; RUEDA-ROA & MULLER-KARGER 2013; CORREA-RAMÍREZ *et al.* 2020; GÓMEZ-GASPAR & ACERO 2021). La similitud en condiciones hidrográficas en los tanques de agua de lastre con la de la zona costera, puede implicar riesgo porque el fitoplancton no sufriría choque osmótico y es susceptible de adaptarse al puerto receptor (BAEK *et al.* 2012; HYUN *et al.* 2017; VENKATNARAYANAN *et al.* 2022; ZHANG *et al.* 2024).

Los grupos funcionales dominantes en los tanques de BW son las Diatomeas, Cianobacterias y Dinoflagelados, tal y como se reportan en varios estudios, coincidiendo con lo mencionado por VENKATNARAYANAN *et al.* (2022) y ZHANG *et al.* (2024) quienes señalan que las diatomeas constituyen el grupo de mayor sobrevivencia en los estanques de los buques petroleros. También se pueden señalar los estudios de STEICHEN & QUIGG (2015) en la bahía de Galveston de Estados Unidos; en el Mar Adriático CABRINI *et al.* (2018); HERNÁNDEZ *et al.* (2018) en Venezuela; WU *et al.* (2019) en el Puerto de aguas profundas de Shanghái, Yangshan; OROZCO *et al.* (2020) en las costas de Perú y ZAPATA (2020) en el extremo sur del Caribe colombiano.

En estudios realizados en el sistema de Maracaibo, el segundo puerto con más tráfico de buques con hidrocarburos de Venezuela, HERNÁNDEZ *et al.* (2018) señalaron dominio de diatomeas y cianobacterias, con predominio de *Coscinodiscus* sp., *Diploneis* sp. y *Lynbya* sp. que también se detectaron en el presente estudio y se caracterizan por ser tolerantes a cambios de salinidad.

Las diatomeas representan la comunidad más sobresaliente en el agua de mar, contribuyendo significativamente a la producción primaria de nuestro planeta, especialmente en ambientes costeros (OKOLODKOV & HUERTA-QUINTANILLA 2018). Estos organismos oportunistas aprovechan los pulsos de nutrientes originados por la turbulencia para florecer en un ambiente que en términos generales no le es propicio. Es posible que el corto tiempo de residencia de las aguas sea una limitante para el establecimiento de un determinado grupo fitoplanctónico, lo cual, debido a esta cualidad de estos organismos, tienen mayor tasa de sobrevivencia, considerando el tiempo de permanencia en los tanques durante el viaje, pero no en periodo no mayores a 20 días de viaje como lo señala STEICHEN & QUIGG (2015). Por ello, al considerar los

TABLA 4. Lista de taxones de fitoplancton identificados en el BW en todos los buques muestreados en la Bahía de Barcelona, entre enero y mayo del 2023.

DIVISIÓN/ORGANISMO	BUQUES																																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	45	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33					
CYANOBACTERIAS																																						
<i>Anabaena</i> sp.	X	X				X	X		X								X	X	X						X	X	X							X	X			
<i>Chroococcus</i> sp.														X																					X	X		
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>		X																		X					X													
<i>Gloeocapsa</i> sp.																											X											
<i>Lyngbya</i> sp.												X																										
<i>Pseudanabaena catenata</i>										X	X	X	X	X																								
<i>Trichodesmium erithraea</i>							X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Trichodesmium thiebautii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
CHLOROPHYTA																																						
<i>Ankristdesmus</i> sp.																									X													
<i>Closterium</i> sp.											X							X						X												X	X	
<i>Cosmarium</i> sp.											X					X		X	X						X	X	X	X	X								X	X
<i>Monoraphidium raciborskii</i>										X	X	X																										
<i>Scenedesmus quadricauda</i>											X	X													X										X			
DIATOMEAS																																						
<i>Achnantes</i> sp.										X		X	X																							X		
<i>Amphora</i> sp.								X	X			X	X																									
<i>Campylosira</i> sp.								X		X															X													
<i>Chaetoceros atlanticus</i>								X		X																												X
<i>Chaetoceros compressus</i>								X																														
<i>Chaetoceros dydimus</i>															X																						X	X
<i>Chaetoceros tenuissimus</i>										X												X					X	X	X								X	X
<i>Cocconeis</i> sp.								X														X				X												X
<i>Coscinodiscus nitidus</i>								X																														
<i>Cyclotella</i> sp.								X														X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Cylindroteca closterium</i>																																						
<i>Cymasosira</i> sp.																																						
<i>Diploneis</i> sp.																																						
<i>Dytilum brightwellii</i>				X	X	X																																
<i>Epithemia</i> sp.																																				X		X

índices ecológicos determinados en las muestras de fitoplancton en este estudio, muestran baja riqueza de especies y abundancia, además de moderada diversidad en la estructura comunitaria fitoplanctónica, que puede ser consecuencia del tratamiento del agua de lastre en los buques (ZHANG *et al.* 2024), pero algunas especies en los tanques de lastre poseen potencial de adaptación y proliferación al llegar a la zona costera (SOLER-FIGUEROA *et al.* 2020) por lo que es siempre necesario el análisis microscópico del agua de los buques que llegan a la Bahía de Barcelona.

Por otra parte, la riqueza de especies promedio detectada (<5 especies/muestra) refleja que los sistemas de control del agua de lastre (por lo general filtración y sistemas UV) de alguna manera mitigan el riesgo de proliferación masiva de especies de fitoplancton que se vierten en el puerto receptor (ZHANG *et al.* 2024). Por ello, la diversidad (<2 Bits/Ind) es baja porque el fitoplancton en los estanques está en condiciones de estrés debido a la falta de luz y el número de días de almacenamiento en los tanques de lastre (WU *et al.* 2019). Lo que favorece el control del agua de lastre requerido en el convenio de agua de lastre (IMO, 2004). En ese sentido, se debe mantener el seguimiento del fitoplancton que llega a la zona portuaria y en un futuro cercano a los principales puertos de Venezuela.

Con relación a las especies identificadas en los tanques de BW del presente estudio, hay coincidencia con muchas identificadas en otros estudios y las halladas en distintas zonas costera de Venezuela. En ese sentido, RODRÍGUEZ-CENTENO *et al.* (2010), GONZÁLEZ-PEROZO *et al.* (2020) y PEREIRA *et al.* (2021), reportan hacia el oeste de la zona estudiada (estados Anzoátegui y Miranda), especies comunes y abundantes como *Navicula* sp., *Nitzschia* sp., *Hemiaulus sinensis*, *Mesoporos perforatus*, *Prorocentrum lima*, *Lyrella lyra*, *Nitzschia acicularis*, *Pleurosigma affine*, *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros* sp., *Pseudo-nitzschia* sp., *Trichodesmium thiebauthii*, *Anabaena* sp., *Thalassiosira aestivalis*, *Thalassiosira nordenskioldii*; *Triplos massiliensis*, *Dinophysis caudata*, *T. furca*, *T. karstenii*, *Protoperidinium depressum*, *Tetradesmus obliquus*, *Kirchneriella* sp., *Ankistrodesmus* sp., *Chlorella* sp., *Closterium kuetzingii*, *Cosmarium* sp., *Phacus* sp. y *Eutreptiella gymnastica*. Sin embargo, en dirección este, principalmente en el estado Sucre, GÓMEZ-CARVAJAL *et al.* (2002), ESTEVES (2011), CALVO-TRUJILLO *et al.* (2015, 2018), identificaron las especies *Scripsiella* sp., *Navicula* sp., *Oscillatoria* sp., *Chaetoceros* sp., *Chaetoceros cf. compressum*, *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia longissima*, *Haslea waiwriake*, *Hillea* sp., *Emiliania-Gephyrocapsa*, *Pseudonitzschia*, *Rhizozolenia*, *Thalassiosira*, *Cylindrotheca closterium*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira* sp., *Prorocentrum micans*, *Scripsiella trochoidea* y *Calciosolenia murrayi*. La mayoría de estas especies se encuentran dentro del grupo reportados en los tanques de agua de lastre muestreados.

En este estudio, no se detectaron especies señaladas como susceptibles de generar proliferaciones masivas, ni especies potencialmente tóxicas, lo que debe ser reflejo que, en la mayoría de los buques evaluados, los recambios de los tanques de agua de lastre se realizaron en aguas oceánicas, como lo recomienda IMO (2004). La abundancia del fitoplancton estudiado en las muestras del presente estudio no representa un peligro potencial para la bahía, pero siempre es necesario reportar la variabilidad de cada una de las muestras analizadas. La presencia de especies de aguas continentales, como las Chlorophyta, sugieren que la toma de agua de lastre de algunos de los buques se realiza en zonas estuarinas y de descargas continentales. En ese sentido se debería recomendar que se haga el llenado en aguas marinas, para mitigar efectos de posible invasión de especies exóticas en la zona costera. Por otra parte, la presencia de diatomeas en los tanques de lastre, pueden adaptarse en forma rápida en zonas costeras, y muchas se consideran oportunistas como el caso de *Cylindrotheca closterium* y *Pseudonitzschia* sp., que no son consideradas tóxicas, pero, pueden proliferar en forma exponencial y generar anoxia en horas nocturnas (WANG *et al.* 2023). Algunos de estos casos de proliferaciones ocurren cuando las zonas portuarias son eutróficas (SONG *et al.* 2022) y en las condiciones actuales de baja actividad portuaria, no ocurre en la bahía de Barcelona.

Por otra parte, en algunos estudios de fitoplancton en tanques de agua de lastre, se ha señalado la presencia de dinoflagelados, como los organismos de mayor potencial tóxico, cuando son vertidos a la zona portuaria (RODRIGUES *et al.* 2022) principalmente por la presencia de quistes, que resisten las condiciones

del viaje. En el presente estudio, se encontraron algunas especies de dinoflagelados, representados por gymnodiniales (dinoflagelados desnudos), que pueden sobrevivir por un tiempo limitado en las condiciones de los estanques de los buques petroleros (STEICHEN & QUIGG 2015; KURNIAWAN *et al.* 2022; WANG *et al.* 2023), que en su mayoría realizan tratamiento (principalmente filtración y radiación UV) en los tanques de lastre de los mismos, que es fundamental para la preservación de los ambientes costeros en los puertos receptores.

Estudios como el presente, se hacen necesarios, considerando que los puertos con tráfico marítimo, con énfasis en el transporte de hidrocarburos, como es el caso de la bahía de Barcelona, requieren la creación de una línea base, de fitoplancton de agua de lastre y los de los puertos receptores. En ese sentido, HERNÁNDEZ *et al.* (2018) recomiendan estudios no solo del fitoplancton, sino de otras especies planctónicas que sirvan de bioindicadores ante cambios en las condiciones ambientales portuarias.

Los estudios relacionados a la gestión y seguimiento del control de agua de lastre y su asociación como vector de propagación de especies (invasoras y nocivas) en Venezuela, son escasos, en relación a los millones de metros cúbicos de BW que se descargan en las aguas costeras venezolanas. Esta actividad operacional de los buques visitantes, ha sido ignorada por los organismos nacionales tomadores de decisiones, al no fijar una metodología o plan preventivo de seguimiento, aun cuando bien a nivel mundial son cada día mayores los esfuerzos para conocer el balance global de la dispersión y la cantidad de especies no autóctonas que son ingresadas en un cuerpo de agua a través del BW. La falta de controles pertinentes con análisis previos taxonómicos, promueve un alto y potencial riesgo para la salud de nuestros ecosistemas marino costeros. Por tal razón, es recomendable cumplir con las regulaciones internacionales para evitar daños irreparables al medio ambiente.

.CONCLUSIONES

Se determinó la presencia de especies fitoplactónicas en las aguas de lastre descargadas en la Bahía de Barcelona, Estado Anzoátegui, zona nororiental de Venezuela, al sur del Mar Caribe, donde la variabilidad referente a la composición encontrada en los buques puede presentar una estrecha relación con el tiempo que dura retenida el BW hasta ser deslastrada en el puerto destino; pudiendo este lapso de tiempo favorecer el afloramiento de ciertos grupos de organismos y afectar el de otros. Resultando las Diatomeas el grupo más dominante en este y otros estudios sobre la composición de organismos fitoplactónicos transportados en el agua de lastre.

Este es el primer estudio de investigación de BW en la Bahía de Barcelona, por lo tanto, representa una línea base de los organismos biológicos que viajan desde diversas partes del mundo hasta ser descargados en aguas costeras venezolanas, que, de no tener un control de las mismas, esto representaría un alto riesgo a futuro del ecosistema marino.

AGRADECIMIENTOS

A Producciones Marinas C.A., PRODUMARCA, en especial a Litzay Urváez y Jesús Velázquez, al igual que los Capitanes y Primer Oficial de cada embarcación inspeccionada, por hacer posible la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

- ABELANDO, M., M. BOBINAC & J. CHIARANDINI-FIORE. 2020. Assessment of the efficiency of controls to prevent biologic invasions at the San Lorenzo Port, Argentina. *Environ. Monit. Assess.* 192 (7): 420. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08359-2>
- ARDURA, A., J. L. MARTINEZ, A. ZAIKO & E. GARCIA-VAZQUEZ. 2021. Poorer diversity but tougher species in old ballast water: Biosecurity challenges explored from visual and molecular techniques. *Mar Pollut Bull.* 168: 112465. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112465>.

- B_{AEK}, S. H., S. W. J_{UNG}, M. C. J_{ANG}, B. H_{YUN} & K. S_{HIN}. 2012. Survival potential of autotrophic phytoplankton species collected from ballast water in international commercial ships. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.* 46(1): 125-136. <http://dx.doi.org/10.1080/00288330.2011.610326>.
- B_{AILEY}, S. A. 2015. An overview of thirty years of research on ballast water as a vector for aquatic invasive species to freshwater and marine environments. *Aquat. Ecosyst. Health Manag.* 18(3): 261–268. <https://doi.org/10.1080/14634988.2015.1027129>.
- BAILEY, S. A. & H. RAJAKARUNA. 2017. Optimizing methods to estimate zooplankton concentration based on generalized patterns of patchiness inside ballast tanks and ballast water discharges. *Nat. Ecol. Evol.* 7 (22): 96899698. <https://doi.org/10.1002/ece3.3498>.
- BAILEY, S. A., L. BROWN, M. L. CAMPBELL, J. CANNING-CLODE, J. T. CARLTON, N. CASTRO, P. CHAINHO, F. T. CHAN, J. C. J. C. CREED, A. CURD, J. DARLING, P. FOFONOFF, B. S. GALIL, C. L. HEWITT, G. J. INGLIS, I. KEITH, N. E. MANDRAK, A. MARCHINI, C. H. MCKENZIE, A. OCCHIPINTI-AMBROGI, H. OJAVEER, L.M. PIRES-TEIXEIRA, T. B. ROBINSON, G.M. RUIZ, K. SEAWARD, E. SCHWINDT, M. O. SON, T. W. THERRIAULT & A. ZHAN. 2020. Trends in the detection of aquatic non-indigenous species across global marine, estuarine and freshwater ecosystems: a 50-year perspective. *Divers. Distrib.* 00: 1–18. <https://doi.org/10.1111/ddi.13167>.
- BÉRNARD-THERRIAULT, L., M. POULIN & L. BOSSÉ. 1999. Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Incluant également certains protozoaires. *Publ. Esp. Can. Sci. Halieut. Aquat.*, 128, 387 p.
- BILGIN GÜNEY, C. 2022. Ballast water problem: Current status and expected challenges. *Mar. Sci. Bull.* 11(4): 397-415. <https://doi.org/10.33714/masteb.1162688>.
- BRINKMEYER, R. 2016. Diversity of bacteria in ships ballast water as revealed by next generation DNA sequencing. *Mar. Pollut. Bull.* 107(1): 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.058>.
- C_{ABRINI}, M., F. C_{ERINO}, D. A_{LESSANDRA}, E. D_{I POI}, C. F_{ABBRO}, D. F_{ORNASARO}, A. G_{ORUPPI}, V. F_{LANDER-PUTRLE}, J. F_{RANCÉ}, S. G_{OLLASCH}, M. H_{URE}, L. L_{IPEJ}, E. M_{AGALETTI}, P. M_{OZETIČ}, T. T_{INTA}, A. T_{ORNAMBÈ}, V. T_{URK}, J. U_{HAN} & M. D_{AVID}. 2018. Potential transfer of aquatic organisms via ballast water with a particular focus on harmful and non-indigenous species: A survey from Adriatic ports. *Mar. Pollut. Bull.* 147:16-35. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.004>.
- C_{ALVO-TRUJILLO}, A., J. R. D_{ÍAZ-RAMOS}, S. S_{UBERO-PINO}, L. C_{HARZEDDINE-CHARZEDDINE}, K. R_{INCONES-REYES}, L. T_{ROCCOLI-GHINAGLIA}, M. E_{LGUEZABAL-MÉNDEZ}, B. M_{ARÍN} & B. M_{ÁRQUEZ}. 2015. Variación a corto plazo del fitoplancton en la bahía de Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela, durante la época de lluvias. *Bol. Inst. Oceanog., Venez.* 53 (1): 13–24.
- CALVO- TRUJILLO, A., K. RINCONES-REYES, J. R. DÍAZ-RAMOS, B. MÁRQUEZ, S. SUBERO-PINO, E. ELISTA & L. TROCCOLI. 2018. Distribución espacial y temporal del fitoplancton en el golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, febrero 2014 – enero 2015. *Bol. Investig. Mar. Costeras.* 47. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2018.47.2.747>.
- CHEN, Y.S., C.K. KANG & T.K. LIU. 2022. Ballast Water Management Strategy to Reduce the Impact of Introductions by Utilizing an Empirical Risk Model. *Water*, 4 (6): 981. <https://doi.org/10.3390/w14060981>.
- CLEVE, A. 1951. *Die diatomeen von Schweden and Finnland. Alqunvist and wikselle boktrycheri.* Sheridan Press, Hanover. 251 pp.
- CORREA-RAMÍREZ, M.; A. RODRÍGUEZ-SANTANA; C. RICAURTE-VILLOTA & J. PARAMO. 2020. The Southern Caribbean upwelling system off Colombia: Water masses and mixing processes. *Deep Sea Res. Oceanogr. Res. Pap.* 155: 103145. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.103145>.

- CUPP, E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bull. Scripps Inst. Ocean.* 5(1): 1-238.
- DARLING, J. A., J. MARTINSON, Y. GONG, S. OKUM, E. PILGRIM, M. KATRINA, P. LOHAN, K. J. CARNEY & G. M. RUIZ. 2018. Ballast water exchange and invasion risk posed by intracoastal vessel traffic: an evaluation using high throughput sequencing. *Environ. Sci. Technol.* 52: 9926–9936. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02108>.
- DAVID, M. & S. GOLLASCH. (Eds). 2015. *Global Maritime Transport and Ballast Water Management—Issues and Solutions. Invading Nature*. Springer Series in Invasion Ecology 8. Springer Science and Business Media, Dordrecht, The Netherlands: 306 pp. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-9367-4>.
- DAVID, M., S. GOLLASCH & L. PENKO. 2018. Identification of ballast water discharge profiles of a port to enable effective ballast water management and environmental studies. *J. Sea Res.* 133: 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.03.001>.
- DAVIDSON, I. C., C. SCIANNI, M. S. MINTON & G. M. RUIZ. 2018. A history of ship specialization and consequences for marine invasions, management and policy. *J. Appl. Ecol.* 55: 1799–1811. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13114>.
- DELLAGNOLO, E., M. TAMANAHA & C. RESGALLA. 2021. Ballast Water: an approach in the evaluation of potential phytoplanktonic bioinvasion. *Arq. Cien. Mar.* 54 (2): 81-102. <https://doi.org/10.32360/acmar.v54i2.42636>.
- EDLER, L. & M. ELBRÄCHTER. 2010. *The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*, Unesco, Paris. 110 pp.
- ESTEVEZ, M. 2011. *Cambios a corto plazo del fitoplancton durante la época de surgencia en la bahía de Mochima, estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Biología, Universidad de Oriente, Venezuela, 71 pp.
- FERNANDES L., L. MOURA, M. TRINDADE DE CASTRO & F. FERNANDES. 2021. Temporal trends of the bioinvasion risk through ballast water: a case study in the Maranhao harbor. *Biol Invasions.* 23: 3457–3469.
- GARCÍA-GARAY, J., A. FRANCO-HERRERA & F. MACHUCA-MARTINEZ. 2018. Zooplankton sensitivity and phytoplankton regrowth for ballast water treatment with advanced oxidation processes. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 25(35): 35008–35014 <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2308-4>.
- GLOBALLAST PARTNERSHIP. 2017. The GloBallast story: reflections from a global family. GEF- UNDP- IMO GloBallast Partnerships Programme. GloBallast Monograph No. 25, ISSN 1680-3098, London. Disponible en: https://archive.iwlearn.net/globallast.imo.org/resources/globallast-monographs/Mono25_GloBallast_Story.pdf. (revisada mayo 2025).
- GOLLASCH, S., C. L. HEWITT, S. BAILEY & M. DAVID. 2019. Introductions and transfers of species by ballast water in the Adriatic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 147: 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.054>.
- GÓMEZ-CARVAJAL, E., I. G. SÁNCHEZ-SUÁREZ & J. R. DÍAZ-RAMOS. 2002. Fitoplancton de playa San Luis (Cumaná) composición y origen. *CIENCIAS.* 10(4):340-352.
- GÓMEZ-GASPAR, A. & P. A. ACERO. 2021. Comparación de las surgencias de la Guajira colombiana y del oriente venezolano. *Bol. Investig. Mar. Costeras,* 49 (2): 131-172. <http://dx.doi.org/10.25268/bimc.invenmar.2020.49.2.943>.
- GONZÁLEZ-PEROZO, C., C. PEREIRA, L. TROCCOLI, C. PEÑA, J. CRUZ-MOTTA, & A. CASTILLO. 2020. Estructura comunitaria del microfitoplancton de la zona costera entre Cabo Codera y Paparo, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanog. Venez,* 59(01): 51-68.

- HALLEGRAEFF, G. M. 2015. Transport of harmful marine microalgae via ship's ballast water: Management and mitigation with special reference to the Arabian Gulf region, *Aquat. Ecosyst. Health Manag.* 18(3): 290-298. <https://doi.org/10.1080/14634988.2015.1027138>.
- HASANSPAHIC, N., M. PECAREVIC, N. HRDALO & L. CAMPARA. 2022. Analysis of Ballast Water Discharged in Port—A Case Study of the Port of Ploce (Croatia). *J. Mar. Sci. Eng.*, 10: 1700. <https://doi.org/10.3390/jmse10111700>.
- HERNÁNDEZ, N., R. GUERRERO, M. BRACHO, F. MORALES, J. NAVARRETE, & A. CASTRO. 2018. Zooplankton de aguas de lastre de buques que arriban al sistema de Maracaibo, Venezuela. *Acta Biol. Venez.*, 38(1):1-14.
- HESS-ERGA, O. K., J. MORENO-ANDRES; Ø. ENGER & O. VADSTEIN. 2019. Microorganisms in ballast water: disinfection, community dynamics, and implications for management. *Sci. Total Environ.* 657: 704–716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.004>.
- HILLIAM, K., O. FLOERL & E. A. TREML. 2024. Priorities for improving pre-dictions of vessel-mediated marine invasions. *Sci Total Environ.* 921: 171162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171162>.
- HYUN, B., S. H. BAEK, K. SHIN & K. H. CHOI. 2017. Assessment of phytoplankton invasion risks in the ballast water of international ships in different growth conditions. *Aquat Ecosyst Health Manag*, 20(4): 423-434. <https://doi.org/10.1080/14634988.2017.1406273>.
- KACZMARSKA, I. & J. M. EHRMAN. 2015. High colonization and propagule pressure by ship ballast as a vector for the diatom genus *Pseudo-nitzschia*. *Manag. Biol. Invasions*, 6: 31-43. <https://doi.org/10.3391/MBI.2015.6.1.03>.
- KIM, A., S. LEE & Y. SEO. 2022. How to control and manage vessels' ballast water: the perspective of Korean shipping companies. *Mar Policy* 138:105007. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105007>.
- KURNIWAN, S. B., D. S. A. PAMBUDI, M. M AHMAD, B. D. ALFANDA, M. F. IMRON & S.R.S. ABDULLAH. 2022. Ecological impacts of ballast water loading and discharge: insight into the toxicity and accumulation of disinfection by-products. *Heliyon* , 8, e09107. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09107>.
- LV, B.Y., Y. X. CUI, W. TIAN, J. LI, B. XIE & F. YIN. 2018. Abundances and profiles of antibiotic resistance genes as well as co-occurrences with human bacterial pathogens in ship ballast tank sediments from a shipyard in Jiangsu Province, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 157: 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.053>.
- LYMPEROPOULOU, D. S. & F. C. DOBBS. 2017. Bacterial diversity in ships' ballast water, ballast-water exchange, and implications for ship-mediated dispersal of microorganisms. *Environ Sci Technol.* 51(4): 1962–1972. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03108>.
- MIDWOOD, J., A. DARWIN, Z. HO, D. ROKITNICKI-WOJCIK & P. GRABAS. 2016. Environmental factors associated with the distribution of non-native starry stonewort (*Nitellopsis obtusa*) in a Lake Ontario coastal wetland. *J. Great Lakes Res.* 42. <https://doi.org/10.1016/J.JGLR.2016.01.005>.
- NDLOVU, F. P. 2025. Trends in Compliance Monitoring Devices (CMDs) in ships' ballast water treatment systems. *Water*17: 584. <https://doi.org/10.3390/w17040584>.
- OKOLODKOV, Y. & D. HUERTA-QUINTANILLA. 2018. Diatomeas bentónicas marinas. *Materia, Ciencia y Nanociencia* 1(2):14.
- ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, IMO. 2004. *International convention for the control and management of ship's ballast water and sediments*. Londres: OMI. ISBN 978-92-801-033-4.

- ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, IMO. 2018. MEPC.297 (72) *Enmiendas al Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, 2004. Enmiendas a la regla B-3. Calendario para la implantación de la gestión del agua de lastre de los buques*. Londres.
- OROZCO, R., A. LORENZO, S. SÁNCHEZ, G. FLORES, V. REBAZA & N. BLAS. 2020. Efectos del agua de lastre sobre la calidad acuática de las zonas Portuarias de Callao, Pisco, Paita y Salaverry, Perú. *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr.* 23. 55-64. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v23i46.19183>.
- PEREIRA, C., G. FERRARA-GINER, L. TROCCOLI, V. HERNANDEZ, C. PEÑA, R. LOSADA & F. VERA. 2021. Comunidad fitoplanctónica en una playa de la costa central de Venezuela y su relación con variables ambientales en un ciclo anual. *Intropica*. <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.4009>.
- PROVIDENCIA N° 363. 2012. *Procedimiento para el control de la documentación referente a la gestión del agua de lastre, de todo buque, nacional o extranjero, que ingrese en aguas jurisdiccionales venezolanas*. Gaceta Oficial N° 40.016, República Bolivariana De Venezuela Ministerio del Poder Popular Para Transporte Acuático y Aéreo, Instituto Nacional De Los Espacios Acuáticos. Disponible en: <https://venavega.com.ve/wp-content/uploads/2025/05/4-Providencia-Administrativa-N%C2%B0363-del-26-04-2012-Procedimiento-Documentacion-Agua-de-Lastre.pdf>. (revisada en abril 2025).
- RODRÍGUEZ-CENTENO M., J. R. DÍAZ-RAMOS, L. CHARZEDDINE, S. SUBERO-PINO & L. TROCCOLI-GHINAGLIA. 2010. Biomasa y abundancia del fitoplancton en la isla La Tortuga, Dependencia Federal, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanog. Univ. Oriente, Venez.* 49 (1): 77–86.
- RODRIGUES, R. V., J. S. PATIL & A. ANIL 2022. Dinoflagellates cyst assemblage concerning trophic index for eutrophication from major ports along the west coast of India. *Mar. Pollut. Bull.*, 176: 113423. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113423>.
- RUEDA-ROA, D.T. & F. E. MULLER-KARGER. 2013. The southern Caribbean upwelling system: Sea surface temperature, wind forcing and chlorophyll concentration patterns. *Deep. Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 78:102–114. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2013.04.008>.
- RUIZ-OCHOA, M., E. BEIER, G. BERNAL & E. D. BARTON. 2012. Sea surface temperature variability in the Colombian Basin. Caribbean Sea. *Deep-Sea Res. I* 64: 43–53, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.01.013>.
- SAEBI, M., J. XU, E. GREY, D. LODGE, N. CHAWLA, N. 2020. Higher-order patterns of aquatic species spread through the global shipping network. *PLoS ONE* 15(7): e0220353. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220353>.
- SCHILLER, J. 1971. *Dinoflagellate (Peridinae) in monographischer Behandlung. 2 Teil. Kriptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz*. Johnson Repr. Corp., New York, USA. 316 pp.
- SERIDOU, P., E. KOTZIA, K. KATRIS & N. KALOGERAKIS. 2024. Ballast water treatment by ozone nanobubbles. *J Chem Technol Biotechnol*, 99: 2139-2148. <https://doi.org/10.1002/jctb.7385>.
- SHEKIN, D. J. 2004. *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures* (4th ed.). Boca Raton, FL: Chapman & Hall/ CRC.
- SHI, J., C. JI, R. WANG, C. SUN & B. LV. 2025. Simulated discharge of ballast water reveals potential contribution to spread of antibiotic resistance genes in geographically isolated receiving waters. *Antibiotics*, 14(4): 340. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14040340>.
- SIMARD, N., A. M. WEISE, A. ROCHON, E. BRISKI, H. J MACISAAC & C.W. MCKINDSEY. 2024. Discharge of ballast residual sediments during de-ballasting procedures: A more realistic estimate of propagule pressure. *Mar. Pollut. Bull.* 207: 116716. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116716>.

- SOLER-FIGUEROA, B. M., D. N. FONTAINE, K. J. CARNEY, G. M. RUIZ & M. N. TAMBURRI. 2020. Characteristics of global port phytoplankton and implications for current ballast water regulations. *Mar. Pollut. Bull.*, 155: 111165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111165>.
- SONG, Y., Y. GUO, H. LIU, G. ZHANG, X. ZHANG, S. THANGARAJ & J. SUN. 2022. Water quality shifts the dominant phytoplankton group from diatoms to dinoflagellates in the coastal ecosystem of the Bohai Bay. *Mar. Pollut. Bull.* 183: 114078. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114078>.
- STEICHEN, J. L. & A. QUIGG. 2015. Assessing the viability of microorganisms in the ballast water of vessels transiting the North Atlantic Ocean. *Mar. Pollut. Bull.* 101(1): 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.055>.
- TOMAS, C. 1997. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press, New York, USA. 265 pp.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodig. *Mitt. Verein. Theor. Argiew. Limnol.* 9: 1-38.
- VEGA, P. 2021. *Tratamiento de agua de lastre mediante luz ultravioleta en aguas co altas concentraciones de sólidos en suspensión*. Trab. Grad. MSc. Universidad de Oviedo, España, 52 pp.
- VENKATNARAYANAN, S., P. SATHISH-KUMAR, V. PANDEY, K. RATNAM, D. KUMAR-JHA, S. RAJAGURU & G. DHARANI. 2022. Survival and recovery of planktonic organisms in prolonged darkness and their implications on ballast water management. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 549: 151697. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2022.151697>.
- VIDES, M., D. ALONSO, E. CASTRO & N. BOLAÑOS. 2016. *Biodiversidad del mar de los siete colores*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. INVEMAR y Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina - CORALINA. Serie de Publicaciones Generales del INVEMAR No. 84, Santa Marta – Colombia. 228 p.
- WAN, Z., Z. SHI, A. NIE, J. CHEN & Z. WANG. 2021. Risk assessment of marine invasive species in Chinese ports introduced by the global shipping network. *Mar Pollut Bull* 173:112950. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112950>.
- WANG, Q., X. CHEN, L. LIN, W. YAO & H. WU. 2023. The dispersal of dinoflagellate cyst caused by international ships under repair conditions: a potential invasion risk to the Yangtze River Estuary, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 30: 86178–86188. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28485-x>.
- WANG, Z., D. NONG, A. COUNTRYMAN, J. CORBETT & T. WARZINIACK. 2020. Potential impacts of ballast water regulations on international trade, shipping patterns, and the global economy: An integrated transportation and economic modeling assessment. *J. Environ. Manage.* 275: 110892. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110892>.
- WU, H., C. SHEN, Q. WANG, R. B. ARONSON, C. CHEN & J. XUE. 2019. Survivorship characteristics and adaptive mechanisms of phytoplankton assemblages in ballast water. *J. Oceanol. Limnol.* 37(2): 580-588. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-019-7288-9>.
- ZAPATA, E. 2020. *Organismos planctónicos transportados en el agua de lastre de buques que arriban al Golfo de Urabá, y su posible adaptación a las condiciones físico-químicas del golfo*. Trab. Grad. Oceanógrafa. Universidad de Antioquia, Colombia, 70 pp.
- ZAIKO, A., J. L. MARTÍNEZ, J. SCHMIDT-PETERSEN, D. RIBICIC, A. SAMUILOVIENE & E. GARCÍA-VÁZQUEZ. 2015. Metabarcoding approach for the ballast water surveillance—An advantageous solution or an awkward challenge? *Mar. Pollut. Bull.* 92: 25–34. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.01.008>.

- ZAIKO, A., S. A. WOOD, X. POCHON, L. BIESSY, O. LAROCHE, P. CROOT & E. GARCÍA-VÁZQUEZ. 2020. Elucidating Biodiversity Shifts in Ballast Water Tanks during a Cross-Latitudinal Transfer: Complementary Insights from Molecular Analyses. *Environ. Sci. Technol.* 54(13): 8443–8454. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01931>.
- ZHANG, N., Y. ZHANG, M. BAI, Z. ZHANG, C. CHEN & X. MENG. 2014. Risk assessment of marine environments from ballast water discharges with laboratory-scale hydroxyl radicals treatment in Tianjin Harbor, China. *J. Environ. Manage.* 145C: 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.06.022>.
- ZHANG, Y., W. FENG, Y. CHEN, J. XUE & H. WU. 2024. Comparative study on phytoplankton treatment effectiveness of the ballast water management system with four different processes. *Water* 16: 2098. <https://doi.org/10.3390/w16152098>.

Recibido: Noviembre 2023

Aceptado: Marzo 2024