

Aproximación a la evaluación de riesgo de introducción de especies en puertos colombianos, a través del agua de lastre

Risk assessment approximation to the introduction of species in Colombian Seaports, through ballast water

DOI: 10.26640/22159045.424

Fecha de recepción: 2016-02-05 / Fecha de aceptación: 2016-05-10

Juan Pablo López Morales*, Estefania Palacio Cardoso** y Mary Luz Cañón Páez***

López Morales, J., Palacio Cardoso, E. y Cañón Páez, M. (2016). *Aproximación de riesgo de introducción de especies en puertos colombianos, a través del agua de lastre*. Bol. Cient. CIOH (34):13-26. ISSN 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045 DOI: 10.26640/22159045.424

RESUMEN

Colombia cuenta con ocho puertos que reciben buques de tráfico marítimo internacional, cuyos impactos en los ecosistemas, infraestructura y salud pueden ocasionarse por las descargas de agua de lastre procedentes de diferentes lugares a nivel global. La Organización Marítima Internacional desde hace más de dos décadas ha establecido lineamientos para contrarrestar el problema de la contaminación biológica en las áreas costeras generada por el vector agua de lastre; entre estos lineamientos se han establecido varios modelos para evaluar el riesgo de introducción de especies en nuevas áreas, los cuales consideran por ejemplo: la frecuencia de arribo (C1), los volúmenes de agua de lastre descargados en puerto (C2); la similitud ambiental entre el puerto de origen con el puerto de descarga (C3) y las especies introducidas en las áreas de estudio (C4), con dos factores de reducción del riesgo: tamaño del tanque (R1) y los días de permanencia del agua en los tanques (R2). A partir de esta metodología y los formatos de gestión de agua de lastre remitidos a la Autoridad Marítima Colombiana en cumplimiento a la Resolución 477/2012¹, durante 2014 se estableció el nivel de riesgo de introducción de especies en ocho puertos de Colombia. Puerto Bolívar, Coveñas y Santa Marta se identificaron como los principales puertos importadores de agua de lastre en el país con 10041 444 m³ (34.64 %); 9552 509.26 m³ (32.95 %) y 7846 182.632 m³ (27.07 %). Por otro lado, se identificó que aunque Tumaco y Santa Marta, no representan altas descargas de agua de lastre, generan altos riesgos por la similitud ambiental entre estos y el origen del agua de lastre.

PALABRAS CLAVES: agua de lastre, evaluación de riesgo, bioinvasión, puertos colombianos.

ABSTRACT

Colombia has eight ports receiving ships of international maritime traffic, whose impacts on ecosystems, infrastructure and health, can be caused by the discharge of ballast water from different places globally. The International Maritime Organization since more than two decades has established guidelines to counteract the problem of biological pollution in coastal areas generated by the ballast water vector, between these guidelines have been established several models to assess the introduction risk of species into new areas, which consider for example: arrival frequency (C1), ballast water volumes discharged in seaport (C2), the environmental similarity, between source port and receiving port (C3), and introduced species in the study areas (C4), with two risk reduction factors: Tanks size (R1), and the days of permanence of water in tanks (R2). From this methodology and the ballast water management formats submitted to the Colombian Maritime Authority in compliance to the resolution 477/2012 during 2014, the risk level was established to eight Colombian ports. Puerto Bolívar, Coveñas and Santa Marta were identified as the main importers ports of ballast water in the country with 10041 444 m³ (34.64 %); 9552 509.26 m³ (32.95 %) and 7846 182.632 m³ (27.07 %). On the other hand was identified that Tumaco y Santa Marta, although not represent high discharges of ballast water, generate high risks by environmental similarity between these and the ballast water source.

KEYWORDS: Ballast water, risk assessment, bioinvasion, colombian port.

* Dirección General Marítima (Área Seguridad Integral Marítima y Portuaria). Correo: jlopezm@dimar.mil.co

** Dirección General Marítima (Área Seguridad Integral Marítima y Portuaria). Correo: epalacio@dimar.mil.co

*** Dirección General Marítima (Área Seguridad Integral Marítima y Portuaria). Correo: mcanonpaez@dimar.mil.co

1. Resolución expedida por la autoridad marítima, por la cual se adoptan y establecen las medidas y el procedimiento de control para verificar la gestión del Agua de Lastre y sedimentos a bordo de navés y artefactos navales nacionales y extranjeros en aguas jurisdiccionales colombianas.

INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo trae consigo un desarrollo comercial y social a nivel mundial de una manera eficiente; sin embargo conlleva problemáticas de contaminación referentes al peligro de las sustancias que se pueden llegar a transportar, así como las emisiones producidas constantemente hacia la atmósfera. Pero en los últimos años se ha identificado otra problemática con relación a la introducción de especies a través del agua de lastre², lo que ha generado en diversos lugares del mundo, alteraciones en el ciclo normal de los ecosistemas, reducción en el número de individuos de las poblaciones nativas y por tanto afectación de la pesca local (Gollasch, Cabrini, Perkovic, Bosnjak y Virgilio, 2007).

Varios estudios realizados en diferentes partes del mundo han mostrado que el agua de lastre de las naves es el mayor facilitador de transferencias de organismos acuáticos incluyendo patógenos humanos a través de barreras o límites naturales (Leal Flórez, 2011).

La presente investigación tuvo como objetivo, realizar la evaluación de riesgo de introducción de especies marinas, en los principales puertos colombianos, identificados como importadores o receptores de agua de lastre; para establecer las medidas de control y gestión de esta problemática y, evitar nuevas bioinvasiones, tomando como base la metodología de evaluación de riesgo avalada por la Organización Marítima Internacional (OMI).

La evaluación de riesgo como un proceso lógico sirve para determinar la probabilidad y consecuencias de fenómenos específicos; en este caso eventos como la introducción, establecimiento o la propagación de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos (MEPC, 2007). En general un análisis de riesgo tiene la intención de operar en diferentes niveles: la adecuación ambiental y el enfoque de especies biogeográficas, son métodos usados (en un contexto global) cuando puertos donadores y receptores están localizados en bioregiones

diferentes; en el caso de que los puertos donadores y receptores estén dentro de la misma bioregión, se asume que las condiciones ambientales son similares, por lo tanto un enfoque de análisis de riesgo específico de especies es necesario (Matej, Gollasch y Leppakoski, 2013). Cuando este análisis está hecho de manera rigurosa y de forma sistemática, la evaluación de riesgo puede ser una valiosa herramienta para la toma de decisiones; los niveles de riesgo de todas las orígenes de las naves que arriben pueden ser meticulosamente priorizados para asegurar medidas de prevención de la invasión de especies no nativas (Liu, Chang y Chou, 2014).

Este tipo de evaluación, se ha realizado en algunos países piloto; uno de estos países fue Brasil (en el puerto de Sepetiba), del cual se encontró como novedad que el 20 % de los puertos identificados con descarga de agua de lastre, se ubican en el mismo país; además se encontró que los puertos que representaban mayor riesgo provenían del sur de Europa y los propios puertos brasileños (Clarke *et al.*, 2004). En el caso de Odessa (Ucrania) ubicado en el Mar Negro, se identificó que el origen del agua de lastre, proviene en su gran mayoría de puertos que se localizan en este mismo mar, y los puertos con alto riesgo para Odessa están localizados al este de Rusia y en Japón (Alexandrov *et al.*, 2013).

En Colombia dicha evaluación tiene como base la información reportada en el formato de notificación de agua de lastre anexo a la Resolución Dimar 477 de 2012.

ÁREA DE ESTUDIO

El agua de lastre se carga y descarga en los puertos ubicados en el Caribe y Pacífico colombiano, por lo cual la evaluación de riesgo se aplicó para ocho puertos marítimos de Colombia (Figura 1):

Tumaco, Buenaventura, Barranquilla, Santa Marta, Cartagena, Turbo, Coveñas y Puerto Bolívar, ya que la actividad de deslastre únicamente se presenta en estos, lo que los hace vulnerables a la bioinvasión marina. Puertos como Cartagena y Buenaventura, que tienen un alto tráfico marítimo, se caracterizan por la importación y exportación de mercancías, identificando que a estos arriban en su mayoría, buques del tipo portacontenedor.

2. Agua de Lastre: agua, con las materias en suspensión que pueda contener, cargada a bordo de una nave o artefacto naval para controlar su asiento, escora, calado, estabilidad y esfuerzos estructurales (Dirección General Marítima, 2012).

Mientras que en puertos como Puerto Bolívar, Coveñas y Santa Marta, se exportan cargas sólidas

o líquidas a granel por lo que reciben buques de mayor tamaño del tipo graneleros y petroleros.

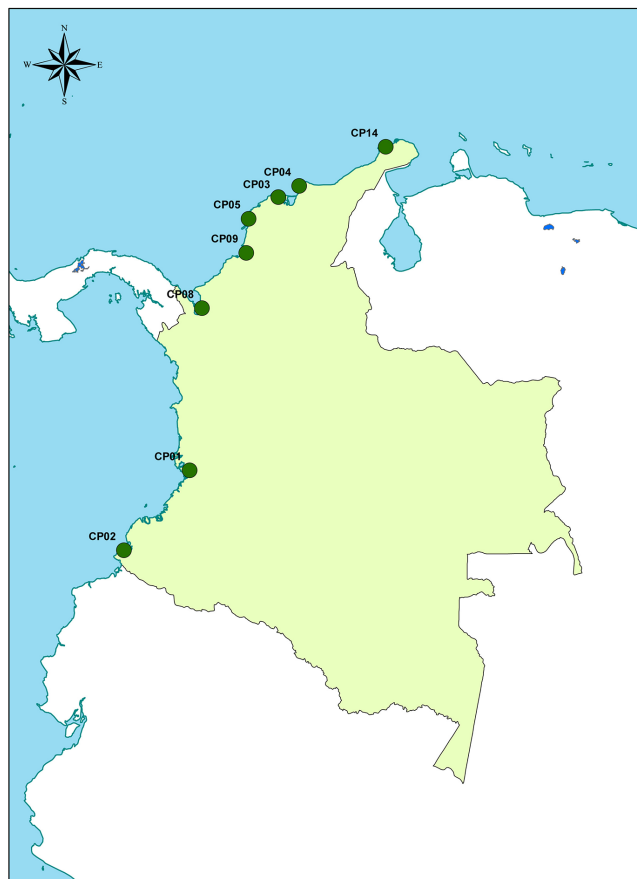


Figura 1. Ubicación de los puertos analizados.

El Caribe colombiano está subdividido en dos provincias (oceánica y costera), con la presencia a su vez de tres regiones costeras contenidas dentro de la provincia costera, cuya dinámica está afectada por aportes de aguas continentales (Región Magdalena y Región del Golfo del Darién) y por ascensos de masas de agua (Región de Afloramiento Guajira-Paraná) (Cañón Páez, 2010). Para el caso de la cuenca del Pacífico colombiano, se divide en dos regiones: la costera que se extiende desde la frontera y delimitaciones marítimas con Panamá y Ecuador a todo lo largo de la costa continental, incluyendo las islas ubicadas desde la plataforma continental; y la región oceánica, que se extiende desde el límite exterior de la región costera hasta los límites exteriores de las aguas jurisdiccionales colombianas, siendo esta

una cuenca de carácter abierto, a diferencia de la cuenca del Caribe (Arboleda y Jiménez, 1988).

METODOLOGÍA

Para el cálculo de riesgo de introducción se consideró el modelo integral de riesgo establecido por el Programa Agua de Lastre de la OMI, la cual establece que a partir de la información suministrada en los formatos de registro de agua de lastre de los buques que arribaron a los puertos marítimos colombianos, se calcula el riesgo con base en cuatro aspectos (Tabla 1) $CRG=(C1+(C2*R1)+C3+(C4*R2))/4^3$ donde:

³ Ecuación Global de Riesgo CRG: es la medida combinada de cuatro coeficientes y dos factores de reducción, expresado como proporción o porcentaje total del riesgo planteado por todos los puertos de origen del agua de lastre (Clarke et al., 2004).

Tabla 1. Coeficientes para cálculo de Ecuación Global de Riesgo CRG.

Coeficiente	Definición
C1	Frecuencia relativa del número de tanques de lastre provenientes de un determinado puerto en relación al total de tanques descargados.
C2	Proporción del volumen de agua de lastre de un determinado puerto de origen, en relación al volumen total descargado.
C3	Proviene de un análisis multivariado de coeficiente de distancia euclidiana, realizado paralelamente, donde se generaron valores de similaridad ambiental, entre el puerto receptor y cada puerto donador de agua de lastre.
C4	Proporciona medida del riesgo presentado por cada puerto donador debido al número de especies de riesgo presentes en la bioregión del puerto.

(Clarke *et al.*, 2004)

A partir de la información suministrada por el anexo a la Resolución 477 de 2012, se identificaron los volúmenes descargados de lastre, la gestión a bordo realizada, y los datos básicos de los buques que arriban a puertos colombianos.

Con dicha información se establecieron tres coeficientes de riesgo; donde el coeficiente *C4*, referente al potencial invasor de las especies, no se tuvo en cuenta para este cálculo, debido a la ausencia de información tanto para los puertos colombianos, como para muchos de los puertos donadores.

Adicionalmente, se aplicó un factor de reducción de riesgo, de acuerdo con los intervalos recomendados por el modelo integral de riesgo propuesto por la OMI (Tabla 2):

Tabla 2. Intervalos para el factor de reducción R1

Volumen (m ³)	<10	100-500	500-1000	>1000
R1:Relacionado con el tamaño del estanque de agua de lastre	0.4	0.6	0.8	1

(Clarke *et al.*, 2004)

Para el caso del *C3* se contó con la base de datos del Ministerio de Transporte de Turquía, el cual considera 28 variables ambientales (Tabla 3) para establecer la similaridad ambiental entre el puerto receptor del agua de lastre y el origen del agua de lastre descargada. Dichas variables se estandarizaron considerando el modelo ($Z = (X - \mu) / \sigma$), calculándose la correlación entre las variables a través de modelo de Pearson. De manera que la similaridad se determinó en un intervalo entre -1 a +1 en los puertos evaluados.

Finalmente, con la información de los tres coeficientes calculados se obtuvo el valor de riesgo por cada puerto de origen sin integrar la ecuación conforme con la directriz internacional; la representación de dichos coeficientes se graficó con convenciones de proporcionalidad para resaltar el nivel de riesgo por puerto.

RESULTADOS

Durante 2014 se analizaron 3345 formatos con un total 28 982 472.85 m³ de agua de lastre descargada. Buenaventura reportó la menor descarga (77 107.86 m³), representando de acuerdo con el *C2*, menor probabilidad de introducción de especies respecto a los demás puertos colombianos; mientras que en Puerto Bolívar se registró la mayor descarga (10 041 444 m³), seguido de Coveñas con 9 552 509.26 m³, representando estos dos puertos el 67.61% del total de agua de lastre descargado en el país (Figura 2).

Tabla 3. Variables obtenidas de la base de datos del Ministerio de Transporte de Turquía para el cálculo de similitud ambiental (C3)

Variables medioambientales usadas para el cálculo de C3	
1. Tipo de puerto	15. Pluviosidad total en los 6 meses más secos (mm)
2. Temperatura media del agua en la época más cálida (°C)	16. Número de meses con el 75 % de la pluviosidad total
3. Temperatura máxima del agua en la época más cálida (°C)	17. Distancia desde las descargas de BW a ecosistemas cercanos como:
4. Temperatura media del agua en la época más fría (°C)	18. Desembocadura del río más cercana
5. Temperatura mínima del agua en la época más fría (°C)	19. Mareas altas
6. Temperatura media del aire en el día durante la época más cálida (°C)	20. Playas arenosas
7. Temperatura máxima del aire durante la época más cálida (°C)	21. Playas rocosas
8. Temperatura media del aire en la noche durante la época más fría (°C)	22. Mareas bajas
9. Temperatura mínima del aire en la noche durante la época más fría (°C)	23. Manglares
10. Salinidad media en el periodo más húmedo (g/L)	24. Acantilados
11. Salinidad mínima en el periodo más húmedo (g/L)	25. Ecosistemas de fangos
12. Salinidad media en el periodo más seco (g/L)	26. Praderas de pastos marinos
13. Salinidad máxima en el periodo más seco (g/L)	27. Arrecifes de coral
14. Pluviosidad total en los 6 meses más secos (mm)	28. Arrecifes rocosas

Adaptado de (Clarke *et al.*, 2004)

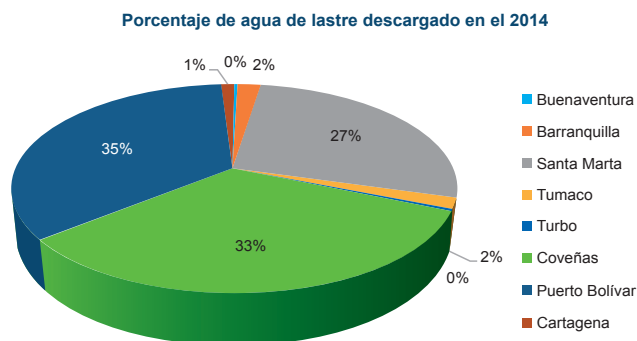


Figura 2. Volúmenes totales de agua de lastre para cada puerto marítimo de Colombia en 2014.

De acuerdo con el coeficiente *C1* (frecuencia de arribo) para los distintos puertos analizados, se encontró que del total de tanques de agua de lastre descargados en el país (10962), el 35 % realizó esta operación en Puerto Bolívar; el 24 % en Santa Marta y el 23 % en Coveñas, teniendo coherencia con el coeficiente anterior, siendo estos tres puertos los que mayor volúmenes de descarga registraron.

Los valores más altos en similaridad ambiental, resultaron para Puerto Bolívar mostrando un valor de 0.93 con Lázaro Cárdenas/México, de modo seguido se identificó a Buenaventura que presentó un valor de 0.92 de similaridad con Tumaco/Colombia. El resultado menos similar se presentó

para Turbo, donde 0.3 fue el valor calculado para el coeficiente *C3* más cercano dentro de los orígenes registrados para este puerto.

Por frecuencia de arribo de un mismo origen (*C1*) en Buenaventura se identificó que Guayaquil/Ecuador (19.58 %), Callao/Perú (18.52 %), Tumaco/Colombia (16.93) y Balboa/Panamá (11.11) representan las más altas frecuencias; mientras que el volumen de agua deslastrado (*C2*), procedió de Callao/Perú (34.4 %) y Guayaquil/Ecuador (19.88 %). Entanto que la similaridad ambiental (*C3*) más alta de Buenaventura se dio con Tumaco/Col (0.928) y Guayaquil/Ecuador (0.768) (Figura 3).

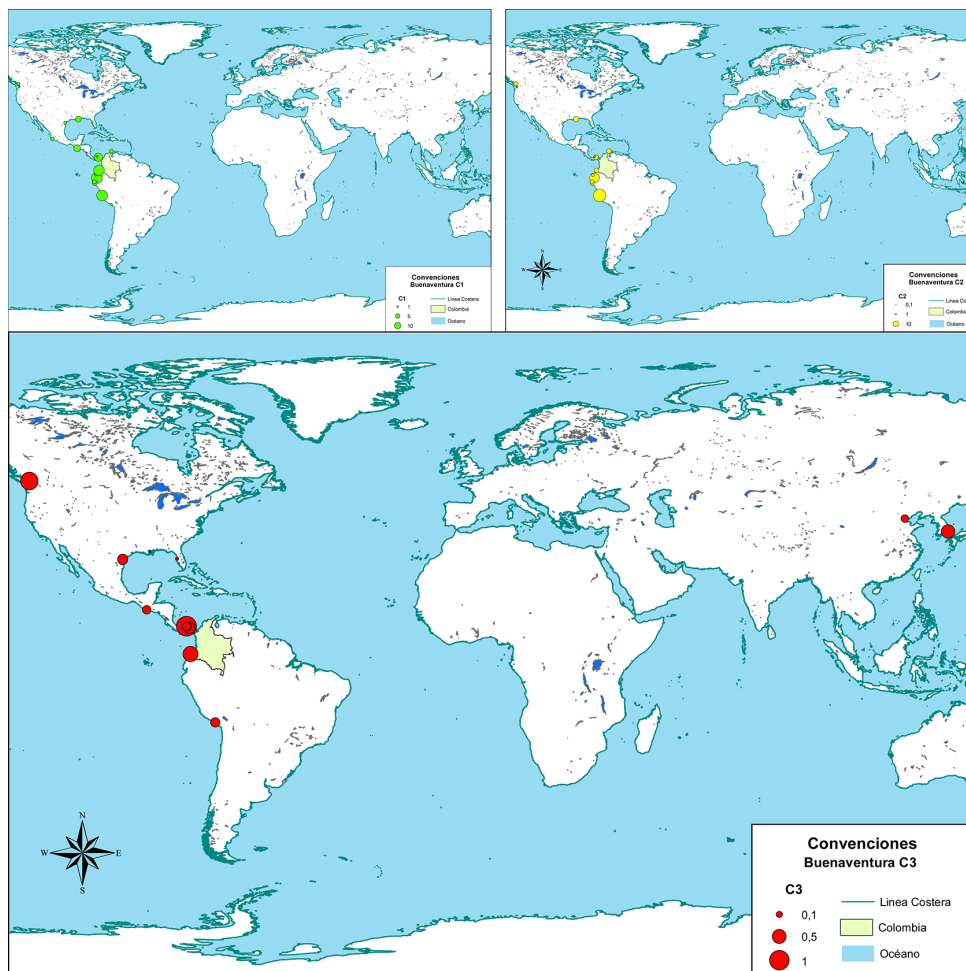


Figura 3. Mapa mundial con los puertos de origen de acuerdo con la variable *C1*, *C2* y *C3* para puerto Buenaventura. Arriba Izq. Círculos verdes: frecuencia de arribo. Arriba Der. Círculos amarillo: volúmenes de descarga. Abajo. Círculos rojos: similaridad ambiental.

Respecto a Tumaco la frecuencia de arribo más alta, fue Long Beach/USA (19.29 %), seguido de Acajutla/El Salvador y Barranquilla/Colombia, los dos con el (6.07 %). Para C2, Long Beach/USA constituyo el origen que

más agua descargó (19.67 %), seguido de San José/Guatemala (5.82 %). Respecto a la similaridad ambiental (C3), Cherry Point/USA (0.998) y Taboguilla/Panamá (0.995), fueron más similares (Figura 4).

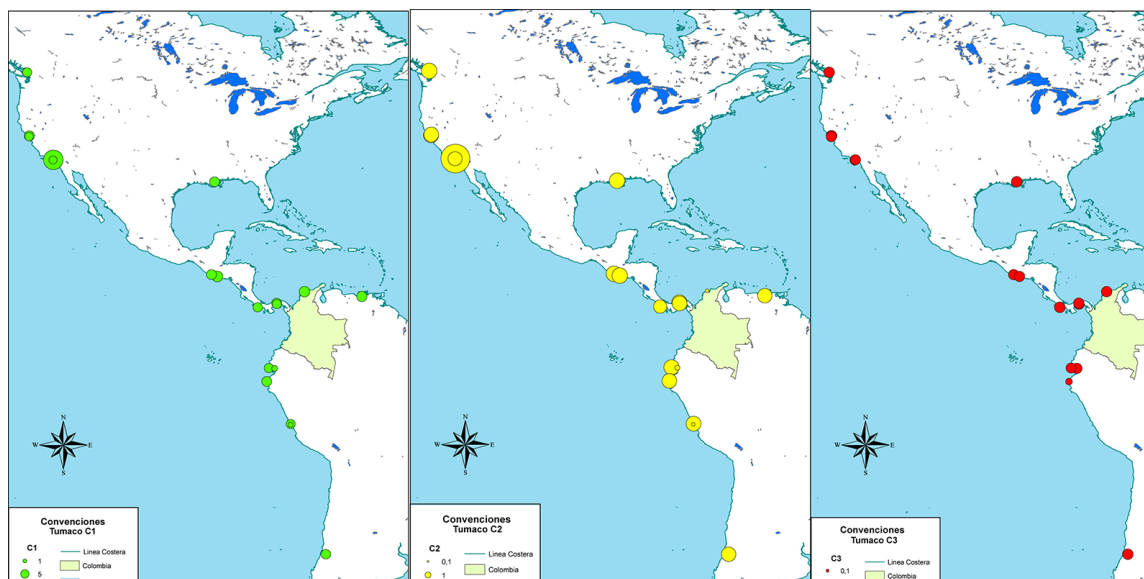


Figura 4. Mapa mundial con la ubicación de los puertos de acuerdo con los coeficientes C1, C2 y C3 para puerto Tumaco. Arriba Izq. Círculos verdes: frecuencia de arribo. Arriba Der. Círculos amarillo: volúmenes de descarga. Abajo. Círculos rojos: similaridad ambiental.

En Barranquilla la mayor frecuencia de arribo (C1), fue de Chiriquí Grande/Panamá (24.61 %), y el origen de agua descargado (C2) también fue de este puerto (37.59 %); los demás puertos se constituyeron en pequeños donadores de agua de Lastre. En cuanto a similaridad ambiental (C3), Chiriquí Grande/Panamá (0.891) y Oranjestad/Aruba (0.708) (Figura 5) resultaron ser los más similares con Barranquilla.

En Cartagena la mayor frecuencia de arribo (C1) fue de Fuiik Baai/Curacao, Crabs Bay/Antigua y Barbuda y de Bahía de las Minas/Panamá; mientras que los orígenes de agua descargada (C2) procedieron de Chiriquí Grande/Panamá (16.56 %) y Houston/USA (13.72 %). Cartagena es muy similar ambientalmente (C3) con Kingston/Jamaica (0.889), y Santa Marta/Colombia (0.812) (Figura 6).

En Santa Marta la mayor frecuencia de arribo (C1) fue de Rotterdam/Holanda (9.14 %) y Mobile/USA (3.75 %); mientras que el mayor volumen de agua descargado (C2) procedió de Rotterdam/Holanda (15,26%) y Ámsterdam/Holanda (6.31 %). Este puerto es muy similar de acuerdo a (C3) con Ashkelon/Israel (0.784) y Lázaro Cárdenas/México (0.775) (Figura 7).

En Turbo la mayor frecuencia de arribo (C1) fue de Portsmouth/ Reino Unido (70.83 %), Antwerp/ Bélgica (13.02 %), los demás puertos no superaron el 3 %. El mayor volumen de agua descargado (C2), también fue de estos dos puertos Portsmouth/Reino Unido (72.64 %) y Antwerp/Bélgica (16.11 %). Turbo mostró similaridad (C3) con Marín /España (0.6014), mientras con Portsmouth/ Reino Unido fue baja (0.3755) (Figura 8).

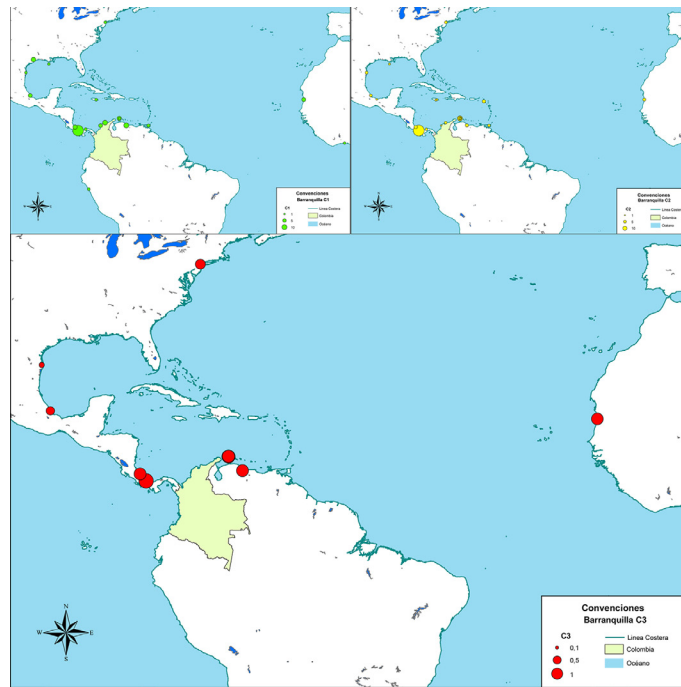


Figura 5. Mapa mundial con los puertos de origen de acuerdo con los coeficientes C1, C2 y C3 para puerto Barranquilla. Arriba Izq. Círculos verdes: frecuencia de arribo. Arriba Der. Círculos amarillo: volúmenes de descarga. Abajo. Círculos rojos: similaridad ambiental.

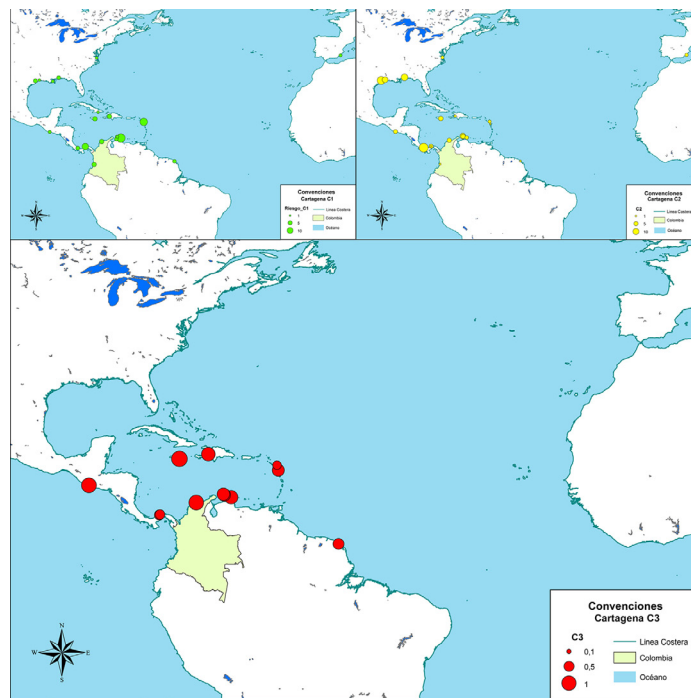


Figura 6. Mapa mundial con los puertos de origen de acuerdo con los coeficientes C1, C2 y C3 para puerto Cartagena. Arriba Izq. Círculos verdes: frecuencia de arribo. Arriba Der. Círculos amarillo: volúmenes de descarga. Abajo. Círculos rojos: similaridad ambiental.

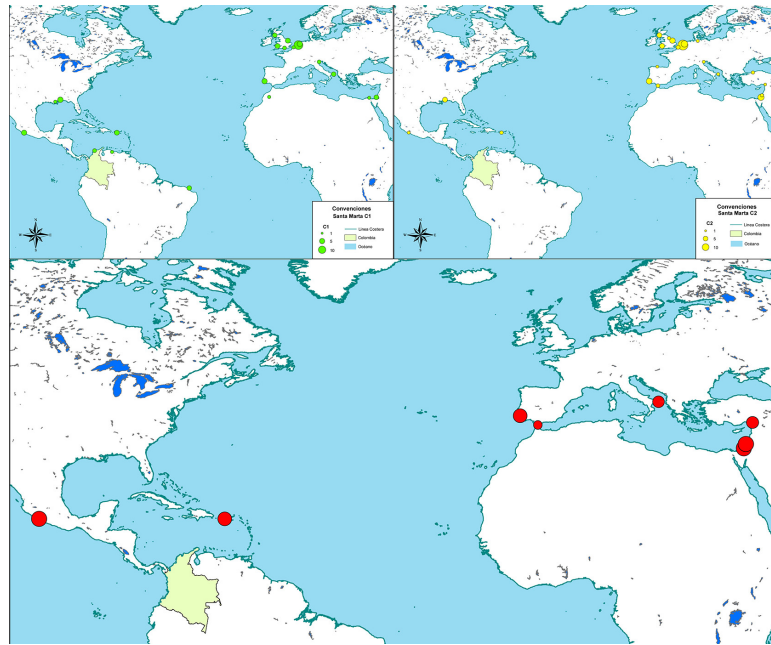


Figura 7. Mapa mundial con los puertos de origen de acuerdo a los coeficientes C1, C2 y C3 para puerto Santa Marta. Arriba Izq. Círculos verdes: frecuencia de arribo. Arriba Der. Círculos amarillo: volúmenes de descarga. Abajo. Círculos rojos: similitud ambiental.

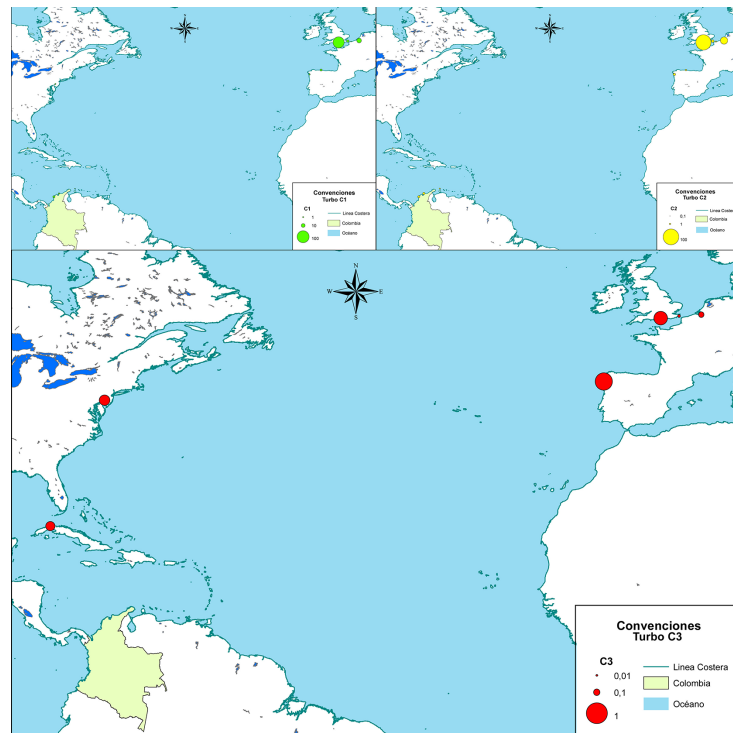


Figura 8. Mapa mundial con los puertos de origen de acuerdo con los coeficientes C1, C2, y C3 para puerto Turbo. Arriba Izq. Círculos verdes: frecuencia de arribo. Arriba Der. Círculos amarillo: volúmenes de descarga. Abajo. Círculos rojos: similitud ambiental.

Para Coveñas la frecuencia más alta (C1) se dio con Chiriquí Grande/Panamá (11.05 %) y Houston/ USA (9.03 %). El volumen descargado mayor (C2) fue de Chiriquí Grande / Panamá

(12.09 %), Loop/USA (10,94%) y Houston/USA (8.11 %); los demás puertos no superaron el 5 %. Este puerto fue similar (C3) con St Charles/ USA (0.858) y Aruba/Aruba (0.848) (Figura 9).

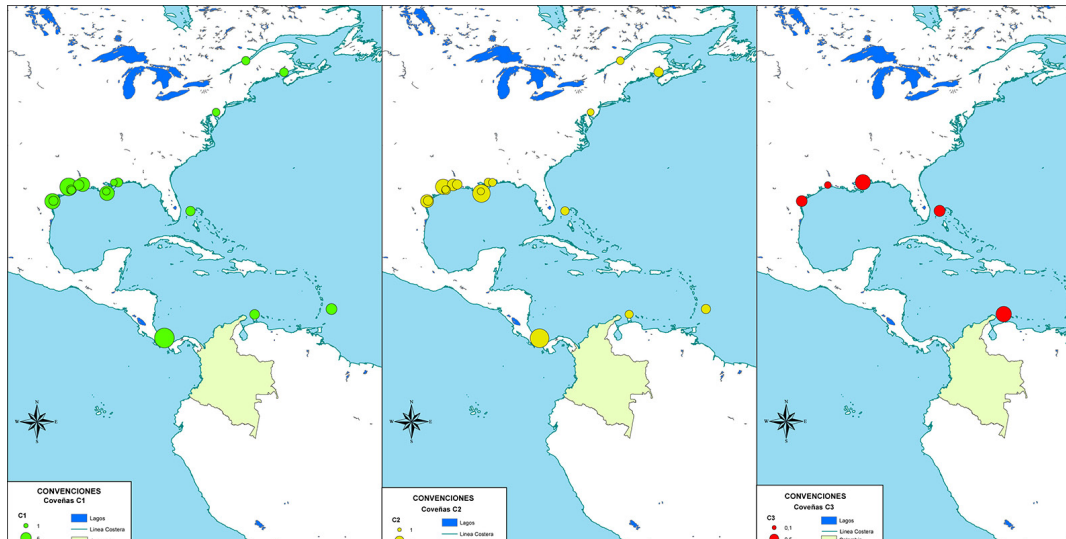


Figura 9. Mapa mundial con los puertos de origen de acuerdo con C1, C2 y C3 para puerto Coveñas Arriba Izq. Círculos verdes: frecuencia de arribo. Arriba Der. Círculos amarillo: volúmenes de descarga. Abajo. Círculos rojos: similitud ambiental.

Por su parte, en Puerto Bolívar la mayor procedencia (C1) y volumen descargado (C2) fue de Rotterdam/Holanda e Immingham/ Reino Unido. En cuanto a los demás puertos, se observaron diferencias amplias, donde la mayoría no sobrepasaron el 3 % en ninguno de los dos coeficientes. Puerto Bolívar fue muy similar (C3) con Lázaro Cárdenas/México (0.937) y Ashkelon/ Israel (0.813) (Figura 10).

DISCUSIÓN

Los puertos de Santa Marta, Coveñas y Puerto Bolívar representaron el 94.67 % del total de agua de lastre descargado en Colombia en 2014, lo cual tiene estrecha relación con el tipo de operación que en los mismos se desarrolla y que está orientada a la exportación de petróleo y carbón. Por ello, los buques que llegan a estos puertos, lo hacen para exportar cargas sólidas o líquidas a granel; situación que implica transportar agua de lastre por seguridad de la navegación. Caso distinto se identifica para Buenaventura, donde la gran mayoría de buques llegan con mercancías

en buques tipo portacontenedores, así que los volúmenes de agua de lastre descargados son muy reducidos o nulos; esto significa que los buques se cargan de agua de lastre para poder regresar o seguir a su próximo destino, donde Buenaventura podría representar riesgos para otros puertos del mundo por ser puerto donador.

De acuerdo con los resultados para el puerto de Buenaventura, se pudo observar que de los 21 orígenes de agua de lastre identificados, el puerto de Guayaquil (Ecuador) reflejó un alto valor de riesgo en los tres coeficientes. Lo anterior sugiere realizar un análisis de la ubicación geográfica y los ecosistemas presentes entre los puertos; donde Buenaventura y Guayaquil, se encuentran en la misma bioregión, lo que probablemente signifique, pocas diferencias en especies (Gollasch *et al.*, 2007) y realmente, un riesgo no tan alto como lo hace ver la ecuación global de riesgo; sin embargo, el riesgo por transferencia de patógenos puede constituirse en un alto valor y deben tomarse las medidas necesarias cuando surjan eventos de

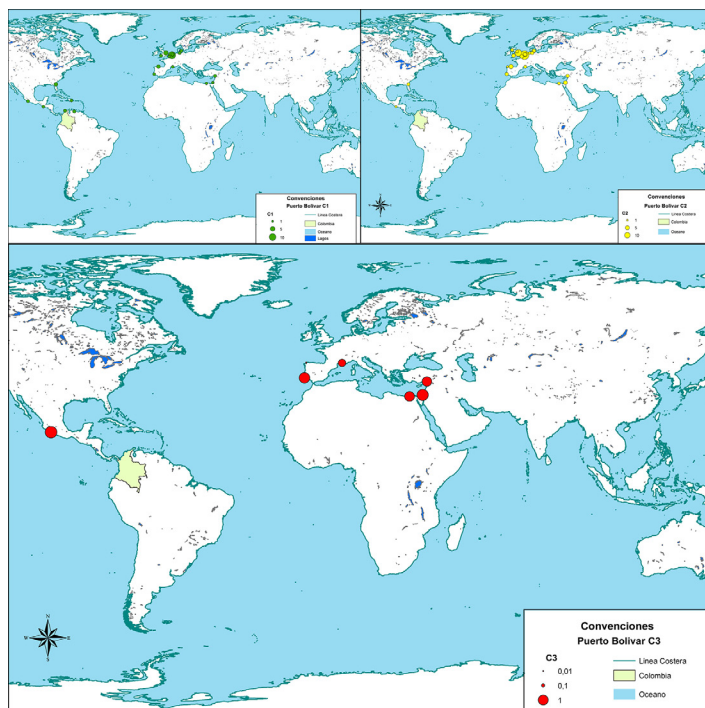


Figura 10. Mapa mundial con los puertos de origen de acuerdo con los coeficientes C1, C2 y C3 para Puerto Bolívar Arriba Izq. Círculos verdes: frecuencia de arribo. Arriba Der. Círculos amarillo: volúmenes de descarga. Abajo. Círculos rojos: similitud ambiental.

epidemias o floraciones. Por otro lado, para el caso de El Callao (Perú) que representó el mayor riesgo en cuanto a frecuencia (C1) y volumen descargado (C2), pero en similitud ambiental presentó un valor negativo; debido a las altas frecuencia y descargas, el riesgo puede radicar en el potencial invasor que posean las especies que habitan en ese ecosistema (Gollasch *et al.*, 2007).

En el caso de Tumaco, C3 sigue mostrando alta similitud con los puertos de la región; sin embargo, el origen de la mayor cantidad de agua descargada corresponde a un puerto de características ambientales diferentes, como Long Beach (USA), el cual arrojó los valores más altos en C1 y C2; así que teniendo en cuenta los valores obtenidos para cada uno de los coeficientes calculados para los 19 orígenes, los niveles de riesgo de estos se encuentran entre medios y bajos, con especial atención al puerto donador Long Beach por el cambio abrupto de bioregión (Atlántico-Pacífico), de tal manera que es necesario incrementar el control por parte de la Autoridad Marítima sobre los buques de alta procedencia de un mismo lugar (Liu *et al.*, 2014).

En Barranquilla se encontraron 44 orígenes del agua de lastre donde el mayor riesgo lo obtuvo el puerto de Chiriquí Grande (Panamá) con los mayores valores de frecuencia (C1) y volumen de descarga (C2); para el coeficiente C3 obtuvo un valor positivo pero inferior al 0.5 con un valor de similitud bajo, el cual puede explicarse por la ubicación de los puertos en la misma bioregión (Daza Suárez, 2004), con la influencia de algunas características oceanográficas como las corrientes que transitan esta zona donde la dinámica se ve afectada por el giro de Panamá Colombia, generando una pequeña subregión (Cañón Páez, López Osorio, y Arregoces Silva, 2010), implicando ciertos cambios en el ecosistema respecto a los demás puertos. Los valores en C1 y C2 son muy bajos con relación a los de Chiriquí Grande, con lo cual el nivel de riesgo es bajo; para el coeficiente C3 solo Oranjestad (Aruba) y Puerto Limón (Costa Rica) obtuvieron valores de similitud significativos pero por sus bajas frecuencias y volúmenes de descarga el riesgo se reduce a bajo; sin embargo, debe considerarse que incluso pequeñas cantidades de organismos potenciales presentes en una descarga de Agua

de Lastre podrían resultar en una transferencia exitosa de especies y tener consecuencias negativas (Gollasch *et al.*, 2007).

Para el caso de Cartagena, el control debe incrementarse sobre los buques procedentes de Norteamérica, debido a sus altas descargas de agua de lastre, por similitud ambiental, se debe prestar atención a las naves de origen Puerto Quetzal (Guatemala), que a pesar de aportar bajas descargas, se encuentra en una bioregión distinta a la de Cartagena y su similitud es alta, generando un riesgo medio, al igual que Bahía de las Minas (Panamá), por estar en una región dinámica distinta (Cañón Páez *et al.*, 2010).

El modelo de similitud tampoco da certeza al definir el nivel de riesgo para Santa Marta, y aunque los puertos de mayor frecuencia y descarga, están alejados en cuanto a características de similitud ambiental, es necesario incrementar el control sobre los buques procedentes de Europa (Holanda) y de Asia (Israel), ya que los puertos de estos países se encuentran en el mar Báltico y Mediterráneo, donde se estima que en estos ecosistemas marinos existen 89 y 480 respectivamente especies invasoras reportadas (Loebmann, Mai y Lee, 2010); lo que puede incrementar el potencial de invasión por agua de lastre importada de dichos puertos. En este caso sería pertinente evaluar el riesgo desde la perspectiva del coeficiente *C4*.

Para Coveñas, la similitud con Panamá es evidente, incluso se encuentran en áreas ubicadas en la misma región biogeográfica, razón por la cual se infiere que una aproximación por especies introducidas en los puertos de origen del agua de lastre, permitirá aproximar una mejor evaluación para este puerto respecto a los puertos de mayor frecuencia y volumen de lastre descargado (Gollasch *et al.*, 2007).

Llama la atención la similitud de Puerto Bolívar con el puerto de Israel, razón por la cual el nivel de control sobre buques procedentes de este puerto debe incrementarse y al igual que en los demás puertos, el modelo *C4* permitiría abordar mejor este análisis, más cuando se ha reportado para Puerto Bolívar la introducción del *Charybdis hellerii* (Milne, 1687).

Con los resultados obtenidos para los puertos analizados se pudo inferir que el *C3* no es un modelo que permita evaluar el riesgo adecuadamente, toda vez que los puertos más similares están ubicados en la misma región, en tal sentido es necesario plantear otro modelo que dé una visión más aproximada de riesgo, como es el caso del coeficiente *C4* (por especies introducidas en los puertos de origen del agua de lastre) (Gollasch *et al.*, 2007). Además, se deben considerar variables que tengan que ver con las dinámicas poblacionales de las diversas especies con potencial e invasión, como son crecimiento, reproducción y mortalidad (Loebmann *et al.*, 2010).

Dados los resultados para los puertos analizados, y la importancia ecológica de estos en biodiversidad y otros aspectos, la evaluación de riesgo aplicada determinó que los puertos con más riesgo fueron Santa Marta y Coveñas, por lo que implementar estos modelos de riesgo en estos puertos es de vital importancia, con el fin de minimizar la probabilidad de bioinvasión ya que los ecosistemas marinos son particularmente vulnerables a las invasiones de especies exóticas y la dispersión de estos ocurre más fácilmente que en ambientes terrestres (Loebmann *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Aunque los coeficientes *C1*, *C2* y *C3*, fueron considerados individualmente para la determinación del nivel de riesgo por parte de los puertos donadores, es evidente que el coeficiente relacionado con la similitud ambiental *C3*, es determinante para la evaluación de riesgo; sin embargo en puertos ubicados en la misma bioregión, el mismo no es tan efectivo.

Uno de los problemas en Colombia y a nivel mundial tiene que ver con la obtención de la información para el cálculo del coeficiente *C4*, el cual proporciona una medida del riesgo presentado por cada puerto donador debido al número de especies de riesgo presentes en la bioregión del puerto. Para calcularlo es necesario que los Estados mantengan inventarios taxonómicos actualizados de la flora y fauna presente en sus áreas marino costeras, de manera que se posibilite establecer qué tipo de especies representan más riesgo al introducirse en otros ecosistemas.

Este tipo de estudios de nivel de riesgo, son necesarios para respaldar y dar enfoque al control y gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques en el país, ya que aportan valores claros y cuantificables, que permiten trazar objetivos puntuales, y apuntar a la raíz del problema, en este caso la contaminación biológica que conlleva este vector.

Se pudo identificar que el mayor riesgo proviene de buques de tráfico internacional que enarbolan bandera de otros países, con lo cual, las figuras de Estado Ribereño y Estado Rector del Puerto, son las que permiten garantizar que dichos buques cumplan con la normatividad, y a su vez con la función de prevención; además, podrán imponer sanciones a los buques que no cumplan con las especificaciones del Convenio; para lo cual, cuentan con herramientas como la inspección, en donde se verifica el cumplimiento de la certificación y la toma de muestras desde los tanques y tuberías de lastre.

Debido a que algunos puertos presentan un tráfico marítimo muy elevado, en casos como Cartagena y Buenaventura, es demasiado costoso y logísticamente muy difícil inspeccionar todas las naves; es aquí donde la evaluación de riesgo se convierte en una herramienta útil para priorizar los buques que requieren inspección; de tal manera que las inspecciones se enfocarán principalmente en los buques cuyo lastre tenga como origen una zona considerada de alto riesgo para el puerto receptor.

REFERENCIAS

- Alexandrov, B., Bashtanny, R., Clarke, C., Hayes, T., Hilliard, R., Polglaze, J., . . . Raaymakers, S. (2003). *Ballast Water Risk Assessment, Port of Odessa, Ukraine: October 2003: Final Report*. . Organización Marítima Internacional. Londres: Globallast Monograph Series No. 10, 56-64.
- Arboleda, E. y Jiménez, S. (Noviembre de 1988). Distribución y abundancia de larvas y huevos de peces durante el crucero pacífico XII Erfen X. *Boletín Científico CCCP(2)*, 33-49.
- Cañón Páez, M. (2010). Regionalización dinámica del Gran Caribe basada en productos espectral radiométricos satelitales. *Art. en preparación*. 3-5.
- Cañón Páez, M. L., López Osorio, R., y Arregoces Silva, L. J. (2010). *Informe Valoración rápida. Componente técnico para la gestión del Agua de Lastre en Colombia*. (D. G. Marítima, y CIOH, Edits.) Colombia. 35-37.
- Clarke, C., Hilliard, R., Junqueira, A. d., Neto, A. d., Polglaze, J. y Raaymakers, S. (2004). *Ballast Water Risk Assessment, Port of Sepetiba, Federal Republic of Brazil, December 2003: Final Report*. International Maritime Organization. Globallast Monograph Series. No.14. IMO London.52-59.
- Daza Suárez, A. (2004). Regionalización del Pacífico colombiano a partir de imágenes de color del océano. 90. (U. J. Marina, Recopilador) Bogotá, Colombia, 35-61.
- Dirección General Marítima. (6 de Septiembre de 2012). Resolución 477. *Por la cual se adoptan y establecen las medidas y el procedimiento de control para verificar la*, 2. Bogotá, Colombia. 2-3.
- Gollasch, D. M., Cabrini, S., Perkovic, M., Bosnjak, D. y Virgilio, D. (2007). Results from the first ballast water sampling study in the Mediterranean Sea-the Port of Koper study. *Mar Pollution Bulletin*, 377-390.
- Leal Flórez, J. (2011). Impactos socioeconómicos de las Especies no Nativas en Ambientes Costeros. En Invemar, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, A. Gracia, J. Mora, D. Gil Aguadelo, y V. Puentes (Edits.), *Guía de las Especies Introducidas Marinas y Costeras de Colombia* (págs. 20-27). Colombia.
- Liu, T.-K., Chang, C.-H. i y Chou, M.-L. (2014). Management strategies to prevent the introduction of non-indigenous aquatic species in response to the Ballast Water Convention in Taiwan. *Marine Policy*, 187-195.
- Loebmann, D., Mai, A. C. i y Lee, J. T. (Septiembre de 2010). The invasion of five alien species in the Delta do Parnaíba Environmental Protection Area, Northeastern Brazil. *International*

Journal of Tropical Biology and Conservation,
58, 909-923.

Matej, D., Gollasch, S. y Leppakoski, E. (2013).
Risk assessment for exemptions from ballast
water management – The. *Marine Pollution
Bulletin*, 205-217.

MEPC. (13 de Julio de 2007). Resolución
MEPC.162 (56). *Directrices para la Evalua-
ción de Riesgos a efectos de la Regla A-4 del
Convenio sobre la gestión del Agua de Lastre
(BWM) (D7)*, 2-12.

Milne, E. (1687). *Charybdis Hellerrii*. En J. Me-
dellin, A. Gracia, y D. Gil, *Guía de las Especies
Introducidas Marinas y Costeras de Colombia*
(págs. 73-77). Colombia: Invemar, Ministerio
de Ambiente y Desarrollo Sostenible.