

## Evaluación del riesgo generado por especies invasoras introducidas a través del agua de lastre en dos puertos del Pacífico colombiano

### *Assessment of the risk generated by invasive species introduced by ballast water into two Pacific ports of Colombia*

Recibido: 2018-10-8 / Aceptado: 2019-03-15

Jenny Parada<sup>1</sup>; Claudia Payán<sup>2</sup>

**Parada, J.; Payán, C. (2019).** Evaluación del riesgo generado por especies invasoras introducidas a través del agua de lastre en dos puertos del Pacífico colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 38(1):3-12. ISSN impreso 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. <https://doi.org/10.26640/22159045.2019.519>.

#### RESUMEN

La Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido lineamientos para afrontar 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, dentro de los que se consideran: la frecuencia de descarga (C1), los volúmenes de agua de lastre descargados en puerto (C2) y la similitud ambiental entre el puerto de origen con el puerto receptor (C3). Tomando como base el modelo OMI y la información contenida en los formatos de notificación del agua de lastre, los cuales son remitidos a la Dirección General Marítima en cumplimiento con lo descrito en la Resolución 477/2012, se estableció el nivel de riesgo para los puertos de Tumaco y Buenaventura. Durante el año 2015, el agua de lastre con mayor frecuencia de deslastre en el puerto de Tumaco provino de Long Beach (USA), con un porcentaje de 13.4 % del total de descarga (C1). Para el puerto de Buenaventura este porcentaje estuvo representado por aguas provenientes de Manta (Ecuador) y Puerto Caldera (Costa Rica), con porcentajes de 19.56 % y 18.47 %, respectivamente. Tumaco importó alrededor de 310 062 m<sup>3</sup> de agua de lastre y Buenaventura cerca de 132 294 m<sup>3</sup>, lo que correspondió a 176 tanques descargados, provenientes de catorce puertos de origen para Tumaco y 184 tanques procedentes de doce puertos de origen para Buenaventura (C2). En cuanto a la similitud ambiental (C3) se pudo deducir que San José-Guatemala (0.99) y Buenaventura-Colombia (0.99) presentaron mayor similitud con el puerto de Tumaco, seguidos por Talara-Perú (0.98), la Pampilla-Perú (0.89) y Los Ángeles-USA (0.89); mientras que para Buenaventura la mayor similitud la presentaron los puertos ubicados en Puerto Quetzal-Guatemala (0.99) y Caldera-Costa Rica (0.97).

**PALABRAS CLAVE:** aguas de lastre, especies exóticas invasoras, evaluación del riesgo, organismos acuáticos perjudiciales, transferencia de especies.

#### ABSTRACT

*The International Maritime Organization (IMO) has established guidelines to face the problem of biological contamination in coastal areas generated by the ballast water vector. Among these guidelines, several models have been established to assess the risk of introducing species into new areas, including: discharge frequency (C1), ballast water discharged in port volumes (C2); and, environmental similarity between the port of origin with the receiving port (C3). Based on the IMO model and the information contained in the Ballast Water Notification forms, sent to the General Maritime Directorate in compliance with Resolution 477/2012, the risk level for Tumaco and Buenaventura ports was established. During 2015, ballast water with the highest shedding frequency in the port of Tumaco came from Long Beach (USA), being 13.4 % of the total discharge (C1). For the port of Buenaventura, this percentage was represented by waters from Manta (Ecuador) and Puerto Caldera (Costa Rica), with percentages of 19.56 % and 18.47 %, respectively. Tumaco imported around 310 062 m<sup>3</sup> of ballast water and Buenaventura about 132,294 m<sup>3</sup>, which corresponded to 176 unloaded tanks, coming from 14 ports with origin in twelve countries for Tumaco and 184 tanks from 12 ports of origin in six countries for Buenaventura (C2). Regarding the environmental similarity (C3), it could be deduced that San José-Guatemala (0.99) and Buenaventura-Colombia (0.99), presented greater similarity with the port of Tumaco, followed by Talara-Peru (0.98), La Pampilla- Peru (0.89) and Los Angeles-USA (0.89); while for Buenaventura the greatest similarity was presented by the ports located in Puerto Quetzal-Guatemala (0.99) and Caldera-Costa Rica (0.97).*

**KEYWORDS:** Ballast water, Invasive alien species, Risk assessment, Harmful aquatic organisms, Species transfer.

1 Centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP). Correo electrónico: jparada@dimar.mil.co

2 Centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP). Correo electrónico: cpayan@dimar.mil.co

## INTRODUCCIÓN

La introducción de especies exóticas invasoras (EEI) se considera el cuarto mayor peligro para los océanos del mundo, junto con las fuentes de contaminación costera, la sobreexplotación de los recursos marinos y la alteración física o la destrucción de los hábitats marinos. Desde la segunda mitad del siglo XX, después de la Revolución Industrial, la contaminación de los mares ha aumentado significativamente en función de las tecnologías usadas en los ambientes marinos. Sin embargo, a diferencia de algunas formas de contaminación relacionada con los barcos, el problema de transferir especies y/o patógenos no indígenas es el resultado de una actividad inherente a su propia operación (De Castro, De Almeida Rosso y Da Costa Fernandes, 2011).

Las EEI representan una gran amenaza para los ecosistemas marinos. Estos organismos se hallan fuera de su área de distribución natural, es decir, que han traspasado límites biogeográficos y colonizan nuevos hábitats (Ministerio de Ambiente Perú, 2015); dentro de estas especies exóticas también se incluyen microorganismos patógenos que pueden afectar la salud de la población (Joachimsthal, Ivanov, Tay y Tay, 2004). Se ha determinado que esto se debe en gran medida a la expansión del comercio y el volumen del tráfico en las últimas décadas y, dado que el volumen de mercancías que se transportan por mar sigue aumentando, es posible que el problema no haya llegado aún a su momento más grave (Organización Marítima Internacional, 2019a).

En muchas partes del mundo los efectos de la introducción de nuevas especies han sido devastadores. No obstante, el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques (en inglés, *Ballast Water Management-BWM*), adoptado en 2004, tiene por objeto prevenir, reducir al mínimo y, en último término, eliminar la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos (OAP) de una región a otra, estableciendo normas y procedimientos para su gestión y control (Organización Marítima Internacional,

2019b). Aunque muchas especies mueren durante los primeros días en los tanques de lastre, estudios científicos han demostrado que después de cuatro meses el zooplancton puede sobrevivir y encontrarse en los tanques de lastre, y bajo ciertas condiciones algunas especies pueden continuar reproduciéndose (Gollasch y Nehring, 2006).

Por esta razón, la Dirección General Marítima-Dimar a través de la Resolución 477/2012, estableció y adoptó las medidas y el procedimientos de control para verificar la gestión del agua de lastre y sedimentos a bordo de naves y artefactos navales nacionales y extranjeros en aguas jurisdiccionales colombianas, donde se considera: 1) Designación de zonas para intercambio del agua de lastre; 2) Actualización de la línea base biológica portuaria; 3) Evaluación de riesgo de los puertos por introducción de especies (Dirección General Marítima-Dimar, 2012).

El Programa Mundial de Asociaciones *GloBallast*, a través de la monografía 21, define el riesgo como "*la probabilidad de que un peligro ocasione lesiones o pérdida de vida, o pérdidas o perjuicios de bienes o para el medio ambiente*" (GEF-UNDP-IMO *GloBallast Partnerships Programme and WMU*, 2013). El concepto del riesgo y las técnicas de gestión de riesgos, incluida la evaluación de riesgos, se han utilizado con éxito en varias esferas para apoyar la adopción de decisiones, por ejemplo en materia de economía, técnicas de seguridad y protección del medio ambiente. Sin embargo, las diferentes esferas tienden a aplicar sus propias técnicas y paradigmas en la utilización del concepto del riesgo, lo cual puede crear malentendidos. El riesgo a veces se considera como una noción relativa y subjetiva, sujeta a sistemas de referencia y a las interpretaciones de los analistas.

La evaluación de riesgos es sobre todo un proceso científico de análisis de riesgos y no es un fin en sí. Sirve para establecer la magnitud y la variedad de los riesgos y si procede, y en tal caso, cómo eliminar, evitar, reducir o aceptar los riesgos. Este proceso incluye la determinación de opciones para la mitigación de los riesgos. Finalmente, las evaluaciones de los riesgos

son un medio de información para los oficiales encargados de la gestión de riesgos, la definición de las políticas y la aplicación de medidas de mitigación (GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme and WMU, 2013).

El presente trabajo estuvo encaminado a determinar el riesgo por la introducción de especies invasoras en los puertos receptores del agua de lastre, realizado a través de un modelo de aproximación de la evaluación del riesgo propuesto por la OMI. La evaluación se realizó con la información reportada en el formato de notificación de agua de lastre, exigido por la Autoridad Marítima Colombiana, a través de la Resolución 0477 de 2012, a todos los buques que tienen como destino aguas jurisdiccionales. Para la aproximación de la evaluación del riesgo por introducción de especies se tuvo en cuenta tres coeficientes de riesgo, así: *i*) frecuencia de descarga (C1); *ii*) los volúmenes de agua de lastre descargados en puerto (C2); *iii*) la similitud ambiental entre el puerto de origen con el puerto receptor (C3).

## METODOLOGÍA

Se elaboró una matriz de datos con información de los buques con ruta marítima internacional que importaron agua de lastre en Tumaco y Buenaventura, entre enero y noviembre de 2015. En total se analizaron 47 formatos, de los cuales 17 correspondieron a los arribos reportados para Tumaco y 30 para Buenaventura. Los coeficientes de riesgo (C1, C2, C3) se analizaron de forma individual; sin embargo, se mantuvo el lineamiento establecido por OMI para cada uno. Para calcular el

coeficiente C1 se tuvo en cuentas el número de tanques de lastre descargados provenientes de un mismo puerto de origen (frecuencia de descarga). El C2 se calculó tomando como base el volumen de agua de lastre descargado en el puerto receptor. La similitud ambiental entre el puerto de origen y el puerto receptor (C3) se identificó a través de un análisis estadístico de algunas variables ambientales, cuya información fue proporcionada por el Ministerio de Transporte de Turquía (Tabla 1) empleando la Correlación de Pearson para determinar un valor de similitud de -1 a +1 entre los puertos evaluados. Las variables empleadas en este coeficiente se estandarizaron considerando el modelo  $Z = X - \mu/\sigma$ .

Los resultados de los coeficientes C1, C2 y C3 para el puerto de Tumaco fueron graficados empleando la herramienta ArcGIS. El C3 para el puerto de Buenaventura se estableció a través de un análisis de componentes principales (ACP), aplicado al conjunto de valores medios normalizados de seis parámetros evaluados, durante época seca y húmeda (cálida y fría) (Tabla 1); se realizó un análisis estadístico multivariado empleando el programa estadístico Minitab.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

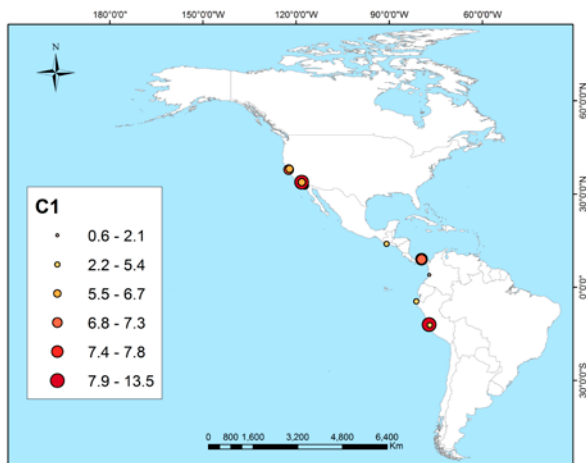
### Tumaco

Entre los meses de enero y septiembre de 2015 se descargó un volumen total de 310 062.3 m<sup>3</sup> de agua de lastre (176 tanques), provenientes de 14 diferentes puertos de origen. Los puertos con la mayor descarga de agua de lastre fueron Long Beach (USA) y La Pampilla (Perú) (Tabla

**Tabla 1.** Variables ambientales empleadas para el cálculo del C3 – Similitud ambiental.

Variables ambientales	Código
Tipo de puerto	PTYPE
Temperatura media del agua – época más cálida	MSUWT
Temperatura media del agua – época más fría	MWNWT
Temperatura media del aire – época más cálida	MSART
Temperatura media del aire – época más fría	MWART
Salinidad media del agua – época húmeda	MWSAL
Salinidad media del agua – época seca	MDSAL

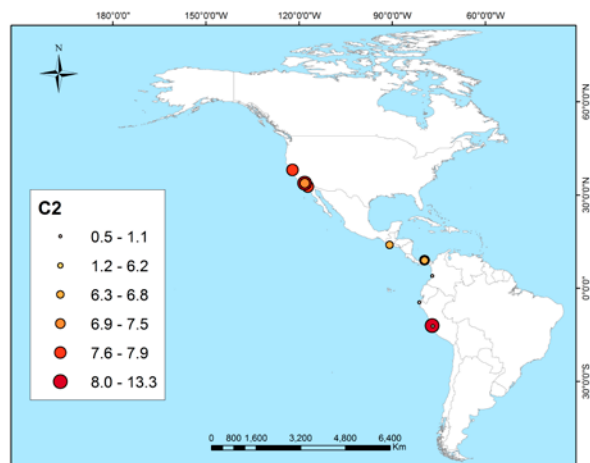
2). Con relación a la frecuencia de descarga (C1) el menor valor corresponde al Puerto de Buenaventura (Colombia), el cual supone un riesgo mínimo por estar ubicado en la misma región biogeográfica del puerto receptor; Long Beach (USA) y La Pampilla (Perú) presentaron frecuencias de descarga superiores al 11 % relacionadas con los demás puertos de origen analizados (Tabla 2, Figura 1). Cuanto mayor sea el número de visitas de un buque que impliquen descarga desde un mismo puerto de origen, mayor será la probabilidad de éxito en la transmisión y posterior introducción de al menos una especie no indígena (GEF/UNDP/IMO *Global Ballast Water Management Programme*, 2003).



**Figura 1.** Localización e importancia relativa de los puertos de origen con respecto a la frecuencia de descarga de tanques (C1) en el puerto de Tumaco, año 2015.

El mayor volumen de descarga de agua de lastre en Tumaco lo registró Long Beach (USA) y La Pampilla (Perú), con porcentajes de 13.3 % y 13.2 %, respectivamente. El puerto de origen que presentó menor volumen de descarga fue Buenaventura (Colombia) seguido por Conchan (Perú) (Figura 2). Suponiendo que, basados en los resultados del C1 y C2, y que las condiciones de almacenamiento del agua de lastre así como su composición y abundancia biológica, estos puertos representarían un riesgo potencial de introducción de especies invasoras (Tabla 2). El coeficiente C2 asume que existe una relación lineal simple entre la cantidad de agua de

lastre importada desde un puerto de origen y el número de organismos transferidos con esta agua al puerto receptor (GEF/UNDP/IMO *Global Ballast Water Management Programme*, 2003). Sin embargo, se debe tener en cuenta que la calidad del agua por lo general se deteriora más rápido en pequeños depósitos comparado con los grandes tanques, debido a la relación de volumen/pared del tanque y otros efectos como los cambios rápidos de temperatura con una mortalidad más alta en los tanques más pequeños (Clarke *et al.*, 2003).



**Figura 2.** Localización e importancia relativa de los puertos de origen con respecto al volumen de descarga de tanques (C2) en el puerto de Tumaco, año 2015.

En el análisis de las variables ambientales los puertos que presentaron mayor similitud con el Puerto de Tumaco fueron: San José (Guatemala), Buenaventura (Colombia), Talara (Perú), La Pampilla (Perú) y Los Ángeles (USA) (Tabla 2, Figura 3), con valores muy cercanos a 1, infiriendo que una EEI u OAP podría establecerse con mayor facilidad en el puerto de Tumaco. Lavoie, Smith y Ruiz (1999) mencionan que en puertos ubicados en Estados Unidos se sospecha que al menos 57 especies han sido introducidas por el agua de lastre y algunas de estas invasiones han tenido impactos ecológicos y económicos significativos, por lo tanto es necesario tomar acciones basados en los resultados de los coeficientes calculados.

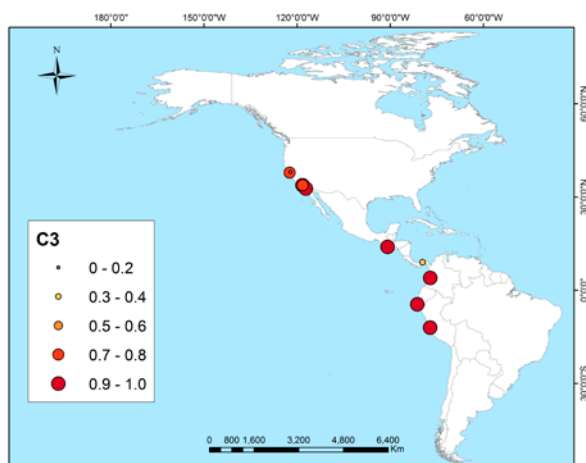
**Tabla 2.** Lista de puertos de origen identificados para el puerto de Tumaco, mostrando proporciones de descarga de tanques de lastre (C1), volúmenes (C2) y similitud ambiental (C3), año 2015.

Puerto de origen del agua de lastre (puerto/país)	Volumen de agua descargado (m <sup>3</sup> )	No. de tanques descargados	C 1	C 2	C 3
San José (Guatemala)	22 155	10	5.3	6.6	0.99
Buenaventura (Colombia)	1 670.3	4	2.1	0.5	0.99
Talara (Perú)	3 668.7	8	4.3	1.1	0.98
Pampilla (Perú)	44 284	22	11.8	13.2	0.89
Los Ángeles (USA)	20 638	12	6.4	6.2	0.89
San Diego California (USA)	26 244	12	6.4	7.9	0.82
Long Beach (USA)	44 357	25	13.4	13.3	0.77
San Francisco (USA)	22 831	13	7.0	6.8	0.72
Balboa (Panamá)	24 174	13	7.0	7.2	0.28
Martínez (USA)	25 606	12	6.4	7.7	0.18
Melones (Panamá)	25 106	14	7.5	7.5	*
Taboguilla (Panamá)	22 798.3	13	7.0	6.8	*
Pal/Lb/Ca (USA)	24 321	12	6.4	7.3	*
Conchan (Perú)	2 209	6	3.2	0.7	*
<b>Total</b>	<b>310 062.3</b>	<b>176</b>			

\* El C3 no fue calculado por falta de información ambiental.

### Buenaventura

En el puerto de Buenaventura se descargó un volumen total de 132 294 m<sup>3</sup> de agua de lastre, 184 tanques provenientes de 12 puertos de origen diferentes (Tabla 3). Los puertos que presentaron mayor frecuencia de descarga (C1), así como el mayor volumen de agua de lastre descargada (C2), en orden descendente fueron: Manta (Ecuador) Puerto Caldera (Costa Rica), Puerto Quetzal (Guatemala), Callao (Perú) y Los Ángeles (USA). La menor frecuencia de descarga correspondió al puerto de Nagoya (Japón), suponiendo un riesgo mínimo de introducción de EEI y OAP, evaluando solo el C1; además, la ruta marítima del buque hace que el tiempo de retención del agua de lastre en los tanques sea prolongado, limitando la disponibilidad de nutrientes y otros factores, como la oscuridad, que terminan afectando la supervivencia de algunas especies (Bax, Williamson, Aguero, Gonzalez y Geeves, 2003). Las especies transportadas por barcos y distribuidas a través del agua de lastre en la mayoría de los casos mueren durante



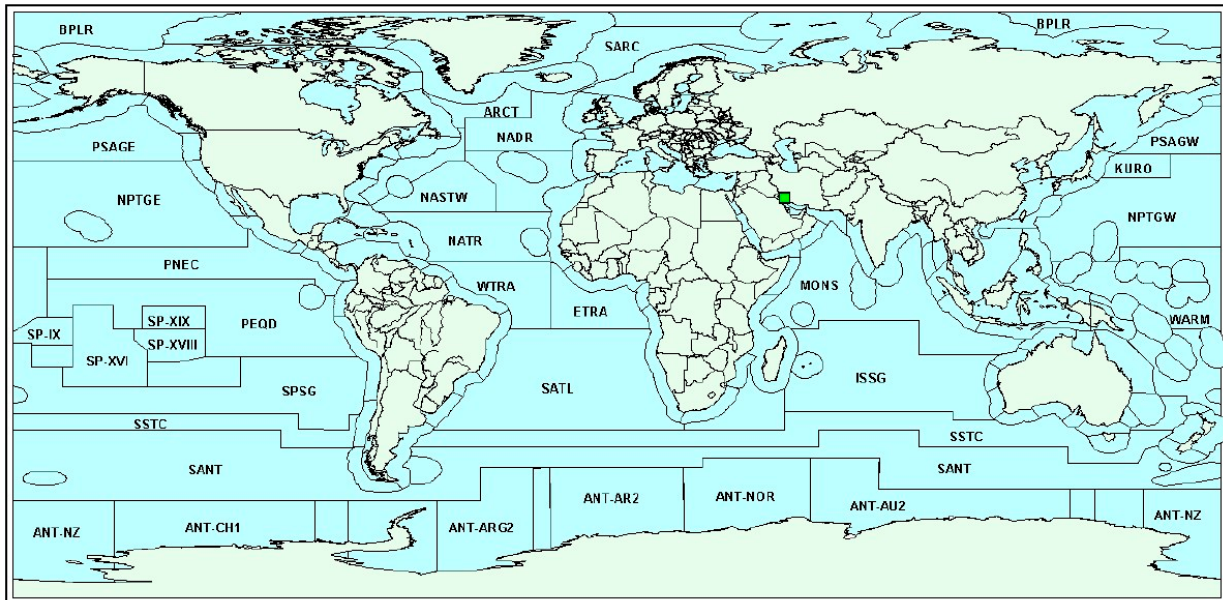
**Figura 3.** Coeficiente C3 de similitud ambiental con respecto a los puertos de origen y el puerto de Tumaco, año 2015.

el viaje, como resultado de los cambios de temperatura, la reducción de la concentración de oxígeno disuelto y la falta de alimentos. Sin embargo, algunas especies sobreviven formando quistes durante el viaje y reviven cuando se descargan en el nuevo entorno. Investigadores australianos han realizado estudios en 18 puertos australianos y descubrieron quistes de dinoflagelados en el 50 % de las muestras de sedimentos; 20 de las 53 especies de quistes identificadas fueron germinadas con éxito en el laboratorio, algunas de las cuales produjeron cultivos tóxicos que pueden contaminar a los moluscos y causar serios riesgos para la salud humana y la acuicultura (De Castro, De Almeida Rosso y Da Costa Fernandes, 2011).

El puerto de Manta (Ecuador) y Puerto Caldera (Costa Rica), presentaron las mayores frecuencias de descarga, connotando que Manta supone mayor probabilidad de riesgo para Buenaventura; sin embargo, hacen parte de la misma región biogeográfica (SEP-I figuras 4 y

5) y bajo este criterio, no se podría considerar el término de "invasión" de una especie. Por otro lado, Puerto Caldera (Costa Rica) presentó un porcentaje 18.48 % del total de la frecuencia de descarga, seguido por Puerto Quetzal (Guatemala) y Callao (Perú) (Tabla 3).

Teniendo en cuenta el volumen de agua de lastre descargado (C2), el puerto de Manta (Ecuador) registró la mayor importación al puerto de Buenaventura, con un porcentaje de 23.9 % (Tabla 3); seguido de Puerto Caldera (Costa Rica), Los Ángeles (USA) y Callao (Perú). Analizando individualmente los coeficientes C1 y C2 se pudo deducir que Puerto Caldera (Costa Rica), al estar ubicado en una región biogeográfica diferente, representa un riesgo de introducción EEI y OAP hacia el puerto de Buenaventura. Por otro lado, los puertos que presentaron mayor similitud ambiental con el puerto de Buenaventura en orden descendente son: Puerto Quetzal (Guatemala), Puerto Caldera (Costa Rica), Callao (Perú) y Manta (Ecuador).



**Figura 4.** Mapa mundial completo que muestra las regiones biogeográficas marinas (no todos los códigos de región se muestran en este ejemplo). [Fuente: Clarke, *et al.*, 2003].

En la determinación de la similitud ambiental entre los puertos de origen con el puerto de Buenaventura se obtuvieron dos valores Eigen o valores propios (8.7751 y 1.5768) (Tabla 4) y se determinaron dos componentes principales

(Tabla 5). El primer componente principal representa el 79.8 % de la varianza total. La variable (país puerto de origen) que presenta mayor correlación con el primer componente principal (CP1): Costa Rica (0.335), Ecuador

**Tabla 3.** Coeficientes de riesgo C1, C2 y C3 para el puerto de Buenaventura, volumen de agua de lastre descargado por país de origen, número de tanques descargados (datos de arribo de buques 2015).

<b>Puerto de origen del agua de lastre (puerto/país)</b>	<b>Volumen de agua descargado (m3)</b>	<b>No. de tanques descargados</b>	<b>C 1</b>	<b>C 2</b>	<b>C 3</b>
Puerto Caldera (Costa Rica)	23 180.10	34	18.48	17.52	0.98
Callao (Perú)	17 703.5	25	13.59	13.38	0.93
Manta (Ecuador)	31 647 .59	36	19.57	23.92	0.93
Nagoya (Japón)	860	2	1.09	0.65	0.75
Puerto Quetzal (Guatemala)	16 921 .21	25	13.59	12.79	0.99
Vancouver (Canadá)	5 249	6	3.26	3.97	0.40
Balboa (Panamá)	1 274	9	4.89	0.96	0.36
Los Ángeles (USA)	18 130.3	19	10.33	13.70	0.45
Manzanillo (México)	6 760	11	5.98	5.11	*
Arica (Chile)	1 762,1	3	1.63	1.33	0.88
Buenaventura (Colombia)	7 926.1	7	3.80	5.99	*
Golfo de Guinea (África)	879.7	7	3.80	0.66	0.98
<b>Total</b>	<b>132 293.63</b>	<b>184</b>			

\* El C3 no fue calculado por falta de información ambiental.

(0.335), Japón (0.335), Guatemala (0.331) y Perú (0.327). En este sentido, el primer componente representa los puertos de origen que muestran mayor similaridad ambiental entre sí. El segundo componente principal (CP2) tiene una correlación negativa con Panamá y USA (-0.706 y -0.633), respectivamente; siendo este componente representativo para los puertos que menos se asemejan ambientalmente con el puerto de Buenaventura (Tabla 5). Los dos componentes seleccionados explican el 94.1 % de la variación en los datos (Figura 6).

En este sentido, los puertos de origen ubicados en Costa Rica, Ecuador, Japón, Guatemala y Perú representarían un riesgo potencial para el puerto de Buenaventura, respecto a la introducción de especies invasoras a través del agua de lastre. Adicionalmente, estos países presentaron los coeficientes de frecuencia de descarga (C1) y de volumen de agua deslastrada (C2) más altos registrados durante ese año, por lo tanto el riesgo aumenta. El BWM establece los requisitos para evitar las transferencias de organismos. Los buques en ciertas rutas pueden estar exentos de dichos requisitos en función de la evaluación de riesgos (Matej, Gollasch y Leppäkoski, 2013).

Por otro lado, puertos ubicados en Japón o Costa Rica requerirían mayor control, creyendo que las especies en estas zonas difieren de las que se podrían encontrar en Buenaventura; sin embargo, se debe tener en cuenta la frecuencia de arribo y el volumen de descarga de aguas de lastre. La tasa a la cual los organismos extranjeros se están estableciendo en los puertos de todo el mundo ha aumentado dramáticamente. Nuevas especies estuarinas y marinas se han establecido una vez cada 32 a 85 semanas en seis puertos estudiados en los EE. UU., Australia y Nueva Zelanda, y la tasa de establecimiento parece estar aumentando (Bax, Williamson, Aguero, Gonzalez y Geeves, 2003).

Debe tenerse en cuenta que todas las reglas o modelos tienen excepciones y no pueden ser aplicados para todos los hábitats. Por ejemplo, temperaturas coincidentes en el puerto de origen y el nuevo hábitat no explican el potencial de una especie para tolerar o adaptarse (Gollasch y Leppäkoski, 2007). Otros autores sugieren que el cambio climático puede llegar a calentar gran parte de la superficie de la Tierra. A medida que aumenta la temperatura del aire, la temperatura del agua también aumentará. La mayoría de los organismos acuáticos son ectotérmicos y,

por lo tanto, la temperatura es importante en su fisiología, bioenergética, comportamiento y biogeografía; es probable que el calentamiento global aumente el grupo de especies invasoras al facilitar la expansión a nuevas áreas (Rahel y Olden, 2008).

Gollasch, Lenz, Dammer y Andres (2000) realizaron una evaluación de especies no autóctonas transportadas por buques internacionales a aguas alemanas; estudiaron la supervivencia de organismos de plancton tropical en agua de lastre, acompañando a un buque portacontenedores en su viaje de 23 días desde Singapur a Bremerhaven en Alemania. Dos tanques, uno llenado en Singapur y el otro en Colombo, Sri Lanka, fueron monitoreados en su contenido de fito y zooplancton por muestreo diario; la abundancia y la diversidad de especies, especialmente del zooplancton, disminuyeron drásticamente durante los primeros días y solo unos pocos especímenes sobrevivieron a todo el crucero. Sin embargo, el contenido del tanque de Colombo cambió drásticamente durante la última semana. El copépodo *Tisbe graciloides*

aumentó su abundancia en un factor de 100 de 0.1 a 10 individuos/L dentro de unos días. Esta es la primera vez que se ha encontrado que un organismo de agua de lastre se multiplica a una velocidad tan alta. Las especies oportunistas como *Tisbe* aparentemente pueden prosperar y propagarse en tanques de agua de lastre bajo ciertas condiciones. Los tanques de agua de lastre pueden servir como incubadoras para ciertas especies dependiendo de sus características. Lo anterior permite considerar que los puertos que presenten similitud ambiental entre sí estarían en riesgo del establecimiento de una especie sobreviviente al trayecto de un buque.

Finalmente, es posible concluir que Puerto Caldera (Costa Rica) es el puerto que representa mayor riesgo por introducción de especies invasoras al registrar valores altos en los coeficientes 1 y 2, así como una similitud ambiental con el puerto de Buenaventura. Según la Base de Datos Mundial de Especies Invasoras, en Costa Rica se han identificado dos especies no autóctonas y una especie riesgosa en agua marinas (*Invasive Species Specialist Group*, 2015).

**Tabla 4.** Análisis Eigen de la matriz de correlación.

Eigenvalue	8.775	1.576	0.597	0.050	0.000	0.000	0.000	-0.000
Proporción	0.798	0.143	0.054	0.005	0.000	0.000	0.000	-0.000
Acumulado	0.798	0.941	0.995	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

**Tabla 5.** Componentes principales del análisis multivariado de datos variable.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Buenaventura	0.326	0.069	-0.322	0.107
Japón	0.335	0.009	0.166	-0.005
Ecuador	0.335	0.010	0.123	0.383
Panamá	0.152	-0.706	-0.027	0.459
USA	0.201	-0.633	0.007	-0.522
Perú	0.327	0.190	-0.076	-0.235
Canadá	0.247	0.080	0.871	0.022
Arica	0.334	0.097	-0.044	-0.345
Costa Rica	0.335	0.021	-0.129	-0.272
Guatemala	0.331	0.062	-0.215	0.197
Golfo de Guinea	0.324	0.197	-0.155	0.267





## LISTA DE REFERENCIAS

- Bax, N.; Williamson, A.; Aguero, M.; Gonzalez, E.; Geeves, W. (2003). Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. *Marine Policy*, 313–323.
- Clarke, C.; Hilliard, R.; Junqueira, A.; Neto, A.; Polglaze, J.; Raaymarkers, S. (2003). Ballast Water Risk Assessment Port of Sepetiba Federal Republic of Brazil: Final Report. *Globallast Monograph Series*, No. 14. International Maritime Organization, Global Ballast Water Management Programme, London.
- De Castro, M.; De Almeida Rosso, T.; Da Costa Fernandes, F. (2011). Characterization of Rio de Janeiro Port in Terms of Ballast Water. *American Society of Naval Engineers*, 61-72. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.2010.00246.x>
- Dirección General Marítima [Dimar]. (06 de 09 de 2012). *Resolución 477 de 2012. Bogotá D.C., Colombia*.
- GEF/UNDP/IMO Global Ballast Water Management Programme. (2003). *User guide for the BWRA Database/GIS System. Londres* (Reino Unido).
- GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme and WMU. (2013). Identifying and Managing Risks from Organisms Carried in Ships Ballast Water - *GloBallast Monograph*, No. 21. Londres.
- Gollasch, S.; Lenz, J.; Dammer, M.; Andres, H.-G. (2000). Survival of tropical ballast water organisms during a cruise from the Indian Ocean to the North Sea. *Journal of Plankton Research*, 923–937.
- Gollasch, S.; Nehring, S. (2006). National checklist for aquatic alien species in Germany. *Aquatic Invasions*, 1, 245-269. <https://doi.org/10.3391/ai.2006.1.4.8>
- Gollasch, S.; Leppäkoski, E. (2007). Risk assessment and management scenarios for ballast water mediated species introductions into the Baltic Sea. *Aquatic Invasions*, 2, 313-340. <https://doi.org/10.3391/ai.2007.2.4.3>
- Invasive Species Specialist Group. (11 de 2015). *Global Invasive Species Database*. Obtenido de Global Invasive Species Database.
- Joachimsthal, E.; Ivanov, V.; Tay, S.; Tay, J. (Agosto de 2004). Bacteriological examination of ballast water in Singapore Harbour by flow cytometry with FISH. *Marine Pollution Bulletin*, 49, 334-343. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.02.036>
- Lavoie, D.; Smith, L.; Ruiz, G. (1999). The potential for intracoastal transfer of non-indigenous species in the ballast water of ships. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48(5), 551-56. <https://doi.org/10.1006/eccs.1999.0467>
- Matej, D.; Gollasch, S.; Leppäkoski, E. (2013). Risk assessment for exemptions from ballast water management – The Baltic Sea case study. *Marine Pollution Bulletin*, 205–217.
- Ministerio de Ambiente Perú. (2015). *Ministerio Ambiente Perú*. <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/problematICA/instrumentos-de-gestion-de-la-diversidad-biologica/especies-exoticas-invasoras/>
- Organización Marítima Internacional. (2019a). *Organización Marítima Internacional*. <http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Paginas/Default.aspx>
- Organización Marítima Internacional. (2019b). *Organización Marítima Internacional*. [http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships27-Ballast-Water-and-Sediments-\(BWM\).aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships27-Ballast-Water-and-Sediments-(BWM).aspx)
- Rahel, F.; Olden, J. (2008). Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species. *Conservation Biology*, 22, 521–533.