

NAVEGACIÓN Y DISPERSIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS: INCRUSTACIONES BIOLÓGICAS SOBRE EL CASCO DE LOS BUQUES DE LA ARMADA ARGENTINA

DR. ESTEBAN PAOLUCCI

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia y CONICET.

LIC. LEILA RON

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia.

LAURA CIANIS

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia.

LIC. NANCY CORREA

Escuela de Ciencias del Mar y Servicio de Hidrografía Naval
Unidad Académica a la que se atribuye el trabajo: Escuela de Ciencias del Mar (ESCM).

Resumen

Los organismos incrustantes, además de interferir en el desempeño hidrodinámico del buque, pueden comprometer el funcionamiento de piezas sumergidas y tomas de agua y acentuar los procesos de corrosión. Estos problemas obligan al mantenimiento periódico del casco, que debe ser limpiado y pintado con cubiertas anti-incrustantes. Estos procedimientos son muy costosos, tanto porque involucran la entrada del buque a dique seco, como por los tiempos fuera de servicio. Para evaluar la intensidad y el tipo de bioincrustaciones se llevaron a cabo muestreos en los cascos de la Fragata ARA Libertad y en los buques oceanográficos ARA Puerto Deseado y ARA Austral desde el año 2015. Los objetivos de este trabajo son (a) Cuantificar

la abundancia y diversidad taxonómica de los organismos incrustantes; (b) Evaluar el efecto de las estadías en puerto vs. tiempo en navegación sobre las densidades y características de las bioincrustaciones; (c) Desarrollar medidas preventivas frente a la dispersión de especies introducidas a lo largo de las costas argentinas; y (d) Establecer una línea de base para generar recomendaciones de manejo tendientes a mitigar las bioincrustaciones sobre los buques y el riesgo de transporte y dispersión de especies acuáticas invasoras en la costa argentina.

Palabras clave

Bioincrustaciones - Invasiones biológicas - Buques de la Armada Argentina - Especies exóticas.

Abstract

Hull-fouling organisms affect the hydrodynamic properties of ships, and may compromise the operation of submerged mechanisms and water intake ports, as well as enhance corrosion. These problems require periodic hull-maintenance operations, involving the elimination of fouling and the application of antifouling paints. These procedures are very expensive, both because they require dry-dock entries, and because of the time out of service. To evaluate the intensity and type of biofouling, the hulls of the ships ARA Libertad, and ARA Puerto Deseado and ARA Austral oceanographic vessels were sampled since 2015. The objectives of this work are (a) To assess the abundance and taxonomic composition of the fouling communities; (b) To evaluate the effect of port calls vs. the time underway on the densities and characteristics of the biofouling; (c) To develop preventive measures against the dispersion of introduced species along the Argentine coasts; and (d) To establish a baseline for management options and provide recommendations aimed at mitigating hull biofouling and the risk of transport and dispersion of invasive aquatic species along the Argentine coast.

Keywords

Biofouling - Biological invasions - Argentine Navy ships - Exotic species.

Introducción

Los organismos incrustantes (o bioincrustaciones) sobre el casco de los barcos, así como aquellos transportados en el agua de lastre, constituyen una preocupación central para los operadores de buques y para la comunidad en general, y para los ecólogos y biólogos marinos en particular. Para los operadores, las bioincrustaciones representan un problema importante porque alteran sustancialmente el comportamiento hidrodinámico del casco, aumentando significativamente el consumo de combustible (hasta más del 60%, según Hakim *et al.*, 2017) y la emisión de gases nocivos a la atmósfera. Además de interferir con la hidrodinámica del buque, estos organismos pueden comprometer el funcionamiento de piezas sumergidas, tomas de agua y acelerar los procesos de corrosión. Estos problemas obligan al mantenimiento permanente del casco, que es limpiado y pintado con cubiertas anti-incrustantes regularmente. Estos procedimientos son muy costosos ya que generalmente implican la entrada del buque a dique seco. El transporte de organismos a través del agua de lastre, por otro lado, si bien constituye un problema más reciente, es actualmente la vía de introducción de especies exóticas más importante, y ha crecido exponencialmente en las últimas décadas (Kaluza, Kolzsch, Gastner y Blasius, 2010). Al igual que el agua de lastre, las bioincrustaciones constituyen vectores de introducción de especies exóticas con impactos frecuentemente muy importantes, motivo por el cual han sido objeto de miles de investigaciones científicas.

Más del 90% del volumen de las mercancías que se mueven en el mundo son transportadas por vía marítima, por lo que la industria naviera juega un papel central en la dispersión de especies exóticas, en particular en hábitats costeros (Carlton, 1985; Lloyd's, 2011; Molnar, Gamboa, Revenga y Spalding, 2008). Se estima que el agua de lastre, cuyo volumen sumado excede varios miles de millones de toneladas diarias, transporta entre puertos miles de especies por día (Kaluza *et al.*, 2010). Aunque el papel de las bioincrustaciones en las invasiones biológicas es menos conocido, se estima que el riesgo involucrado es alto y son el vector de numerosas introducciones conocidas (Gollasch, 2002; Sylvester, Kalaci, Leung, Lacoursiere-Roussel, Murray *et al.*, 2011). Si bien las embarcaciones militares y de investigación no realizan operaciones de carga-descarga de agua de lastre comparables a las de los buques comerciales (sobre todo los graneleros y buques-tanque), el mayor tiempo de permanencia en puerto en comparación con las embarcaciones

comerciales las hace más vulnerables al desarrollo de bioincrustaciones (Davidson, McCann, Fofonoff, Sytsma y Ruiz, 2008). Además, dado que sus derrotas son generalmente muy diferentes a las de los buques comerciales, afectando áreas remotas, como la Antártida y otras con escaso tráfico comercial pero de interés científico, frecuentemente involucran riesgos de expansión de especies importantes (Lee y Chown, 2007).

Aunque la actividad naviera en los puertos y el Mar Argentino es bastante menor que la registrada en puertos de América del Norte, Europa y Asia (Kaluza et al., 2010), tanto las bioincrustaciones como las descargas de agua de lastre representan riesgos importantes para los ecosistemas locales. En nuestro país se han reportado más de 60 especies introducidas en hábitats acuáticos costero-marinos y continentales (Orensanz, Schwindt, Pastorino, Bortolus, Casas et al., 2002). Muchas de estas especies, incluyendo varias con importantes impactos ecológicos y/o económicos potenciales o confirmados, tales como el mejillón dorado *Limnoperna fortunei*, el caracol *Rapana venosa*, el alga *Undaria pinnatifida* o el poliqueto formador de arrecifes *Ficopomatus enigmaticus*, fueron seguramente introducidas por buques comerciales. En el contexto de la problemática del cambio global, estos problemas han ido en aumento en las últimas décadas (Seebens et al., 2017), y seguramente seguirán la misma tendencia en el futuro, motivo por el cual es imperiosa la implementación de medidas de mitigación, incluyendo protocolos de manejo y reglamentaciones estrictos. Varios estudios sobre los efectos del cambio climático en las especies invasoras predicen que los ambientes más fríos, como el mar Argentino, serán más afectados por la introducción de especies y por el desplazamiento de las áreas de distribución hacia los polos (Helmuth et al., 2006, Sorte et al., 2012, Thomas et al., 2016).

El manejo de agua de lastre se encuentra actualmente regulado tanto a nivel internacional como nacional por distintas normativas tendientes a minimizar su impacto (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, IMO, 2004; Ordenanzas PNA 7/98 y 12/98). En contraste, para el caso de las bioincrustaciones la legislación y las reglas para su manejo son escasas (Hewitt, Everett y Parker, 2009). Más aún, la elevada ecotoxicidad de algunas pinturas anti-incrustantes llevó a la Organización Marítima Internacional (OMI) a establecer, a partir de 2008, normas restrictivas severas sobre el uso del TBT (tributil de estaño), la formulación más eficiente que se conoce para prevenir el crecimiento de organismos incrustantes. Frente a estas limitaciones, las prácticas alternati-

vas relacionadas con el manejo de los patrones de operación de los buques resultan una alternativa promisoría para reducir la dependencia de las pinturas anti-incrustantes. La exposición del casco de los buques a salinidades variables, alternando estadias en el mar y en agua dulce, ha sido practicada desde hace décadas como una estrategia para reducir las bioincrustaciones y mejorar la navegación. Estas prácticas también pueden disminuir el transporte e introducción de especies exóticas, ya que los organismos involucrados son afectados por el estrés osmótico debido al cambio de salinidad, tal como fuera sugerido para el manejo del agua de lastre, inclusive en combinación con métodos alternativos de tratamiento (Paolucci, Hernández, Potapov, Lewis y MacIsaac, 2015; Paolucci, Ron y MacIsaac, 2017; Santagata, Gasiūnaite, Verling, Cordell, Eason et al., 2008).

Las flotas militares son particularmente vulnerables a los problemas relacionados con las incrustaciones sobre el casco debido a los patrones de operación de sus buques. A diferencia de los buques mercantes, obligados a reducir al mínimo el tiempo en puerto por motivos de rentabilidad, los buques militares y de investigación suelen tener largos períodos de inactividad, en puerto. Varios estudios han demostrado una estrecha relación entre el tiempo en puerto y el desarrollo de biofouling en el casco (ver Davidson, Brown, Sytsma y Ruiz, 2009; Davidson *et al.*, 2008; Sylvester *et al.*, 2011). Sin embargo, hay numerosos interrogantes acerca de los factores que limitan el crecimiento de los organismos incrustantes. En comparación con el agua de lastre, que en su calidad de vector de especies introducidas ha sido intensamente estudiado a nivel internacional y, en menor medida, en nuestro país (e.g., Boltovskoy, Almada y Correa, 2011), y cuyo manejo está reglamentado tanto nacional como internacionalmente, la investigación de las incrustaciones biológicas está muy a la zaga. A pesar de su enorme potencial para la introducción de especies invasoras (Coutts y Taylor, 2004; Gollasch, 2002; Ruiz y Smith, 2005; Sylvester *et al.*, 2011), las dificultades técnicas de los muestreos, así como el hecho de que es una forma menos visible de transporte de especies, han retrasado el estudio de las incrustaciones sobre el casco de los buques.

El presente artículo está enmarcado en un proyecto de colaboración entre varias instituciones que tiene como objetivo general indagar en la importancia de las bioincrustaciones y su impacto en las embarcaciones de la Armada Argentina, así como sus potenciales efectos en el ambiente, para poder generar recomendaciones de manejo y control. En particular, se propuso:

1. Cuantificar la abundancia y diversidad taxonómica de los organismos incrustantes sobre el casco de buques de la Armada, enfatizando el origen de estos organismos y el rol de los buques en su dispersión
2. Evaluar el efecto de las estadías en puerto vs. el tiempo en navegación sobre las bioincrustaciones.
3. Desarrollar medidas preventivas de la dispersión de especies invasoras a lo largo de la costa argentina.
4. Establecer una línea de base para generar recomendaciones de manejo tendientes a mitigar las bioincrustaciones sobre buques y el riesgo de transporte y dispersión de especies invasoras acuáticas en la costa argentina.

Materiales y métodos

Los muestreos fueron realizados con los buques en flotación por buzos supervisados por personal científico desde una embarcación auxiliar. Una vez delimitada el área de muestreo por medio de marcos metálicos imantados de 0.2×0.2 m, se procedió a la obtención de todo el material biológico adherido. Bajo el agua, los organismos incrustantes más chicos fueron separados del casco mediante una jeringa ad hoc con una cuchilla frontal de acero y un émbolo para recoger el material desprendido. Los organismos de mayor tamaño (> 2 cm) fueron removidos directamente con espátulas usando bandejas plásticas con una abertura de 0.2×0.2 m provista de una malla colectora de $500 \mu\text{m}$, cuya función era retener lo removido mediante la espátula. Las muestras fueron preservadas con alcohol al 90%.

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Hidrobiología del Museo Argentino de Ciencias Naturales para su análisis. Primero se realizó la separación, conteo e identificación de los organismos obtenidos por inspección visual directa (organismos mayores a 2 cm) o bajo microscopio estereoscópico (para los de menor talla). Los organismos más grandes fueron pesados para obtener una estimación de la biomasa incrustante por metro cuadrado del casco. Para identificar el material se contó con la colaboración de especialistas de otras instituciones (Instituto de Ecología Genética y Evolución - IEGEBA-UBA-CONICET; Instituto para el Estudio de la Biodiversidad de Invertebrados - IEBI).

Resultados

Se realizaron 7 muestreos con las embarcaciones en flotación ARA Fragata Libertad, ARA Puerto Deseado y ARA Austral (Tabla 1). Los muestreos de la ARA Fragata Libertad se llevaron a cabo en el puerto de Buenos Aires, mientras que las otras dos fueron muestreadas en la Base Naval de Mar del Plata. A continuación se detallan los resultados obtenidos.

ARA Fragata Libertad

Tomando en cuenta el itinerario, tiempos de permanencia en puertos de agua dulce y marinos, y tipo de mantenimiento recibido (con o sin estadias en dique seco), se estudió el desarrollo de la comunidad de especies incrustantes. Antes del primer muestreo (en 2015), la embarcación fue objeto de un proceso integral de mantenimiento en dique seco. Estas actividades, llevadas a cabo en los Astilleros de Río Santiago, incluyeron trabajos de restauración y modernización de la nave incluyendo la pintura y sellado del casco, renovación de ánodos, anclas y cadenas, trabajos en líneas de ejes y timón, reparaciones en calderas y soldadura, etc. Posteriormente, el buque realizó dos viajes a escala global (Figura 1), al cabo de los cuales se realizaron muestreos con el fin de monitorear el desarrollo de los organismos incrustantes (primer muestreo, marzo de 2015). El primer viaje comenzó el 23 de abril de 2016, cuando la Fragata zarpó de Buenos Aires, e incluyó escalas en Brasil, Estados Unidos, Holanda, Francia, Irlanda, España, Italia, Grecia y Uruguay. El muestreo de bioincrustaciones se efectuó a su regreso el 15 de noviembre de 2016 (segundo muestreo). Entre este y el viaje subsiguiente no se realizaron tareas de mantenimiento en dique seco, y la Fragata permaneció en el Puerto de Buenos Aires hasta el 25 de marzo de 2017 cuando volvió a zarpar con destino a Fortaleza (Brasil), Veracruz (México), Charleston y Miami (EE.UU.), Den Helder (Holanda), Wilhelmshaven (Alemania), Malmö (Suecia), Boulogne Sur Mer (Francia), Portsmouth (Reino Unido), Barcelona y Santa Cruz de Tenerife (España), Río de Janeiro (Brasil) y Montevideo (Uruguay). A su regreso se realizó el tercer muestreo (9 de octubre de 2017). Aunque algunas de estas escalas fueron en puertos de aguas salobres, el corto período que permaneció en cada puerto (2-3 días), así como la derrota seguida, permiten asumir que la embarcación se encontró casi exclusivamente en ambientes marinos.

El primer muestreo, realizado el 15 de marzo de 2016, luego de la perma-

nencia en dique seco, mostró escasa cantidad de organismos, en su mayoría de agua dulce. Entre estos se destaca la presencia de juveniles del molusco invasor *Limnoperna fortunei* (hasta 1400 ind./m²), originario de China y presente en el Río de la Plata desde aproximadamente 1990. En contraste, los datos obtenidos durante el segundo y tercer muestreo indican que los organismos que colonizaron el casco durante los dos viajes mencionados fueron marinos, principalmente cirripedios, en particular de la especie *Amphibalanus amphitrite*, y numerosos grupos asociados, incluyendo algas y poliketos que no habían sido registrados en el primer muestreo de marzo de 2016.

Entre el segundo muestreo, en noviembre de 2016, y el siguiente, en noviembre de 2017, se observó un aumento de la abundancia de cirripedios, de 637.5 ind./m² a 1800 ind./m² (Figura 2). Este aumento de organismos incrustantes marinos ocurrió a pesar de la permanencia en el puerto de Buenos Aires, desde el 5 de noviembre de 2016 hasta el 25 de marzo de 2017, lo que sugiere que se debió a eventos de colonización independientes ocurridos durante cada viaje o, alternativamente, que estos organismos sobrevivieran a la exposición al agua dulce.

ARA Puerto Deseado y ARA Austral

Los muestreos en los buques ARA Puerto Deseado y ARA Austral fueron llevados a cabo en febrero 2017 (6 muestras del ARA Puerto Deseado y 4 del ARA Austral), y junio del mismo año (6 muestras del ARA Puerto Deseado y 6 muestras del ARA Austral; Tablas 2 y 3). Los materiales obtenidos fueron analizados en laboratorio. Se separaron las ascidias (tunicados, subfilo Urochordata), que fueron los organismos dominantes en casi todos los muestreos, excepto el de junio 2018 del ARA Austral. Los animales se cuantificaron y pesaron. Tanto en el ARA Puerto Deseado como en el ARA Austral se observó una dominancia neta de ascidias (hasta aprox. 1600 ind./m²) y cirripedios. Los valores más altos (2600 ind./m²) se observan en la quilla y porción media del casco, sugiriendo la necesidad de priorizar estas áreas en las tareas de mantenimiento y aplicación de tratamiento antifouling.

Discusión

Los resultados preliminares obtenidos confirman que los organismos in-

crustantes en los cascos constituyen un problema acuciente, dado que un crecimiento aun moderado del biofouling aumenta significativamente el consumo de combustible del buque.

En la Fragata ARA Libertad, la abundancia de organismos, principalmente cirripedios, se triplicó entre el segundo y tercer muestreo, sugiriendo que el proceso de colonización del casco es un fenómeno progresivo, significativamente correlacionado con el tiempo transcurrido desde la última limpieza. Este incremento indica que la eficacia de los cubrimientos anti-incrustantes utilizados es cuestionable, al menos en el marco de los períodos utilizados en este estudio (más de tres años). Los valores más altos (aprox. 2600 ind./m²) fueron registrados en sectores de la popa y la línea de flotación. Estos resultados sugieren la necesidad de establecer prioridades en las tareas de mantenimiento, incluyendo la aplicación de tratamientos anti-incrustantes, que deberían ser más frecuentes en estos sectores que en el resto del casco. Dado el origen marino de los organismos encontrados, coherente con los derroteros correspondientes, una alternativa ambientalmente inocua para disminuir las bioincrustaciones es intercalar destinos en puertos de marinas con destinos en aguas salobres o dulces y/o incrementar el período de permanencia en el puerto de Buenos Aires entre los viajes oceánicos. Esta alternativa es particularmente efectiva después de más de dos años sin tareas de limpieza y aplicación de tratamientos anti-incrustantes en dique seco.

Desde el punto de vista de la dispersión de organismos exóticos, cabe destacar que la principal especie que se desarrolló sobre el casco de la Fragata Libertad es el cirripedio *Amphibalanus amphitrite*, especie considerada cosmopolita, que si bien es marina tiene una gran tolerancia a la salinidad reducida de ríos y estuarios (Rogers, 2016). Estudios previos muestran que esta especie, al igual que otros cirripedios, fueron ampliamente dispersados a durante los siglos 19 y 20 (Carlton, Newman y Pitombo, 2011). Durante el último par de siglos, *A. amphitrite* fue introducida tanto en la costa Atlántica como la del océano Pacífico de América, y otros mares del mundo desde sus hábitats originarios en el Indo-Pacífico.

Si bien las muestras obtenidas aún están siendo analizadas, las bioincrustaciones estudiadas confirman la importancia de la aplicación de tratamientos anti-incrustantes para evitar situaciones extremas como las registradas. Los valores más altos fueron observados en la zona de la quilla y casco medio a la altura de la sala de máquinas y en el sector de toma de agua (1600 ind/m²), lo que sugiere la necesidad de priorizar estas áreas en las tareas de

mantenimiento. Estos resultados coinciden con el patrón de distribución de incrustaciones registrado previamente tanto en dique seco como en flotación (Meloni, 2014). Sin embargo, nuestros datos muestran una menor riqueza de especies, con una predominancia de ascidias, en especial para el ARA Puerto Deseado, y una carga en biomasa de hasta 7 kg por metro cuadrado en el sector de la popa, debida principalmente a este grupo taxonómico. Aunque estos resultados son preliminares, es probable que lo observado en el ARA Puerto Deseado corresponda a una etapa muy avanzada de colonización donde un grupo predominó sobre el resto y resultó en valores de biomasa llamativamente altos.

Los resultados obtenidos muestran que las bioincrustaciones constituyen un problema complejo con implicancias tanto para la navegación como para la dispersión a nivel local y global de especies exóticas. Si bien los buques de la Armada Argentina no realizan cambios de agua de lastre importantes, dada la importancia de las incrustaciones como vector a nivel global, el patrón de derrotas que incluye zonas sensibles, como el sector antártico, así como la elevada carga de bioincrustaciones, puede derivar en la introducción de especies de potencial impacto ecológico.

LEYENDAS DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Muestreos realizados en los últimos años en buques de la Armada Argentina.

| Fecha del muestreo | Buque | Lugar de muestreo | Nº de muestras obtenidas | Áreas del casco muestreadas |
|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|---|
| 15/03/2016 | Fragata Libertad | Buenos Aires | 5 | Quilla a la altura de proa, popa y zona media (palo mesana y puente de mando), línea de eje y timón, línea de flotación, aleta estabilizadora |
| 15/11/2016 | Fragata Libertad | Buenos Aires | 6 | |
| 09/10/2017 | Fragata Libertad | Buenos Aires | 7 | |
| 08/02/2018 | ARA Puerto Deseado | Mar del Plata | 7 | Popa/timón, quilla, línea media del casco, proa, banda babor |

NAVEGACIÓN Y DISPERSIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS:
 INCRUSTACIONES BIOLÓGICAS SOBRE EL CASCO DE LOS BUQUES DE LA ARMADA ARGENTIN

| | | | | |
|------------|--------------------|---------------|---|---|
| 08/02/2018 | ARA Austral | Mar del Plata | 4 | Proa y popa |
| 13/06/2018 | ARA Puerto Deseado | Mar del Plata | 6 | Hélice, rejilla, propulsor de proa |
| 13/06/2018 | ARA Austral | Mar del Plata | 6 | Pie de gallo, rejilla, ánodo, línea de flotación, propulsor de proa |

Tabla 2. Muestreos en el ARA Puerto Deseado. Resultados por muestra y promedio (\pm desvío estándar) detallando el grupo dominante en la comunidad incrustante.

| ARA Puerto Deseado | | | | | |
|---|---|-------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| Lugar y Fecha | | | | | |
| Puerto Mar del Plata (38° 1'58.36"S, 57°32'1.22"O), 8 de febrero 2018 | | | | | |
| Muestra | Ubicación | Ascidias (número por muestra) | Ascidias, (densidad, ind./m ²) | Ascidias (biomasa por muestra, g) | Ascidias (biomasa por m ² , kg) |
| 1 | Popa, pala timón, babor | 27 | 675 | 169 | 4.23 |
| 2 | Popa, pala timón, estribor | 29 | 725 | 309 | 7.73 |
| 3 | Quilla-casco medio, sector toma de agua | 64 | 1600 | 119 | 2.98 |
| 4 | Quilla-casco medio, sector toma de agua | 35 | 875 | 42.5 | 1.06 |
| 5 | Proa babor | 47 | 1175 | 185 | 4.63 |
| 5' | Proa babor | 47 | 1175 | 173 | 4.33 |
| 6 | Proa babor | 25 | 625 | 253 | 6.33 |
| 6' | Proa babor | 31 | 775 | 292 | 7.30 |
| 8 Muestras | Promedio \pm DS | 38.1 \pm 13.5 | 953.1 \pm 336.3 | 192.8 \pm 89.5 | 4.8 \pm 2.2 |
| Lugar y Fecha | | | | | |
| Puerto Mar del Plata (38° 1'58.36"S, 57°32'1.22"O), 11 de junio 2018 | | | | | |

| Muestra | Ubicación | Ascidias (número por muestra) | Ascidias, (densidad, ind./m ²) | Ascidias (biomasa por muestra, g) | Ascidias (biomasa por m ² , kg) |
|------------|---------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| 1 | Timón babor, pie de gallo | 26 | 650 | 72 | 1.80 |
| 2 | Timón babor, pie de gallo | 15 | 375 | 73 | 1.83 |
| 4 | Hélice | 15 | 375 | 159.5 | 3.99 |
| 5 | Rejilla | 14 | 350 | 101 | 2.53 |
| 6 | Costado rejilla | 16 | 400 | 121 | 3.03 |
| 8 | Propulsor de proa | 26 | 650 | 266.5 | 6.66 |
| 6 Muestras | Promedio ± DS | 18.7 ± 5.7 | 466.7 ± 142.9 | 132.2 ± 73.5 | 3.3 ± 1.8 |

Tabla 3. Muestreos en el ARA Austral. Resultados por muestra y promedio (± desvío estándar) detallando el grupo dominante en la comunidad incrustante.

| ARA Austral | | | | | |
|---------------|--|-------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| Lugar y fecha | Puerto Mar del Plata (38° 1'58.36"S, 57° 32'1.22"O), 8 de febrero 2018 | | | | |
| Muestra | Ubicación | Ascidias (número por muestra) | Ascidias, (densidad, ind./m ²) | Ascidias (biomasa por muestra, g) | Ascidias (biomasa por m ² , kg) |
| 7 | Popa babor, pala de timón | 13 | 325 | 228.5 | 5.71 |
| 7' | Popa babor, pala de timón | 8 | 200 | 144 | 3.60 |
| 8 | Popa estribor, pala de timón | 13 | 325 | 214 | 5.35 |
| 8' | Popa estribor, pala de timón | 7 | 175 | 157.5 | 3.94 |
| 9 | Proa, propulsor babor | 16 | 400 | 123.5 | 3.09 |
| 10 | Proa, propulsor babor | 23 | 575 | 142 | 3.55 |

NAVEGACIÓN Y DISPERSIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS:
 INCRUSTACIONES BIOLÓGICAS SOBRE EL CASCO DE LOS BUQUES DE LA ARMADA ARGENTIN

| | | | | | |
|------------|---------------|---------------|------------------|-----------------|--------------|
| 6 Muestras | Promedio ± DS | 13.3 ± 5.8 | 333.3 ± 145.5 | 168.3 ± 42.7 | 4.2 ± 1.1 |
|------------|---------------|---------------|------------------|-----------------|--------------|

Figura 1. Recorrido de la Fragata Libertad (2017)

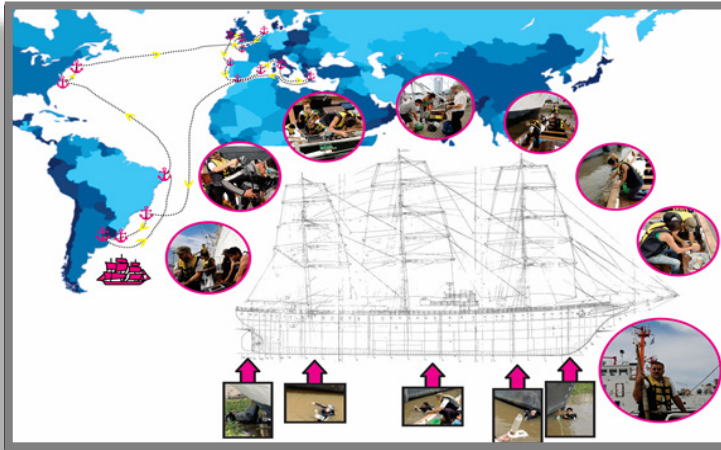
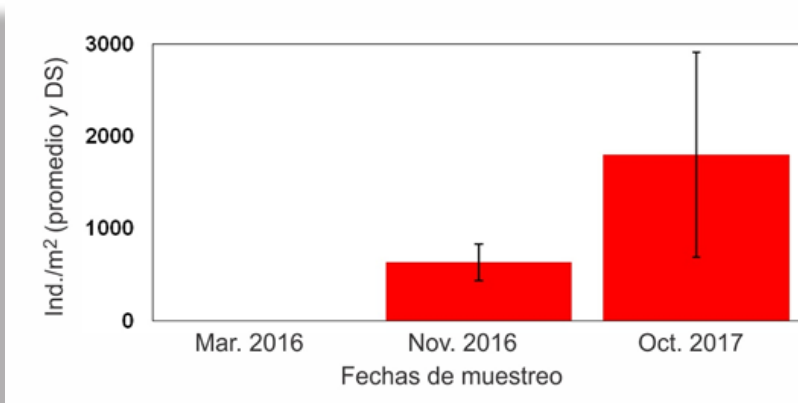


Figura 2. Variación en las densidades de cirripedios en el casco de la Fragata ARA Libertad



Bibliografía

Boltovskoy, D., Almada, P., & Correa, N. (2011). Biological invasions: assessment of threat from ballast-water discharge in Patagonian (Argentina) ports. *Environmental Science & Policy*, 14, 578-583. doi: 10.1016/j.envsci.2011.03.007.

Carlton, J. T. (1985). Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water. *Oceanography and marine biology: an annual review*, 23, 313-372.

Carlton, J. T., Newman, W. A. y Pitombo, F. B. (2011). Barnacle invasions: Introduced, cryptogenic, and range expanding Cirripedia of North and South America. En B. S. Galil, P. F. Clark y J. T. Carlton (eds.), *In the Wrong Place - Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts* (pp. 159-213). Dordrecht: Springer.

Coutts, A. D. M. y Taylor, M. D. (2004). A preliminary investigation of biosecurity risks associated with biofouling on merchant vessels in New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 38, 215-229. doi: 10.1080/00288330.2004.9517232.

Davidson, I. C., Brown, C. W., Sytsma, M. D. y Ruiz, G. M. (2009). The role of container ships as transfer mechanisms of marine biofouling species. *Biofouling*, 25, 645-655. doi: 10.1080/08927010903046268.

Davidson, I. C., McCann, L. D., Fofonoff, P. W., Sytsma, M. D. y Ruiz, G. M. (2008). The potential for hull-mediated species transfers by obsolete ships on their final voyages. *Diversity and Distributions* 14, 518-529. doi: 10.1111/j.1472-4642.2008.00465.x.

Gollasch, S. (2002). The importance of ship hull fouling as a vector of species introductions into the North Sea. *Biofouling* 18, 105-121. doi: 10.1080/08927010290011361

Hakim, M. L., Utama, K. A. P., Nugroho, B., Yusim, A. K., Baithal, M. S. y Suasitika, I. K. (2017). Review of correlation between marine fouling and fuel consumption on a ship. *Senta 2017 Conference, Marine Technology for Sustainable Development*.

Hewitt, C. L., Everett, R. A. y Parker, N. (2009). Examples of current international, regional and national regulatory frameworks for preventing and managing marine. En G. Rilov y J. A. Crooks (eds.), *Biological Invasions in Marine Ecosystems Ecological, Management, and Geographic Perspectives* (pp. 335-352). Berlin: Springer-Verlag,

Kaluza, P., Kolzsch, A., Gastner, M. T. y Blasius, B. (2010). The complex ne-

network of global cargo ship movements. *Journal of the Royal Society Interface* 7, 1093-1103. doi: 10.1098/rsif.2009.0495.

Lee, J. E. y Chown, S. L. (2007). *Mytilus* on the move: transport of an invasive bivalve to the Antarctic. *Marine Ecology Progress Series* 339, 307-310. doi: 10.3354/meps339307.

Lloyd's R. (2011). Ballast water treatment technology current status June 2011.

Meloni, M. A. (2014). *Dispersión regional de especies invasoras a lo largo de la costa argentina mediante incrustaciones sobre el casco de buques de cabotaje*. Tesis de Grado, Universidad de Buenos Aires.

Molnar, J. L., Gamboa, R. L., Revenga, C. y Spalding, M. D. (2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 485-492. doi: 10.1890/070064.

Orensanz, J. M., Schwindt, E., Pastorino, G., Bortolus, A., Casas, G., Darrigran, G. A., Elías, R., López Gappa, J. J., Obenat, S., Pascual, M., Penchaszadeh, P., Piriz, M. L., Scarabino, F., Spivak, E. D. y Vallarino, E. A. (2002). No longer the pristine confines of the world ocean: A survey of exotic marine species in the southwestern Atlantic. *Biological Invasions* 4, 115-143. doi: 10.1023/A:1020596916153.

Paolucci, E. M., Hernandez, M. R., Potapov, A., Lewis, M. A. y MacIsaac, H. J. (2015). Hybrid system increases efficiency of ballast water treatment. *Journal of Applied Ecology*, 52, 348-357. doi: 10.1111/1365-2664.12397.

Paolucci, E. M., Ron, L. y MacIsaac, H. J. (2017). Combining ballast water treatment and ballast water exchange: Reducing colonization pressure and propagule pressure of phytoplankton organisms. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 20, 369-377. doi: 10.1080/14634988.2017.1404419.

Rogers, D. C. (2016). Chapter 16 - Phylum Arthropoda. En J. H. Thorp y D. C. Rogers (eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition)* (pp. 291-711). Academic Press. ISSN: 0-12-690647-5.

Ruiz, G. y Smith, G. (2005). Biological study of container vessels at the Port of Oakland: (a) biota associated with ballast water of container ships arriving to the Port of Oakland, (b) ballast water exchange efficacy on eight container ships, and (c) analysis of biofouling organisms associated with the hulls of container ships arriving to the Port of Oakland, Final Report. Final Report submitted to the Port of Oakland.

Santagata, S., Gasiūnaite, Z., Verling, E., Cordell, J., Eason, K., Cohen, J., Babela, K., Quilez-Badia, G., Johenge, T., Reid, D. y Ruiz, G. (2008). Effects of os-

motric shock as a management strategy to reduce transfers of non-indigenous species among low-salinity ports by ships. *Aquatic Invasions*, 3, 61-76 doi :10.3391/ai.2008.3.110.

Seebens, H., Blackburn, T. M., Dyer, E. E., Genovesi, P., Hulme, P. E., Jeschke, J. M., Essl, F. (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8, 1-9. doi: 10.1038/ncomms14435.

Spivak, E. D. y Schwindt, E. (1998). *Biodiversidad de artrópodos argentinos, una perspectiva biotaxonómica*. La Plata: Ediciones Sur.

Sylvester, F., Kalaci, O., Leung, B., Lacoursiere-Roussel, A., Murray, C. C., Choi, F. M., Bravo, M. A., Therriault, T. W. y MacIsaac, H. J. (2011). Hull fouling as an invasion vector: can simple models explain a complex problem? *Journal of Applied Ecology* 48, 415-423. doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.01957.x.