

Invertebrados marinos bioincrustantes en el casco del buque ARC "20 de Julio"

Marine biofouling invertebrates on the hull of the ship ARC "20 de Julio"

DOI: 10.26640/22159045.435

Fecha de recepción: 2018-01-15 / Fecha de aceptación: 2018-03-01

Andrés A. Aguilera D.*, **Liseth J. Arregocés S.**** y **Eduardo L. Andrade V.*****

Aguilera, A., Arregocés, L. y Andrade. E. (2018). *Invertebrados marinos bioincrustantes en el casco del buque ARC "20 de Julio"*. Bol. Cient. Bol. Cient.CIOH (36):3-16. ISSN 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: 10.26640/22159045.435

RESUMEN

A bordo del buque ARC "20 de Julio" se realizó la *Primera Expedición Científica a la Antártica* entre diciembre del 2014 y abril del 2015. Antes y después del zarpe, se colectaron mediante buceo, muestras de organismos marinos adheridos a las estructuras externas sumergidas del buque. Los invertebrados marinos colectados se identificaron taxonómicamente y se estableció su condición de origen (especies nativas, invasoras o criptogénicas). La fauna marina estuvo representada por los filos artrópodo, molusco, anélido y porífera. La familia Balanidae aportó el mayor número de individuos, conformada por las especies *Balanus amphitrite*, *Balanus reticulatus* y *Balanus eburneus*, seguida de la familia Mitilidae, representada por especies como *Brachidontes domingensis* y *Brachidontes exustus*. Las especies identificadas en el estudio, se reconocen como miembros comunes de las comunidades bioincrustantes alrededor del mundo y algunas han sido catalogadas como introducidas para la bahía de Cartagena. La presente investigación se desarrolló como base de futuros estudios sobre organismos incrustantes en el puerto de Cartagena, tendientes a minimizar, controlar o evitar efectos negativos sobre las actividades portuarias y navieras, y la expansión de especies marinas a nuevas áreas marino-costeras.

PALABRAS CLAVES: invertebrados marinos, bioincrustantes, ARC "20 de Julio", Primera Expedición Científica Colombiana a la Antártica.

ABSTRACT

*Colombia's First Scientific Expedition to the Antarctic was performed between December of 2014 and April of 2015 on board the ship ARC "20 Julio". Before and after departure, divers collected samples of marine organisms adhering to ship's submerged external structures. The marine invertebrates were taxonomically identified and the condition of origin (native species, invasive or cryptogenic) was established. The marine fauna was represented by phylum arthropod, mollusk, annelid and porifera. The Balanidae family contributed the largest number of individuals, consisting of the species *Balanus Amphitrite*, *Balanus reticulatus* and *Balanus eburneus*, followed Mitilidae family, represented by species such as *Brachidontes domingensis* and *Brachidontes exustus*. The species identified are recognized as common members of fouling communities around the world and some have been listed as introduced to the Cartagena Bay. This research is developed as a basis for future studies of fouling organisms in the port of Cartagena, to minimize, control or prevent negative effects on port and shipping activities and the expansion of marine species into new marine coastal areas.*

KEYWORDS: *Marine invertebrates, introduced species, Biofouling, ARC "20 de Julio", Colombia's First Scientific Expedition to the Antarctic.*

* Universidad del Atlántico. Correo: aaaguilerad@gmail.com

** Dirección General Marítima - Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Correo: liseth.arregoces@dimar.mil.co

*** Universidad del Atlántico. Correo: eandrade@dimar.mil.co

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se ha establecido que entre 3000 y 7000 organismos de especies invasoras se transportan en los buques diariamente (Carlton J., 1999). Según Hewitt y Campbell (2010), 1780 especies marinas y estuarinas invasoras han sido registradas en el mundo, de las cuales el 86.3 % han sido introducidas por medio del agua de lastre y del *fouling* de los buques (Okolodkov y García, 2014). Este último corresponde a la fauna y flora que se adhiere a la estructura externa sumergida del buque (Okolodkov, *et al.*, 2007), como producto de la interacción de procesos físicos, químicos y biológicos, que favorecen la adsorción de la superficie de moléculas orgánicas y el establecimiento de *microfouling* o "limo (bacterias, diatomeas bentónicas, esporas, microalgas, hongos, así como protozoarios) y después de algunas semanas el *macrofouling* (invertebrados marinos sésiles y algas mayores) (López, 1998; Cuadrado, *et al.*, 2010; Abarzua y Jakubowski, 1995; Anderson, *et al.*, 2003; Callow y Callow, 2002; Yebra, *et al.*, 2004).

Sin embargo, dentro de estos organismos denominados bioincrustantes se pueden encontrar tanto especies exógenas que se distribuyen principalmente en áreas portuarias, favorecidas por condiciones ambientales propicias y por el tráfico marítimo internacional (Roux y Bastida, 1990); al igual que un componente local correspondiente a las comunidades endémicas (Bastida, 1971).

El *biofouling* puede generar impactos negativos en el ser humano, a la vida animal y vegetal, a las actividades económicas y culturales y al medio acuático (MEPC.1/Circ.792, 2012). Con relación a las actividades marítimas, la presencia de estos organismos sobre el casco de los buques, produce resistencia de fricción, demandando el doble de potencia para el desplazamiento de la embarcación (Bellotti, *et al.*, 2007; Salas, *et al.*, 2010; Phys.org, 2015). Adicionalmente, conlleva a un deterioro en la estructura y sistema de protección de la corrosión (Yebra, *et al.*, 2004; Bellotti, *et al.*, 2007). Todo esto implica incremento de gastos económicos para

la industria naviera, asociados a un mayor consumo de combustible (Bellotti, *et al.*, 2007; Salas, *et al.*, 2010; Phys.org, 2015), mantenimiento y limpieza de la superficie (Cuadrado, *et al.*, 2010; Hellio y Yebra, 2009); y daños medioambientales relacionados con emisiones extras de dióxido de carbono (CO₂) (Phys.org, 2015; Salas, *et al.*, 2010).

Reconocida la amenaza del establecimiento de especies invasivas acuáticas como resultado del *biofouling*, la Organización Marítima Internacional (OMI) aborda en el 2001 la temática de sistemas anti-incrustantes en los buques a través de la Convención Internacional sobre el Control de Nocivos Sistemas Anti-incrustantes en los Buques. En octubre de 2012 el Comité de Protección del Medio Marino (MEPC por sus siglas en inglés) de la OMI, aprueba las *Directrices para minimizar la transferencia de especies acuáticas invasivas como biofouling* (MEPC.1/Circ.792, 2012) y un año después, es adoptado por este Comité las *Directrices para el control y manejo de biofouling de buques para reducir al mínimo la transferencia de especies acuáticas invasivas* (MEPC.1/Circ.811, 2013).

Algunos estudios sobre *biofouling* a nivel mundial, se basan en los sistemas anti-incrustantes como pinturas (Bellotti, *et al.*, 2007; Jaramillo, *et al.*, 2011). Otros evalúan los gastos económicos en la aplicación de nuevas tecnologías o estrategias de gestión para combatir el *fouling* de los buques (Schultz, *et al.*, 2011).

Para Colombia, son escasos los estudios que evalúan directamente el *fouling* en las estructuras externas de las embarcaciones. Algunos presentan listados de especies marinas identificadas y registradas como exóticas para el Caribe colombiano, mencionan algunas especies que hacen parte del *fouling* de buques y los impactos sobre boyas y muelles (Gracia, *et al.*, 2011). En el departamento de la Guajira (Caribe colombiano) autores como Gracia, *et al.*, (2013) realizaron un estudio de los invertebrados marinos adheridos a las plataformas de gas. Para la bahía de Cartagena se realizó el levantamiento de línea base de macromoluscos incrustantes en sustratos naturales y artificiales, como pilotes de los

muelles de la Sociedad Portuaria y en boyas del canal de acceso del tráfico marítimo a la bahía (Suárez, 2011). Adicionalmente, se cuenta con la publicación de García y Salzwedel (1993) quienes también evalúan el crecimiento de invertebrados sésiles sobre estructuras artificiales en la bahía de Santa Marta. Otros estudios como los de Londoño-Mesa, *et al.*, (2002), están dirigidos a una comunidad específica de organismos como es el caso de los polychaetos que crecen como *fouling* de las raíces de mangle del archipiélago de San Andrés y Providencia y su relación con parámetros físicos y químicos (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto).

Algunos autores han realizado investigaciones sobre controladores biológicos del *fouling*. Prato-Valderrama (2009) evalúa experimentalmente recubrimientos basados en sustancias naturales (de extractos orgánicos de la esponja *Neopetrosia carbonaria*, el octocoral *Eunicea laciniata* y dos variedades de ají habanero (*Capsicum chinense*), como posibles agentes *antifouling* no tóxicos; mientras Cuadrado, *et al.*, (2010) dirigen su estudio al uso del gorgonáceo *Eunicea laciniata* a partir de muestras biológicas recolectadas en la isla El Morro, bahía de Santa Marta, y Cortés-Useche, *et al.*, (2011) se enfoca en el uso de bivalvo *Nodipecten nodus* en presencia de *Echinometra lucunter* y *Lytechinus variegatus*. Por otra parte, Correa (2012), evaluó la capacidad de los compuestos aislados del octocoral *Pseudopterogorgia elisabeth* presentes en la isla de Providencia, para inhibir el crecimiento y formación del *biofilm* bacteriano.

Existen estudios dirigidos al uso de recubrimientos anti-incrustantes químicos comerciales, un ejemplo es el trabajo de Meza, *et al.*, (2007) quienes realizaron una valoración de recubrimientos anti-incrustantes a través del seguimiento de la formación de *fouling* en sustratos artificiales en la bahía de Cartagena.

Así, reconociendo las implicaciones del *biofouling* en las actividades marítimas, la Dirección General Marítima (Dimar) en cumplimiento de las funciones de prevención y protección del medio marino, y como parte de la seguridad integral marítima, a través del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), realizó la identificación de los invertebrados marinos incrustantes presente en el casco del ARC "20 de Julio" antes y después del recorrido realizado por la embarcación durante la Primera Expedición Científica de Colombia en la Antártica, determinando a la vez, el estatus de estas especies con relación a su origen y distribución.

METODOLOGÍA

Buzos de la Armada Nacional realizaron la extracción del material biológico adherido al arbotante que soporta el eje de la hélice del ARC "20 de Julio" (Figura 1), considerándose esta estructura como una de las más susceptibles a la bioincrustación (MEPC.1/Circ.792, 2012). El área total de extracción fue aproximadamente de 7.5 m². Las muestras fueron almacenadas en frascos plásticos y preservadas con formalina al 4 % (Rodríguez, *et al.*, 2009).

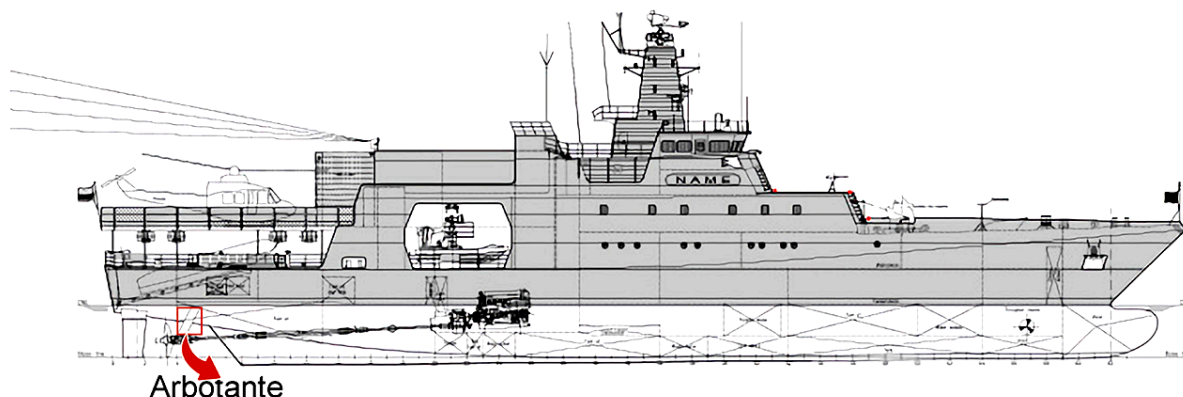


Figura 1. Buque de la Armada Colombiana ARC "20 de Julio".

Con el fin de identificar las especies presentes en la estructura externa del buque antes y después del recorrido de la embarcación durante la Expedición, la colecta de los organismos se llevó a cabo en dos momentos. El primero se realizó el 15 de diciembre del año 2014, antes del zarpe del "ARC 20 de Julio" y se extrajeron los organismos

sobre la cara del arbotante que da a babor. El segundo muestreo sobre el lado del arbotante que da a estribor, tuvo lugar el 7 de abril del 2015 después del trayecto realizado por el buque durante la Expedición, el cual incluyó atraque en puertos de Ecuador, Chile, Argentina, Perú y recorrido del estrecho de Gerlache (Figura 2).



Figura 2. Recorrido del ARC "20 de Julio" durante la Primera Expedición Antártica.

Una vez en el laboratorio del CIOH, los organismos fueron separados por grupos e identificados bajo estereoscopio hasta el nivel taxonómico más bajo, con ayuda de guías taxonómicas Ortiz, *et al.*, (2002) y Yidi y Sarmiento (2011), así como de documentos de referencia Gracia, *et al.*, (2011) y Suárez (2011).

Se realizó la representación gráfica de la abundancia, calculada a partir del número de individuos por especie identificada en cada colecta (Moreno, 2001). Por último, las especies

identificadas, fueron clasificadas de acuerdo con su origen y distribución como introducidas, criptogénicas o nativas para la bahía de Cartagena a partir de información secundaria.

RESULTADOS

En el *biofouling* extraído de la superficie del buque "ARC 20 de Julio" antes y después de la Expedición Antártica, se identificaron especies pertenecientes a cuatro filos: Arthropoda, Mollusca, Annelida y Porifera (Tabla 1).

Tabla 1. Reporte de las especies colectadas en el buque ARC "20 de Julio".

Filo	Clase	Familia	Especie	"ARC 20 DE JULIO"	
				15-dic-14	07-abr-15
Athropoda	Maxillopoda	Balanidae	<i>Balanus amphitrite</i> (Darwin 1854)	x	x
			<i>Balanus reticulatus</i> (Darwin 1854)	x	x
			<i>Balanus eburneus</i> (Gould 1841)	x	x
	Malacostraca	Sphaeromatidae	Sphaeromatidae (morfo 1)	x	x
		Xanthidae	Xanthidae (morfo 1)	x	
Mollusca	Bivalvia	Mytilidae	<i>Brachidontes domingensis</i> (Lamarck, 1819)	x	
			<i>Brachidontes exustus</i> (Linnaeus, 1758)	x	
			<i>Mytella guyanensis</i> (Lamarck, 1819)	x	
		Ostreoidae	<i>Mytella charruana</i> (d'Orbigny, 1842)	x	
			<i>Ostrea equestris</i> (Say, 1834)	x	
		Isognomonidae	<i>Isognomon alatus</i> (Gmelin, 1791)	x	
		Pholaloide	<i>Martesia striata</i> (Linnaeus, 1758)		x
Annelida	Polychaeta	Nereididae	Nereididae (morfo 1) (Linnaeus, 1758)		x
		Serpulidae	Serpulidae (morfo 1)	x	x
Porifera	Homoscleromorpha	-	Homoscleromorpha (morfo 1)	x	

En total el número de individuos registrados en la muestra colectada antes del zarpe fue de 691, con una riqueza específica de 12. La familia más abundante fue Balanidae con 619 individuos correspondiente al 89 % de la abundancia relativa, y representada por las especies *Balanus amphitrite*, *Balanus reticulatus* y *Balanus eburneus*. Seguida de Mytilidae con abundancia relativa de 5 % (32 individuos), dentro de la que se identificaron organismos pertenecientes a las especies *Brachidontes domingensis*, *B. exustus*, *Mytella guyanensis* y *M. charruana* (figuras 3 y 4).

En el material biológico colectado después del recorrido realizado durante la Expedición

Antártica, se registró un total de 127 individuos y una riqueza específica de siete. Las familias más abundantes fueron Balanidae con 78 individuos (62 %), destacándose la presencia de los taxa *B. amphitrite* *B. reticulatus*; y Serpulidae con 40 ejemplares (31 %). Se identificó una especie de bivalvo *Martesia striata* y dos poliquetos de la familia Nereididae. A su vez, se evidenció la ausencia de especies de los moluscos *Brachidontes exustus*, *B. domingensis*, *Mytella charruana*, *M. guyanensis*, *Ostrea equestri* e *Isognomon aleatus*, así como, del cangrejo de la familia Xhantidae y la esponja de la clase Homoscleromorpha, reportadas en las muestras colectadas antes del zarpe (Tabla 1 y Figura 3).

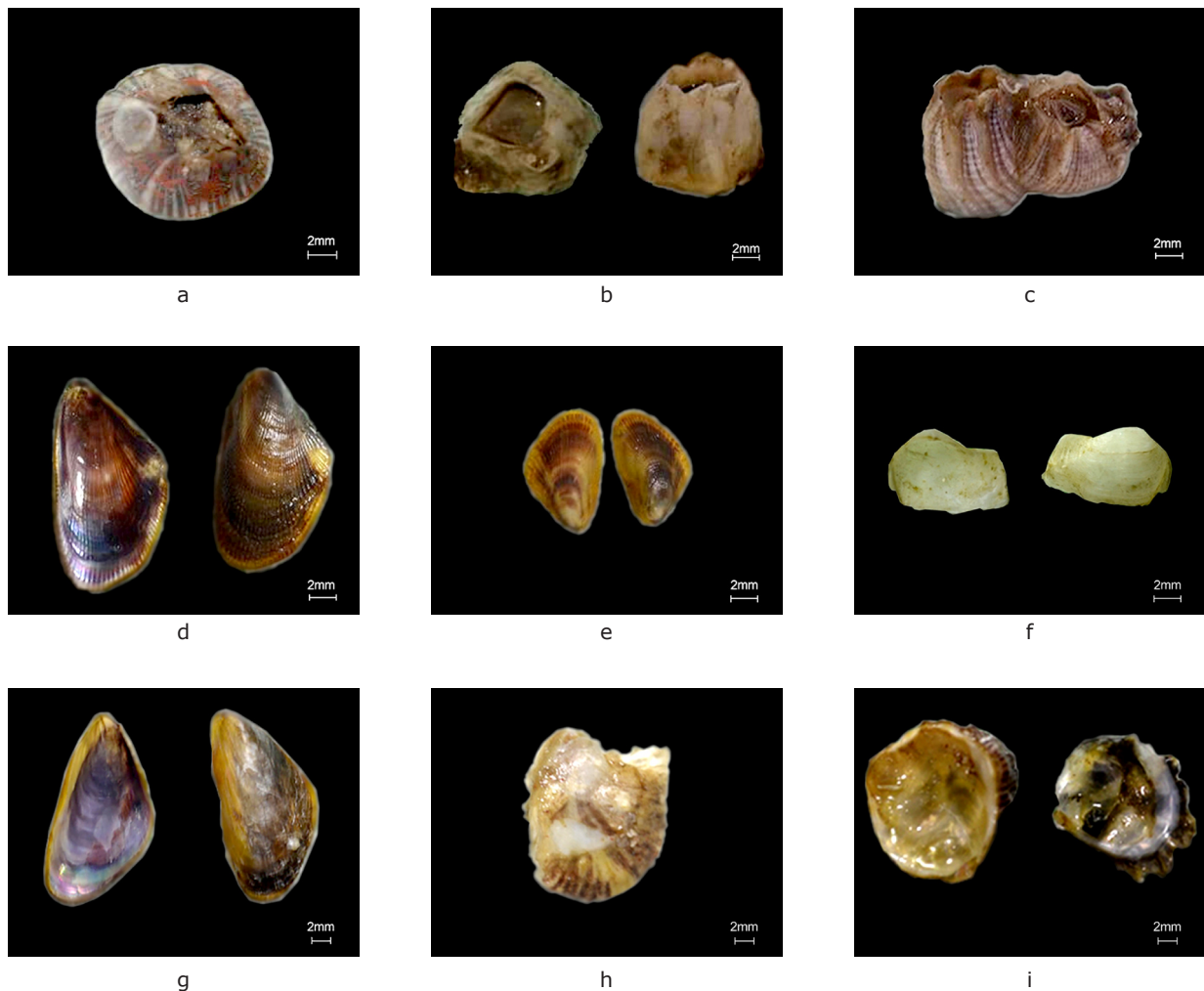


Figura 3. Especies del fouling del buque "ARC 20 de Julio". (a) *Balanus amphitrite*, (b) *Balanus eburneus*, (c) *Balanus reticulatus*, (d) *Brachidontes domingensis*, (e) *Brachidontes exustus*, (f) *Martesia striata*, (g) *Mytella guyanensis*, (h) *Isognomon alatus*, (i) *Ostrea equestris*.

La mayor abundancia de individuos antes del zarpe correspondió al género *Balanus*, siendo *B. amphitrite* la especie con el mayor número de individuos (441); sin embargo disminuyó (38 ind) después del recorrido de la embarcación (Figura 1). Este comportamiento, también fue evidente para *B. reticulatus* (123 ind / 26 ind)

y *B. eburneus* (55 ind /14 ind), con abundancia menor después del recorrido de la embarcación durante la expedición. Los poliquetos de la familia Serpulidae (40 individuos segundo muestreo), superaron en número a los registrados antes del zarpe (30 ind) (Figura 4).

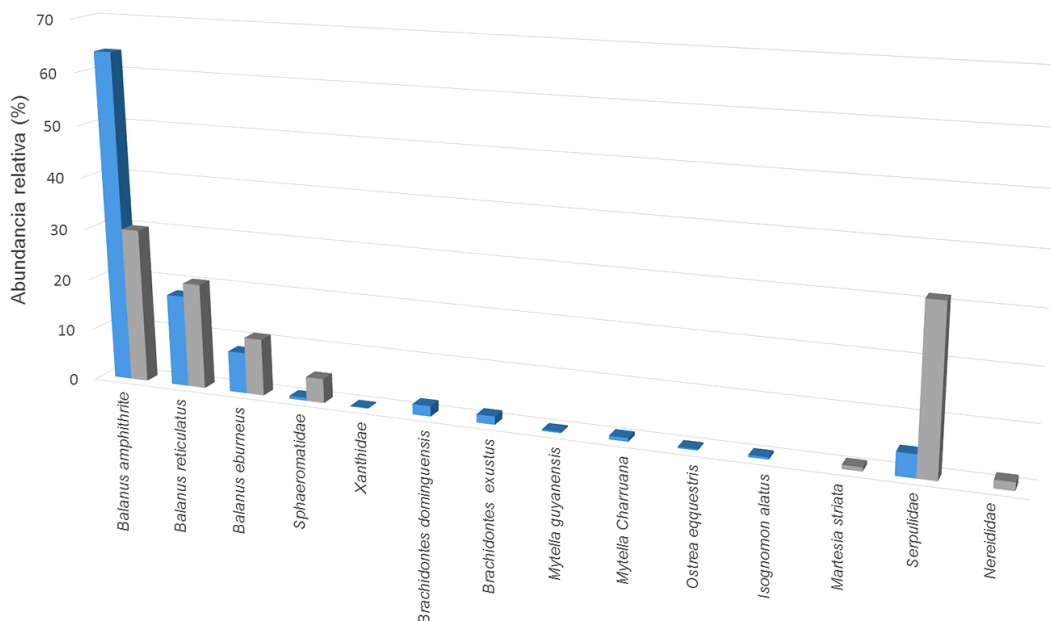


Figura 4. Abundancia relativa organismos colectados antes y después de la Expedición Antártica. ARC "20 de Julio".

DISCUSIÓN

Los casos de embarcaciones, infraestructura portuaria para el soporte de las actividades marítimas como plataformas offshore, ductos y turbinas submarinas, pilotes de muelles, boyas de señalización, constituyen nuevos hábitats artificiales de especies marinas, debido a que favorecen el establecimiento de algunos bioincrustantes marinos, entre los que se destacan algas, esponjas, moluscos, mitílidos y balanos (Manríquez, *et al.*, 1999; Buller y Airoidi, 2005; Pacheco y Garate, 2005, Connell, 2011, Fitridge, *et al.*, 2012; Walker, *et al.*, 2007). La mayoría de estos grupos, fueron identificados en las muestras colectadas del ARC "20 Julio".

Los balanos conocidos comúnmente como bellotas de mar o escaramujos, son crustáceos pertenecientes a la subclase Cirripedia (González, 1998) y se consideran como organismos típicos con alta dominancia en cascos de los buques y estructuras artificiales (pilotes de muelles y boyas), respecto a la biomasa de otros invertebrados incrustantes (Gracia, *et al.*, 2013). En esta investigación el género *Balanus* fue el más abundante, pudiendo estar asociado a adaptaciones fisiológicas como glándulas de adhesión con base membranosa en los adultos para mantenerse adheridos al sustrato, y anténulas especializadas con discos de adhesión, vellosidades cuticulares, poros de secreción y estructuras sensoriales en larvas para explorar y fijarse a la superficie (Manríquez, *et al.*, 1999). Adicionalmente, Edmondson

y Ingram (1939) resaltan la resistencia de estos organismos sésiles a cambios de temperatura, soportando ambientes de hasta -10°C durante varios días (González, 1998), lo que posiblemente permitió que individuos pertenecientes a esta subclase resistieran los cambios de las condiciones ambientales durante el tiempo de navegación, estando adheridos al arbotante cuando la embarcación arribó a Cartagena. Las especies de cirripedios más abundantes coincidieron con los resultados reportados por Meza, *et al.*, (2007), quienes encontraron en Mamonal y Bocagrande - sectores de Cartagena, alta abundancia de *Balanus amphitrite*, *Balanus reticulatus* y *Balanus eburneus* adheridos a sustratos duros artificiales.

El cirrípedo *Balanus amphitrite*, colectado durante los dos momentos de muestreo, es considerado cosmopolita en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Celis, 2009; Gittings, 2009) y tiene la capacidad de adherirse tanto a superficies artificiales como

a los cascos de embarcaciones, al igual que a sustratos naturales (conchas de moluscos y raíces de manglar) (DeFelice, *et al.*, 2001; Rilov y Crooks, 2009). Es una especie introducida en el océano Atlántico (Carlton, 2011); sin embargo, su origen es incierto (Gracia, *et al.*, 2013). Para Colombia se clasifica como introducida invasora y ha sido reportada en Cartagena y en el golfo de Morrosquillo (Becerra y Jiménez, 2011).

Balanus reticulatus ha sido reportada en estudios alrededor del mundo como un organismo típico del *biofouling*; se distribuye ampliamente en aguas tropicales y subtropicales (Motor, 1993), y es catalogada como introducida para Colombia (Young y Campos, 1988) (Tabla 2). Su amplia distribución a nivel mundial se encuentra asociada a su fácil adherencia a los cascos de buques y al transporte de larvas en los tanques de agua de lastre, vectores que han facilitado su dispersión (Low, *et al.*, 2014); adicionalmente, sus características fisiológicas eurihalinas les permiten adaptarse a variaciones salinas (Farrapeira, 2008).

Tabla 2. Listado general de especies de acuerdo con su origen encontradas en los tres raspados. Autor: (1) Becerra y Jiménez (1989); (2) Young y Campos (1988); (3) Granadillo y Urosa (1984); (4) Yidi y Sarmiento (2011); (5) Instituto Nacional de Biodiversidad Santo Domingo (2016); (6) Gillis *et al.*, (2009); (7) Abbott *et al.*, (1995).

Especie	Autor	Introducida	Criptogénica	Nativa
<i>Balanus amphitrite</i>	1	x	-	-
<i>Balanus reticulatus</i>	2	x	-	-
<i>Balanus eburneus</i>	1 y 3	-	-	x
<i>Martesia striata</i>	4	-	x	-
<i>Brachidontes domingensis</i>	4	-	-	x
<i>Brachidontes exustus</i>	4	-	-	x
<i>Mytella guyanensis</i>	5	-	x	-
<i>Mytella charruana</i>	6	x	-	-
<i>Ostrea equestris</i>	7	-	x	-
<i>Isognomon alatus</i>	7	-	x	-

* La especie *Martesia striata* se considera cosmopolita, ha sido reportada para los océanos Pacífico y Atlántico (Yidi y Sarmiento, 2011)

La especie *Balanus eburneus* es originaria del noroeste del Atlántico (Tabla 2), incluyendo el golfo de México (Llorente, *et al.*, 2000) y se distribuye desde Massachussets (USA) hasta las costas de Suramérica, en aguas someras hasta 20 brazas de profundidad (Del Monaco y Capelo, 2000). La translocación de esta especie a costas del Pacífico, ha sido asociada con la capacidad de adherirse a sustratos artificiales, principalmente estructuras externas de embarcaciones (Galil, *et al.*, 2012).

De acuerdo con Topolski y Szedlmayer (2004) y Carney (2005) los moluscos representan gran parte de la biomasa incrustada en superficies artificiales. Del mayor número de especies reportadas en el casco del buque ARC "20 de Julio", hicieron parte de la clase bivalvia destacándose la familia Mytilidae con el mayor número de individuos. Según Manríquez, *et al.*, (1999), los sustratos artificiales favorecen el asentamiento, reproducción y crecimiento de estos organismos filtradores.

Para el mejillón *Brachidontes exustus* se ha establecido su origen en el océano Atlántico (Yidi y Sarmiento, 2011) y ha sido reportado para Cartagena adherido a estructuras artificiales (Meza, *et al.*, 2007), al igual que *B. domingensis*, Suárez (2011), caracterizada por ser una especie que se adhiere a superficies expuestas como boyas, cascos de barcos, o tuberías de toma de agua. Su introducción ocasiona competencia con otras especies de mejillones nativos (The University of Southern Mississippi, 2016).

Suárez (2011) y Puyana, *et al.*, (2012) reportan sobre sustratos duros artificiales de la zona portuaria de Cartagena la presencia de *Mytella charruana*, y es considerada según Gillis, *et al.* (2009) y Puyana, *et al.*, (2012), una especie naturalizada en la bahía de Cartagena antes del 2008. Su distribución original abarca desde Guyana hasta Argentina (Darrigrán y Lagreca, 2005); sin embargo, se ha registrado en Uruguay y al igual que *M. guyanensis*, existen reportes en México y Perú. *M. guyanensis* también se ha encontrado desde Venezuela hasta Brasil, pero su origen se desconoce (Instituto Nacional de Biodiversidad Santo Domingo, 2016).

No se encuentra documentada la ocurrencia en la zona portuaria de Cartagena del género *Martesia* sobre estructuras artificiales. Este género es considerado por Railkin (2004), como organismos altamente peligrosos para la industria portuaria y naviera, debido a que deteriora estructuras sumergidas de madera, cables de fibra de celulosa y estructuras de hormigón. Específicamente, la especie *M. striata* identificada en las muestras colectadas después del recorrido realizado por el ARC "20 de Julio", es una especie cosmopolita (Díaz y Puyana, 1995) y tiene la capacidad de perforar revestimientos de plomo.

Tanto *Ostrea equestris* como *Isognomon alatus* han sido reconocidas como organismos incrustantes. *O. equestris* se ha observado adherida a cascos de buques (Farrapeira, *et al.*, 2007) y se presume que la amplia distribución de *I. alatus*, se encuentra relacionada con el transporte pasivo a través de embarcaciones (Farrapeira, *et al.*, 2007). Las dos especies se distribuyen a lo largo del noroeste del océano Atlántico y el mar Caribe hasta Brasil, pero se desconoce su origen (Abbott, *et al.*, 1995) (Tabla 2).

Según Edmondson y Ingram (1939), los poliquetos de la familia Serpulidae son miembros conspicuos de asociaciones de organismos incrustantes y fueron reportados por Meza, *et al.*, (2007), dentro de los invertebrados responsables de bioincrustación sobre sustratos artificiales en los ensayos adelantados por los autores. Entre los impactos ocasionados por los gusanos serpúlidos se encuentran daños por corrosión sobre cascos de embarcaciones y estructuras de las plataformas marinas (Viéitez, *et al.*, 2004). Especies de gusanos serpúlidos así como del balano *B. Amphitrite*, son especies toxico-resistentes, lo que les permite estar siempre presentes en la superficie de los recubrimientos anti-incrustantes utilizados para la protección de las embarcaciones (Railkin, 2004).

Especies de las familias Nereididae, Sphaeromatidae, Xanthidae y Homoscleromorpha, reportadas en esta investigación, han sido referidas por autores como presentes en sustratos duros artificiales o su distribución se ha relacionado con el transporte marítimo a través del *fouling* o del

agua de lastre (Oriyama y Otani, 2004, Invasive Species Specialist Group -ISSG, 2016; Lim, *et al.*, 2009; Corsini-Foka y Kondylatos, 2015).

La permanencia de algunos grupos de organismos como cirripedios y poliquetos en la estructura externa de la embarcación (arbotante), durante el recorrido realizado por el ARC "20 de Julio" desde Cartagena hasta el estrecho de Gerlache en la Antártica, pasando por diferentes puertos de Suramérica, permite suponer la alta resistencia de estos organismos a condiciones ambientales variantes y extremas. Autores como Mostafa, *et al.*, (2016), Awad (2012) y Basim *et al.*, (2011), han adelantado investigaciones sobre la influencia de los factores ambientales en la permanencia del *biofouling* en las superficies del casco y demás estructuras externas de los buques.

Así, teniendo en cuenta que la presencia de *biofouling* es considerada una problemática que afecta a la industria naval, con efectos económicos como el aumento en el consumo de combustible, tiempos de las actividades operacionales de navegación e incremento en la frecuencia de entrada a dique seco, además de impactos ambientales (Yebra, *et al.*, 2004; Bellotti, *et al.*, 2007; Schultz, *et al.*, 2011) como la transferencia de especies (Dimar-CIOH, 2009), se recomienda implementar el seguimiento y control de las bioincrustaciones a los artefactos navales utilizados por la Autoridad Marítima y la Armada Nacional, así como en buques de tráfico internacional de rutas con mayor frecuencia a los puertos colombianos. Adicionalmente, disponer de información actualizada de inventarios y estudiar el comportamiento de los organismos marinos adheridos, no solo a las estructuras externas y sumergidas de embarcaciones y a estructuras portuarias, sino también a sustratos naturales. Lo anterior, con el fin de fortalecer el conocimiento sobre especies marinas incrustantes presentes en las principales zonas influenciadas por las actividades marítimas, y su riesgo de introducción a nuevas zonas portuarias colombianas u otros puertos de destino.

La presente investigación constituye un aporte a futuros estudios de organismos incrustantes en el puerto de Cartagena, tendientes a minimizar, controlar o evitar efectos negativos sobre las

actividades portuarias y navieras, así como la expansión de la distribución de especies marinas, considerando el importante rol que juega *biofouling* asociado al transporte marítimo en la introducción de especies potencialmente invasoras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Jefe de Crucero de la *Primera Expedición Científica a la Antártica* por permitir realizar la presente investigación dentro del Proyecto Icesman, y de manera especial, al personal de buzos de la Armada Nacional que participaron en la colecta del material biológico. A Néstor Campos y Victor Sarmiento por su apoyo en la identificación taxonómica de las especies.

REFERENCIAS

- Invasive Species Specialist Group (ISSG). (2016). *Ecology of Alitta succinea. Global Invasive Species database*. Obtenido de <http://www.issg.org>
- Abarzua, S. y Jakubowski, S. (1995). Biotechnological investigation for the prevention of biofouling. I. Biological and biochemical principles for the prevention of biofouling. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 123, 301-312.
- Abbott, R., Morris, P. y Peterson, R. (1995). *A Field Guide to Shells: Atlantic and Gulf Coasts and the West Indies*. Boston, Massachusetts, : Peterson Field Guides. 512 pp.
- Anderson, C., Callow, M. y Milne, A. (2003). The development of foul-release coatings for sea-going vessels. *J. Mar. Des. Op. B.* 4, 11 – 23.
- Awad, M. M. (2012). Impact of Flow velocity on Surface Particulate Fouling - Theoretical Approach. *Journal of American Science*, 442-449.
- Basim , O. H., Graham, J. N., Peter, A. y Richard , A. C. (2011). the Effects of Temperature and Hydrodynamics on the Crystallization Fouling Under Cross Flow Conditions. I. *nt. J. of Applied Thermal Engineering, Elsevier Publisher.*, 210-218.
- Bastida, R. (1971). Las incrustaciones biológicas en el puerto de Mar del Plata, periodo

- 1966/67. . *Mus. Arg. Cs, Nat. B. Rivadavia, Hidrobiol.*, 3 (2), 203-285.
- Becerra, J. y Jiménez, A. (2011). Evaluación cualitativa de los organismos adherentes sobre sustrato. En A. Gracia, J. Medellín, D. Gilagudelo, y V. Puentes. Guía de las especies introducidas marinas y costeras de Colombia. Bogotá, Colombia: Invemar, serie de publicaciones especiales No 23. 136 pp.
- Bellotti, N., Romagnoli, R. y Del Amo, B. (2007). Pinturas no contaminantes para la protección anti-incrustante. *Congreso SAM/CONAMET.*, La Plata. Argentina. 629 - 633.
- Bulleri, F. y Airoldi, L. (2005). Artificial marine structures facilitate the spread of nonindigenous green alga, *Codium fragile* spp. tomentosoides, in the north Adriatic Sea. *Journal of Applied Ecology* 42, 1063-1072.
- Callow, M. y Callow, J. (2002). Marine biofouling: a sticky problem. *Biologist.* 49 (1), 1 - 5.
- Carlton, J. (1999). *The scale and ecological consequences of biological invasions in the world's oceans. En: Sandlund O.T., P.J. Schei y Å. Viken. (eds). Invasive species and biodiversity management.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.195-212.
- Carlton, J. (2011). History, biogeography, and ecology of the Introduced marine and estuarine invertebrates of the Pacific coast of North America. En A. Gracia, J. Medellín, D. Gilagudelo, y V. Puentes, *Guía de las especies introducidas marinas y costeras de Colombia.* Bogotá: INVEMAR, Serie de Publicaciones especiales No. 23. 68 pp.
- Carney, R. S. (2005). *Characterization of algal-invertebrate mats at offshore platforms and the assessment of methods for artificial substrate studies: Reporte final.* Nueva Orleans: U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS. 93 pp.
- Celis, A. (2009). *Análisis panbiogeográfico y taxonómico de los cirripedios (Crustacea) de México.* Tesis doctoral. México: Instituto de Biología, UNAM. 286 pp.
- Connell, S. (2001). Urban structures as marine habitats: an experimental comparison of the composition and abundance of subtidal epibiota among pilings, pontoons and rocky reefs. . *Marine Environmental Research* 52(2), 115-125.
- Correa, H. (2012). *Estudios de bioprospección del coral blando Pseudopterogorgia elisabethae como fuente de sustancias con actividad biológica. Fase IV. Trabajo doctoral.* . Bogotá.: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Departamento de Química.193-194.
- Corsini-Foka y Kondylatos, G. (2015). First occurrence of *Actaeodes tomentosus* (H. Milne Edwards, 1834) (Brachyura: Xanthidae: Actaeinae) in the Mediterranean Sea . *M. Medit. Mar. Sci.*, 16/1. , 201-205.
- Cortés-Useche, C., Gómez-León, J. y Santos-Acevedo, M. (2011). Erizos de mar como control biológico del "fouling" en un cultivo de *Nodipecten nodosus* en el área de Santa Marta, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 40 (2), 233 - 247.
- Cuadrado, C., Castellanos, L., Osorno, O., Ramos, F., Duque Beltrán, C. y Puyana Hegedus, M. (2010). Estudio químico y evaluación de la actividad antifouling del octocoral caribeño *Eunicea laciniata*. *Quim. Nova, Vol. 33, No. 3,* 656-661.
- Darrigrán, G. y Lagreca, M. (2005). *Moluscos litorales del estuario del río de la Plata, Argentina.* Buenos Aires: ProBiota, FCNyM y UNLP, Serie Técnica Didáctica No. 8. 40 pp.
- DeFelice, R., Eldredge, L. y Carlton, J. (2001). Nonindigenous, Marine Invertebrate. En L. Eldredge, y C. Smith, *A Guidebook of Introduced Marine Species in Hawaii. Bishop Museum Technical Report.* 21. 35-36.
- Del Monaco , C. y Capelo, J. (2000). Los géneros *Balanus*, *Chtamalus* y *Tetraclita* (Crustacea: Cirripedia) en las costas de Nueva esparta, Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales.* 154:, 77-97.
- Díaz, M. y Puyana, M. (1995). *Moluscos del Caribe colombiano: Un catálogo ilustrado.* San-

- tafé de Bogotá*. Santafé de Bogotá: COLCIENCIAS-Fundación Natura-Invemar. N. 291 pp.
- Dimar-CIOH. (2009). *Dossier para el control y la gestión del Agua de Lastre y sedimentos de buques en Colombia*. Dirección General Marítima - Centro de Investigaciones Oceanográfica e Hidrográficas. Cartagena de Indias: Serie de publicaciones especiales Cioh Vol.3. 116 pp.
- Edmondson, C. y Ingram, W. (1939). Fouling Organism in Hawaii. *Occasional Papers of Bernice P Bishop Museum*. Vol. 14, 251 - 300.
- Farrapeira, C. (2008). Cirripedia Balanomorphs del estuario del Río Paripe (Isla de Itamaracá, Pernambuco, Brasil). *Biota Neotrop.*, vol. 8, no. 3., 31 - 39.
- Farrapeira, C. De Oliveira Marrocos, A., Ferreira, A. y Euzebio, K. (2007). Ship hull fouling in the Port of Recife, Pernambuco. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55(3):, 207-221.
- Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J. y Nys, r. (2012). The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. . *Biofouling*. 28(7), 664-669.
- Galil, B. S., Clark, P. F. y Carlton, J. (2012). In the Wrong Place — Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts. Invading Nature. *Springer Series in Invasion Ecology* 6. *Journal of Crustacean Biology*, 7-16.
- García, C. y Salzwedel, H. (1993). Recruitment patterns of sessile invertebrates onto fouling plates in the bay of Santa Marta, Colombian caribbean. *Bol. investig. mar. Cost.* vol.22 no.1, 30 - 44.
- Gillis, N., Walters, L., Fernandes, F. y Hoffman, E. (2009). Higher genetic diversity in introduced than in native populations of the mussel *Mytella charruana*: evidence of population admixture at introduction sites. *Diversity Distrib.* 784-795.
- Gittings, S. (2009). Cirripedia (Crustacea) of the Gulf of Mexico. En D. Felder, y D. Camp, *Gulf of Mexico. Origin, waters and biota*. *Biodiversity*. Texas: Texas A&M Press College. 827 pp.
- González, O. (1998). *El océano y sus recursos*. Vol. 6. III. *La vida bentónica en las facies rocosas*. México: Secretaría de Educación Pública (México). 42 pp.
- Gracia, A., Cruz, N., Borrero, G., Báez, D. y Santodomingo, N. (2013). Invertebrados marinos asociados con las plataformas de gas en la guajira (Caribe colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.* 42 (2), 361-386.
- Gracia, A., Medellín, J., Gilagudelo, D. y Puentes, V. (2011). *Guía de las especies introducidas marinas y costeras de Colombia*. Bogotá, Colombia: INVEMAR, serie de publicaciones especiales No 23. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 135 pp.
- Granadillo, L. y Urosa, L. 1984. Véase En: Monaco, C. y Capelo, J. 2002. Los géneros *Balanus*, *Chthamalus* y *Tetraclita* (Crustacea: Cirripedia) en las costas de Nueva Esparta, Venezuela. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Pag. 154: 77-97
- Hellio, C. y Yebra, D. (2009). *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies*. Hong Kong: Woodhead Publishing. 784 pp.
- Hewitt, C. y Campbell, M. (2010). *The relative contribution of vectors to the introduction and translocation of invasive marine species*. Australia: Commonwealth of Australia. pags 56. 16 -17.
- Instituto Nacional de Biodiversidad Santo Domingo. (14 de 07 de 2016). *Biodiversidad de Costa Rica (Mytella guyanensis)*. Obtenido de <http://atta2.inbio.ar.cr>
- Jaramillo, F., Cartaño, G. y Echeverría, F. (2011). Evaluación en campo de formulaciones experimentales de pinturas anti-incrustantes. *Universidad Nacional. DYNA*, 135-143.
- Lim, C., De Voodg, N. y Koh-Siang, T. (2009). Fouling sponges (Porifera) on navigation buoys from Singapore waters. . *The raffles Bulletin of zoology supplement No.22*, 41-58.
- Llorente, E., González, E. y Papavero, N. (2000). *Biodiversidad taxonómica y biogeográfica*

- de artropodos de México: hacia una síntesis de sus conocimientos, vols .II, III: Grupos hexapoda. Cirripedia.* México: Universidad Nacional Autónoma de México. 349 pp.
- Londoño-Mesa, M., Polanía, J. y Vélez, I. (2002). Polychaetes of the mangrove-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence, Western Caribbean. *Wetl. Ecol. Manag.*, 10, 227 - 232.
- Lopez, E. (1998). *El Problema del Biofouling en Intercambiadores de Calor-Condensadores refrigerados por agua de mar.* Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria. 160 pp.
- Low, A., Quijón, P. y Peters, E. (2014). *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México.* ISBN: 978-1-304-90189-7. Edt. Semarnat - Mexico. 629. 55-57.
- Manríquez, P., Fica, E., Ortiz, V. y Castilla, J. (1999). Bio-incrustantes marinos en el canal de Chacao, Chile. Un estudio sobre potenciales interacciones con estructuras manufacturadas por el hombre. *Revista de Biología Marina y Oceanografía Vol. 49, N°2*, 243-26.
- MEPC.1/Circ.792. (2012). Guidance for minimizing the transfer of invasive aquatic species as biofouling (hull fouling) for recreational craft. International Maritime Organization. London. 7 pp.
- MEPC.1/Circ.811. (2013). Guidance for evaluating the 2011 guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species. International Maritime Organization. London. 12 pp.
- Meza, M., Calixto, D., Velosa, L., Acosta, E., Puyana, M., Morales, J. y Panqueva, J. (2007). Valoración de la efectividad antiincrustante de recubrimientos aplicados a embarcaciones que operan en la Bahía de Cartagena. *Ship Science y Technology*, Vol 1, No. 17-25.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA. Vol 1.* Zaragoza: CYTED, ORCYT/UNESCO y SEA . 84pp.
- Mostafa , M. A., Salem , M., Helmi, G. y Asfour, F. (25 de 06 de 2016). "Effect of Flow Velocity on the Surface Fouling". Obtenido de http://www1.mans.edu.eg/faceng/Journal/Abstract/2007/March2007_M3.pdf
- Motor, B. (1993). *The Marine Biology of the South China Sea. Volumen 1.* . Hong Kong: Hong Kong University Print. 578 pp.
- Okolodkov, Y. y García, H. (2014). Agua de lastre y transporte de los organismos incrustantes, leyes y acciones: perspectivas para México. En A. Low, P. Quijón, y E. Peters, *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México.* México. 55 - 80.
- Okolodkov, Y., Bastida, R., Ibáñez, A., Chapman, J., Suárez-Morales, E., Pedroche, F. y Gutiérrez-Mendie, F. (2007). Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar. XI(32)*, 29-67.
- Oriyama, H. y Otani, M. (2004). Paracerceis sculpta (Crustacea: Isopoda: Sphaeromatiidae), a Newly Introduced Species into Osaka Bay, Central Japan. *Benthos Research Vol. 59* , 53-59.
- Ortiz, M., Lalana, R. y Varela, C. (2002). Lista de especies y clave ilustrada para la identificación de los escaramujos (Crustacea y Cirripedia), del Archipiélago. *Rev. Invest. Mar. 23(2)*, 85 pp.
- Pacheco, A. y Garate, A. (2005). Bioincrustantes en estructuras de cultivo de *Argopecten purpuratus* en Bahía Samanco, Perú. *Ecología Aplicada 4(1,2)*, 149 - 152.
- Phys.org. (29 de 07 de 2015). *Paints and coatings containing bactericidal agent nanoparticles combat marine fouling.* Obtenido de <http://phys.org>
- Prato-Valderrama, J. (2009). *Desarrollo de un ensayo in situ para la evaluación preliminar de extractos y compuestos de origen natural como recubrimientos antifouling no tóxicos, en la bahía de Cartagena, Caribe colombiano. Trabajo de grado.* Bogotá, D.C. : Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Programa de Biología Marina. 158 pp.

- Puyana, M., Prato, J. y Díaz, M. (2012). *Mytella charruana* (d'orbigny) (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae) en la Bahía de Cartagena, Colombia. *Bol. Invemar vol.41 no.1*, 2013-2017.
- Railkin, A. (2004). *Marine Biofouling: colonization Process and Defenses. 2004.* . Boca Raton, FL.: CRC Press. 62-63.
- Rilov, G. y Crooks, J. (2009). Biological invasions in marine ecosystems. Ecological, management and geographic perspectives. *Ecological Studies* 204 - 641 .
- Rodríguez , A., Muñoz, I., Bonada, N., Gaudes, A. y Tomanova, A. (2009). La biota de los ríos: los invertebrados. Capítulo 14. En A. Elozegi, y S. Sabater, *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. España. : Universidad del País Vasco. 253 - 270.
- Roux, A. y Bastida, R. (1990). The occurrence of *Sphaeroma serratum* (Fabricius) in the Western South Atlantic (Crustacea: Isopoda). *Proc. Biol. Soc. Wash.* 103 (2), 350-350.
- Salas, M., Bertram, V., Höppner, V. y Fach, K. (2010). Ingeniería Avanzada para Economía de Combustible en Pesqueros. . *Universidad Austral de Chile. Revista Tecnológica ESPOL - RTE, Vol. 23, N. 3.* , 55- 60.
- Schultz, M., Bendick, J., Holm , E. y Hertel, W. (2011). Economic impact of biofouling on a naval surface ship. . *Biofouling* 27(1), 87-98.
- Suarez , N. (2011). *Levantamiento de la línea base de Macromoluscos (Bivalvia- Gastropoda) en la bahía de Cartagena, Caribe Colombiano como contribución a la gestión de agua de lastre en el territorio nacional. Tesis de pregrado. Universidad del Magdalena. Facultad d Ciencia.* Santa Marta, D.T.C.H. 46-71.
- The University of Southern Mississippi. (01 de 11 de 2016). *Gulf Coast Research Laboratory.* Obtenido de <https://www.usm.edu/gcrl/>
- Topolski, M. y Szedlmayer, S. T. (2004). Vertical distribution, size structure, and habitat associations of four Blenniidae species on gas platforms in the northcentral Gulf of Mexico. *Env. Biol. F.*, 70:, 193-201.
- Viéitez, J., Alós, C., Parapar , J., Besteiro , C., Moreira , J., Núñez , J., . . . San Martín , G. (2004). Annelida Polychaeta. En M. Ramos , *Fauna Iberica, Vol. 25.* Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. 530 pp.
- Walker, S., Schlacher, T. y Schlacher-Hoenlinger, M. (2007). Spatial heterogeneity of epibenthos on artificial reefs: fouling communities in the early stages of colonization on an East Australian shipwreck. . *Marine Ecology* 28, 345-445.
- Yebra, D., Kiil, S. y Dam-Johansen, K. (2004). Antifouling Technology: Past, Present and Future Steps Towards Efficient And Environmentally Friendly Antifouling Coatings. . *Progress in Organic Coatings*, 75-104.
- Yidi, E. y Sarmiento, V. (2011). *Colombian seashells from the Caribbean.* . Italia: Editorial L'Informatore. ISBN-13: 9789584475305. 400 pp.
- Young, P. y Campos, N. (1988). Cirripedia (Crustacea) en la zona intermareal e infralitoral de la región de Santa Marta, Colombia. . *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín* 18, 153-164.