



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

EFECTO DE LA EXPOSICIÓN AL OLEAJE EN EL
TAMAÑO Y EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE LOS
NEOGASTRÓPODOS EN SANTA MARTA, COLOMBIAEffect of Wave Exposure on the Size and Condition
Index of Neogastropods in Santa Marta, ColombiaRené RODRÍGUEZ-GRIMÓN^{1,2a*}, Néstor Hernando CAMPOS^{2b}, Ítalo Braga CASTRO^{3c}¹ Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Espíritu Santo, Guayaquil, Ecuador.² Instituto de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR, Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, Santa Marta, Colombia.³ Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal de São Paulo, Sao Paulo, Brasil.^a rrodriguez@uees.edu.ec^b nhcamposc@unal.edu.co^c ibcastro@unifesp.br

* Correspondencia: rrodriguez@uees.edu.ec

Recibido: 27 de agosto de 2020. Revisado: 07 de agosto de 2022. Aceptado: 26 de septiembre de 2023.

Editor asociado: Hernán Mauricio Romero

Citation/ citar este artículo como: Rodríguez-Grimón, R., Campos, N. H., Castro, I.B. (2024). Efecto de la exposición al oleaje en el tamaño y el índice de condición de los neogastrópodos en Santa Marta- Colombia. *Acta Biol Colomb*, 29(1), 24-31. <https://doi.org/10.15446/abc.v29n1.89120>

RESUMEN

La estructura poblacional y condición somática de gastrópodos intermareales puede ser afectada por el grado de exposición al oleaje en litorales rocosos. Se estudió la influencia de exposición a las olas, la temporalidad climática en las tallas y la condición somática de dos especies de neogastrópodos intermareales (*Plicopurpura patula* y *Vasula deltoidea*), en diferentes sitios dentro de la franja costera de Santa Marta, Caribe colombiano. Estudio realizado en dos zonas, la Bahía de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona, donde se establecieron cuatro estaciones de recolecta. El estudio se extendió entre los años 2015 al 2017 con ocho campañas de muestreo. Se determinaron la talla, peso de las conchas, proporción de bioincrustaciones, índice de condición y un índice de exposición al oleaje. Solo en *P. patula* se observó una relación directa y significativa entre el nivel de exposición al oleaje y las tallas ($p = 0,011$, $r^2 = 0,683$). La variación significativa del índice de condición se presentó en *V. deltoidea* cuando los especímenes recolectados del intermareal superior superaron los valores de los extraídos en el supralitoral hasta dos metros de profundidad. La exposición al oleaje afecta mucho más a la especie *P. patula*, la cual se encuentra en las zonas supralitoral, presentando mayores tallas en los sitios con mayor exposición al oleaje.

Palabras clave: condición somática, ecología marina, gastrópodos, talla de concha, zona intermareal.

ABSTRACT

The population structure and somatic condition of intertidal gastropods can be affected by the degree of exposure to waves on rocky coasts. We studied the influence of wave exposure and climatic temporality on the sizes and somatic condition of two species of intertidal neogastropods (*Plicopurpura patula* and *Vasula deltoidea*), at different sites within the coastal strip of Santa Marta, Colombian Caribbean. The study was conducted in two areas, Santa Marta Bay and Tayrona National Natural Park, where four collection stations were established. The study was carried out from 2015 to 2017 with eight sampling campaigns. Shell size, weight, biofouling proportion, condition index, and wave exposure index were determined. Only in *P. patula* was there a direct and significant relationship between the level of exposure to waves and sizes ($p = 0.011$, $r^2 = 0.683$). Significant variation in the condition index occurred in *V. deltoidea* when specimens collected from the upper intertidal exceeded the values of those extracted from the supralitoral up to two

meters depth. Wave exposure affects the species *P. patula*, which is found in the supralittoral zones, presenting larger sizes in the sites with greater wave exposure.

Keywords: gastropods, intertidal zone, marine ecology, shell size, somatic condition

INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras y marinas son espacios muy relevantes a escala global para abordar procesos de gestión y conservación. Esto se debe a las interacciones naturales que caracterizan el área de intercambio entre la tierra y el mar, y a la localización de los principales asentamientos de población con actividades inherentes al desarrollo económico (García, 2020). Las iniciativas de manejo de los ecosistemas marino-costeros requieren de información sobre la biodiversidad e integridad de las comunidades biológicas (Marigómez *et al.*, 2013). La zona intermareal es un ecosistema complejo y dinámico que está expuesto a una amplia gama de factores físicos y ambientales, incluyendo la exposición a las olas, que pueden tener un impacto significativo en la distribución y abundancia de los organismos intermareales (Trussel y Etter, 2001; Burrows *et al.*, 2008).

En el Caribe colombiano, los neogastrópodos intermareales son un componente importante de este ecosistema, proporcionando funciones y servicios ecológicos clave. Sin embargo, la influencia de la exposición a las olas sobre el tamaño y condición de estos organismos en esta región no es bien conocida. En este estudio, investigamos los efectos de la exposición al oleaje y la estacionalidad climática sobre el tamaño y el índice de condición de dos especies de neogastrópodos intermareales, en diferentes sitios dentro de la franja costera de Santa Marta. Nuestra hipótesis era que la exposición a las olas afectaría al tamaño y condición de estos organismos, con una mayor exposición a las olas resultando en tamaños más grandes y un mayor índice de condición. La comprensión de los factores que influyen en el tamaño y el estado de los neogastrópodos intermareales nos permitirá informar mejor las iniciativas de gestión y conservación destinadas a proteger estos valiosos organismos y el ecosistema que habitan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las zonas seleccionadas para el estudio fueron la Bahía de Santa Marta (BSM) y el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT). La BSM es una bahía semicerrada, se encuentra entre 11° 13' 16" N - 74° 14' 29" O y 11° 15' 10" N - 74° 13' 30" O, siendo su área superficial aproximada a 5 km². La línea costera está limitada al norte y al sur por formaciones rocosas, y en su parte central predomina la playa arenosa. Dentro de la BSM fueron seleccionadas las estaciones: Marina Internacional de Santa Marta (11° 14' 31" N y 74° 13' 4" O) y Punta de Betín (11° 15' 6" N y 74°

13' 18" O), cercano al Puerto Marítimo de Santa Marta. El PNNT se encuentra al norte de la ciudad de Santa Marta, tiene una extensión de 12692.2 Ha terrestres y 6564.4 Ha marinas, y está ubicado entre las coordenadas 11° 16' 20" N - 74° 12' 22" O y 11° 17' 50" N y 73° 53' 32" O. Dentro del PNNT fueron seleccionadas las estaciones de Bahía Concha y Nenguange, situadas al noroeste de las playas principal de Concha (11° 18' 00" N - 74° 8' 56" O) y principal de Nenguange (11° 19' 27" N - 74° 4' 42" O), respectivamente.

El clima e hidrografía de Santa Marta están influenciados por los vientos Alisios del noroeste, que constituyen el factor climático dominante de la región. Cuando los vientos soplan con fuerza, se presenta escasez de lluvias y un ambiente seco, cuando bajan de intensidad aparecen las lluvias. El período seco se presenta entre diciembre y abril con una precipitación acumulada inferior a los 35 mm, siendo los meses de enero, febrero y marzo los más secos, con un promedio de 2 mm. El período lluvioso se extiende entre los meses de mayo y noviembre, siendo octubre el mes de mayor precipitación con un promedio histórico de 110 mm. Las temperaturas del agua superficial son relativamente uniformes, es decir, presentan una variación muy pequeña a lo largo de los meses secos y lluviosos, con medias de 26,8 y 27,7 °C, respectivamente (IDEAM, 2020).

Estimación de exposición al oleaje

Para la estimación de la influencia de olas se utilizó un índice de exposición al oleaje (F) basado en un método que considera la búsqueda de la superficie terrestre más cercana en sectores angulares alrededor del punto de interés; con tres etapas: (1) creación de cuadrículas con vectores sobre un mapa base, (2) obtención de olas por cada sitio, determinada como el promedio de las distancias a la superficie terrestre más cercana en 16 sectores angulares, utilizando búsquedas de las superficies terrestres circundantes hasta una distancia de 200 km, y (3) las condiciones del régimen de vientos (velocidad media y dirección proporcional) en las zonas costeras cercanas. La base del método fue la determinación del alcance de la ola, definido como la distancia promedio a la tierra más cercana, en cada uno de los 16 sectores angulares iguales de 22,5° (Burrows *et al.*, 2008). Debido a que las olas generadas por el viento provocan fluctuaciones del nivel del mar en la costa en escalas de tiempo que van desde unos pocos segundos (subida individual de las olas) hasta unas pocas horas (configuración inducida por las olas) (Dodet *et al.*, 2019), en el estudio se consideró la información de vientos

predominantes del área. La Información se obtuvo del sistema de datos abiertos proporcionados por la Dirección General Marítima (DIMAR) de Colombia, procedentes de la Estación Meteorológica de Santa Marta. Se contó con cuatro mediciones diarias de la dirección y velocidad del viento durante una hora, para un total de 1688 datos, entre el periodo de enero de 2016 y febrero de 2017.

Muestreo biológico

Se estudiaron dos especies de neogastrópodos de la familia Muricidae *Plicopurpura patula* - Linnaeus 1758 y *Vasula deltoidea* - Lamarck 1822, que se presentan frecuentemente en el área del Caribe en general (Díaz y Puyana, 1994). Estas especies son de nicho depredador, lo que las convierte en organismos clave que controlan y estructuran las comunidades en las que se encuentran (Rilov, *et al.*, 2001; Sharp y Delgado, 2015).

Cada campaña de recolecta se realizó considerando las temporadas climáticas de lluvia y seca, entre los años 2015 (abril, julio y octubre), 2016 (marzo, mayo, agosto y noviembre) y 2017 (febrero), para un total de ocho campañas en las cuatro estaciones de monitoreo. La colecta se llevó a cabo únicamente sobre sustrato rocoso, en la zona intermareal y hasta 2 m de profundidad en la infralitoral. En cada muestreo se empleó el esfuerzo de colecta de dos personas por un tiempo límite de una hora. Cada espécimen fue extraído al azar con ayuda de pinzas quirúrgicas de 20 cm, fue narcotizado con MgCl al 3 %, y posteriormente sacrificado y fijado en alcohol al 75 %. El procesamiento de las muestras se realizó en el laboratorio de docencia (húmedo y múltiple) adjudicado por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR.

La identificación taxonómica de las especies se confirmó por comparación visual con las colecciones presentes en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNC), sede en el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR); la vigencia de los nombres se verificaron según la clasificación del Registro Mundial de Especies Marinas (WoRMS, 2019).

Fueron registradas las medidas de las variables biométricas de talla de la concha (LC), entre los extremos del ápice hasta el canal sifonal por medio de vernier digital ($\pm 0,01$ mm) marca Cachor. La estimación de las incrustaciones de algas colonizadoras y epibiontes en concha se realizó al pesar la concha con las incrustaciones y luego restarle el peso de las conchas limpias. El peso de los especímenes “con y sin concha” y las incrustaciones, se realizaron en una balanza analítica ($\pm 0,001$ g) marca Ohaus modelo Pioneer. La determinación del sexo se realizó con base en la presencia o ausencia de: (1) una glándula del albumen (órgano femenino situado inmediatamente en la parte posterior de la glándula de la cápsula); (2) la glándula de la cápsula en hembras; y (3) pene en machos (Gibbs y Bryan, 1994; Gibbs *et al.*, 1987).

Se estimó la condición somática de la concha mediante la razón entre el peso de la concha y la talla. El nivel de cobertura de las incrustaciones en la concha se estimó a través de las proporciones que representaron las incrustaciones en el peso de la concha sin incrustaciones. El índice de condición (IC) se calculó según Ureña (2007), obteniendo la razón entre el peso del individuo sin concha y la talla de la concha elevado al cubo (g/cm^3). El nivel de cobertura de incrustaciones en la concha se estimó con el cálculo del porcentaje del peso de incrustaciones en relación al peso de la concha.

Análisis de datos

Para evaluar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza en los datos para cada variable, se ejecutaron pruebas de Shapiro y Wilk (1965) y Levene (1960), respectivamente. La comparación entre medias se realizó mediante ANOVA de una vía y la prueba t de Welch. Si se detectó una diferencia significativa, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey. Cuando los supuestos no fueron cumplidos se realizó el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis y contrastes por medio de la suma de rangos de Wilcoxon con corrección de continuidad. Se realizaron contrastes de homogeneidad en variables cualitativas para saber si los datos de conteos de la variable especie en varios sitios o temporadas climáticas (lluvia y seca) tienen una misma distribución, con las pruebas Chi-cuadrado y la razón de verosimilitud con corrección de Williams (1976). Se realizaron análisis de regresión lineal simple, para observar el efecto de la exposición al oleaje sobre la talla y el IC. Todo el manejo de datos se realizó con el programa “R”, mediante la interfase RWizard (Guisande *et al.*, 2013), aceptando un error inferior al 5 % ($p < 0,05$) para considerar significancia estadística.

RESULTADOS

Especies recolectadas

Un total de 362 ejemplares de *P. patula* fueron recolectados en la zona intermareal (planos supralitoral y mesolitoral), mientras que los 177 especímenes de *V. deltoidea* estuvieron limitados a la zona submareal (plano infralitoral), solo en SM fueron extraídos inmediatamente por debajo de la línea de agua intermareal, mientras que en las restantes estaciones se colectaron en una profundidad entre 1 a 2 m de la superficie. Hubo una recolecta mayor de especímenes de *P. patula* durante los meses de seca (Chi^2 , $X = 16,47$, $p = 0,001$), mientras que para *V. deltoidea* no hubo diferencias en relación a la cantidad de organismos recolectados entre temporadas climáticas ($p = 0,598$). La relación hembra-macho en *P. patula* fue de 2,1:1,0, mientras que para *V. deltoidea* fue de 1,4:1,0; aunque fue tendencia colectar más hembras que machos dentro de las poblaciones de

neogastrópodos estudiadas, no hubo diferencias entre las proporciones de sexos dentro de cada especie (χ^2 , $X = 4,91$, $p = 0,179$).

Para las estaciones de monitoreo en Santa Marta se obtuvo un rango de tallas de *P. patula* entre 10,2 y 74,1 mm, destacando que no se observaron diferencias significativas de tallas entre sexos que evidencie dimorfismo sexual a través de la concha. La población de caracoles recolectados en SM presentó los tamaños menores, mientras que en PdB y Neg se recolectaron los mayores (Tabla 1). En *V. deltoidea* el rango de tallas estuvo entre 22,0 y 51,7 mm y se evidenció dimorfismo sexual en relación a las tallas de las hembras que mostraron un promedio de 38,6 mm, significativamente superior a los machos con 35,8 mm ($t = 3,38$, $p = 0,001$). En la comparación entre zonas, para ambas especies se presentaron los caracoles más grandes en el área protegida del PNNT con diferencias significativas sobre los recolectados en BSM ($t = -4,97$, $p < 0,001$).

Tabla 1. Talla promedio de la concha y desviación estándar entre sexos para *Plicopurpura patula* y *Vasula deltoidea* recolectados en diferentes estaciones de Santa Marta, Caribe colombiano.

Especie / Estación	N (H/M)	Talla de la concha (mm)		
		H	M	valor p^*
<i>Plicopurpura patula</i>				
SM	59/33	20.01 ± 7.76 ^b	21.90 ± 5.21 ^b	0.172
PdB	65/28	32.02 ± 12.13 ^a	32.61 ± 8.05 ^a	0.798
BC	64/21	23.37 ± 3.05 ^b	23.35 ± 3.48 ^b	0.981
Neg	56/36	28.48 ± 9.48 ^a	29.78 ± 4.83 ^a	0.393
<i>Vasula deltoidea</i>				
SM	31/5	37.03 ± 6.06 ^{ab}	28.38 ± 5.70 ^c	0.036
PdB	16/14	35.00 ± 4.06 ^b	33.84 ± 3.31 ^b	0.413
BC	37/29	40.45 ± 4.84 ^a	37.82 ± 3.53 ^a	0.015
Neg	18/27	39.30 ± 2.82 ^{ab}	36.44 ± 2.67 ^{ba}	0.018

*Prueba t de Welch para dos muestras independientes. Letras diferentes en el superíndice reflejan la diferencia significativa al comparar tallas entre sitios por cada sexo ($p < 0.05$): N: cantidad de recolectados; H: Hembra, M: Macho. SM: Marina de Santa Marta; PdB: Punta de Betín, BC: Bahía Concha; Neg: Nenguange.

Las variables de talla y peso de las conchas se relacionaron significativamente basada en ecuación potencial (*P. patula*: $r^2 = 0,966$; *V. deltoidea*: $r^2 = 0,784$) (Fig. 1A). El peso de la concha relativo a la talla fue diferente entre especies, con valores muy superiores en *V. deltoidea* sobre *P. patula*. En *V. deltoidea* persistió el dimorfismo sexual, en el que las hembras registraron conchas con mayor peso relativo que los machos ($t = 2,01$, $p = 0,047$); y que en los sitios correspondientes al PNNT (BC y Neg), se encontraron pesos relativos similares entre sí, pero significativamente mayores con respecto a los sitios de BSM (SM y PdB). En *P. patula*, el peso de la concha relativo a la talla sin distinguir sexos indicó en PdB y Neg los valores mayores (Kruskal-Wallis, $H = 63,42$, $p < 0,001$) (Fig. 1B).

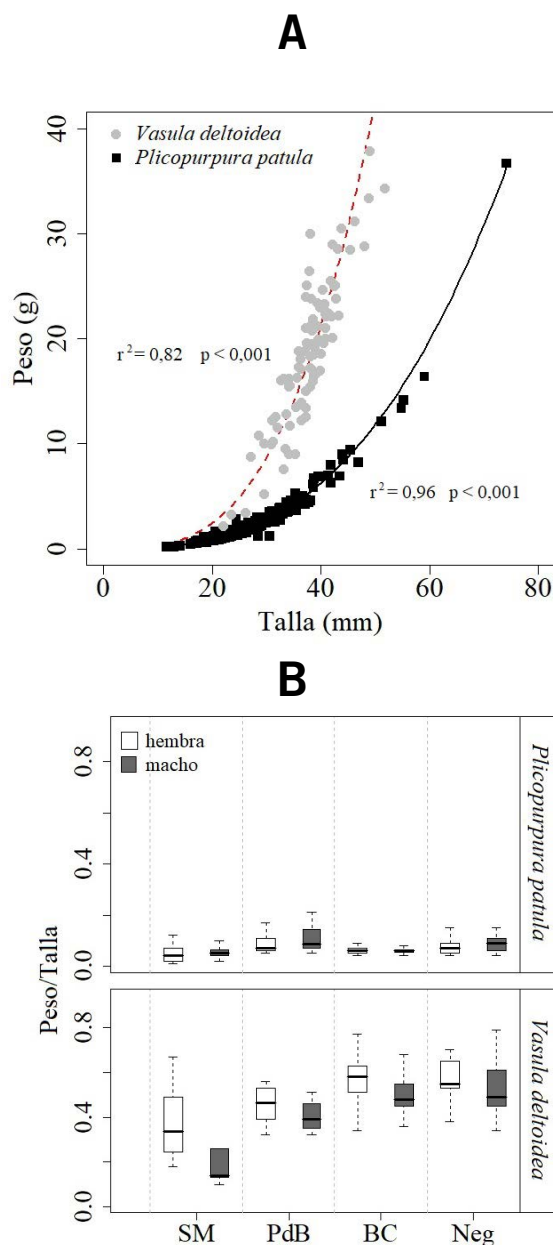


Fig 1. Relación entre talla y peso de la concha para *Plicopurpura patula* y *Vasula deltoidea* (A). Comportamiento del peso relativo a la talla entre sexos para cada estación de recolecta (B).

Las incrustaciones que presentaron las conchas difirieron en relación a los tipos de organismos incrustantes, en *P. patula* se encontraban balanos y túbulos de poliquetos de fácil remoción; mientras que en *V. deltoidea* predominaban las incrustaciones calcáreas procedentes de algas coralinas, las que se encontraban íntimamente adheridas a las superficies de las conchas formando varias capas. En *P. patula*, los porcentajes mayores de peso en incrustaciones se presentaron en SM (7,0 %), con diferencias significativas con respecto al resto de las estaciones: PdB = 4,9 %, BC = 1,9 %

y Neg = 2,3 % (Kruskal-Wallis, $H = 54,15$, $p < 0,001$). En *V. deltoidea* donde se pudo retirar las incrustaciones desde la superficie de la concha, se estimó la prevalencia; registrando en SM el 29,4 % de conchas con incrustaciones, seguido de PdB con 46,7 %. En las estaciones del PNNT, se presentó entre 91,1 y 93,9 % para Neg y BC, respectivamente.

El índice de condición (IC) durante los meses de lluvia se presentó con los valores menores, y aumentó gradualmente hacia los meses de sequía (diciembre - abril) (Fig. 2). La comparación entre especies mostró a los especímenes de *P. patula* con mayor IC que los de *V. deltoidea* (Wilcoxon, $W = 3725$, $p < 0,001$). La comparación intraespecífica mostró que especímenes de *V. deltoidea* recolectados en el intermareal superior de SM tenían valores mayores de IC que los extraídos en el submareal hasta 2 m de profundidad (Tabla 2).

Tabla 2. Índice de condición de *Plicopurpura patula* y *Vasula deltoidea* colectadas en estaciones de la franja costera de Santa Marta, Caribe colombiano.

Estación	Índice de Condición (g/cm ³)		valor p*
	<i>Plicopurpura patula</i>	<i>Vasula deltoidea</i>	
SM	0.043 ± 0.008 ^b	0.047 ± 0.003 ^a	0.253
PdB	0.054 ± 0.010 ^a	0.038 ± 0.004 ^b	< 0.001
BC	0.046 ± 0.009 ^{ab}	0.033 ± 0.006 ^c	0.010
Neg	0.022 ± 0.018 ^c	0.033 ± 0.006 ^c	0.187

*Suma de rangos de Wilcoxon con corrección de continuidad para dos muestras independientes. Letras diferentes en el superíndice reflejan la diferencia significativa al comparar IC entre estaciones por cada especie ($p < 0,05$). SM: Marina de Santa Marta; PdB: Punta de Betín, BC: Bahía Concha; Neg: Nenguange.

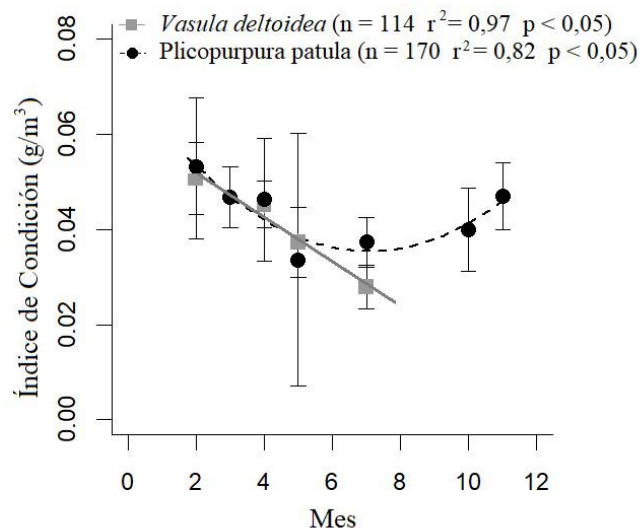


Fig 2. Valores del Índice de Condición para *Plicopurpura patula* y *Vasula deltoidea* recolectados en la franja costera de Santa Marta, Caribe colombiano.

Exposición al oleaje

Los vientos predominantemente en la franja costera de Santa Marta fueron del Norte-Noreste, este fue un factor importante en la interpretación de la exposición al oleaje en cada estación de monitoreo. Por consiguiente, el sitio SM fue el menos expuesto al oleaje y los vientos predominantes, mientras que PdB fue el más expuesto, registrando promedio de las líneas en dirección norte de 135,2 km, para que el recorrido del viento pueda generar oleaje. En el mismo sentido, Neg fue el segundo más expuesto a la acción de las olas, seguido de BC (Tabla 3). Al relacionar la exposición al oleaje con el comportamiento de las tallas, se evidenció una relación directa y ajuste significativo en *P. patula* ($F = 12,9$, $p = 0,011$, $r^2 = 0,683$), destacando que a mayores valores de exposición a olas se observaron las mayores tallas. Por su parte *V. deltoidea* no mostró una relación y ajuste significativo con respecto al efecto del oleaje sobre su talla ($F = 0,8$; $p = 0,778$, $r^2 = 0,014$). No se presentó relación entre la exposición al oleaje y el índice de condición en ninguna de las especies: *P. patula* ($F = 2,6$; $p = 0,160$; $r^2 = 0,299$), *V. deltoidea* ($F = 0,2$; $p = 0,662$; $r^2 = 0,033$).

Tabla 3. Índice de exposición al oleaje por estación de muestreo en la franja costera de Santa Marta, Caribe colombiano.

Estaciones	Exposición a las olas (km)				
	Norte	Este	Sur	Oeste	Promedio
SM	45.0	0.1	0.0	0.0	11.3
PdB	135.2	0.0	6.0	144.1	71.3
BC	44.8	0.0	1.2	46.4	23.1
Neg	89.1	0.0	0.7	1.7	22.9

SM: Marina Internacional de Santa Marta; PdB: Punta de Betín; BC: Bahía de Concha; Neg: Nenguange.

DISCUSIÓN

El rango de talla en *P. patula* (10,2 - 74,1 mm) abarcó y fue representativo de las tallas registradas para la especie dentro del Mar Caribe, siendo incluso más amplio que el encontrado por Susan (2004) "publisher-place": "Xalapa, México", "number-of-pages": "56", "genre": "Especialización", "event-place": "Xalapa, México", "URL": "https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/47503/SusanTepetlanPalomaV.pdf?sequence=1", "author": [{"family": "Susan", "given": "P"}], "issued": {"date-parts": [{"2004"}]}, "suppress-author": true, "schema": "https://github.com/citation-style-language/raw/master/csl-citation.json" en la playa rocosa de Boca Andrea en Veracruz-Golfo de México (16,0 a 45,0 mm), y de igual manera que los recolectados por Paz-Villarraga *et al.* (2015) en toda la franja costera de Venezuela (19,5 a 33,0 mm). Por su parte, *V. deltoidea* con tallas entre 22,0 y 51,7 mm, registró dimorfismo sexual con hembras más grandes, lo cual es común en gastrópodos de la familia muricidae (Son y Hughes, 2000).

Las tallas menores para *P. patula* en la estación SM, en comparación con el resto de las estaciones, pueden deberse a diferencias en el tipo de sustrato rocoso (artificial), mayor cobertura de epibiontes incrustantes en las conchas y exposición menor al oleaje; este último factor físico mostró una relación directa con la talla. Contrariamente a lo observado, Etter (1989), en *Nucella lapillus* señaló que las tallas mayores eran de zonas menos expuestas al oleaje; aunque, según Richardson y Brown (1990), esto es además dependiente de otros factores como la disponibilidad de presas para muricidos depredadores. En el mismo sentido García-Ibáñez *et al.* (2004), indicaron que *P. patula pansa* presentó una relación directa entre las tallas con respecto al tipo de sustrato (natural o artificial) y la exposición del oleaje; resultado que concuerda con lo encontrado en *P. patula* donde las mayores tallas se encontraron en sitios más expuestos a las olas. Contrario a *V. deltoidea* que no presentó relación entre la exposición al oleaje con la talla, lo cual se explica por el hábitat submareal que generalmente ocupó en donde las condiciones son más estables, con baja influencia del golpe de oleaje (Elhasni *et al.*, 2018).

La dependencia de la variable peso de la concha en relación con la talla presentó mayor significancia en la especie *P. patula*. El coeficiente de determinación de la relación peso-talla de las conchas fue inferior en las poblaciones submareales de *V. deltoidea* (78,4%) comparado con las poblaciones intermareales de *P. patula* (96,6%), lo que refleja que una mayor variabilidad en el peso de la concha no es explicada por la talla en *V. deltoidea*; el resultado puede justificarse por características típicas de la especie, con las adaptaciones que ha tenido cada una a las distintas presiones ambientales del hábitat que ocupan (Elhasni *et al.*, 2017).

Las incrustaciones de algas coralinas de difícil remoción que poseían las conchas de *V. deltoidea*, pudieron afectar la relación entre el peso de la concha con la talla, y aunque en el presente estudio no se evidenció que esta epibiosis cambiara las características de la concha y eventualmente influenciara en alguna propiedad biológica de talla o la forma, como lo describió Wahl (1996), coincidimos con los autores Vasconcelos *et al.* (2007), quienes evidenciaron que el “fouling” de las conchas de *Hexaplex trunculus* fue un fenómeno dependiente del tiempo, y que la cobertura de la concha por epibiontes dependió directamente de la edad o el tamaño de la concha. Esto pudo haber sido lo que ocurrió con *V. deltoidea* que en la zona BSM donde presentó las menores tallas, tuvo a su vez la menor presencia de incrustaciones en las conchas.

Una variable adicional que podría ayudar a esclarecer las disparidades observadas en las dimensiones de las conchas de los gastrópodos colectados en diversos sitios es el fenómeno de imposex, que se presenta como la presencia de características sexuales masculinos en individuos femeninos, provocado por la contaminación marina. Este fenómeno es frecuente en regiones costeras cercanas a rutas de navegación marítima,

y podemos ilustrarlo con ejemplos específicos de nuestra área de investigación. (El Ayari *et al.*, 2015; Rossato *et al.*, 2018; Schøyen *et al.*, 2019; Rodríguez-Grimón *et al.*, 2020; Rodríguez-Grimón *et al.*, 2021), incluso con efecto mayor que la exposición al oleaje (Otegui *et al.*, 2019).

La variación temporal en el índice de condición en ambas especies pudo estar vinculada a la maduración sexual (Mubiana *et al.*, 2006; Elhasni *et al.*, 2018). Las diferencias interespecíficas encontradas además de ser dependientes del tipo de especie, fueron asociadas al efecto de la distribución vertical del hábitat intermareal y submareal que ocuparon *P. patula* y *V. deltoidea*, respectivamente. Es conocido que las condiciones ambientales más inestables del intermareal en comparación con las aguas más profundas a nivel costero, generan variabilidad interindividual en poblaciones (Elhasni *et al.*, 2018); esto se corroboró cuando los especímenes de *V. deltoidea* recolectados en el intermareal de SM, con influencia de los cambios de marea y exposición a las olas, mostraron una condición significativamente mayor a los ejemplares de la misma especie recolectados a una profundidad promedio de 2 m en las demás estaciones.

CONCLUSIONES

La exposición a las olas tiene un impacto directo y significativo en el tamaño de los individuos de *P. patula* que se encuentran en el hábitat intermareal. En cuanto a la variación en el Índice de Condición (IC), no se observaron diferencias significativas en función de la exposición a las olas en diferentes áreas del intermareal. Sin embargo, se encontraron diferencias notables en la profundidad, ya que los ejemplares de *V. deltoidea* recolectados en el intermareal mostraron un IC más alto en comparación con los de la misma especie que se encontraban en el submareal a una profundidad de hasta 2 metros.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

RR-G: Diseño del estudio, recolección de datos de campo, análisis estadístico y redacción del manuscrito. NHC: Recolección de datos de campo, recursos técnicos, revisión crítica del contenido y supervisión del proyecto. ÍBC: Revisión crítica del contenido y aportes sustanciales a la interpretación de los resultados.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, por el financiamiento a través del proyecto “Efecto tributilo de estaño en gastrópodos del Caribe, el imposex” (Cód. HERMES 2747). A la Universidad Espíritu Santo-Ecuador, por el soporte logístico. Al INVEMAR, por permitir el acceso a laboratorios. Las recolectas de gastrópodos se realizaron con la autorización de Parques Nacionales Naturales No. 008 de 2015 (Permiso

marco de recolección Universidad Nacional de Colombia. Resolución 0255 del 12 de marzo de 2014 de la ANLA).

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses que puedan influir en los resultados o interpretaciones presentadas en este artículo.

REFERENCIAS

- Burrows, M. T., Harvey, R. y Robb, L. (2008). Wave exposure indices from digital coastlines and the prediction of rocky shore community structure. *Mar Ecol Prog Ser*, 353:1–12. <http://dx.doi.org/10.3354/meps07284>
- Díaz, J., y Puyana, M. (1994). Moluscos del Caribe Colombiano: Un catálogo ilustrado. Colciencias-Fundación Natura-Invenmar. P.1-377.
- Dodet, G., Melet, A., Ardhuin, F., Bertin, X., Idier, D. y Almar, R. (2019). The Contribution of Wind-Generated Waves to Coastal Sea-Level Changes. *Surv Geophys*, 40:1563–1601. <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09557-5>
- El Ayari, T., Lahbib, Y. y El Menif, N. T. (2015). Associated fauna and effects of epibiotic barnacles on the relative growth and reproductive indices of *Stramonita haemastoma* (Gastropoda: Muricidae). *Sci Mar*, 79(2):222–232. <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.04151.18A>
- Elhasni, K., Vasconcelos, P., Ghorbel, M. y Jarboui, O. (2017). Harvesting and population status of *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae) in intertidal areas along the Gulf of Gabès (southern Tunisia). *J Coast Conserv*, 22(2):347–360. <https://doi.org/10.1007/s11852-017-0583-8>
- Elhasni, K., Vasconcelos, P., Ghorbel, M. y Jarboui, O. (2018). Comparison of weight-length relationships and relative growth between intertidal and offshore populations of *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae) from the Gulf of Gabès (southern Tunisia). *Biol*, 73(191-196). <https://doi.org/10.2478/s11756-018-0021-x>
- Etter, R. J. (1989). Life history variation in the intertidal snail *Nucella lapillus* across a wave-exposure gradient. *Ecol*, 70(6):1857–1876. <https://doi.org/10.2307/1938118>
- García, M. (2020). Conceptos y límites de las zonas costeras y marinas para una gestión integrada a partir de la capacidad de carga y los valores ecosistémicos. En: Capacitat de càrrega i gestió adaptativa per a la preservació dels ecosistemes marins i costaners. Carolina Martí Llambrich (ed.), (pp. 119). Girona: Documenta Universitaria.
- García-Ibáñez, S., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P. y Valdés-González, A. (2004). Densidad y tallas de *Plicopurpura patula pansa* relacionadas con el sustrato y oleaje en la costa rocosa de Guerrero, México. *Hidrobiológica*, 14(2):127–136.
- Gibbs, P. E., y Bryan, G. W. (1994). Biomonitoring of tributyltin (TBT) pollution using the imposex response of neogastropod molluscs. *BioCoWaEs*, 54:205–226.
- Gibbs, P. E., Bryan, G. W., Pascoe, P. L. y Burt, G. R. (1987). The use of the dog-whelk, *Nucella lapillus*, as an indicator of tributyltin (TBT) contamination. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 67(3):507–523. <https://doi.org/10.1017/s0025315400027260>
- Guisande, C., Lise, A. V., y Felpeto, A. B. (2013). Tratamiento de datos con R, Estadística y SPSS. (pp.1-978). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) (2020). Recuperado el 01/09/2020. p.1–48. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>.
- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances In Olkin I, Ghurye SG, Hoefding W, Madow WG, Mann HB., editors. Contributions to probability and statistics: essays in honor of Harold Hotelling. Menlo Park, CA: Stanford University Press.
- Marigómez, I., Garmendia, L., Soto, M, Orbea, A., Izagirre, U. y Cajaraville, M. P. (2013). Marine ecosystem health status assessment through integrative biomarker indices: A comparative study after the Prestige oil spill “Mussel Watch”. *Ecotoxicology*, 22(3):486–505. <https://doi.org/10.1007/s10646-013-1042-4>
- Mubiana, V. K., Vercauteren, K. y Blust, R. (2006). The influence of body size, condition index and tidal exposure on the variability in metal bioaccumulation in *Mytilus edulis*. *Environ Pollut*. 144(1):272–279. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.017>
- Otegui, M. B., Zamprogno, G. C., França, M. A., Daros, B. N., Albino, J., y Costa, M. B. (2019). Imposex response in shell sizes of intertidal snails in multiple environments. *J Sea Res*. 147:10–18. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2019.02.003>
- Paz-Villarraga, C. A., Castro, Í. B., Miloslavich, P., y Fillmann, G. (2015). Venezuelan Caribbean Sea under the threat of TBT. *Chemosphere*. 119:704–710. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.068>
- Richardson, T. D., y Brown, K. M. (1990). Wave exposure and prey size selection in an intertidal predator. *J Exp Mar Biol Ecol*. 142(1):105–120. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(90\)90140-8](https://doi.org/10.1016/0022-0981(90)90140-8)
- Rilov, G., Benayahu, Y., y Gasith, A. (2001). Low abundance and skewed population structure of the whelk *Stramonita haemastoma* along the Israeli Mediterranean coast. *Mar Ecol Prog Ser*. 218:189–202. <https://doi.org/10.3354/meps218189>
- Rodríguez-Grimón, R., Campos, N., y Braga, I. (2020). Imposex incidence in gastropod species from Santa Marta coastal zone, Colombian Caribbean Sea. *Bull Environ Contam Toxicol*. 105:728–735. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03020-7>

- Rodríguez-Grimón, R., Campos, N., y Braga I. (2021). Effect of Maritime Traffic on Water Quality Parameters in Santa Marta, Colombia. *J. Mar. Sci. Eng.* 9(5):474. <https://doi.org/10.3390/jmse9050474>
- Rossato, M., Costa, M. B., de Castro, Í. B., y Pinho, G. L. L. (2018). Size, season and origin of gastropods matter in imposex assessments. *Ecotox Environ Safe.* 159:324–331. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.013>
- Schøyen, M., Green, N. W., Hjermann, D. Ø., Tveiten, L., Beylich, B., Øxnevad, S., y Beyer, J. (2019). Levels and trends of tributyltin (TBT) and imposex in dogwhelk (*Nucella lapillus*) along the Norwegian coastline from 1991 to 2017. *Mar Environ Res.* 144:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.11.011>
- Shapiro, S. S., y Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika.* 52:591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Sharp, W. C., y Delgado, G. A. (2015). Predator-prey interactions between the corallivorous snail *Coralliophila abbreviata* and the Carnivorous deltoid rock snail *Thais deltoidea*. *Biol Bull*, 229:129–133. <https://doi.org/10.1086/BBLv229n2p129>
- Son, M. H., y Hughes, R. N. (2000). Sexual dimorphism of *Nucella lapillus* (Gastropoda: Muricidae) in north wales, UK. *J Mollus Stud.* 66(4):489–498. <https://doi.org/10.1093/mollus/66.4.489>
- Susan, P. (2004). Análisis de datos biométricos del molusco *Purpura patula* (Lineo, 1758) de la playa rocosa de Boca Andrea. [Trabajo de Especialización]. Universidad Veracruzana. p. 1-56.
- Trussel, G. C., y Etter, R. J. (2001). Integrating genetic and environmental forces that shape the evolution of geographic variation in a marine snail. *Contemporary Issues in Genetics and Evolution*, 321–337. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0585-2_20
- Ureña, R. (2007). Metalotioneínas en peces y gasterópodos: Su aplicación en la evaluación de la contaminación. [Tesis Doctoral]. Facultat de Ciències Biològiques. Universitat de València. p. 1-218.
- Vasconcelos, P., Cúrdia, J., Castro, M., y Gaspar, M. B. (2007). The shell of *Hexaplex* (Trunculariopsis) *trunculus* (Gastropoda: Muricidae) as a mobile hard substratum for epibiotic polychaetes (Annelida: Polychaeta) in the Ria Formosa (Algarve coast-Southern Portugal). *Hydrobiologia*, 575(1):161–172. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0367-x>
- Wahl, M. (1996). Fouled snails in flow: potential of epibionts on *Littorina littorea* to increase drag and reduce snail growth rates. *Mar Ecol Prog Ser* 138:157–168. <https://doi.org/10.3354/meps138157>
- WoRMS (Registro mundial de especies marinas). (27 de septiembre de 2019). *Plicopurpura patula* (Linnaeus, 1758) y *Vasula deltoidea* (Lamarck, 1822)}World Regist. Mar. Species. <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=396994>