

## Gasterópodos asociados al alga calcárea *Halimeda opuntia* (Udoteaceae) en Puerto Rico

Cedar I. García-Ríos<sup>1</sup>, Francisco J. Soto-Santiago<sup>2</sup>, Ricardo J. Colón-Rivera<sup>3</sup> & Javier R. Medina-Hernández<sup>4</sup>

1. Programa de Biología Marina Costanera, Departamento de Biología, Universidad de Puerto Rico en Humacao, Estación Postal CUH, 100 Carr 908, Humacao, Puerto Rico 00791-4300; cedar.uprh@gmail.com;
2. francisnoj\_soto@yahoo.com;
3. arrecife.pr@gmail.com;
4. jmedinapr@gmail.com

Received 01-X-2007. Corrected 30-VI-2008. Accepted 31-VII-2008.

**Abstract: Gastropods associated with the calcareous alga *Halimeda opuntia* (Udoteaceae) in Puerto Rico.**

Gastropod communities associated with the calcareous green alga *Halimeda opuntia* are described and compared for two Puerto Rico coral reefs: one in the northeast with front tradewinds (windward zone) and one in the southwest (leeward zone). We analyzed the content of 21 lots (2432 g) of *H. opuntia* from leeward zone and 15 lots (2448 g) from the windward zone. In total we recovered 526 gastropods (prosobranchs) classified in 54 taxa. Thirteen species of gastropods represented 79.6% of the community. Differences between species richness and mean density values were not significant ( $p > 0.100$ ). Forty species were identified from leeward and thirty one (31) species from windward. Gastropod mean density was 13.9 /100g of algae in leeward and 7.6/100g in windward. Significant differences were found for the Simpson Diversity Index (0.91 in the leeward and 0.82 in the windward community;  $t=3.44$ ,  $\alpha=0.005$ ). We found no correlation between the weight of the algae and the frequency of the gastropods ( $R^2=0.0893$  in leeward, 0.0249 windward and 0.0923 for both). The relationship between species composition in lots of windward and leeward study sites was explored via polar ordination and no segregation was found. When compared, the gastropod communities found in *H. opuntia* collected in coral reefs in Puerto Rico were more similar within them than any other communities found in other genera of seaweed and in other environments. Our results agree with the hypothesis that *H. opuntia* offers the interstitial community a protected microhabitat from water movement impact. *H. opuntia* creates more homogeneous conditions than those of the habitat where we found the algae. Rev. Biol. Trop. 56 (4): 1665-1675. Epub 2008 December 12.

**Key words:** Mollusca, gastropod, *Halimeda opuntia*, coral reef, Puerto Rico, Caribbean.

Las comunidades de moluscos asociados a macroalgas marinas en El Caribe han sido descritas por Warmke y Almodóvar (1963) y García-Ríos (1983). Warmke y Almodóvar (1963) recolectaron 25 especies de algas en el suroeste de Puerto Rico. Encontraron 90 especies de moluscos de los cuales 99% de los individuos eran gasterópodos. Al comparar los moluscos encontrados en algas rojas, verdes y pardas concluyeron que existe una mayor cantidad y diversidad de éstos asociados a las algas rojas. Sin embargo, de acuerdo a los datos

de esa misma publicación, *Halimeda opuntia* (Linnaeus) Lamouroux, un alga verde calcárea, presentó mayor riqueza de especies que cualquiera de las especies de algas rojas.

García-Ríos (1983) describió las comunidades de gasterópodos asociadas a macroalgas marinas, que se recolectaron en cuatro hábitats: costa rocosa, arrecife de coral, manglar expuesto al oleaje y canales de mangle. En ese trabajo se determinó que existe una mayor similitud entre las comunidades de gasterópodos que coexisten en el mismo hábitat, independientemente

del taxon del alga; además, que la comunidad de gasterópodos asociados a *H. opuntia*, en cualquier hábitat tenía mayor diversidad de especies que las demás algas. Las muestras de *H. opuntia* recolectadas en el arrecife presentaron la mayor riqueza en gasterópodos (53 especies). Trabajos similares, realizados en el Pacífico Central, confirman la alta riqueza de gasterópodos asociados a algas del género *Halimeda* (Naim 1988, Minton 1990).

Tanto Warmke y Almodóvar (1963) como García-Ríos (1983), encontraron a la mayoría de los gasterópodos en todas las algas y en todos los hábitats. En algunos casos encontraron mayor cantidad de una especie de gasterópodo por un grupo de algas o un hábitat, pero esa asociación no es obligatoria. Solo dos especies de gasterópodos (del orden Ascoglossa) mostraron asociación con una especie de alga. El gasterópodo con dos valvas *Berthelinia caribbea* Edmunds, 1963 está asociado a *Caulerpa verticillata* J. Agardh (Warmke 1966). De forma similar, *Ocynoe antillarum* Mörch, 1863 se encuentra en asociación exclusiva con *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh (Warmke y Abbott 1961, Warmke y Almodóvar 1972).

*H. opuntia* puede cubrir un 10% de la superficie de un arrecife, su aporte a los sedimentos calcáreos supera la de los corales (Scoffin 1992). Esta alga tiene un talo calcáreo articulado muy ramificado. Le ofrece a la comunidad asociada sostén físico y resistencia al golpe de las olas (Lembi y Waaland 1988). Tanto Warmke y Almodóvar (1963) como García-Ríos (1983) le atribuyen a estos rasgos físicos la alta riqueza de especies que encontraron en ella. Los gasterópodos que se encuentran en las algas son, en su gran mayoría, menores a los 5 mm de longitud, por lo que se pueden refugiar entre los intersticios de las ramificaciones del alga.

Las poblaciones de gasterópodos asociados a algas son facilitadores del flujo de energía a niveles tróficos superiores. Muchos son microherbívoros que se alimentan de fragmentos del alga o de las epífitas que crecen sobre ella (Shacklock y Doyle 1983, Naim 1988).

Estos, a su vez, son parte de la dieta de muchos peces, donde destacan miembros de las familias Labridae y Pomacentridae. Otros peces, de las familias Scaridae y Acanthuridae, los ingieren en forma accidental, cuando ingieren el alga (Randall 1967).

*H. opuntia* presenta adaptaciones para evitar su consumo (Hay 1997). Entre éstas se señala su talo muy calcificado en arreglos compactos (Hay 1981), su bajo contenido calórico (Lembi y Waaland 1988) y la producción de compuestos químicos (diterpenoides) que repele a algunos herbívoros (Steneck 1988). En esta última categoría de defensa se mencionan dos metabolitos: halimedatetracetato y halimedatrial (Paul y Fenical 1983 y 1986). A pesar de esto, Randall (1967) evidencia el consumo de *H. opuntia* por 13 especies de peces que son abundantes en los arrecifes del Caribe.

El objetivo de este trabajo es comparar las comunidades de gasterópodos asociados a *H. opuntia* que se encuentran en arrecifes de coral en lugares geográficamente opuestos. Estas estaciones de colección difieren en: energía del oleaje, cantidad de materia orgánica en sedimentos y cercanía de manglares. Se desea corroborar si la alta diversidad de gasterópodos es particular del ambiente arrecifal más protegido del fuerte oleaje como el encontrado en el suroeste de Puerto Rico (sotavento) y estudiados por Warmke y Almodóvar (1963) y García-Ríos (1983), o si también se puede encontrar en los arrecifes más expuestos en el noreste de la Isla (barlovento) y separados de la costa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La estación de sotavento está localizada en el Cayo Enrique, La Parguera (municipio de Lajas), localizado en el suroeste de Puerto Rico, alrededor de la latitud 17°57'25" norte y longitud 67°02'34" oeste. La estación de sotavento está a 1.5 km de la costa, donde existen extensos manglares de borde. Las muestras de *H. opuntia* se recolectaron en la plataforma arrecifal, en el biotopo de *Porites porites* (Pallas, 1766). La cresta del arrecife está cubierta por mangle rojo (*Rhizophora mangle* Linnaeus) y una pradera

de hierbas marinas se extiende hacia la laguna arrecifal. *H. opuntia* se recolectó en áreas protegidas del fuerte oleaje, pero con flujo de agua continuo, a un metro de profundidad. Todas las algas recolectadas mostraban acumulación de detrito y sedimentos oscuros.

La estación de barlovento está localizada en Cayo Icacos, parte del arrecife La Cordillera (municipio de Fajardo), localizado al noreste de Puerto Rico, cercana a la latitud 18°23'28" norte y longitud 65°35'49" oeste. En contraste con la estación de sotavento, no existen manglares en las cercanías de la estación de barlovento. Está a 2 km de la costa, donde se encuentran playas de arena y acantilados rocosos. Las muestras de *H. opuntia* se recolectaron en un arrecife cercano al noroeste de Cayo Icacos. *H. opuntia* está presente en espacios entre corales que se levantan del fondo entre uno y dos metros. Las algas se recolectaron aproximadamente a un metro de profundidad. La orilla del Cayo Icacos presenta lajas de arenisca y playas de arenas de alto contenido calcáreo. Las algas se recolectaron en áreas con mayor exposición al oleaje que la estación anterior. Los sedimentos liberados de las algas al colocarlas en las bolsas de colección eran de color gris claro.

Los viajes de colección se hicieron entre septiembre a noviembre de 2003, abril y agosto de 2004. Las muestras fueron seleccionadas en forma no aleatoria y se escogieron los ejemplares de mayor tamaño. Varias algas en contacto eran recolectadas como una sola unidad. Todas las muestras de *H. opuntia* fueron tomadas en aguas claras. Los lotes de algas se recolectaron en bolsas plásticas para evitar pérdidas de organismos. Se tomó solamente la parte superior del alga, para no atrapar organismos asociados al sustrato. Las muestras se colocaron en hielo para su transporte al laboratorio, donde se congelaron inmediatamente, hasta el momento de su análisis.

Las muestras se descongelaron y se lavaron con agua dulce sobre una serie de cernidores de plástico con apertura de malla de: 0.32; 0.64; 0.50; 1 y 2 mm. El material recuperado (fragmentos del alga, sedimentos e invertebrados) se examinó por tamaño usando microscopios de

disección. Se separaron los gasterópodos que estaban vivos en el momento de la recolección del alga y se preservaron en alcohol al 70%. Las algas fueron pesadas húmedas, después de extraer el exceso de agua con papel secante. Para determinar el peso mínimo de una muestra representativa de la comunidad, se determinó la curva de aumento de especies de gasterópodos con la acumulación de peso de la muestra para cada estación, según Brower *et al.* (1998). Se recolectaron un total de 15 lotes (2432 g) de *H. opuntia* en la estación de sotavento y 21 lotes (2448 g) en la de barlovento.

Para la clasificación se utilizaron las guías taxonómicas de Abbott (1974) y Warmke y Abbott (1961). Para la actualización de la nomenclatura se utilizó la lista de cotejo de Ortiz-Corps, (1985 y 1998). Algunas identificaciones se corroboraron comparando los ejemplares con organismos en la Colección Biológica de la Universidad de Puerto Rico en Humacao (CBUPRH), donde se depositó toda la colección.

Se analizó la relación entre el peso del alga y las comunidades asociadas (análisis de correlación). Se compararon las comunidades calculando la riqueza, la densidad y la diversidad de las especies (Diversidad de Simpson) según Brower *et al.* (1998). La densidad se calculó dividiendo cantidad de gasterópodos por 100 gramos del alga, igual a los trabajos previos. Para evaluar el grado de agregación en la distribución de los individuos en los lotes recolectados, se calculó la razón de varianza y promedio para las especies de mayor frecuencia, siendo la magnitud de los valores mayores de uno (1) indicador del grado de agregación, según Brower *et al.* (1998).

Para discutir la relación entre nuestros datos y los de trabajos anteriores, se usó el índice de similitud Bray Curtis, así como la técnica de ordenación polar (Gauch 1982) usando distancia objetiva (distancia Sorensen) según Wishard 1969. Antes de establecer la distancia entre las muestras, en el gráfico de ordenación, se realizó una normalización de las especies, calculando el porcentaje de la presencia de cada especie (frecuencia) en cada estación.

## RESULTADOS

En el total de 36 lotes se recuperaron 526 gasterópodos (prosobranquios). El 96.2% de los individuos fueron identificados y clasificados en 54 taxones (Cuadro 1). La curva de especies nuevas con la acumulación de peso del alga alcanzó su punto de inflexión (una pendiente menor del 10%) con la acumulación de 600 g en la estación de sotavento y 700 g en la de barlovento. Se considera este peso el mínimo para describir estas comunidades (Brower *et al.* 1998). Trece especies de gasterópodos representaron el 79.6% de la muestra de la comunidad (Cuadro 1).

No encontramos diferencias significativas en el número de especies diferentes en la estación de sotavento (40) y barlovento (31) ( $p=0.16$ , prueba exacta de Fisher). Encontramos proporciones similares en la representación de familias taxonómicas, 28 para toda la muestra, 24 en la estación de sotavento y 20 en la de barlovento (Cuadro 2).

De las especies con frecuencia de 3 o más individuos (21 especies), solo 2 se encontraron asociadas a las algas en la región de barlovento y 13 en la de sotavento (Cuadro 2). Tampoco se encontraron diferencias significativas en los valores de densidad promedio (cantidad de individuos en 100g de peso húmedo del alga)

que fue de 13.9/100 g en la estación de sotavento y 7.6/100 g en la de barlovento ( $p=0.178$ , prueba t) (Cuadro 1 y 2).

La especie con mayor frecuencia fue *Sinezona (Scisurella) confusa* Rolán and Luque, 1994, siendo la de mayor frecuencia relativa en las muestras de las estaciones de barlovento (36.4%) y la segunda en las de sotavento (15.6%). Si se consideran las cinco especies con mayor frecuencia, *S. confusa* es la única especie de alta frecuencia relativa común en ambas estaciones. En la estación de sotavento *Caecum regulare* Carpenter, 1858 es la especie de mayor frecuencia (19.2%), la tercera es *Amphithalamus vallei* Aguayo and Jaume, 1947 (10.3), seguida por *Pachystremiscus ornatus* (Olsson and McGinty, 1958) (7.1%) y *Albania auberiana* (d'Orbigny, 1842) (6.5%). En la estación de barlovento la segunda especie más frecuente es *Tricolia adamsii* (H. C. Lea, 1846) (12.3%). De esta especie solo un ejemplar se informa para las estaciones de sotavento. En forma similar los ejemplares del género *Parviturbiodes*, con frecuencia de 8% en las estaciones de barlovento, no se encontró en las de sotavento. Las especies de la familia Vitrinellidae y *Bittium varium* (Pfeiffer, 1840) son las de frecuencia intermedia en ambas estaciones (Cuadro 2).

Los valores de diversidad para ambas comunidades resultaron relativamente altos

CUADRO 1

*Comparación de las muestras de gasterópodos en Halimeda opuntia en arrecifes de coral localizados en estaciones de sotavento y barlovento en Puerto Rico*

TABLE 1

*Comparison of the gastropod samples in Halimeda opuntia from leeward and windward in Puerto Rico coral reefs*

	Sotavento	Barlovento	Total
Cantidad de lotes en muestra	15	21	36
Peso húmedo de muestra (g)	2432	2448	4880
Total de gasterópodos en muestra	339	187	526
Densidad (ind/100g alga)	13.9	7.6	10.8
Especies diferentes	40	31	54
Especies con 1 solo individuo	18	14	21
Diversidad de Simpson	0.91	0.82	0.90
Índice de Shanon-Weaver	1.22	1.04	1.27

CUADRO 2

Frecuencia absoluta y relativa (%) de las especies de gasterópodos asociados a *Halimeda opuntia* en arrecifes de coral en estaciones de sotavento (Cayo Enrique, La Parguera, Lajas) y barlovento (Cayo Icacos, Fajardo) en Puerto Rico

TABLE 2

Absolute and relative (%) frequency of gastropod species associated with *Halimeda opuntia* in coral reefs stations in leeward (Cayo Enrique, La Parguera, Lajas) and windward (Cayo Icacos, Fajardo), Puerto Rico

Familia	Frecuencia	Sotavento		Barlovento		total
	Especie	Absoluta	%	Absoluta	%	
Scissurellidae	<i>Sinezona confusa</i> Rolán and Luque, 1994	53	15.6	68	36.4	121
Caecidae	<i>Caecum regulare</i> Carpenter, 1858	65	19.2	3	1.6	68
Anabathridae	<i>Amphihalampus vallei</i> Aguayo and Jaume, 1947	35	10.3	1	0.5	36
Vitrinellidae	<i>Pachystremiscus ornatus</i> (Olsson and McGinty, 1958)	24	7.1	4	2.1	28
Cerithiidae	<i>Bittolum varium</i> (Pfeiffer, 1840)	18	5.3	9	4.8	27
Rissoidae	<i>Alvania auberiana</i> (d'Orbigny, 1842)	22	6.5	2	1.1	24
Tricoliidae	<i>Tricolia adamsi</i> (Philippi, 1853)	1	0.3	23	12.3	24
Vitrinellidae	sp. #1	11	3.2	10	5.3	21
Rissoinidae	<i>Schwartziella bryerea</i> (Montagu, 1803)	15	4.4	1	0.5	16
Vitrinellidae	<i>Parviturboides</i> sp.	0	0.0	15	8.0	15
Cerithiidae	<i>Cerithium litteratum</i> (Born, 1778)	13	3.8	1	0.5	14
Vitrinellidae	sp. #2	9	2.7	5	2.7	14
Columbellidae	<i>Zafra pulchella</i> (de Blainville, 1829)	5	1.5	6	3.2	11
Turridae	<i>Crassispira nigrescens</i> (C. B. Adams, 1845)	9	2.7	0	0.0	9
Rissoellidae	<i>Rissoella caribaea</i> Rehder, 1943	3	0.9	4	2.1	7
Trochidae	<i>Tegula fasciata</i> (Born, 1778)	6	1.8	0	0.0	6
Liotiidae	<i>Arene tricarinata</i> (Stearns, 1872)?	4	1.2	1	0.5	5
Cerithiidae	<i>Cerithium atratum</i> (Born, 1778)	4	1.2	0	0.0	4
Pyramidellidae	<i>Miralda</i> sp. #1	4	1.2	0	0.0	4
Vitrinellidae	<i>Cyclostremiscus</i> sp.	3	0.9	0	0.0	3
Marginellidae	<i>Hyalina pallida</i> (Linné, 1758)	3	0.9	0	0.0	3
Pyramidellidae	<i>Odostomia laevigata</i> (d'Orbigny, 1841)	3	0.9	0	0.0	3
Cystiscidae	<i>Gibberula lavalleana</i> d'Orbigny, 1842	2	0.6	0	0.0	2
Pyramidellidae	<i>Turbonilla levis</i> (C. B. Adams, 1850)	2	0.6	0	0.0	2
Rissoinidae	<i>Schwartziella fischeri</i> (Desjardin, 1949)	1	0.3	1	0.5	2
Pyramidellidae	<i>Turbonilla interrupta</i> (Totten, 1835)	1	0.3	1	0.5	2
Fissurellidae	<i>Diodora</i> sp.	1	0.3	1	0.5	2
Tornidae	<i>Cochliolepis parasitica</i> Stimpson, 1858	0	0.0	2	1.1	2
Fissurellidae	<i>Fissurella</i> sp.	0	0.0	2	1.1	2
Buccinidae	<i>Pisania</i> sp.	0	0.0	2	1.1	2
Tricoliidae	<i>Tricolia bella</i> (M. Smith, 1937)	0	0.0	2	1.1	2
Triphoridae	sp.	0	0.0	2	1.1	2
Triphoridae	<i>Iniforis turrithomae</i> (Holten, 1802)	0	0.0	2	1.1	2
Rissoidae	<i>Alvania</i> sp.	1	0.3	0	0.0	1
Eulimidae	<i>Oceanida graduata</i> de Folin, 1871	1	0.3	0	0.0	1

CUADRO 2 (Continuación)

Frecuencia absoluta y relativa (%) de las especies de gasterópodos asociados a *Halimeda opuntia* en arrecifes de coral en estaciones de sotavento (Cayo Enrique, La Parguera, Lajas) y barlovento (Cayo Icacos, Fajardo) en Puerto Rico

TABLE 2 (Continued)

Absolute and relative (%) frequency of gastropod species associated with *Halimeda opuntia* in coral reefs stations in leeward (Cayo Enrique, La Parguera, Lajas) and windward (Cayo Icacos, Fajardo), Puerto Rico

Familia	Frecuencia Especie	Sotavento		Barlovento		total
		Absoluta	%	Absoluta	%	
Eulimidae	<i>Melanella jamaicensis</i> (C. B. Adams, 1845)	1	0.3	0	0.0	1
Caecidae	<i>Meioceras nitidum</i> (Stimpson, 1851)	1	0.3	0	0.0	1
Cerithiopsidae	<i>Cerithiopsis</i> sp.	1	0.3	0	0.0	1
Turridae	<i>Crassispira fuscescens</i> Reeve, 1843	1	0.3	0	0.0	1
Turridae	<i>Drillia</i> sp.	1	0.3	0	0.0	1
Fascioliariidae	<i>Leucozonia ocellata</i> (Gmelin, 1791)	1	0.3	0	0.0	1
Marginellidae	sp.	1	0.3	0	0.0	1
Modulidae	<i>Modulus modulus</i> (Linné, 1758)	1	0.3	0	0.0	1
Skeneidae	<i>Parviturbo rehderi</i> Pilsbry and McGinty, 1945?	1	0.3	0	0.0	1
Rissoinidae	<i>Rissoina cancellata</i> (Philippi, 1847)	1	0.3	0	0.0	1
Triphoridae	<i>Marshallora nigrocineta</i> auct non C. B. Adams, 1839	1	0.3	0	0.0	1
Pyramidellidae	<i>Turbonilla</i> sp.	1	0.3	0	0.0	1
Liotiidae	<i>Arene cruentata</i> (Mühlfeld, 1829)	0	0.0	1	0.5	1
Cerithiopsidae	<i>Horologica pupa</i> (Dall and Simpson, 1901)	0	0.0	1	0.5	1
Muricidae	<i>Trachypollia nodulosa</i> (C. B. Adams, 1845)	0	0.0	1	0.5	1
Pyramidellidae	<i>Eulima auricincta</i> (Abbott, 1958)	0	0.0	1	0.5	1
Fossaridae	<i>Fossarus orbigny</i> Fischer, 1864	0	0.0	1	0.5	1
Pyramidellidae	<i>Odostomia</i> sp.	0	0.0	1	0.5	1
Costellariidae	<i>Vexillum albocinctum</i> (C. B. Adams, 1845)?	0	0.0	1	0.5	1
	no identificados	8	2.4	12	6.4	20
Total		339		187		526

(Cuadro 1). La diversidad de Simpson fue mayor para la comunidad de sotavento ( $D_s=0.91$ ) que para la de barlovento ( $D_s=0.82$ ). La prueba t para la comparación de los valores del índice de diversidad de Simpson mostró diferencias significativas ( $t=3.44$ ) para  $\alpha=0.05$ , (ecuaciones en Brower *et al.* 1998).

No encontramos correlación entre el peso de la muestra del alga y la frecuencia de gasterópodos en ésta. Los valores de  $R^2$  fueron de 0.0893 para sotavento, 0.0249 para barlovento y 0.0923 para todas las muestras juntas (Fig. 1).

## DISCUSIÓN

Las estaciones de estudio seleccionadas presentan dos situaciones ambientales contrastantes dentro de los parámetros que permiten el desarrollo de arrecifes en Puerto Rico. Existen situaciones de mayor impacto por el oleaje, pero observamos el crecimiento del talo de *H. opuntia* con el volumen para poder sostener las comunidades que aquí se describen. A pesar de una selección de estaciones buscando diferencias, no las encontramos en parámetros importantes para

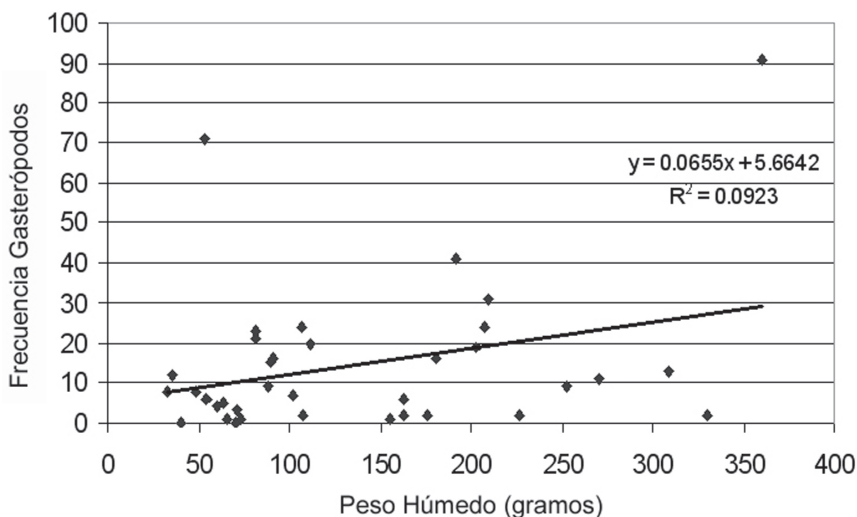


Fig. 1. Relación entre peso de las muestras y frecuencia absoluta de gasterópodos.

Fig. 1. Relationship between the sample weight and gastropod absolute frequency.

la descripción de la comunidad de gasterópodos asociada, como lo son el número de especies (riqueza de especies), su frecuencia y densidad. Estos resultados sostienen la hipótesis de que *H. opuntia* les ofrece a los organismos que viven en sus intersticios un microhábitat protegido del impacto del movimiento del agua, creando condiciones más homogéneas que las del hábitat donde crece el alga.

La ausencia de correlación entre el peso del alga y la frecuencia de gasterópodos asociados no corresponde a lo esperado, pues un alga de mayor tamaño debe ofrecer mayor superficie, recursos alimentarios y protección que un alga más pequeña. Tampoco corresponde con lo esperado, si consideramos que un alga de mayor tamaño debería reclutar más, como sugiere la teoría de islas (MacArthur 1972). Sin importar la localidad, el tamaño del alga no es un factor único para predecir parámetros de la comunidad asociada. Variables de naturaleza histórica, tales como la edad del alga y los disturbios que pueden haber afectado a las comunidades asociadas, son factores desconocidos y deben tener un impacto importante en estos resultados. Experimentos con sustratos

artificiales, con características físicas similares a *H. opuntia*, podrían ayudar a comprender mejor la variabilidad encontrada. No obstante, se reconoce que el alga viva puede ser un agregador de larvas y juveniles significativamente superior que los sustratos artificiales que la imitan (Nugues y Szmant, 2006).

Los métodos de ordenación polar tampoco distinguen los lotes de sotavento de los de barlovento (Fig. 2). El porcentaje más alto de similitud de la comunidad entre las estaciones de sotavento fue de 29.1%. Entre las estaciones de barlovento encontramos porcentajes de similitud tan altos como 59.6%. Porcentajes relativamente bajos en similitud es característico de comunidades diversas, con baja dominancia y alta variabilidad en la frecuencia de especies entre los lotes de la misma estación. Las especies con mayor frecuencia en cada estación muestran patrones de agregación marcados (Cuadro 3).

La comparación de las comunidades de gasterópodos asociados a *H. opuntia* recolectadas en estaciones en barlovento y sotavento con las comunidades de gasterópodos en otras algas y otros hábitats confirma la similitud de

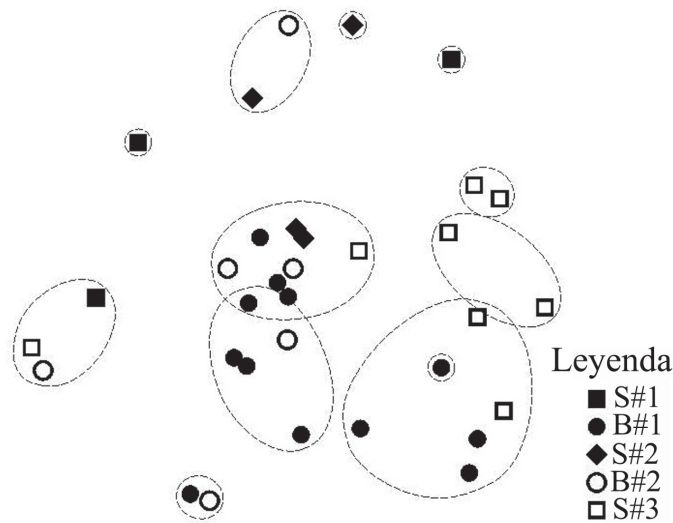


Fig. 2. Ordenación usando porcentaje de disimilaridad (distancia Sorensen) entre las comunidades de gasterópodos en 33 lotes de *Halimeda opuntia* (se omiten 3 que no tenían organismos), están agrupados por similitudes de 33% o más.

Fig. 2. Ordination using percent of dissimilarity (Sorensen distance) between gastropod communities found in 33 lots of *Halimeda opuntia* (3 were omitted for lack of organisms), grouped by similarities of 33% or more. Windward = ▲; Leeward = ●.

### CUADRO 3

Razón varianza/promedio de la distribución de especies en los lotes de la estación de sotavento, barlovento y en combinación. Se consideran solo las especies con frecuencia mayor de 10

TABLE 3

Variance/mean ratio of the species distribution of samples in leeward, windward and both. Only species with frequency >10 are included

Especies	Varianza/Promedio		Ambas
	Sotavento	Barlovento	
<i>Sinezona confusa</i>	27.69	8.72	17.93
<i>Caecum regulare</i>	4.27		4.61
<i>Amphithalamus vallei</i>	37.22		36.97
<i>Pachystremiscus ornatus</i>	25.50		22.39
<i>Bittiolium varium</i>	4.00		3.06
<i>Alvania auberiana</i>	4.12		3.89
<i>Tricolia adamsi</i>		2.05	2.44
Vitrinellidae sp. #1	6.13	3.54	4.82
<i>Schwartziella bryerea</i>	2.46		2.40
<i>Parviturboides ?</i>		2.85	3.16
<i>Cerithium litteratum</i>	1.36		1.43
Vitrinellidae sp. #2			1.36
<i>Zafrona pulchella</i>			5.05



las comunidades asociadas a *H. opuntia* en los arrecifes, independientemente de su localización. (Fig. 3). Para este análisis se agruparon los datos que corresponden a los lotes recolectados el mismo día en la misma estación. Esto reduce nuestras muestras de comunidades de gasterópodos en *H. opuntia* a cinco puntos, que son comparados con las 29 muestras de diferentes algas en diferentes ambientes de García Ríos (1983) y la de la comunidad de *H. opuntia* informada por Warmke y Almodóvar (1963) (Fig. 3). García-Ríos (1983) interpretó el eje vertical de este gráfico como indicador de energía de oleaje, siendo menor en los canales del manglar (abajo) y mayor en el arrecife y la costa rocosa (arriba). Nuestras muestras se localizan en la parte superior de

esta ordenación, coincidiendo con la interpretación establecida. Las cinco muestras están muy cerca de las otras algas del arrecife y en un grupo de similitud mayor del 33% con las muestras de *H. opuntia* de arrecife de los dos trabajos anteriores.

En conclusión, las comunidades de gasterópodos asociados a *H. opuntia* creciendo en arrecifes de coral en zonas de barlovento y sotavento son similares en riqueza de especies y densidad promedio. Las dos comunidades descritas presentan valores de diversidad altos ( $D_s > 0.8$ ), pero las de barlovento tienen menor diversidad. Las comunidades comparadas tienen mayor similitud entre sí, que con las encontradas en otras especies de algas y en otros ambientes. La alta similitud de estas

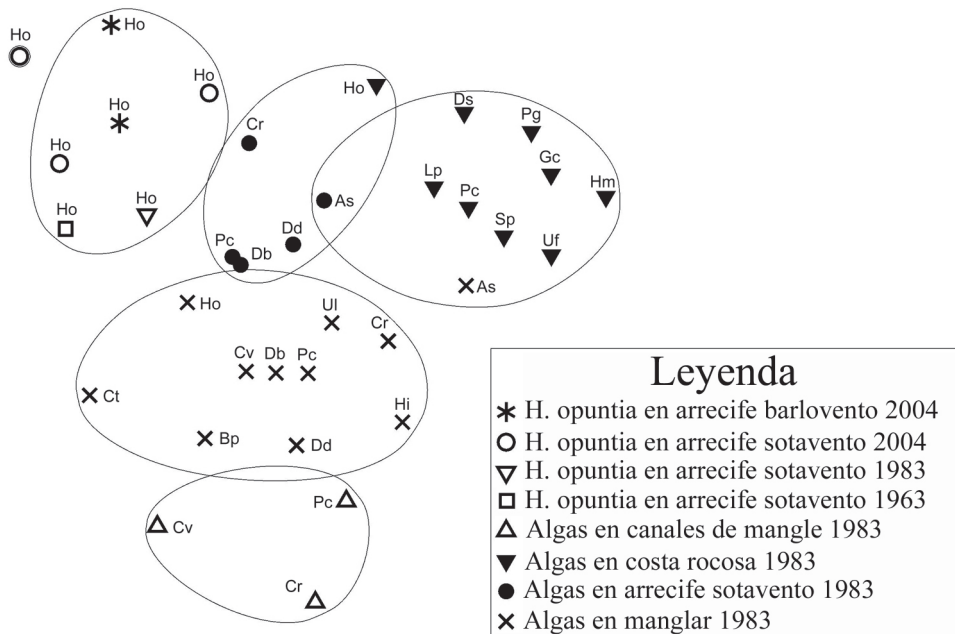


Fig. 3. Ordenación de las comunidades de gasterópodos asociadas a algas marinas en Puerto Rico. Se comparan los datos de Warmke y Almodóvar (1963), García-Ríos (1983) y este trabajo. Todos los datos se separan usando distancia Sorensen y se agrupan en similitudes de 30% o más. Se utilizan las siguientes abreviaturas para las algas: As, *Acanthophora spicifera*; Bp, *Bryopsis pennata*; Cr, *Caulerpa racemosa*; Ct, *Caulerpa taxifolia*; Cv, *Caulerpa verticillata*; Db, *Dictyota bartayresii*; Dd, *Dictyota divaricata*; Ds, *Digenia simplex*; Gc, *Galaxaura cylindrica*; Hi, *Halimeda incrassata*; Hm, *Hypnea musciformis*; Ho, *Halimeda opuntia*; Lp, *Laurencia papillosa*; Pc, *Penicillus capitatus*; Pg, *Padina gymnospora*; Sp, *Sargassum polyceratum*; Uf, *Udotea flabellum* y Ul, *Ulva lactuca*.

Fig. 3. Ordination of gastropod communities associated with seaweed in Puerto Rico. Data from Warmke and Almodóvar (1963), García-Ríos (1983) and this study. All data was arranged using Sorensen distance and grouped in similarities of 30% or more.

comunidades se sostiene cuando comparamos los datos presentes con los de dos y cuatro décadas atrás.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Rufo Vega Pagán y Migdalia Álvarez Ruiz por la ayuda en las recolectas y a Miguel Correa por su ayuda en el laboratorio. El microscopio electrónico de barrido, usado para la clasificación de las especies, fue facilitado por el programa Partnership for Research & Education in Materials (PREM) de la Universidad de Puerto Rico en Humacao (NSF-DMR-0353730). Migdalia Álvarez Ruiz, Ariel Díaz y María Ramos fueron revisores de este manuscrito. Agradecemos al Fondo para la Investigación (FoPI) de la Universidad de Puerto Rico en Humacao y el programa Puerto Rico-Louis Stokes Alliance for Minority Participation (PR-LSAMP) por darnos acceso a equipo y materiales.

## RESUMEN

Se describen y comparan las comunidades de gasterópodos asociados al alga verde calcárea *H. opuntia*. Se compararon estas comunidades en arrecifes coralinos de lugares geográfica y ambientalmente diferentes, uno en el noreste de Puerto Rico, frente a los vientos alisios (barlovento), el otro en el suroeste (sotavento). Se analizó el contenido de 15 lotes (2432 g) de *H. opuntia* recolectadas en la estación de sotavento y 21 lotes (2448 g) en la de barlovento. En los 36 lotes se recuperaron 526 gasterópodos (prosobranquios) que se clasificaron en 54 taxones. Trece especies de gasterópodos representaron el 79.6% de la muestra de la comunidad. No encontramos diferencias significativas en las densidades de gasterópodos ni en la riqueza de especies ( $p > 0.100$ ). La densidad promedio fue de 13.9/100 g alga en la estación de sotavento y 7.6/100 g en la de barlovento. Se identificaron 40 especies diferentes en las muestras de sotavento y 31 en las de barlovento. Solamente se encontraron diferencias significativas en los valores de diversidad (Simpson), de 0.91 para la comunidad de sotavento y de 0.82 en la de barlovento ( $t = 3.44$ ,  $\alpha = 0.05$ ). No encontramos correlación entre el peso de la muestra del alga y la frecuencia de gasterópodos en ésta,  $R^2 = 0.0893$  para sotavento, 0.0249 para barlovento y 0.0923 para datos combinados. Utilizando los métodos de ordenación polar se comprueba la similitud de las dos comunidades estudiadas. Estos resultados sostienen la hipótesis de que *H. opuntia*

le ofrece a los organismos que viven en sus intersticios un microhábitat protegido del impacto del movimiento del agua, creando condiciones más homogéneas que las del hábitat donde encontramos creciendo el alga.

**Palabras clave:** gasterópodos, *Halimeda opuntia*, arrecife de coral, Puerto Rico, Caribe

## REFERENCIAS

- Abbott, R.T. 1974. American Seashells. Van Nostrand Reinhold, Nueva York, EEUU.
- Brower J., J. Zar & C. Von Ende. 1998. Field and Laboratory Methods for General Ecology. McGraw Hill, Massachusetts, EEUU.
- García-Ríos, C.I. 1983. Comunidades de Gasterópodos Asociados a Macroalgas Marinas Comunes en el Suroeste de Puerto Rico. Tesis M.Sc. Departamento de Ciencias Marinas, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.
- Gauch, H.G. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University, Nueva York, EEUU.
- Hay, M.E. 1981. Spatial patterns of grazing intensity on a Caribbean barrier reef: herbivory and algae distribution. *Aquat. Bot.* 11: 97-109.
- Hay, M.E. 1997. Calcified seaweeds on coral reefs: complex defenses, trophic relationships, and value as habitat. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Symp.* 1: 713-718.
- Lembi, C.A. & J.R. Waaland. 1988. Algae and human affairs. Cambridge University, Nueva York, EEUU.
- MacArthur, R.H. 1972. Geographical Ecology. Harper and Row, Publishers, Nueva York, EEUU.
- Minton, D. 1990. Microgastropods in Hawaiian Algae. *Hawaiian shell news* 38: 1-7.
- Niam, O. 1988. Distributional pattern of mobile fauna associated with *Halimeda* on the Tiahura coral-reef complex (Morea, French Polynesia). *Coral Reefs* 6: 237-250.
- Nugues, M.M. & A.M. Szmant. 2006. Coral settlement onto *Halimeda opuntia*: a fatal attraction to an ephemeral substrate? *Coral Reefs* 25: 585-591.
- Ortiz Corps, E.A.R. 1985. An annotated checklist of the recent marine Gastropoda (Mollusca) from Puerto Rico. *Memorias del Sexto Simposio de la Fauna de Puerto Rico y el Caribe*, pp. 1-220. University

- of Puerto Rico, Humacao University College, Department of Biology, Humacao, Puerto Rico.
- Ortiz-Corps, E.A.R. 1998. The recent marine mollusca of Puerto Rico. Ph.D. Thesis, University of Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.
- Paul, V.J. & Fenical W. 1983. Isolation of Halimedatrical: chemical defense adaptation in the calcareous reef-building alga *Halimeda*. *Science* 221:747-749.
- Paul, V.J. & Fenical W. 1986. Chemical defense in tropical green algae, order Caulerpales. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 34:157-169.
- Randall, J. E. 1967. Food habits of reef fishes of the West Indies. *Stud. Trop. Oceanogr.* 5: 665-847.
- Shacklock, PF & RW Doyle. 1983. Control of epiphytes in seaweed cultures using grazers. *Aquaculture* 31: 141-151.
- Scoffin, T.P. 1992. Taphonomy of coral reefs: a review. *Coral Reefs* 11: 57-77.
- Steneck, R.S. 1988. Herbivory on coral reefs: a synthesis. *Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, Townsville, Australia*, 1: 37-49.
- Warmke, G.L. 1966. Two Species of the Bivalved Gastropod *Berthelinia* Found in Puerto Rico. *Nautilus* 79: 139-141.
- Warmke, G.L. & R. T. Abbott. 1961. *Caribbean Seashells*. Livingstone Publishing Company, Narberth, Pennsylvania, EEUU.
- Warmke, G.L. & L.R. Almodóvar. 1963. Some Associations of Marine Mollusks and Algae in Puerto Rico. *Malacología* 1: 163-177.
- Warmke, G.L. & L.R. Almodóvar. 1972. Observations on the Life Cycle and Regeneration in *Oxynoe antillarum* Morch, an Ascoglossan Opisthobranch from the Caribbean. *Bull. Mar. Sci.* 22: 67-74.
- Wishart, D. 1969. An algorithm for hierarchical classifications. *Biometrics* 25:165-170.

