

ESTRUCTURA DE COMUNIDADES DE MACROALGAS DE DOS LITORALES ROCOSOS DEL ESTADO MIRANDA, VENEZUELA

Structure of the macroalgae communities of two rocky shores in Miranda State, Venezuela

Vanessa HERNÁNDEZ¹, Mayra GARCÍA²,
Estrella VILLAMIZAR³ y Carlos PEREIRA¹

¹Postgrado de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela,
Caracas, Venezuela.
vanessahernandezq8@gmail.com

²Instituto Experimental Jardín Botánico "Dr. Tobias Lasser",
Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

³Laboratorio de Ecología de Sistemas acuáticos, Instituto de Zoología y Ecología Tropical,
Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

RESUMEN

Este estudio analiza la composición de la comunidad de macroalgas en dos litorales rocosos de la costa central de Venezuela y su relación con las condiciones ambientales. Se recolectaron muestras mensuales en dos localidades durante las temporadas de lluvia y sequía de 2014 y 2015. Se identificaron 95 especies, predominando Rhodophyta (65 %), seguidas de Ochrophyta (18 %) y Chlorophyta (16 %). Los resultados sugieren la influencia de la temperatura y la salinidad en la estructura comunitaria, con mayor riqueza de especies durante la temporada de lluvias. Además, se suman 14 nuevas especies al inventario de la región. Este estudio contribuye al conocimiento ecológico y taxonómico de las macroalgas en el estado Miranda, relevante para la conservación de estos ecosistemas.

Palabras clave: Caribe, intermareal, litorales rocosos, macroalgas, variación temporal

ABSTRACT

This study analyzes the macroalgal community composition in two rocky shores along the central coast of Venezuela and its relationship with environmental conditions. Monthly samples were collected from two locations during the rainy and dry seasons of 2014 and 2015. A total of 95 species were identified, with Rhodophyta (65 %) being the most dominant group, followed by Ochrophyta (18 %) and Chlorophyta (16 %). The findings highlight the influence of temperature and salinity on community structure, with higher species richness observed during the rainy

season. Additionally, 14 new species were recorded for the region. This study contributes to the ecological and taxonomic knowledge of macroalgae in Miranda state, offering valuable insights for the conservation of these ecosystems.

Key words: Caribbean, intertidal, rocky shores, macroalgae, temporal variation

INTRODUCCIÓN

Las macroalgas marinas son los principales productores primarios de la zona litoral y desempeñan un papel fundamental en las comunidades costeras, ya que aportan complejidad estructural y funcional al ambiente rocoso. La estructura tridimensional que crean facilita la formación de hábitats diversos, lo que favorece un incremento en la riqueza de especies y la diversidad en comparación con sustratos duros desprovistos de vegetación (Dean & Connell 1987; Michel 2011; Torres *et al.* 2015; Umanzor *et al.* 2019). Esta complejidad estructural resulta crucial para la fauna bentónica, que encuentra refugio y sustrato en estas algas, contribuyendo al mantenimiento de la biodiversidad en las zonas intermareales.

La importancia de esta complejidad se refleja en los estudios ecológicos que evalúan atributos comunitarios como la forma de vida, la composición taxonómica, la riqueza y la abundancia relativa de especies. Estos atributos son indicadores clave de la estabilidad y funcionalidad de las comunidades de macroalgas, lo que permite entender su papel en la dinámica de los ecosistemas marinos (Begon *et al.* 1999; Bruno *et al.* 2005; Bates & De Wreede 2007). La pérdida de especies clave puede alterar significativamente la estructura y el funcionamiento de estas comunidades, afectando procesos ecológicos como la productividad primaria y la ciclicidad de nutrientes (Dayton *et al.* 1998).

En Venezuela, los registros históricos sobre macroalgas marinas se remontan a 1847, cuando Jacob Agardh describió cinco especies en La Guaira y Puerto Cabello (Ganesan 1989). Desde entonces, los estudios taxonómicos y ficoflorísticos han catalogado más de 660 especies de macroalgas, incluyendo variedades y formas (Gómez & Carballo 2018). En particular, la costa del estado Miranda ha sido objeto de numerosas investigaciones que han contribuido de manera significativa a los inventarios florísticos y taxonómicos del país (Ganesan 1983; Solé & Vera 1997; Ardito & García 2009; Gómez *et al.* 2013; Costilla 2019; Pereira *et al.* 2020), registrando hasta ahora más de 150 especies, variedades y formas (Gómez & García 2017). No obstante, sigue

siendo escasa la información sobre la ecología de las macroalgas en los litorales rocosos de esta región.

Además de su riqueza biológica, los litorales rocosos del estado Miranda enfrentan una presión constante por factores antropogénicos, como la contaminación por el tráfico de buques petroleros y la intensa actividad turística. Estas playas pueden recibir hasta 41.999 visitantes en días feriados, casi triplicando la población residente (Lemus & Pérez 2011). Esta alta afluencia de turistas puede generar perturbaciones en las comunidades de macroalgas, alterando su estructura y afectando la salud del ecosistema a largo plazo.

Dada la vulnerabilidad de estos ambientes a la contaminación y otras alteraciones, resulta fundamental desarrollar estudios que caractericen la composición ficoflorística y otros aspectos ecológicos antes de que se produzcan cambios significativos. Los inventarios de especies no solo incrementan el conocimiento sobre la biodiversidad local, sino que también identifican macroalgas con potencial comercial y especies de importancia ecológica, como bioindicadores de calidad ambiental (Airoldi & Beck 2007). Considerando estos factores, el objetivo de este estudio es analizar la composición de la comunidad de macroalgas, estimar la frecuencia de aparición de especies y evaluar su relación con las condiciones ambientales en dos litorales rocosos del estado Miranda, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló sobre la formación Esquistos de San Julián, situada en la zona central de la plataforma continental de Venezuela, entre cabo Codera y Chirimena, municipio Brión, estado Miranda (Urbani & Ostos 1989). Se seleccionaron dos localidades costeras: playa Caracolito ($10^{\circ}59'16''$ N, $66^{\circ}10'55''$ O) y playa Caimán ($10^{\circ}60'70''$ N, $66^{\circ}15'71''$ O) (Fig. 1) debido a su extenso sustrato rocoso, la abundancia de macroalgas y la falta de estudios previos de esta naturaleza en estas áreas.

Toma de muestras

Se recolectaron seis muestras mensuales de macroalgas en la zona intermareal rocosa de cada localidad, abarcando la temporada de lluvia (junio a septiembre de 2014) y la de sequía (diciembre de 2014 a febrero de 2015). La recolección se realizó utilizando una cuadrata de $0,25\text{ m}^2$ subdividida en cuadrantes de 100 cm^2 , seleccionando aleatoriamente cuatro de ellos para cubrir un área total de 400 cm^2 por muestra. Las macroalgas se extrajeron

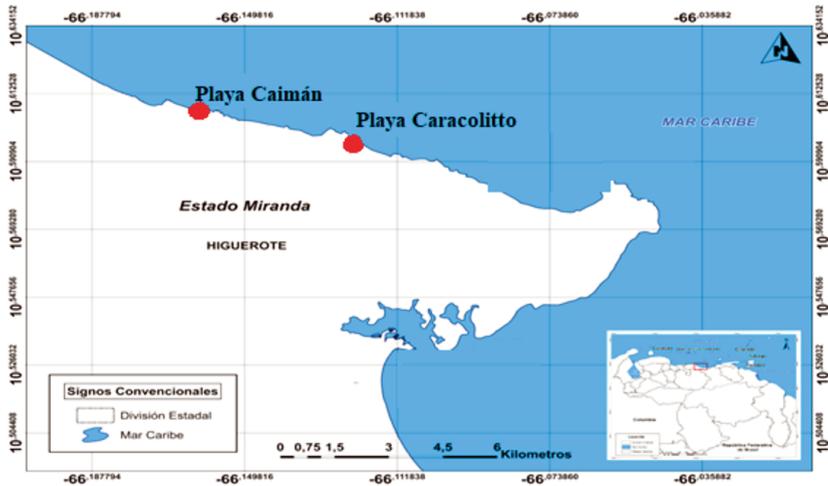


Fig. 1. Ubicación geográfica del área de estudio en el estado Miranda con indicación de las localidades de muestreo.

manualmente utilizando bolsas plásticas sobre la superficie rocosa para minimizar la pérdida de biomasa por el oleaje. Posteriormente, la biomasa de cada muestra se conservó en envases con agua de mar y fue fijada con una solución de formalina al 4 % v/v para su transporte al laboratorio.

En el laboratorio, se identificó cada especie de macroalga hasta la categoría taxonómica más baja posible, incluyendo la presencia de epifitas. La identificación se basó en la observación de características morfológicas distintivas y cortes histológicos, utilizando un microscopio óptico marca Motic y un microscopio estereoscópico marca Leica. Para la identificación taxonómica se emplearon las claves de Taylor (1960), de Littler & Littler (2000), de Wynne (2022), así como las bases de datos AlgaeBase (Guiry & Guiry 2024) y el Catálogo Digital de la Web Ficoflora Venezuela (2024).

Variables fisicoquímicas y meteorológicas

Las variables fisicoquímicas se analizaron debido a que factores como los nutrientes, la temperatura y la luminosidad influyen significativamente en el crecimiento de las algas (Cea 2018) y suelen presentar variaciones estacionales notables (Villarreal 1995). Mensualmente, se midió la salinidad, la temperatura del agua, el pH y el oxígeno disuelto en cada localidad, utilizando un equipo multiparamétrico marca HACH. Además, se determinaron las concentraciones de nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y fosfatos (PO_4) mediante un espectrofotómetro UV-visible marca HACH, modelo DR800, siguiendo

los procedimientos descritos por Strickland & Parsons (1972). Las variables meteorológicas, como la temperatura del aire y la precipitación mensual, se registraron mediante una estación meteorológica Climatronics, ubicada en Carenero, a 7 km de playa Caracolito.

Análisis de datos

Para analizar la composición de la comunidad de macroalgas se construyó una matriz de presencia-ausencia de cada especie registrada en cada localidad durante el período de estudio. La variabilidad de las variables se evaluó mediante gráficos de cajas y bigotes, permitiendo identificar patrones de distribución de los datos. Las diferencias en la riqueza de macroalgas entre localidades y meses se analizaron con la prueba de rangos de Kruskal-Wallis y, en caso de diferencias significativas, se utilizó la prueba de Mann-Whitney para comparar los grupos específicos (Mann & Whitney 1947).

Para explorar el agrupamiento de las muestras según variables espaciales y temporales, se aplicó un análisis de ordenación multivariada no métrica (NMDS), que permitió identificar la similitud o disimilitud global entre las especies de macroalgas, localidades y meses de estudio. Asimismo, se llevó a cabo un Análisis de Similitud (ANOSIM) basado en la matriz de presencia-ausencia, con el fin de cuantificar la similitud de las comunidades de macroalgas entre localidades y a lo largo del tiempo (Clarke & Warwick 1994). Las especies que más contribuyeron a la similitud dentro de los grupos se identificaron mediante el análisis SIMPER (Anderson 2005; Clarke & Gorley 2006). Además, se utilizó el Índice de Similitud de Sorensen para comparar la composición de especies entre playas (Odum 1972; Badii *et al.* 2007), donde valores cercanos a 0 indican pocas especies en común y valores cercanos a 100 reflejan una composición prácticamente idéntica.

La frecuencia de aparición relativa de las especies se calculó considerando su presencia a lo largo de los siete meses de estudio, clasificándolas en cuatro categorías: a) especies permanentes (>60 % de aparición), b) especies frecuentes (30-60 %), c) especies ocasionales (20-30 %), y d) especies escasas (1-20 %) (Solé & Vera 1997). Finalmente, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) para evaluar las relaciones entre las variables abióticas y las especies de macroalgas (Montgomery 2004).

RESULTADOS

En la comunidad de algas se identificaron 95 especies y morfotipos, distribuidos en 62 especies del phylum Rhodophyta (65 %), 17 del phylum

Ochrophyta (18 %), 15 del phylum Chlorophyta (16 %) y una especie de Cyanophyta (1 %) (Tabla 1). Esta composición se mantuvo constante en ambas localidades a lo largo de todo el periodo de estudio. De las especies identificadas, 14 corresponden a nuevos reportes para el estado Miranda (Tabla 1). La riqueza de especies (S) promedio no mostró diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los meses y localidades analizadas (Fig. 2).

En playa Caracolito se registraron 66 especies en total, de las cuales 43 pertenecen al phylum Rhodophyta, 13 al Ochrophyta, 9 al Chlorophyta y 1 a las cianofitas. En playa Caimán, se identificaron 86 especies, 57 del phylum Rhodophyta, 16 del Ochrophyta y 13 del Chlorophyta. Los meses con el mayor número de especies en ambas localidades fueron agosto y enero, con un total de 59 registros cada uno (Fig. 2).

En cuanto a la composición de especies se encontraron algunas especies exclusivas de cada localidad. En playa Caracolito se identificaron 9 especies exclusivas, como la cianobacteria *Lyngbya semiplena* y las macroalgas *Gayliella womersleyi*, *Chondrophycus dotyi*, *Chondria capillaris*, *Sphacelaria tribuloides*, *Heterosiphonia crispella*, *Phyllocladon pulcherrimum*, *Ceramium* sp1. y *Avrainvillea* sp. En contraste, playa Caimán presentó 29 especies exclusivas, algunas de ellas son: *Ceramium codii*, *C. brevizonatum*, *Gracilaria damaecornis*, *Taenioma nanum*, *Heterosiphonia gibbesii*, *Gelidium serrulatum*, *Griffithsia globulifera*, *Nitophyllum punctatum*, *Codium intertextum*, *Martensia fragilis*, *Phyllocladon anastomosans*, *Halimeda* sp., *Ulva flexuosa*, *Gelidiella* sp. y *Cladophora dalmatica*. En total, 56 especies fueron comunes a ambas playas, representando el 58,94 % de la riqueza global de las localidades estudiadas. El Índice de Sorensen general fue de 74,17 lo que indica similitud en la composición de especies entre las playas Caracolito y Caimán.

El análisis de ordenación no métrica (NMDS) mostró una ligera agrupación por playa separando algunas especies entre playa Caracolito y playa Caimán (Fig. 3). Asimismo, se observó un ligero agrupamiento de las muestras por tiempo de muestreo donde solo las de febrero se separan del resto de los meses, en especial de diciembre. También, se pudo observar que las muestras de diciembre se agrupan con muestras de enero, agosto, septiembre y junio, mostrando una composición de especie similar (Fig. 4). El análisis de similitud ANOSIM señaló un R Global inferior a 0,3 ($P = 0,001$) lo que indica que no existen diferencias entre la composición de especies entre las playas Caracolito y Caimán, ni entre los meses. El análisis SIMPER identificó que las especies *Melanothamnus ferulaceus*, *Hypnea charoides*, *Laurencia filiforme*, *Hydrolython* sp. y *Dictyota delicatula* contribuyeron a las diferencias entre las localidades.

Tabla 1. Especies de macroalgas identificadas en las playas Caracolito y Caimán del estado Miranda, Venezuela.

Especies	Playa Caracolito	Playa Caimán	Epífita
Phylum Rhodophyta			
<i>Aglaothamnion boergesenii</i> L'Hardy-Halos & Rueness		X	X
<i>Amphiroa</i> sp.	X	X	
<i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevis.	X	X	
<i>Audouinella</i> sp.		X	X
<i>Bryocladia thyrsgera</i> (J. Agardh) F. Schmitz	X	X	
<i>Centroceras gasparrinii</i> (Menegh.) Kütz.	X	X	X
<i>C. brevizonatum</i> H.E. Petersen		X	X
<i>C. clarionense</i> Setch. & N.L. Gardner		X	X
<i>C. codii</i> (H. Richards) Mazoyer		X	X
<i>C. floridanum</i> J. Agardh	X	X	X
<i>Pseudoceramium tenerrimum</i> (G. Martens) Barros-Barreto & Maggs	X	X	X
<i>Ceramium</i> sp. 1	X		
<i>C.</i> sp. 2	X	X	
<i>Champia parvula</i> (C. Agardh) Harvey	X	X	X
<i>Chondria capillaris</i> (Hudson) M.J. Wynne	X		
<i>C. dasyphylla</i> (Woodw.) C. Agardh	X	X	
<i>C. leptacremon</i> (Melvill ex G. Murray) De Toni	X	X	
<i>C. littoralis</i> Harvey	X	X	
<i>Chondria</i> sp.		X	
<i>Chondrophycus</i> c.f. <i>dotyi</i> (Y. Saito) K.W. Nam*	X		
<i>Coelothrix irregularis</i> (Harvey) Børgesen	X	X	
<i>Corallina panizzoi</i> Schnetter & U. Richt.	X	X	
<i>Crouania attenuata</i> (C. Agardh) J. Agardh		X	X
<i>Dasyisiphonia collinsiana</i> (M. Howe) M.M. Cassidy, C.W. Schneid. & G.W. Saunders*	X	X	
<i>Dasya corymbifera</i> J. Agardh*		X	X
<i>Gayliella mazoyerae</i> T. Cho, Fredericq & Hommers.	X	X	X
<i>G. taylorii</i> (E.Y. Dawson) T.O. Cho & S. Boo	X	X	X
<i>G. womersleyi</i> T.O. Cho, Maggs & L.J. McIvor	X		
<i>Gelidiella</i> sp.		X	
<i>Gelidium serrulatum</i> J. Agardh		X	
<i>Gelidium</i> sp.	X	X	
<i>Gracilaria damicornis</i> J. Agardh		X	
<i>G. mammillaris</i> (Mont.) M. Howe	X	X	
<i>Grateloupia doryphora</i> (Mont.) M. Howe	X	X	
<i>G. filicina</i> (J.V. Lamour.) C. Agardh	X	X	
<i>Griffithsia globulifera</i> Harvey ex Kütz.		X	
<i>Griffithsia</i> sp.		X	
<i>Gymnogongrus tenuis</i> J. Agardh	X	X	
<i>Herposiphonia pecten-veneris</i> (Harvey) Falkenb.		X	
<i>H. secunda</i> (C. Agardh) Ambronn	X	X	X
<i>H. tenella</i> (C. Agardh) Ambronn	X	X	X
<i>Heterosiphonia crispella</i> (C. Agardh) M.J. Wynne	X		

Tabla 1. Continuación...

Playa	Playa Caracolito	Epífita Caimán	
<i>H. gibbesii</i> (Harvey) Falkenb.*		X	
<i>Hydrolithon farinosum</i> Penrose & Y.M. Chamb.	X	X	X
<i>Hypnea charoides</i> J.V. Lamour.	X	X	X
<i>Jania pedunculata</i> var. <i>adhaerens</i> A.S. Harvey, Woelk. & Reviere	X	X	X
<i>J. pumila</i> J.V. Lamour.	X	X	X
<i>Laurencia filiformis</i> (C. Agardh) Mont.	X	X	
<i>L. obtusa</i> (Hudson) J.V. Lamour.	X	X	
<i>Laurencia</i> sp.	X	X	
<i>Lithophyllum</i> sp.*	X	X	X
<i>Martensia fragilis</i> Harvey*		X	
<i>Melanothamnus ferulaceus</i> (Suhr ex J. Agardh) Díaz-Tapia & Maggs	X	X	X
<i>Nitophyllum punctatum</i> (Stackh.) Grev.		X	
<i>Osmundea oederi</i> (Gunnerus) G. Furnari*	X	X	
<i>O. pinnatifida</i> (Hudson) Stackh.*		X	
<i>Palisada perforata</i> (Bory) K. W. Nam	X	X	
<i>Polysiphonia</i> sp.	X	X	
<i>Pterocladia caerulea</i> Santel. & Hommers.		X	
<i>Taenioma nanum</i> (Kütz.) Papenf.		X	X
<i>T. perpusillum</i> (J. Agardh) J. Agardh	X	X	
<i>Wrangelia argus</i> (Mont.) Mont.	X	X	X
Phylum Ochrophyta			
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mert. ex Roth) Derbès & Solier	X	X	
<i>Dictyopteris delicatula</i> J.V. Lamour.	X	X	X
<i>Heterosiphonia gibbesii</i> (Harvey) Falkenb.*	X	X	
<i>Dictyota ciliolata</i> Sond. ex Kütz.	X	X	
<i>D. crenulata</i> J. Agardh	X	X	
<i>D. dichotoma</i> (Hudson) J.V. Lamour.		X	
<i>D. friabilis</i> Setch.		X	
<i>D. hamifera</i> Setch.		X	
<i>D. pinnatifida</i> Kütz.	X	X	
<i>D. pulchella</i> Hörnig & Schnetter	X	X	
<i>Feldmannia mitchelliae</i> (Harvey) H.-S. Kim	X	X	
<i>Hincksia onslowensis</i> (Amsler & Kapraun) P.C. Silva*		X	X
<i>Lobophora variegata</i> (J.V. Lamour.) Womersley ex E.C. Oliveira	X	X	
<i>Padina boergesenii</i> Allender & Kraft	X	X	
<i>Sargassum natans</i> (L.) Gailon	X	X	
<i>S. buxifolium</i> (Chauv.) M.J. Wynne	X	X	
<i>Sphacelaria tribuloides</i> Menegh.			
Phylum Chlorophyta			
<i>Avrainvillea</i> sp.*	X		
<i>Bryopsis plumosa</i> (Hudson) C. Agardh	X	X	
<i>Caulerpa ambigua</i> Okamura	X	X	
<i>C. racemosa</i> (Forssk.) J. Agardh*	X	X	X
<i>C. sertularioides</i> (S.G. Gmel.) M. Howe	X	X	

Tabla 1. Continuación...

Playa	Playa Caracolito	Epífita Caimán	
<i>Chaetomorpha antennina</i> (Bory) Kütz.	X	X	X
<i>Cladophora dalmatica</i> Kütz.		X	X
<i>Cladophora</i> sp.	X	X	
<i>Codium intertextum</i> Collins & Hervey		X	
<i>Halimeda</i> sp.		X	
<i>Phyllocladon anastomosans</i> (Harvey) Kraft & M.J. Wynne		X	
<i>P. pulcherrimum</i> J.E. Gray*	X		X
<i>Siphonocladus</i> sp.*		X	
<i>Ulva flexuosa</i> Wulfen		X	X
<i>U. lactuca</i> L.	X	X	
Phylum Cyanophyta			
<i>Lyngbya semiplena</i> J. Agardh ex Gomont	X		

* = nuevos reportes para el estado Miranda.

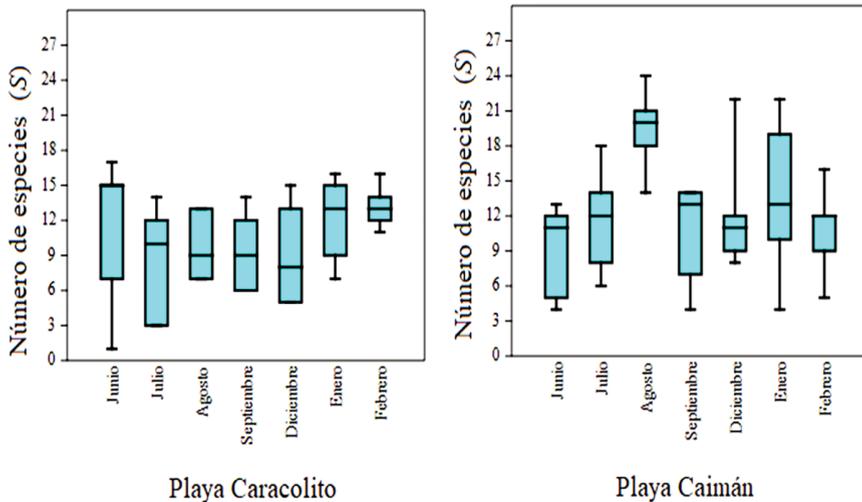


Fig. 2. Riqueza de especies de macroalgas en playa Caracolito y playa Caimán durante los meses de estudio.

En total, se encontraron 29 especies de macroalgas epífitas. Las más frecuentes fueron *Hydrolithon* sp., *Herposiphonia tenella*, *Gayliella taylorii*, *Centroceras gasparrinii*, *Melanothamnus ferulaceus* y *Ceramium floridanum*. Entre las especies que actuaron como hospedadoras destacaron *Laurencia filiformis*, *Palisada perforata*, *Chondria* sp., *Hypnea charoides* y *Wrangelia argus*.

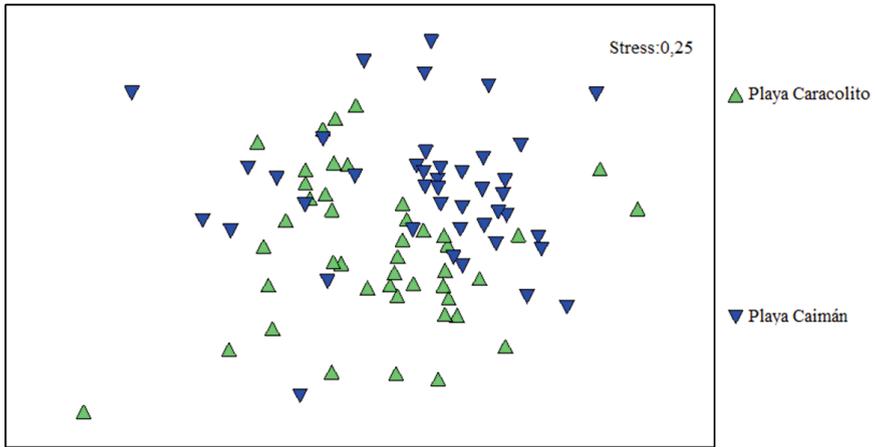


Fig. 3. Análisis de ordenación (NMS) con la matriz de presencia-ausencia de especies de macroalgas por localidad durante los meses junio-septiembre y diciembre de 2014, y enero-febrero de 2015.

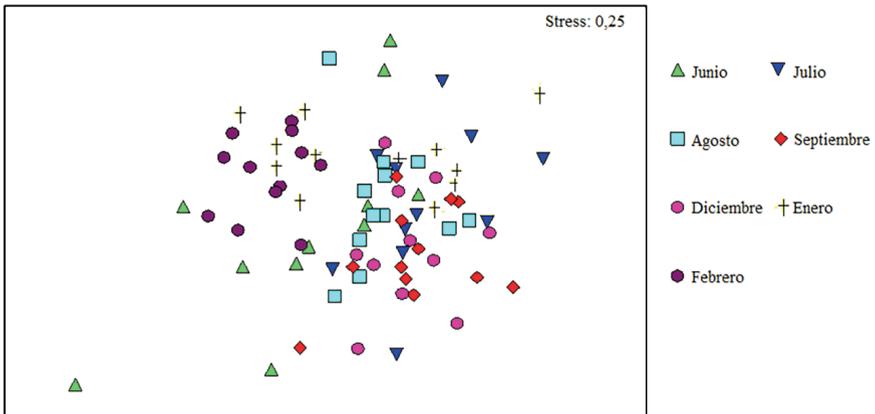


Fig. 4. Análisis de ordenación (NMS) con la matriz de presencia-ausencia de especies de macroalgas por mes desde junio de 2014 hasta febrero de 2015.

Frecuencia de aparición de las macroalgas

Se observaron diferencias en la frecuencia de aparición de las especies de macroalgas entre las dos localidades. En playa Caracolito las especies más frecuentes fueron *Hypnea charoides*, *Centroceras gasparrinii*, *Melanothamnus ferulaceus*, *Dictyopteris delicatula* y las especies del género *Laurencia*. Las especies más frecuentes en playa Caimán fueron *Sargassum hystrix*, *Jania pumila* y *Herposiphonia tenella*. De las 95 especies identificadas, 74

presentaron una frecuencia de aparición escasa, ocho fueron ocasionales y 12 frecuentes. Solo *Hypnea charoides* se consideró una especie permanente apareciendo en el 62,65 % de las muestras.

Al evaluar la frecuencia de aparición mensual se observó que 12 especies (*Ceramium clarionense*, *Dasya collinsiana*, *Osmundea pinnatifida*, *Gayliella womersleyi*, *Heterosiphonia crispella*, *Griffithsia globulifera*, *Halimeda* sp., *Ulva flexuosa*, *Avrainvillea* sp., *Cladophora dalmatica*, *Chaetomorpha antennina* y *Gelidiella* sp.) se encontraron en los meses del periodo de sequía (enero y febrero). En cambio, las especies *Phyllodictyon* sp., *Nitophylum punctatum*, *Griffithsia* sp., *Codium intertextum*, *Martensia fragilis*, *Phyllodictyon anastomosans* y *Caulerpa sertularioides* se encontraron exclusivamente en la temporada de lluvia (agosto y septiembre).

Variables fisicoquímicas y su relación con las especies

En cuanto al análisis de las variables fisicoquímicas del agua, las cuales fueron estimadas durante junio, julio, agosto, septiembre y diciembre de 2014, y enero y febrero de 2015, no se encontraron diferencias significativas en las variables fisicoquímicas del agua entre las dos localidades ($P = 0,6$; $\alpha = 5\%$), pero sí se observaron diferencias temporales. La temperatura del agua fue más alta durante la temporada de lluvias (agosto y septiembre), mientras que a partir de diciembre disminuyó hasta febrero (Fig. 5). El oxígeno disuelto tuvo una media de $6,6 \pm 0,4$ mg/l, con la menor concentración en septiembre ($6,3 \pm 0,01$ mg/l) y la mayor en diciembre ($7,5 \pm 0,01$ mg/l). La salinidad mostró una media de $37,85 \pm 1,2$ PSU, alcanzando su máximo en agosto ($39,8 \pm 0,4$ PSU) y su mínimo en febrero ($37,1 \pm 0,4$ PSU), con diferencias significativas entre los meses ($P < 0,001$).

Las concentraciones de nutrientes variaron a lo largo del estudio. La concentración media de fosfatos (PO_4) fue de $0,26 \pm 0,18$ mg/l, con el valor más bajo en agosto ($0,2 \pm 0,12$ mg/l) y el más alto en febrero ($0,37 \pm 0,3$ mg/l). Los nitritos (NO_2) presentaron diferencias significativas ($P = 0,005$), con concentraciones más altas durante la temporada de sequía ($0,014 \pm 0,001$ mg/l). Los nitratos (NO_3) no mostraron diferencias significativas, con una concentración media de $0,9 \pm 0,4$ mg/l (Fig. 5).

En cuanto a las variables meteorológicas se observó que la radiación media fue $249,61 \pm 17,3$ W/m². La menor radiación se presentó en diciembre con $222,33$ W/m² y la mayor en agosto con $265,82$ W/m². La presión atmosférica mostró diferencias significativas en las variaciones mensuales ($P = 2,843 \times 10^{-8}$) con la mayor intensidad en septiembre con 99.565 Pa, disminuyendo progresivamente hasta alcanzar su menor valor en febrero con

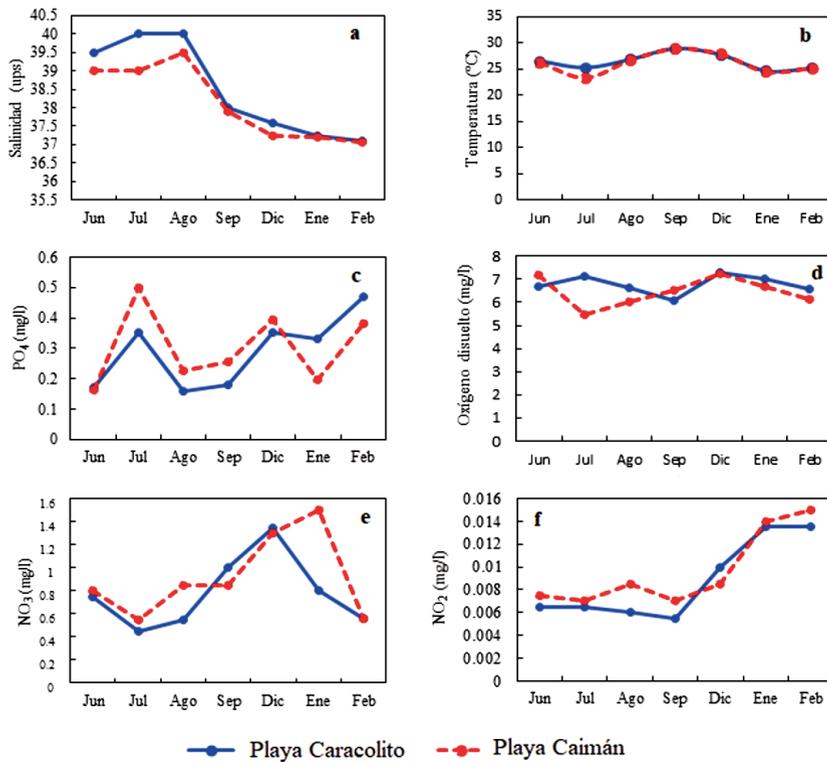


Fig. 5. Variación temporal de las variables fisicoquímicas del agua: a = Salinidad; b = Temperatura; c = Fosfatos; d = Oxígeno disuelto; e = Nitratos; f = Nitritos desde junio de 2014 hasta febrero de 2015.

9.553 Pa. La precipitación anual fue de 717,6 mm, siendo mayor en septiembre con un acumulado de 182 mm y la menor en febrero con 3,75 mm. Los meses de mayor precipitación fueron desde agosto hasta diciembre de 2014; a partir de enero de 2015 la precipitación disminuyó bruscamente (Fig. 6). Al considerar los resultados del análisis de las variables fisicoquímicas se podría sugerir que el estudio fue realizado abarcando las dos estaciones climáticas de la zona, donde se observó la temporada de lluvia desde agosto hasta diciembre de 2014, y luego la temporada de sequía entre enero y febrero de 2015.

Del análisis de correspondencia canónica con las variables fisicoquímicas y las especies de macroalgas, cuyos dos primeros ejes explicaron el 50,63 % de la variabilidad de los datos, se obtuvo que la presencia de dos

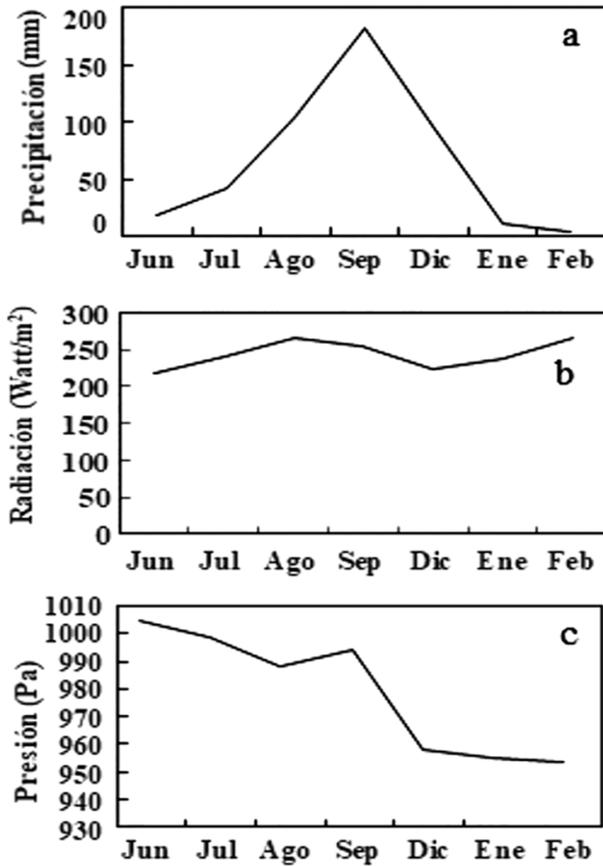


Fig. 6. Variación temporal de las variables meteorológicas: a = Precipitación; b = Radiación; c = Presión atmosférica, desde junio de 2014 hasta febrero de 2015.

especies se correlaciona positivamente con la temperatura, variable de mayor peso en el primer eje. Otro grupo de especies (*C. dotyi*, *Cladophora dalmatica*, *C. racemosa*, *P. pulcherrimum* y *H. pectenvenenis*) se correlaciona positivamente con la salinidad, la variable más importante en el segundo eje. Se observaron grupos correlacionados con el oxígeno disuelto en forma positiva: *Avrainvillea* sp., *Osmundea oederii*, *Dasyisiphonia collinsiana*, *Hincksia onslowensis*, *Gayliella womersleyi* y *Taenioma namun*. También se observó un conjunto de especies que se ubican al centro de la gráfica indicando que no se correlacionan directamente con las variables ambientales estudiadas (Fig. 7).

colombiano se reportaron 30 taxa de macroalgas, con predominancia de Rhodophyta, cinco Ochrophyta y cinco Chlorophyta (Delgado *et al.* 2008). Por otro lado, en los litorales rocosos de México se ha reportado un número de especies mayor (134 especies) (Landa-Cansigno *et al.* 2019). Comparando la riqueza observada en este estudio con playas cercanas, Costilla (2019) identificó 112 especies en playa Caribe, 17 más que las registradas aquí. Estos valores de riqueza destacan por el contraste entre la cantidad de algas que se reportan en los estudios anteriores, en los cuales se identificaron entre 50-70 especies en litorales rocosos en playas cercanas (Solé & Vera 1997; Ardito & García 2009). Estos resultados resaltan la necesidad de continuar con estudios ficoflorísticos en la región, que incluyan muestreos mensuales para detectar la presencia de especies poco comunes o estacionales.

Al comparar la composición global y las especies más frecuentes en cada playa se evidenció que existen ligeras diferencias entre las localidades, siendo playa Caimán más rica en comparación con playa Caracolito. La diferencia en la composición y riqueza de especies entre los litorales rocosos estudiados puede estar influenciada por irregularidades del sustrato, tamaño y tipo de sustrato y grado de resistencia a la acción del oleaje, por lo que localidades relativamente cercanas pueden tener una composición ligeramente diferente. Por ello, es importante incorporar en los estudios ecológicos de la comunidad de macroalgas el análisis de los factores de heterogeneidad espacial, exposición al oleaje, tipo de plataforma o sustrato, presencia de hendiduras, grietas y canales, así como un variado grupo de factores abióticos y bióticos (García & Gómez 2004).

La diferencia en la composición y frecuencia de aparición de las especies entre las dos localidades estudiadas puede tener su origen en las diferencias morfológicas entre playa Caimán y playa Caracolito. Por ejemplo, playa Caimán con mayor número de especies está más protegida al ser una ensenada y posee una gran disponibilidad de sustratos rocosos que permiten el asentamiento de propágulos y esporas de las macroalgas; asimismo, la mayor inclinación de la pendiente de la línea de costa y exposición al oleaje pudieran favorecer el recambio de especies oportunistas que aprovechan la disponibilidad de espacios creados por el desprendimiento natural de biomasa, ocasionado por la fuerza del oleaje al impactar con el sustrato rocoso. Esto último se sugiere por la frecuencia con la que se encuentra en playa Caimán un grupo de cianobacterias y algas filamentosas, las cuales son señaladas como especies oportunistas de rápido crecimiento que pueden fijarse a los sustratos recién liberados (Ballesteros *et al.* 1984; Acosta & De la Guardia 2004; Nava *et al.* 2017). Por otra parte, la gran extensión de playa arenosa de playa Caracolito puede elevar la sedimentación sobre el sustrato, provocando

que los granos de arena sobre los bancos de algas ocasionen daños, ya sea por abrasión o enterramiento, destruyendo los talos y perturbando el crecimiento y estabilidad de las algas (Aguila *et al.* 2000).

La similitud en la composición de especies entre ambas playas podría explicarse porque las especies exclusivas de cada una tienen una baja frecuencia de aparición y, por lo tanto, su influencia en la comunidad general es limitada. Las especies con mayor frecuencia de aparición son las que determinan la similitud entre playas, como lo sugieren los resultados del análisis SIMPER, que identificó a *Melanothamnus ferulaceus*, *Hypnea charoides*, *Laurencia filiformis*, *Hydrolithon* sp. y *Dictyota delicatula* como las principales contribuyentes a la similitud.

Las macroalgas en la zona intermareal de los litorales rocosos están influenciadas por factores abióticos que pueden variar a lo largo del día (mareas y fotoperiodo) o estacionalmente (Lalegerie *et al.* 2020). En este estudio se observó que la variación de la salinidad, precipitación, radiación y temperatura está relacionada con la dinámica de las condiciones ambientales, afectando la composición de las macroalgas. Durante la temporada de lluvias se registró mayor diversidad de especies, lo que coincide con estudios realizados en Brasil donde los cambios en la temperatura y salinidad influyen en la riqueza y composición de especies a mayor escala (Steigleder *et al.* 2019). En contraste, en la costa Caribe de Colombia la temperatura del agua se identificó como el factor principal que influye en la distribución de algas a nivel regional, mientras que a nivel local son la salinidad, el oleaje y el tipo de sustrato las variables que tienen un papel más relevante (Bula-Meyer 1977).

Por su parte, las concentraciones de NO_2 y NO_3 no presentaron relación con la riqueza y composición, pero sí evidenciaron variaciones por las estaciones climáticas evaluadas, siendo su concentración más alta en temporada de sequía. Así mismo, el oxígeno disuelto y PO_4 no mostraron relación con la composición de especies ni variaciones relacionadas con las temporadas climáticas.

Al analizar la frecuencia de aparición y los cambios en la composición de la comunidad de macroalgas durante los periodos climáticos (sequía y lluvia) se sugiere que la comunidad evaluada está compuesta por especies que en su ciclo de vida tienen variaciones estacionales, como es el caso de *Sargassum* spp. (Aguila *et al.* 2000; Borges *et al.* 2008), la cual puede tener un mayor crecimiento durante una temporada específica del año (Nuñez & Casas 1997).

La variación de la diversidad de algas marinas por estaciones climáticas puede deberse a la variación de la concentración de nutrientes, salinidad y temperatura, disponibilidad de luz y la acción de las olas durante las diferentes estaciones (Lobban *et al.* 1994). En este estudio se evidenció la variación estacional de la temperatura, salinidad y precipitación por periodo climático; como consecuencia, las macroalgas intermareales deben lidiar continuamente con la variación de las condiciones ambientales que influyen directa o indirectamente, y juegan un papel crítico en modular la abundancia y distribución de la comunidad (Umanzor *et al.* 2019). Por ejemplo, las variaciones en la salinidad afectan diferentes aspectos del metabolismo de las macroalgas, en particular la fotosíntesis, la respiración, los flujos iónicos y el crecimiento de las algas (Lalegerie *et al.* 2020). Finalmente, se puede presumir que en los litorales rocosos la estructura de las comunidades de macroalgas está relacionada con los factores ambientales abióticos (García & Gómez 2004) tales como la radiación solar, salinidad, exposición al oleaje y movimiento del agua, los cuales son modificados por los cambios estacionales o periodos climáticos.

CONCLUSIONES

Se identificaron 95 especies de macroalgas, incluyendo 14 nuevos registros para el estado Miranda, contribuyendo significativamente al inventario ficoflorístico de la región. La estructura taxonómica de las comunidades estudiadas refleja la composición típica de litorales rocosos en regiones tropicales, dominada por Rhodophyta, seguida de Ochrophyta y Chlorophyta. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre las localidades, sí se observaron variaciones en la composición de especies a lo largo de los meses, posiblemente influenciadas por los cambios estacionales. Estas variaciones estacionales indican la sensibilidad de las comunidades de macroalgas a los cambios climáticos, lo que podría utilizarse como un indicador de la salud de los ecosistemas costeros y del impacto de las perturbaciones ambientales.

Este estudio no solo aporta información valiosa para comprender la dinámica de la biodiversidad de macroalgas en litorales rocosos tropicales, sino que también proporciona una línea base para futuros monitoreos a largo plazo, especialmente en el contexto de los cambios ambientales globales. Los resultados sugieren la necesidad de implementar estudios continuos que consideren tanto los factores bióticos como abióticos, para evaluar su impacto sobre la diversidad de las macroalgas y la resiliencia de estas comunidades ante variaciones climáticas y presiones antropogénicas.

La información obtenida podría ser de utilidad para la formulación de políticas de manejo y conservación de las zonas costeras, promoviendo la protección de hábitats críticos como los litorales rocosos y fomentando prácticas sostenibles que reduzcan la presión sobre estos ecosistemas. Además, se subraya la importancia de la conservación de la diversidad de macroalgas, que desempeñan un papel esencial en la estabilidad ecológica de los ambientes marinos al proporcionar hábitat y sustento a diversas especies.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo (Intevep), al Instituto Experimental Jardín Botánico “Dr. Tobías Lasser” y al Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET) de la Universidad Central de Venezuela por todo el apoyo ofrecido para la realización de este trabajo. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al comité editor de la revista por el valioso apoyo brindado durante el proceso de revisión y publicación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A.V. & E. De la Guardia Llansó. 2004. Variación espacial y temporal de la comunidad de algas en el arrecife costero de Boca de Canasí, La Habana, Cuba. *Revista Invest. Mar.* 25(2): 123-131.
- Aguila, R., M. Valdez, M. Ayala & R. López. 2000. Variación estacional de la ficoflora en la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, México. *Hidrobiologica* 10(2): 147-160.
- Airoidi, L. & M.W. Beck. 2007. Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. *Oceanogr. Mar. Biol.* 45: 345-405.
- Anderson, M. 2005. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26(1): 32-46. <<https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>>
- Ardito, S. & M. García. 2009. Estudio ficológico de las localidades de Puerto Francés y San Francisquito, estado Miranda, Venezuela. *Acta Bot. Venez.* 32(1): 113-143.
- Badii, M.H., J. Landeros & E. Cerna. 2007. Patrones de asociación de especies y sustentabilidad. *Revista Daena: Int. J. Good Conscience* 3(1): 632-660.
- Ballesteros, E., M.M. Pérez & M. Zabala. 1984. Aproximación al conocimiento de las comunidades algales de la zona infralitoral superior en la costa catalana. *Collect. Bot.* 15: 69-100.
- Bates, C.R. & R. De Wreede. 2007. Do changes in seaweed biodiversity influence associated invertebrate epifauna? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 344(2): 206-214.
- Begon, M., J. Harper & C. Townsend. 1999. *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Editorial Omega, Barcelona, España.

- Borges, C., Y. Almada & C. Gomes. 2008. Aspectos populacionais de *Sargassum vulgare* C. Agardh (Ochrophyta; Fucales) na ponta do Arpoador, Río de Janeiro. *Oecologia* 12(2): 291-298.
- Bruno, J.F., K.E. Boyer, J.E. Duffy, S.C. Lee & J.S. Kertesz. 2005. Effects of macroalgal species identity and richness on primary production in benthic marine communities. *Ecol. Lett.* 8(11): 1165-1174.
- Bula-Meyer, G. 1977. Algas marinas bénticas indicadoras de un área afectada por aguas de surgencia frente a la costa Caribe de Colombia. *Anales Inst. Invest. Mar. Punta de Betin* 9: 45-57.
- Carvache, K. 2009. Distribución de las macroalgas en la zona intermareal rocoso en las playas de Salinas, La Libertad y Ballenita (Península de Santa Elena), Ecuador. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Cea, M. 2018. Caracterización de las condiciones ambientales históricas asociadas a los florecimientos de algas nocivas en el sector costero de la Región de Los Lagos. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Clarke, K.R. & R.M. Warwick. 1994. Similarity-based testing for community pattern: the two-way layout with no replication. *Mar. Biol.* 118(1): 167-176.
- Clarke, K.R. & R.N. Gorley. 2006. *PRIMER v6: User manual/tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research)*. PRIMER-E. Plymouth, United Kingdom.
- Costilla, M. 2019. Estructura y distribución espacial de la comunidad de macroalgas bénticas asociadas a la zona mesolitoral de la plataforma rocosa de Playa Caribe, Chuspa, estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Dayton, P.K., S.F. Thrush, M.T. Agardy & R.J. Hofman. 1998. Environmental effects of marine fishing. *Aquatic Conservation* 8(3): 215-232.
- Dean, R. & J. Connell. 1987. Marine invertebrates in an algal succession. II. Tests of hypotheses to explain changes in diversity with succession. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 109(3): 217-247.
- Delgado, M.J., B.J. Palacio & N. Aguirre. 2008. nororiental del golfo de Urabà, Caribe colombiano. *Gestión y Ambiente* 11(3): 27-42.
- Ganesan, E.K. 1983. Evaluación de la flora macrobentónica (macroalgas y fanerógamas marinas) de la cuenca Tuy-Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. (Cumaná)* 22: 145-176.
- Ganesan, E.K. 1989. *A catalog of benthic marine algae and seagrasses of Venezuela*. Fondo Editorial CONICIT. Caracas, Venezuela.
- García, M. & S. Gómez. 2004. Macroalgas bénticas marinas de la localidad Carmen de Uria, estado Vargas, Venezuela. *Acta. Bot. Venez.* 27(1):43-56.
- García, M., S. Ardito & S. Gómez. 2002. *Antithamniionella boergesenii* (Cormaci et Furnari) Athanasiadis (Rhodophyta, Ceramiales), nuevo registro para Venezuela. *Ernstia* 12(3-4): 173-181.

- Gómez, S. & M. García. 2017. Reseña histórica, catálogo actualizado y estatus actual de los estudios florísticos sobre macroalgas bénticas marinas de Venezuela. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Gómez, S. & Y. Carballo. 2018. Ficoflora de macroalgas bénticas marinas venezolanas. Estatus actual. *MIBE* 9: 109-112.
- Gómez, S., M. García & N. Gil. 2013. Adiciones a la ficoflora marina de Venezuela. I. Rhodomelaceae (Rhodophyta). *Acta Bot. Venez.* 36(2): 183-195.
- Guiry, M.D. & G.M. Guiry. 2024. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. <<https://www.algaebase.org>>
- Lalegerie, F., L. Gager, V. Stiger-Pouvreau & S. Connan. 2020. The stressful life of red and brown seaweeds on the temperate intertidal zone: effect of abiotic and biotic parameters on the physiology of macroalgae and content variability of particular metabolites. *Advances Bot. Res.* 95(1): 247-287. <<https://doi.org/10.1016/bs.abr.2019.11.007>>
- Landa-Cansigno, C., L. Mateo-Cid, A. Mendoza-González & J. Guerrero-Analco. 2019. Macroalgas marinas del litoral rocoso Neovolcánico de Veracruz, México. *Acta. Bot. Mex.* 95(126): 1-18. <<https://doi.org/10.21829/abm.126.2019.1525>>
- Lemus, J. & E. Pérez. 2011. La percepción de las condiciones sociales y su influencia en el desarrollo de la actividad turística en la Parroquia Higuerote, estado Miranda, Venezuela. *Terra* 27(41): 97-123.
- Li-Alfaro, G. & A. Zafra-Trelles. 2012. Composición, abundancia y diversidad de macroalgas en el litoral de puerto de Malabrigo, La Libertad, Perú. *Sciéndo* 15(1): 33-42.
- Littler, D.S. & M.M. Littler. 2000. *Caribbean Reef Plants: An identification guide to the reef plants of Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico*. Offshore Graphics, Inc, Washington DC, USA.
- Lobban, C.S., P.J. Harrison & P. Harrison. 1994. *Seaweed ecology and physiology*. Editorial Cambridge University Press. New York, USA.
- Mann, H.B. & D.R. Whitney. 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann. Math. Statist.* 18(1): 50-60.
- Michel, L. 2011. Multidisciplinary study of trophic diversity and functional role of amphipod crustaceans associated to *Posidonia oceanica* meadows. Dissertation of PhD in Sciences. Department of Biology, Ecology et Evolution. University of Liege. Liege, Belgique.
- Montgomery, D. 2004. *Diseño y análisis de datos*. Editorial Limusa Wiley. México D.F., México.
- Nava, R., L. Mateo-Cid, A.C. Mendoza-González & D.Y. García-López. 2017. Macroalgas, microalgas y cianobacterias epífitas del pasto marino *Thalassia testudinum* (Tracheophyta: Alismatales) en Veracruz y Quintana Roo, Atlántico mexicano. *Revista Biol. Mar. Oceanogr.* 52(3): 429-439.

- Nuñez, R. & M. Casas. 1997. Variación estacional de la biomasa y talla de *Sargassum* spp. (Sargassaceae, Phaeophyta) en Bahía Concepción, B.C.S., México. *Hidrobiologica* 7: 19-25.
- Odum, E.P. 1972. *Ecología*. Editorial Interamericana. México D.F., México.
- Pereira, C., M. García, E. Zoppi de Roa & V. Hernández. 2020. Macroalgas de la zona marina submareal del estado Miranda, Venezuela. *Acta Biol. Venez.* 40(1): 1-25.
- Quirós-Rodríguez, J., J. Arias-Ríos & R. Ruiz. 2010. Estructura de las comunidades macroalgales asociadas al litoral rocoso del departamento de Córdoba, Colombia. *Caldasia* 32 (2): 339-354.
- Sibaja-Cordero, J.A. & J.A. Vargas-Zamora. 2006. Zonación vertical de epifauna y algas en litorales rocosos del Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Biol. Trop.* 54 (1): 49-67.
- Solé, M. & B. Vera. 1997. Caracterización de las macroalgas marinas bénticas en la región Chirimena-Punta Caimán, Edo. Miranda, Venezuela. *Caribbean J. Sci.* 33(3-4): 180-190.
- Steigleder, K.M., M. Copertino, M. Lanari, M. Camargo & M. Fujii. 2019. Latitudinal gradient in intertidal seaweed composition off the coast of southern Brazil and Uruguay. *Aquatic Bot.* 156: 47-56. <<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2019.04.003>>
- Strickland, J. & R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. The Alger Press Ltd. Ottawa, Canada.
- Taylor, W.R. 1960. Marine algae of the Eastern tropical and subtropical coasts of the Americas. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, USA.
- Torres, A., P. Veiga, M. Rubal & I. Sousa-Pinto. 2015. The role of annual macroalgal morphology in driving its epifaunal assemblages. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 464(1): 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.12.016>.
- Umanzor, S., L. Ladah, L.E. Calderón-Aguilera & J. Zertuche-González. 2019. Testing the relative importance of intertidal seaweeds as ecosystem engineers across tidal heights. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 511: 100-107.
- Urbani, F. & M. Ostos. 1989. El complejo Ávila, Cordillera de la Costa, Venezuela. *Geos* 29(1): 205-217.
- Villarreal, L. 1995. Condiciones ambientales, crecimiento y valor químico de algas marinas en dos localidades del estado de Tamaulipas, México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México.
- Web Ficoflora Venezuela. 2024. Catálogo digital de la Ficoflora de Venezuela. Publicación electrónica. Universidad Central de Venezuela, Caracas. Gómez, S., Y. Carballo Barrera, M. García & N. Gil Luna (eds.). <<http://www.ficofloravenezuela.info.ve/public/index>>
- Wynne, M.J. 2022. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical Western Atlantic: fifth revision. *Nova Hedwigia* 153: 1-180.

