

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación del estado de conservación del pasto marino en localidades de La Habana, Cuba

Assessment of the conservation status of seagrass in localities along Havana, Cuba

Laura Pérez-Martínez ^{1*}
Claudia Cabrera Guerra ²
Beatriz Martínez-Daranas ³

¹ CNAP, Calle 18 A No. 4114 e/41 y 47, Playa.

² Instituto Iberia, calle José Jiménez Miralles 12, Santiago de Los Caballeros, República Dominicana.

³ Centro de Investigaciones Marinas. Calle 16 No. 114, Playa, La Habana 11300, Cuba.

Autor para la correspondencia:
laurapm.bm@gmail.com

OPEN ACCESS

Distribuido por:
Creative Commons Atribución-
NoComercial 4.0 Internacional
(CC BY-NC 4.0)

Editor:
Ángel Moreira
(CEAC)

Recibido: 07.06.2024
Aceptado: 06.06.2025

Resumen

Se evaluó el estado ecológico de los pastos marinos y la estructura de la comunidad de macrófitas en dos zonas de la costa norte de La Habana mediante muestreo y procesamiento de imágenes. El índice de evaluación ecológico (EEI) y el indicador de estado ecológico (ESC) mostraron que ambas localidades se encuentran en buenas condiciones. Sin embargo, un análisis de varianza multivariado permutacional demostró diferencias significativas en la estructura del macrofitobentos. El PNP Rincón de Guanabo mostró los valores más bajos de diversidad de géneros de macroalgas (12 géneros) y el más alto fue en Santa Fe (21 géneros). Las diferencias podrían deberse a factores no evaluados, como la nutrificación de las aguas y el tipo de sustrato. El índice fue semejante en las praderas estudiadas debido a que reúne la variedad de grupos morfofuncionales de macroalgas y angiospermas marinas en dos categorías solamente, lo que le resta sensibilidad. Por ello, se recomienda el uso de la estructura de la comunidad macrofitobentónica para detectar diferencias en el estado ecológico de los pastos marinos.

Palabras clave: angiospermas marinas, estado ecológico, grupos morfofuncionales, índices, macroalgas.

Abstract

The ecological status of seagrass beds and the structure of the macrophyte community were assessed in two areas along the northern coast of Havana through sampling and image processing. The Ecological Evaluation Index (EEI) and the Ecological Status Class (ESC) indicated that both locations are in good condition. However, a permutational multivariate analysis of variance revealed significant differences in the structure of the macroalgal benthos. The PNP Rincón de Guanabo exhibited the lowest macroalgal genera diversity (12 genera), while Santa Fe showed the highest (21 genera). These differences could be attributed to unassessed factors such as water eutrophication and substrate type.

The index was similar across the studied meadows because it clusters the variety of morphofunctional groups of macroalgae and marine angiosperms into only two categories, reducing its sensitivity. Therefore, it is recommended to use the structure of the macrophyte benthic community to detect differences in the ecological status of seagrass beds.

Keywords: marine angiosperms, ecological status, morphofunctional groups, indexes, macroalgae.

Introducción

Las angiospermas marinas son el principal elemento que constituyen los pastos marinos. Estas plantas poseen una estructura morfológica con los mismos componentes de las plantas terrestres (Hemminga & Duarte, 2000; van Tussenbroek *et al.*, 2010). Cada organismo está constituido por una porción de rizoma rastrero, del cual brotan tallos erectos que portan un haz de hojas, llamados vástagos, los cuales son considerados las unidades básicas de las praderas marinas (Larkum *et al.*, 2006; Martínez-Daranas *et al.*, 2013).

De las aproximadamente 70 especies de pastos marinos registradas en el mundo (en dependencia de los criterios de los taxónomos), existen ocho descritas oficialmente para la zona del océano Atlántico occidental tropical y subtropical (van Tussenbroek *et al.*, 2010; Serrano *et al.*, 2021). De estas, siete se distribuyen en las aguas cubanas y las más comunes son *Syringodium filiforme* Kützing, *Halodule wrightii* Ascherson y *Thalassia testudinum* K.D. Koenig. Esta última es la de mayor importancia por su abundancia en la plataforma insular y rol ecológico (Clero-Alonso *et al.*, 2006; Martínez-Daranas & Suárez, 2018).

Los pastizales marinos son ecosistemas que brindan numerosos bienes y servicios, tanto para el ser humano, como para la diversidad biológica marina (Nordlund *et al.*, 2018). Las hojas de los pastos son una fuente de productos secundarios con efectos antioxidantes y antiinflamatorios (Menéndez *et al.*, 2014; Rodeiro *et al.*, 2018), por lo que pueden ser utilizadas para la obtención de

productos farmacológicos (Rodeiro *et al.*, 2018). El extracto hidroalcohólico (BM-21) extraído de las hojas de *T. testudinum* tiene propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antitumorales, entre otras (Menéndez *et al.*, 2014). No obstante, su principal valía se encuentra en los servicios ecosistémicos que otorgan (Martínez-Daranas & Suárez, 2018): presentan una elevada producción primaria (van Tussenbroek *et al.*, 2010), sostienen una alta biodiversidad (Nordlund *et al.*, 2018) y participan en la regulación del clima global (Romero *et al.*, 2006). El ciclo de vida de muchos organismos depende del rol esencial que juegan los pastos marinos como ecosistema (van Tussenbroek *et al.*, 2010; Nordlund *et al.*, 2018). Son considerados filtros naturales ya que retienen las partículas de sedimentos, mejoran la calidad de las aguas y controlan la biogeoquímica costera (Larkum *et al.*, 2006; Nordlund *et al.*, 2018). Además, sus hojas otorgan amortiguación hidrodinámica al reducir el impacto de las olas y las corrientes marinas (van Tussenbroek *et al.*, 2010). Según van Tussenbroek *et al.* (2010), los pastos marinos y los manglares son ecosistemas que influyen en la disminución de los efectos provocados por el calentamiento global, ya que capturan el carbono atmosférico. También participan en el proceso de disminuir la acidificación de los océanos (Unsworth *et al.*, 2012) y la presencia de bacterias dañinas (Lamb *et al.*, 2017). Estos ecosistemas sirven como indicadores ecológicos del estrés natural ocasionado por factores como: la herbivoría, terremotos y eventos hidrometeorológicos (van Tussenbroek *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2015; Gómez *et al.*, 2019). Asimismo, se puede corroborar el estrés antrópico existente debido a su cosecha, aguas contaminadas y la deforestación de zonas de manglar cercanas a ellos (Albis, 2010; Liceaga-Correa *et al.*, 2010; Gómez, 2019), pues los cambios en la calidad del agua repercuten notablemente en estos ecosistemas (Lee *et al.*, 2004). El deterioro de los pastos marinos se ha convertido en un asunto de particular preocupación (Waycott *et al.*, 2009), puesto a que ocasiona la pérdida de los múltiples bienes y servicios que proporcionan (Costanza *et al.*, 1997).

Existen varios métodos para evaluar el estado de los pastizales; el más común son los muestreos *in situ*, el cual tiene como objetivo detectar las variaciones temporales de la estructura de la comunidad de macrofitas (Martínez-Daranas *et al.*, 2013). Para ello se emplean los grupos morfofuncionales (GMF) de las macroalgas marinas, las cuales son agrupadas en categorías según sus morfologías, características fenotípicas, su fisiología, entre otras (Littler *et al.*, 1983; Littler & Littler, 1984). La utilización de los GMF permite calcular el Índice de Evaluación Ecológica (EEI por sus siglas en inglés), por ende, conocer el estado de las angiospermas marinas en una pradera determinada (Orfanidis *et al.*, 2003).

Se han realizado varias investigaciones que han evaluado el estado de los pastos marinos en el Caribe a partir de indicadores como la nutrificación a consecuencia de la actividad humana (Martínez-Daranas, 2007; Mutchler *et al.*, 2007; Albis, 2010), la salinidad, la transparencia, la temperatura del agua, la biomasa, la cobertura y la forma de las hojas de las praderas (Bairon *et al.*, 2010). Asimismo, se han utilizado las macroalgas bentónicas (*v.g.* epífitas) como indicadores de afectaciones al ecosistema (Littler & Littler, 2005; Martínez-Daranas *et al.*, 2009; Russet-Rodríguez *et al.*, 2019). No obstante, existen pocos trabajos acerca del estado de conservación de los pastos marinos en Cuba, en particular, en el norte de La Habana. Como parte de las investigaciones que se están realizando en Cuba para comprender la ecología de los pastos marinos, se estableció como objetivo evaluar el estado ecológico de estos en localidades de la costa norte de La Habana.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en dos localidades de la costa norte de La Habana: Paisaje Natural Protegido (PNP) Rincón de Guanabo y Santa Fe. El PNP Rincón de Guanabo se encuentra ubicado en la ensenada de Sibarimar (municipio Habana del Este), en la

costa noreste de La Habana (Aguilera, 2017). Según el Centro Provincial de Patrimonio Cultural de La Habana, el PNP Rincón de Guanabo es considerado un Paisaje Natural Protegido y Monumento Local, y fue aprobado oficialmente por el Acuerdo 7233/2012 del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros (Ruiz Plasencia, 2017).

La zona constituye el límite litoral de un esquema de terrazas escalonadas las cuales se encuentran paralelas a la línea de costa, además de que presenta un extenso arrecife con elevada diversidad y proliferación de especies coralinas. El relieve de la zona se caracteriza por un perfil clásico de plataforma estrecha, costas abrasivas, áreas llanas con dunas y/o camellones costeros (Aguilera, 2017). Es decir, en la morfología de este sector sobresalen la cresta coralina bien definida y los distintos niveles de la terraza submarina: terraza rocosa abrasiva superior, veril, terraza inferior y escarpe profundo (Iturralde-Vinent, 1985). En el área comprendida entre la costa y la cresta coralina se encuentra una laguna arrecifal cuya profundidad no sobrepasa los 6 m, con praderas monoespecíficas de *T. testudinum* o de forma mixta junto a *S. filiforme*, y varios parches de arena, al igual que algunas zonas con sustrato rocoso (Aguilera, 2017).

Se ubicaron dos estaciones para realizar la evaluación del estado de conservación de la pradera más cercana a la costa que tiene una extensión de 146523.5 m² (Aguilera, 2017). La primera estación se ubicó a 70 m de la costa donde reside la población local (se observaron cinco viviendas), que vierte sus residuos directamente al mar y, por ende, esta zona se encuentra más antropizada. Esta se caracteriza por tener un sustrato predominantemente rocoso con parches de arena (RG1: 23.172877, -82.097333, Fig. 1). La segunda estación, ubicada unos 3 m a la derecha de la salida de la laguna, es un sitio menos antropizado y con sustrato arenoso (RG2: 23.173904, -82.100175, Fig. 1).

Santa Fe, en cambio, se encuentra ubicado en el municipio Playa, en la costa noroeste de La Habana. Limita



Fig. 1. Áreas de estudio: PNP Rincón de Guanabo y Santa Fe. Fuente: Sitio Web ©Mapcreator.io|OSM.org. Estrellas rojas: estaciones de muestreo.

Fig. 1. Study areas: PNL Rincón de Guanabo and Santa Fe. Source: Website ©Mapcreator.io|OSM.org. Red stars: sampling stations.

al este con el consejo Jaimanitas y al oeste con Baracoa, municipio Bauta (Alcaide-Orpí *et al.*, 2012). El área de estudio corresponde específicamente a la Laguna Grande, la cual es semicerrada y de poca profundidad (≤ 2.5 m) (Gómez y Martínez-Daranas, 2016). Esta localidad presenta una alta densidad poblacional

y actividad humana (Alcaide-Orpí *et al.*, 2012; Gómez y Martínez-Daranas, 2016). El área se encuentra rodeada de numerosas construcciones que incluyen viviendas urbanas y el vertimiento de aguas albañales (Rivas *et al.*, 2011). Presenta fondos blandos con predominancia de *Penicillus capitatus* Lamarck, *Udotea* spp.

(Chlorophyta) y *T. testudinum* (Gómez y Martínez-Daranas, 2016). Existen grandes parches del género *Halimeda* sp., en los cuales disminuía la presencia de pastos marinos (Obsv. Pers.). Al norte de la laguna, existe un canal que permite la comunicación directa de la Marina Hemingway con el mar, donde se colocó la primera estación (SF1: 23.083318, -82.504517, Fig. 2), mientras que la segunda estación se ubicó hacia el centro de la laguna (SF2: 23.081643, -82.505220, Fig. 2). Entre ambas estaciones existe un canal de mayor profundidad (4 m aproximadamente) fundamentalmente arenoso con poca presencia de pastos marinos.

Muestreo

Se realizó un muestreo en cada localidad en el periodo poco lluvioso del año 2022: en abril en el PNP Rincón de Guanabo y en mayo, en Santa Fe. Se utilizó la metodología propuesta en el Protocolo para el Monitoreo de Pastos Marinos (Martínez-Daranas *et al.*, 2013). En cada estación se colocaron tres transectos de 30 m de longitud, paralelos a la línea de costa (el más cercano a la costa: 1, medio: 2 y final de la pradera: 3), con el objetivo de abarcar la mayor área de pradera posible. A lo largo de cada transecto se colocó cada tres metros un marco de PVC de 25 x 25 cm (n = 10) y se realizó una foto por marco para posteriormente procesar la información. El muestreo se realizó entre los 0.5 y 1.5 m de profundidad.

Análisis de las imágenes

Para evaluar el estado de conservación de los pastizales marinos se utilizó, como indicador, la cobertura de macroalgas por GMF y de las especies de angiospermas marinas. Para determinar dichas variables, se empleó el programa *Coral Point Count* (CPCe) v4.1 para el análisis cuantitativo de las imágenes tomadas en las estaciones de estudio (Fig. 2). Para el procesamiento de las imágenes, se utilizó el método de puntos equidistantes, el cual consiste en colocar en cada imagen un marco cuadrado de 25 x 25 cm, dentro del cual el programa

ubicó 49 puntos equidistantes. Dentro de cada marco cuadrado se estimó el porcentaje de cobertura por especie de angiosperma marina y de las macroalgas por grupo morfofuncional (GMF): calcáreas, carnosas, costrosas, filamentos delicados, correosas, foliosas y globosas, césped de algas y cianobacterias (modificado de Littler *et al.*, 1983; Steneck & Dethier, 1994).

Para la determinación taxonómica al nivel más bajo posible de los pastos marinos y macroalgas se emplearon las claves de van Tussenbroek *et al.* (2010) y Littler y Littler (2000), respectivamente. Se confeccionó una lista de géneros de macroalgas observando las imágenes en su totalidad y no solamente dentro del marco cuadrado; dicha lista tiene el objetivo de identificar los grupos morfofuncionales de macroalgas en las localidades muestreadas.

Estado ecológico de los pastizales

De acuerdo con la metodología modificada por Russet-Rodríguez *et al.*, (2019), se agrupó la cobertura de las angiospermas y macroalgas en dos grupos ecológicos: el grupo I contiene a las macroalgas calcáreas (Calc), costrosas (Cost), correosas (Corr) y las especies de angiospermas *T. testudinum* (TT) y *S. filiforme* (SF); mientras que el grupo II incluye a las macroalgas carnosas (Carn), filamentosas (Fil), foliosas y globosas (FG) y cianobacterias (CB). La cobertura de cada grupo ecológico se empleó para calcular semicuantitativamente dos índices: el índice de evaluación ecológica EEI (*Ecological Evaluation Index*) y el índice de estado ecológico ESC (*Ecological Status-Class*), los cuales arrojarán los valores cuantitativos y cualitativos respectivamente, sobre el estado de conservación de la pradera evaluada (Tabla I). Una vez obtenido el valor medio de la abundancia relativa de las especies en cada uno de los grupos (I y II), se clasificó el estado de conservación según los criterios de Orfanidis *et al.* (2001 y 2003) (Tabla I).

$$(I) \text{ ESGI} = \text{Calc} + \text{Cost} + \text{Corr} + \text{TT} + \text{SF}$$

$$(II) \text{ ESGII} = \text{Carn} + \text{Fil} + \text{CB} + \text{FG}$$

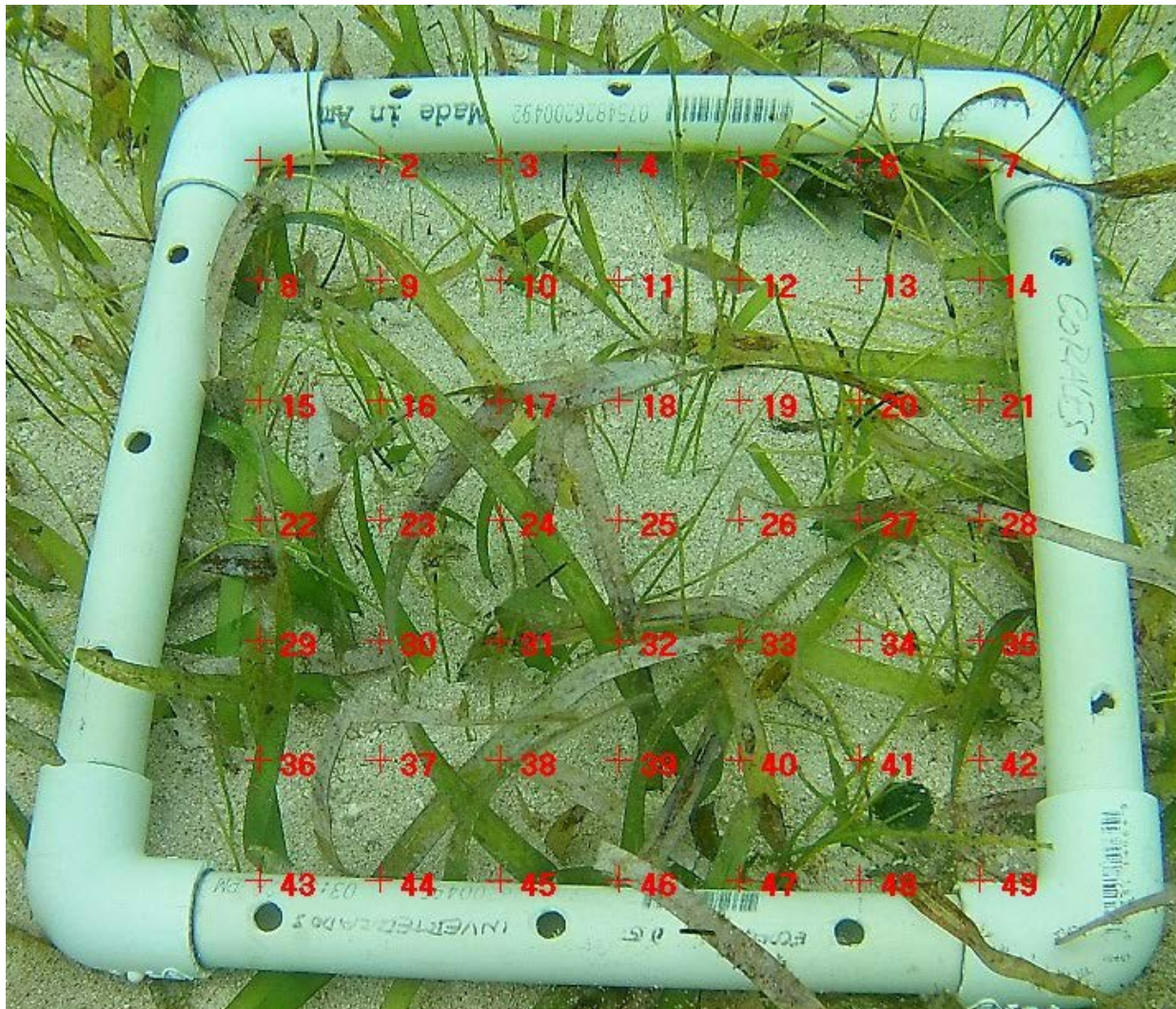


Fig. 2. Imagen procesada por el programa *Coral Point Count* (CPCe) v4.1 para el análisis de cobertura de macroalgas y angiospermas marinas tomada en la estación 2 de la localidad del PNP Rincón de Guanabo (RG2). Método de puntos equidistantes.
Fig. 2. Image processed by the *Coral Point Count* (CPCe) v4.1 software for analyzing macroalgae and marine angiosperm coverage taken at station 2 in the locality of PNL Rincón de Guanabo (RG2). Equidistant point method.

Análisis de datos

Para detectar las diferencias espaciales en la estructura de la comunidad del macrofitobentos (angiospermas + macroalgas), se realizó un análisis de varianza multivariado permutacional (PERMANOVA) con dos factores: estaciones (fijos) y los transectos anidados en las estaciones (fijos). Los datos de cobertura por GMF y las especies de angiospermas en cada fotografía fueron

previamente transformados con raíz cuadrada, para reducir la contribución de la especie dominante al índice de similitud de Bray-Curtis (Clarke & Warwick, 2001; Clarke & Gorley, 2006). Se utilizó el tipo condicional de suma de cuadrados, con el método de permutación de residuales bajo un modelo reducido y se realizaron 9999 permutaciones. Se empleó un nivel de significación de $p < 0.05$. Para apreciar las causas de las

Tabla I. Estimación del índice de evaluación ecológica (EEI) y el equivalente índice de estado ecológico (ESC) a partir de la abundancia de los grupos ecológicos (ESG). Siguiendo la metodología de Orfanidis *et al.* (2003), modificado por Russet-Rodríguez (2016).

Table I. Estimation of the ecological evaluation index (EEI) and the equivalent ecological status class (ESC) based on the abundance of ecological groups (ESG). Following the methodology by Orfanidis *et al.* (2003), modified by Russet-Rodríguez (2016).

Cobertura media de ESG I (%)	Cobertura media de ESG II (%)	ESC	EEI
0 – 30	0 – 30	Moderada	6
	>30 – 60	Baja	4
	>60	Mala	2
>30 – 60	0 – 30	Buena	8
	>30 – 60	Moderada	6
	>60	Baja	4
>60	0 – 30	Alta	10
	>30 – 60	Buena	8
	>60	Moderada	6

diferencias en la estructura de la comunidad entre estaciones y transectos, se realizaron gráficos de barra con la cobertura porcentual de cada especie o GMF de macroalgas. Se realizó un escalado multidimensional no métrico (MDS) con los valores promedio de cobertura de cada especie de angiosperma y GMF, transformados con raíz cuadrada, para cada transecto, en cada estación. Estos análisis se realizaron con el programa PRIMER 6 (Clarke & Warwick, 2001; Clarke & Gorley, 2006) y su versión PERMANOVA+ (Anderson *et al.*, 2008).

Resultados y Discusión

Resultados

Seis grupos morfofuncionales de macroalgas y cianobacterias estuvieron presentes en los pastos marinos de las localidades estudiadas, con mayor cobertura de angiospermas marinas. Las especies mejor representadas fueron *Thalassia testudinum*, clorofíceas rizofíticas del orden Bryopsidales y los géneros *Amphiroa* y *Laurencia s.l.* (Rhodophyta).

La categoría del estado ecológico evaluado en las cuatro estaciones de las áreas de estudio, PNP Rincón de Guanabo y Santa Fe, fue de buena con un EEI de 8 (Tabla II).

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la estructura del macrofitobentos entre las estaciones, así como entre los transectos anidados dentro de las estaciones, de acuerdo con el PERMANOVA realizado (Anexo 1). Las diferencias entre estaciones y entre transectos dentro de cada estación, pueden apreciarse en el MDS (Fig. 3). La estructura del macrofitobentos en RG1 fue similar a RG2 y a SF1, mientras que SF2 fue diferente de las otras tres. SF1 y RG2 también

Tabla II. Indicadores del estado ecológico (ESC) y el índice de evaluación ecológico (EEI) para las estaciones de las localidades del PNP Rincón de Guanabo y Santa Fe durante el período de muestreo.

Table II. Ecological Status Class (ESC) and Ecological Evaluation Index (EEI) for the stations in the PNL Rincón de Guanabo and Santa Fe localities during the sampling period.

Estación	ESGI (%)	ESGII (%)	ESC	EEI
RG1	57,01	13,81	Buena	8
RG2	53,26	1,64	Buena	8
SF1	58,17	9,40	Buena	8
SF2	49,70	3,29	Buena	8

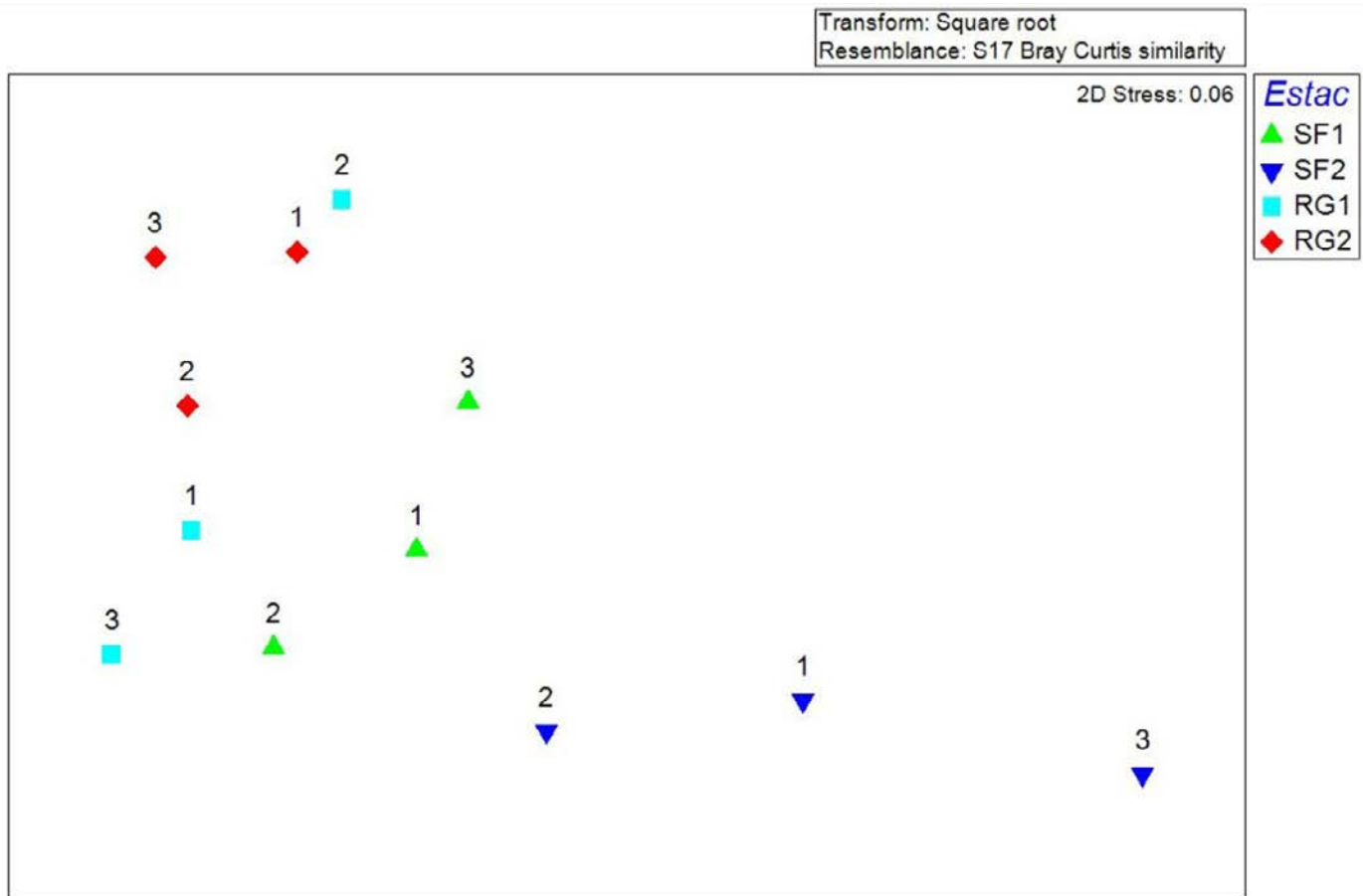


Fig. 3. Resultados del escalado dimensional no métrico realizado con las coberturas de las especies de angiospermas y grupos morfofuncionales de macroalgas por transectos (1, 2 y 3), en cada sitio. Leyenda: Estac: Estaciones; SF1, SF2: Estaciones 1 y 2 de Santa Fe; RG1, RG2: Estaciones 1 y 2 del PNP Rincón de Guanabo.

Figure 3. Results of non-metric dimensional scaling performed with the coverages of angiosperm species and morphofunctional groups of macroalgae per transect (1, 2, and 3), at each site. Figure legend: Estac: Stations; SF1, SF2: Santa Fe Station 1 and 2; RG1, RG2: Station 1 and 2 from PNL Rincón de Guanabo.

fueron diferentes entre ellas. En SF1 y RG2 no hubo diferencias entre los transectos. En SF2 y en RG1, el transecto medio (2) se diferenció del primero y del último.

SF2 se diferencia de las otras estaciones por tener más abundancia de macroalgas calcáreas en los transectos 1 y 3. Además, SF2 cuenta con el menor porcentaje de cobertura de *T. testudinum*, mientras que los transectos con la mayor abundancia fueron: 1 y 3 de SF1, 2 de RG1 y 1 de RG2. Se observó una mayor abundancia de *S. filiforme* en las estaciones del PNP Rincón de Guanabo en comparación con Santa Fe, donde fue más

baja y hasta nula en la estación SF2. Se observó mayor cobertura de macroalgas filamentosas en el transecto 3 de la estación RG1 en comparación con el resto (Fig. 4).

En las estaciones del PNP Rincón de Guanabo se identificaron 12 géneros de macroalgas: *Amphiroa* J.V. Lamouroux, *Halimeda* J.V. Lamouroux, *Avrainvillea* Decaisne, *Laurencia* s.l., *Acetabularia* J.V. Lamouroux, *Dasycladus* C. Agardh, *Caulerpa* J.V. Lamouroux y *Udotea* J.V. Lamouroux en ambas estaciones; *Neomeris* J.V. Lamouroux, *Ulva* Linnaeus y *Dictyota* s.l. solo en

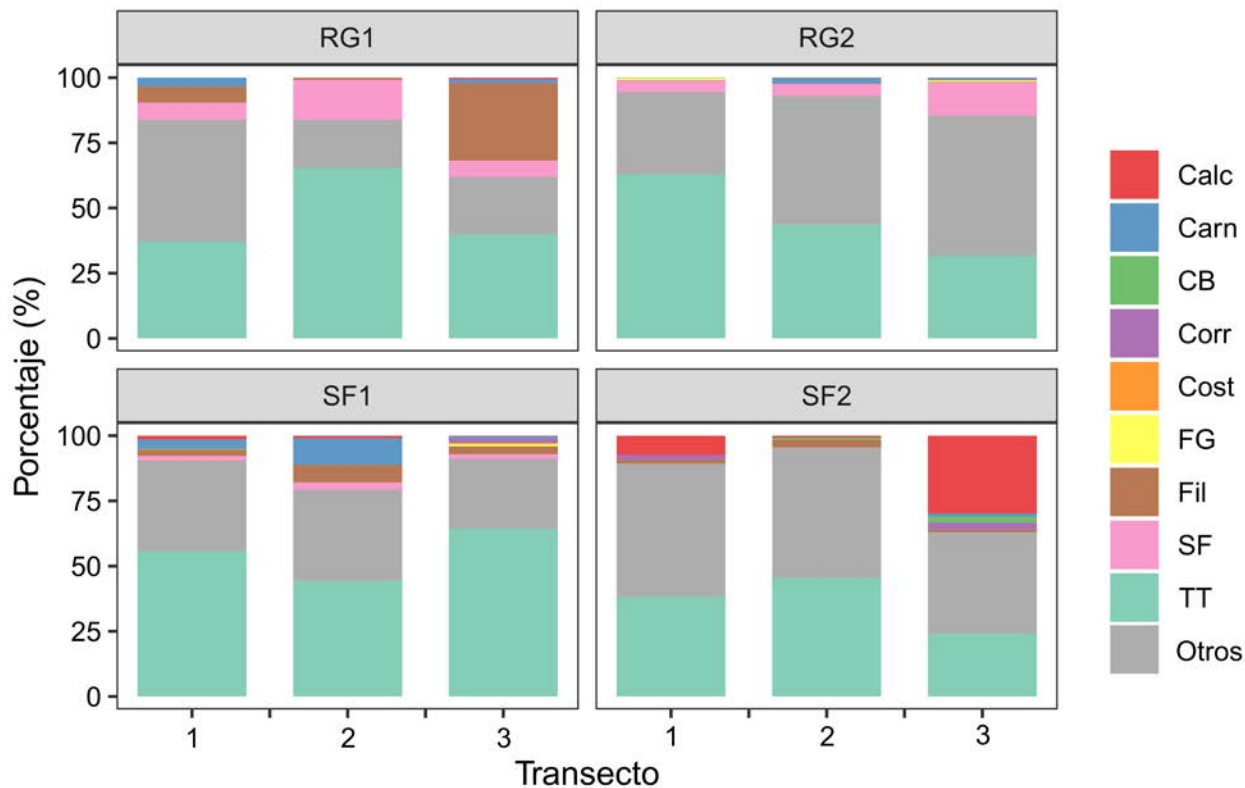


Fig. 4. Valores promedio de las coberturas en porcentaje de las especies de angiospermas y grupos morfofuncionales de macroalgas por los transectos de cada sitio. Leyenda: calcáreas (Calc), carnosas (Carn), costrosas (Cost), filamentosas (Fil), cianobacterias (CB), correosas (Corr), foliosas y globosas (FG), *S. filiforme* (SF), *T. testudinum* (TT), y Otros (sustrato, rocas, animales, etc.).

Fig. 4. Average coverage values in percentage of angiosperm species and morphofunctional groups of macroalgae per transect at each site. Legend: calcareous (Calc), fleshy (Carn), encrusting (Cost), filamentous (Fil), cyanobacteria (CB), leathery (Corr), foliose and globular (FG), *S. filiforme* (SF), *T. testudinum* (TT), and Others (substrate, rocks, animals, etc.).

la estación 1, mientras que solo en la estación 2 se registraron *Penicillus* Lamarck y cianobacterias (Tabla III).

En las estaciones muestreadas en Santa Fe se identificaron 21 géneros de macroalgas: *Amphiroa*, *Halimeda*, *Avrainvillea*, *Laurencia s.l.*, *Caulerpa*, *Dictyota s.l.*, *Penicillus* y *Udotea*, así como cianobacterias, en ambas estaciones. Los géneros *Codium* Stackhouse, *Neomeris*, *Lobophora* J. Agardh, *Peyssonnelia* Decaisne, *Cladophoropsis* Børgesen, *Dasycladus* C. Agardh, *Dictyosphaeria* Decaisne ex Endlicher, *Valonia* C. Agardh, *Padina* Adanson, *Rhypocephalus* Kützinger, *Sargassum* C. Agardh y una

coralina costrosa, solo en la estación 1, mientras que solo en la estación 2 se registró el género *Dictyopteris* J.V. Lamouroux (Tabla IV).

Discusión

Durante los muestreos *in situ* se comprobó que existían diferencias en cuanto al estado de los pastos marinos entre ambas localidades: más deteriorado en Santa Fe y en mejor estado el PNP Rincón de Guanabo como generalidad; pero los resultados obtenidos a partir del EEI de Orfanidis (2003) no coinciden con lo observado. No se detectaron diferencias en el estado ecológico de las praderas evaluadas, probablemente debido a

Tabla III. Presencia (x) de los géneros de macroalgas observadas en los transectos de las estaciones de la localidad del PNP Rincón de Guanabo. RG1 y RG2: Estación 1 y 2 del PNP Rincón de Guanabo.**Table III.** Presence (x) of macroalgae genera observed in the transects of the stations in the locality of PNL Rincón de Guanabo. RG1 y RG2: Stations 1 y 2 of PNL Rincón de Guanabo. *s.l.*

GMF	Género	RG1			RG2		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3
Calcáreas	<i>Amphiroa</i>	X		X		X	
	<i>Halimeda</i>	X		X		X	X
Carnosas	<i>Avrainvillea</i>			X	X		
	<i>Laurencia s.l.</i>			X		X	X
	<i>Neomeris</i>	X		X			
Filamentos delicados	<i>Acetabularia</i>	X	X				X
	<i>Dasycladus</i>			X		X	X
	<i>Ulva</i>	X	X	X			
	<i>Caulerpa</i>	X					X
Foliosa y globosas	<i>Dictyota s.l.</i>			X			
Correosas	<i>Penicillus</i>				X		X
	<i>Udotea</i>			X	X	X	
Cianobacterias					X		

(*s.l.*: en sentido amplio, puesto que puede haber más de un género).

la simplificación del EEI de Orfanidis (2003), el cual agrupa los GMF y las especies de angiospermas marinas en solo dos categorías; con la cobertura promedio de esta última, superior al 18 %. De forma contraria, el análisis de la estructura de la comunidad, con todos los GMF y las angiospermas como entidades separadas, sí reflejó las diferencias observadas.

Algunos GMF responden rápidamente ante cambios en la calidad de las aguas, en comparación con los pastos marinos que responden a largo plazo (Piazzi *et al.*, 2004; Leoni *et al.*, 2006; Giovannetti *et al.*, 2010). Unido a ello, las angiospermas presentan variadas estrategias adaptativas frente a cambios en el ambiente que les permiten aclimatarse ante condiciones desfavorables: reducción del área foliar, ciclo de vida más corto, rizomas con mayor tasa de crecimiento y un aumento en la floración (McDonald *et al.*, 2016). Además, se conoce que los pastos marinos se pueden desarrollar en sustratos finos, con la contribución de abundante materia orgánica procedente

de los estuarios y arrastres pluviales (Gómez y Martínez-Daranas, 2016). Ello explica la elevada abundancia de estos en Santa Fe, a pesar de encontrarse en condiciones de elevada eutrofización a causa de la contaminación ocasionada por los habitantes de la zona. La abundancia de las angiospermas marinas puede variar ante los cambios en las características del ambiente, no asociados a la latitud o al área geográfica, sino a la alta plasticidad fenotípica que poseen las plantas para responder a los factores medioambientales en los que se desarrollan y a la propia morfología típica de cada especie (Gacia, 1999).

En ambas localidades se observaron todos los grupos morfofuncionales de macroalgas marinas, exceptuando el césped de algas, y solo en Santa Fe se identificaron costrosas. Este resultado coincide parcialmente con Ávila-Alonso *et al.* (2013), quienes no encontraron cianobacterias en su estudio. Estos autores hicieron su investigación en los pastos marinos de los cayos del norte de la provincia de Ciego de Ávila, específicamente en

Tabla IV. Presencia (x) de los géneros de macroalgas observadas en los transectos de las estaciones de la localidad de Santa Fe. SF1 y SF2: Estación 1 y 2 de Santa Fe.**Table IV.** Presence (x) of macroalgae genera observed in the transects of the stations in the locality of Santa Fe. SF1 y SF2: Stations 1 y 2 of Santa Fe.

GMF	Género	SF1			SF2		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3
Calcáreas	<i>Amphiroa</i>	X	X	X	X	X	
	<i>Halimeda</i>	X	X	X	X		X
Carnosas	<i>Avrainvillea</i>	X			X		X
	<i>Codium</i>		X				
	<i>Laurencia s.l.</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Neomeris</i>			X			
Costrosas	<i>Lobophora</i>	X					
	<i>Peyssonnelia s.l.</i>			X			
Filamentos delicados	Coralina costrosa no identificada	X					
	<i>Cladophoropsis</i>	X					
Foliosa y globosas	<i>Dasycladus</i>	X	X	X			
	<i>Caulerpa</i>		X	X	X		
	<i>Dictyopteris</i>				X		
	<i>Dictyosphaeria</i>		X	X			
	<i>Dictyota s.l.</i>	X		X	X		
	<i>Valonia</i>	X		X			
Correasas	<i>Padina</i>		X	X			
	<i>Penicillus</i>			X	X	X	X
	<i>Rhipocephalus</i>			X			
	<i>Sargassum</i>	X					
	<i>Udotea</i>	X	X		X	X	X
Cianobacterias		X	X	X	X	X	X

(s.l.: en sentido amplio, puesto que puede haber más de un género).

la laguna interior del puente Guillermo y en la playa Flamenco, que se hallan en áreas protegidas con poco impacto antropogénico. Las cianobacterias poseen mecanismos fisiológicos que les permiten florecer rápidamente ante el aumento de nutrientes como el hierro, los fosfatos y el carbono orgánico en el medio marino, mientras que son poco consumidas por los herbívoros (Neckles *et al.*, 1994; Albert *et al.*, 2005; Fonseca, 2012), por lo que su abundancia puede indicar procesos de eutrofización en los pastos marinos.

Los géneros identificados en el PNP Rincón de Guanabo se han encontrado en otras lagunas arrecifales con sustrato arenoso con rocas (Ávila-Alonso *et al.* 2013). La distribución y diversidad de las macroalgas en cada estación está relacionada con sus morfologías y las características individuales del sustrato donde se establecen (Alfonso y Martínez-Daranas, 2009); así en RG1 donde predominaba el sustrato rocoso, se encontraron más representantes de los distintos GMF, coincidiendo

con los estudios de Alfonso y Martínez-Daranas (2009) y Suárez *et al.* (2015).

Halimeda es uno de los géneros más adaptables de las macroalgas, puesto que posee diferentes tipos de estructuras de fijación, según la especie, lo que le otorga la capacidad de adherirse a cualquier sustrato, sea arenoso o duro (Hillis-Colinvaux, 1990). Ello explica su presencia en ambas estaciones del área de estudio, coincidiendo con Trelles *et al.* (2001) y Ávila-Alonso *et al.* (2013). Según este último, hay menos diversidad de macroalgas en las lagunas cercanas a manglares y su densidad disminuye si se encuentra en sustrato arenoso (Cabrera *et al.*, 2006; 2019), lo que coincide con lo observado en RG2. Dicha estación recibe los nutrientes provenientes del manglar cercano (Gómez, 2019). Esta característica llega a afectar el estado de los pastos, ya que un aumento en la nutrificación puede ocasionar la presencia de algas filamentosas y de *S. filiforme* (Aguilera, 2017). Por otra parte, según van Tussenbroek *et al.* (2010), la especie *S. filiforme* aparece normalmente acompañada de *T. testudinum* en las zonas donde hay altas concentraciones de nutrientes, por lo que aparece en ambas estaciones del PNP. También RG1 se encuentra cerca de un área con actividad humana y se conoce que la nutrificación ocasionada por los altos niveles de antropización es una de las principales causas de la degradación de praderas de pastos marinos, ya que afecta la calidad de las aguas (Albis, 2010; Cabrera *et al.*, 2019). A pesar de lo anterior, siguiendo los criterios de Orfanidis (2003), la localidad posee un estado ecológico catalogado de bueno.

Los géneros *Halimeda*, *Laurencia*, *Udotea*, *Penicillus*, *Caulerpa* y *Amphiroa*, al igual que la angiosperma *T. testudinum*, fueron los organismos de mayor representación en Santa Fe, lo que coincide con lo encontrado por Gómez y Martínez-Daranas (2016) en dicha localidad. En las zonas donde se encontraban ejemplares de *Laurencia s.l.*, como en el caso del transecto 2 de SF1, no predominaban las angiospermas marinas, coincidiendo con lo observado por Ávila-Alonso

et al. (2013) en praderas marinas de otras zonas en Cuba. Según Littler y Littler (2005), esto ocurre ya que, a medida que aumentan los impactos ocasionados por la actividad humana, como la eutrofización (o contaminación por materia orgánica y exceso de nutrientes) y el efecto de sobrepesca, se afectan los controles de abajo hacia arriba (down-top) y de arriba hacia abajo (top-down). Asociado al incremento de los nutrientes suelen aparecer macro-epífitas como las del género *Laurencia*, las cuales compiten con los pastos marinos por la luz solar y los nutrientes. Como resultado de esa competencia, disminuye la dominancia de los pastos, sobre todo del género *Thalassia*, que es muy susceptible a la falta de luz, en presencia de las macroalgas del género *Laurencia*.

La mayor riqueza taxonómica observada en Santa Fe coincide con los resultados de otros estudios hechos en áreas de Cuba con características parecidas en cuanto a forma, dimensiones y profundidad, en el mes de abril (Alfonso y Martínez-Daranas, 2009; Vega *et al.*, 2009). Por el contrario, la alta riqueza de géneros de macroalgas obtenidos no coincide con lo planteado por Gómez y Martínez-Daranas (2016) y Cabrera *et al.* (2006; 2019) para aguas con predominante sustrato blando arenoso o areno-fangoso. Por otra parte, el elevado número de géneros de macroalgas puede explicarse debido al enriquecimiento por nutrientes en las aguas como resultado de la antropización (Gómez y Martínez-Daranas, 2016). Otro indicador del alto nivel de nutrientes en la laguna puede evidenciarse con la presencia de la medusa *Cassiopea xamachana* Bigelow, en altas densidades (Lapointe *et al.*, 1994).

En SF1 existe una menor riqueza de macroalgas ya que esta estación al encontrarse localizada en la entrada del canal, es beneficiada por la comunicación con las aguas del océano a través del canal de la Marina Hemingway. Ello favorece una mejor calidad del agua que en SF2. Hay que agregar también que es una zona alejada de los mangles y del vertimiento de residuales por el hombre; lo que coincide con varios autores (Albis,

2010; Avila-Alonso *et al.*, 2013; Gómez y Martínez-Daranas, 2016). También se conoce que *T. testudinum* es más abundante en aquellas áreas de mayor intercambio con el océano, donde hay mayor estabilidad en los niveles de salinidad, las aguas son oligotróficas, transparentes y la materia orgánica disuelta en el agua es menor (Martínez-Daranas *et al.*, 2007).

Los pastos marinos de Cuba en temporada poco lluviosa se caracterizan por un aumento de macroalgas pertenecientes a los GMF calcáreas y filamentosas (Vega *et al.*, 2009), lo que explicaría la alta cobertura de macroalgas calcáreas en SF2 y de filamentosas en RG1, con representantes de los géneros *Halimeda* y *Ulva*, respectivamente. En esta última estación se evidenció una cobertura comparativamente alta de macroalgas filamentosas, probablemente a causa de una elevada eutrofización antropogénica, coincidiendo con Yang *et al.* (2018). Alfonso y Martínez-Daranas (2009) plantean también que los altos valores de cobertura de angiospermas marinas y de la riqueza de géneros de macroalgas en la primavera pudiera deberse a un aumento en la luminosidad y la temperatura, coincidiendo con los resultados de esta investigación. Son las clorofitas rizofíticas del orden Bryopsidales las que predominan entre las macroalgas encontradas en ecosistemas de abundantes pastos marinos (Gómez y Martínez-Daranas, 2016; Martínez-Daranas & Suárez, 2018), lo que se demuestra por la mayor presencia de los géneros *Caulerpa*, *Avrainvillea* y *Penicillus* en Santa Fe; y *Halimeda* y *Udotea* en ambas localidades.

Se conoce que la presencia de cianobacterias está asociada a una elevada contaminación de las aguas (Peinador, 1999 y Gómez *et al.*, 2010), lo que explica la baja o casi nula presencia de cianobacterias en el PNP Rincón de Guanabo; en cambio en Santa Fe se observó una alta abundancia de estas, coincidiendo con los estudios de Alfonso y Martínez-Daranas (2009), para el mes de abril. Según Valdivia (2004) y Alfonso y Martínez-Daranas (2009), *Dictyopteris* y *Dictyota* suelen ser abundantes en sitios contaminados, explicando

su presencia en RG1 y ambas estaciones de Santa Fe, aunque SF1 no presentó signos de contaminación evidente.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo corroboran la gran importancia y utilidad del uso de los GMF de macroalgas como indicadores para comprobar el estado ecológico de los pastos marinos y con estos a su vez, conocer los problemas ambientales en las costas del norte de La Habana. El análisis de la estructura de la comunidad macrofitobentónica, a partir de la cobertura de GMF de macroalgas y especies de angiospermas marinas, detectó diferencias en la composición de los pastos marinos, lo que indica que SF2 parece estar más afectada que las demás estaciones debido al impacto antrópico. Por ello, se recomienda el uso de la estructura de la comunidad macrofitobentónica para detectar diferencias en el estado ecológico de los pastos marinos.

Agradecimientos

Agradezco a los trabajadores del CIM-UH, especialmente a los buzos, por su colaboración y asistencia durante los muestreos. Asimismo, manifiesto mi gratitud al proyecto "Uso sostenible y beneficios de un extracto obtenido a partir de la planta marina *Thalassia testudinum*" del Instituto de Ciencias del Mar, por brindar apoyo y facilitar el acceso a recursos esenciales para la investigación.

Declaraciones

Financiamiento

Este trabajo fue financiado parcialmente por el proyecto "Uso sostenible y beneficios de un extracto obtenido a partir de la planta marina *Thalassia testudinum* (II)", del Instituto de Ciencias del Mar.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflicto de intereses financieros o no financieros que declarar que sean relevantes para el contenido del manuscrito.

Comportamiento ético

No se utilizaron animales durante la realización del presente estudio y se siguieron los principios éticos para realizar la investigación en el campo.

Permisos de muestreo y otros permisos:

Los autores han recibido de las autoridades pertinentes los permisos necesarios para realizar los muestreos.

Declaración sobre las contribuciones de los autores:

Conceptualización y Metodología: BMD; Muestreo: LPM y CCG; Análisis formal: LPM, BMD y CCG; Investigación: LPM y CCG; Recursos: LPM y BMD; Curación de datos: LPM; Escritura del borrador: LPM; Revisión: LPM, BMD y CCG; Visualización, LPM; Supervisión: BMD.

Referencias

- Aguilera, L. (2017). *Cartografía de la distribución espacial del pasto marino en el PNP "Rincón de Guanabo", La Habana*. [Tesis presentada en opción al Grado Académico de Licenciado en Biología, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Cuba].
- Albert, S., O'Neil, J. M., Udy, J. W., Ahern, K. S., Sullivan, C. M. O., & Dennison, W. C. (2005). Blooms of the cyanobacterium *Lyngbya majuscula* in coastal Queensland, Australia: disparate sites, common factors. *Mar. Poll. Bull.*, 51, 428-437.
- Albis Salas, M.R. (2010). Características estructurales y fisiológicas de las praderas de *Thalassia testudinum*. [Tesis para optar al título de Magíster en Ciencias en Biología - Línea de Biología Marina, Centro de Estudios de Ciencias del Mar, Universidad Nacional de Colombia.]
- Alcaide-Orpí, J. F., Polo-González, B., Valdés-Hernández, M. G.; Cuevas-Ojeda J. L. (2012). Análisis temporal ambiental en la zona costera del Consejo Popular Santa Fe, La Habana, Cuba. *Cienc. Tierra. Espac.*, 13(2), 101-108.
- Alfonso, Y., Martínez-Daranas, B. (2009). Variaciones espacio-temporales en la cobertura del macrofitobentos en un área costera al norte de Ciudad de La Habana, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 30(3), 187-201.
- Anderson, M. J., Gorley, R. N., Clarke, K. R. (2008). *PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. Plymouth, UK: PRIMER-E.
- Ávila-Alonso, D., Guimaraes Bermejo, M., Cárdenas Ortiz, R. (2013). Variación espacio-temporal de grupos morfofuncionales de macroalgas en pastos marinos al Norte de Ciego de Ávila, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 33(1), 14-22.
- Balata, D., Piazzi, L., Rindi, F. (2011). Testing a new classification of morphological functional groups of marine macroalgae for the detection of responses to stress. *Mar. Biol.*, 158(11), 2459-2469.
- Cabrera, R., Moreira, Á., Primelles, J. (2006). Distribución de la biomasa de macroalgas en la Bahía de Nuevitas, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 27(1), 19-29.
- Cabrera, R., Díaz-Larrea, J., Umanzor, S., García, L. G. N. (2019). Using a macroalgal functional form approach to assess the level of disturbance of seagrass meadows in Bahía of Nuevitas, Cuba (2000-2002). *Am. J. Plant. Sci.*, 10, 2020-2033.
- Clarke, K. R., Gorley, R. N. (2006). *PRIMER v. 6: User Manual/Tutorial*. Plymouth: Primer-E.
- Clarke, K. R., Warwick, R. M. (2001). *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd ed. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory.
- Clero-Alonso, L., Pina Amargós, F., Hernández Fernández, L., Martín Blanco, F., Zúñiga Ríos, D., Cowling, S., Caldwell, S. (2006). Biota acuática del norte de la provincia Ciego de Ávila. En: *Ecosistemas costeros: biodiversidad y gestión de recursos naturales*, La Habana, Compilación por el XV Aniversario del CIEC, 182-207.
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Duarte, C.M. (2002). The future of seagrass meadows. *Environ. Conserv.*, 29, 192-206.

- Fonseca, B. M. (2012). Impactos de mudanças climáticas globais sobre algas e cianobactérias. *Heringeriana Brasileira*, 6(1), 49-51.
- Gacia, E. (1999). Leaf dynamics and shoot production of the seagrass *Thalassia testudinum* in the Indian River Lagoon (Florida). *Bot. Mar.*, 42, 97-102.
- Giovannetti, E., Montefalcone, M., Morri, C., Bianchi, C. N., Albertelli, G. (2010). Early warning response of *Posidonia oceanica* epiphyte community to environmental alterations (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Mar. Poll. Bull.*, 60(7), 1031-1039.
- Gómez González, E. E. (2019). *Evaluación de la cosecha de las hojas de Thalassia testudinum KD Koenig en el Rincón de Guanabo, Cuba*. [Tesis de Maestría, Universidad de La Habana, Cuba].
- Gómez González, E. E., Martínez-Daranas, B. (2016). Caracterización del macrofitobentos de la Laguna Grande, Santa Fe, La Habana, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 36(2), 1-15.
- Gómez González, E. E., Ramos-Romero, A., Volta Rodríguez, R., Martínez-Daranas, B. (2019). Variación temporal de la productividad foliar de *Thalassia testudinum* K. D. Koenig en una pradera del Rincón de Guanabo, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 39(1), 21-38.
- Gómez Luna, L. M., Álamo Díaz, B., Rodríguez Tito, J. C. (2010). Riesgo de contaminación con cianobacterias en tres embalses de agua de Santiago de Cuba. *Medisan*, 14(2), 0-0.
- Hemminga, M. A., Duarte, C. M. (2000). *Seagrass ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Hillis-Colinvaux, L. (1990). Marine biodiversity: communities of the land-ocean interface, with emphasis on the stressed coralgall (coral) reef system. Report of a Meeting of the Marine Biological Diversity Working Group. *Woods Hole Oceanog. Inst. Tech. Rep.*, 9013, 16-17.
- Iturralde-Vinent, M. A. (1985). Algunos aspectos geomorfológicos del territorio de las provincias de La Habana. En: Instituto de Geología y Paleontología (Academia de Ciencias de Cuba) (ed.). *Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana*. Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba.
- Bairon, J. O. H, Baena, J. A. P., Ochoa, A. F. V. (2010). Estructura y distribución de una pradera de *Thalassia testudinum* en la Bahía Triganá, Golfo de Urabá, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 13(2), 41-50.
- Jørgensen, S.E. (1986). State of the art in modellings algal growth. En C.E. de Bicudo, C. Teixeira, J.G Tundisi (eds.). *Algas: a Energia do Amanhã* (pp. 61-71). São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
- Lamb, J. B., van de Water, J. A. J. M., Bourne, D. G., Altier, C., Hein, M. Y., Fiorenza, E. A., Abu, N., Jompa, J., Harvell, C. D. (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science*, 355, 731-733.
- Lapointe, B. E., Tomasko, D. A., Matzie, W. R. (1994). Eutrophication and trophic state classification of seagrass communities in the Florida Keys. *Bull. Mar. Sci.*, 54(3), 696-717.
- Larkum, A. W. D., Drew, E. A., Ralph, P. J. (2006). Photosynthesis and Metabolism in Seagrass at the Cellular Level. En A. W. D. Larkum, R. J. Orth, C. M. Duarte (eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (pp. 323-345). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Lee, C. L., Huang, Y. H., Chung, C. Y., Hsiao, S. C., Lin, H. J. (2015). Herbivory in multi-species, tropical seagrass beds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 525, 65-80.
- Lee, K. S., Short, F. T., Burdick, D. M. (2004). Development of a nutrient pollution indicator using the seagrass, *Zostera marina*, along nutrient gradients in three New England estuaries. *Aquat. Bot.*, 78(3), 197-216.
- Leoni, V., Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Vela, A., Pergent, G. (2006). Morphological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 339, 1-14.
- Liceaga-Correa, M. A., Arellano-Méndez, L. U., Hernández-Núñez, H. (2010). Efectos de los huracanes y cambio climático sobre el Caribe mexicano: Adaptabilidad de los pastos marinos. En A. V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, J. L. Rojas Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio*

- climático* (pp. 211-228). Semarnat-INE, UNAM-IC-MyL, Universidad Autónoma de Campeche, México.
- Littler, D. S., Littler, M. M. (2000). *Caribbean Reef Plants: An Identification Guide to the Reef Plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico*. Washington DC: Offshore Graphics, Inc.
- Littler, M. M., Littler, D. S. (1984). Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 74(1), 13-34.
- Littler, M. M., Littler, D. S. (2005). Application of a seagrass management model. En G.A. Krupnick, W.J. Kress (eds.). *Plant conservation: a natural history approach* (pp. 270-285). Chicago: University of Chicago Press.
- Littler, M. M., Littler, D. S., Taylor, P. R. (1983). Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: functional-form groups of marine macroalgae. *J. Phycol.*, 19(2), 229-237.
- Martínez-Daranas, B. R. (2007). *Características y estado de conservación de los pastos marinos en áreas de interés del archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba*. [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad de La Habana, Cuba].
- Martínez-Daranas, B., Cano, M., Perdomo, M. E., Cle-ro-Alonso, L., Díaz-Larrea, J., Guimaraes, M., Zúñiga-Ríos, D., Alcolado, P. M., Duarte, C. M., Siret, S. (2007). Estado de los pastos marinos. En P. M. Alcolado, E. E. García, M. Arellano-Acosta (eds.). *Ecosistema Sabana Camagüey: Estado actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad* (pp. 51-56). La Habana: Editorial Academia.
- Martínez-Daranas, B., Suárez, A. M. (2018). An overview of Cuban seagrasses. *Bull. Mar. Sci.*, 94(2), 269-282.
- Martínez-Daranas, B., Mallo, M. C., Reyes, D. M. (2013). *Protocolo para el monitoreo de los pastos marinos*. Centro Nacional de Áreas Protegidas, La Habana, Cuba.
- Martínez-Daranas, B., Cabrera, R., Pina-Amargós, F. (2009). Spatial and seasonal variability of *Thalassia testudinum* in Nuevitás Bay, Cuba. *Rev. Mar. Cos.*, 1, 9-27.
- McDonald, A. M., Prado, P., Heck Jr, K. L., Fourqurean, J. W., Frankovich, T. A., Dunton, K. H., Cebrian, J. (2016). Seagrass growth, reproductive, and morphological plasticity across environmental gradients over a large spatial scale. *Aquat. Bot.*, 134, 87-96.
- Menéndez, R., García, T., Garateix, A., Morales, R. A., Regalado, E. L., Laguna, A., Valdés, O., Fernández, M. D. (2014). Neuroprotective and antioxidant effects of *Thalassia testudinum* extract BM-21, against acrylamide-induced neurotoxicity in mice. *J. Pharm. Pharmacogn. Res.*, 2(3), 53-62.
- Mutchler, T., Dunton, K. H., Townsend-Small, A., Fredriksen, S., & Rasser, M. K. (2007). Isotopic and elemental indicators of nutrient sources and status of coastal habitats in the Caribbean Sea, Yucatan Peninsula, Mexico. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 74(3), 449-457. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2007.04.005>
- Neckles, H., Koepfler, E., Haas, L., Wetzel, R., & Orth, R. J. (1994). Dynamics of epiphytic photoautotrophs and heterotrophs in *Zostera marina* (eelgrass) microcosms: Responses to nutrient enrichment and grazing. *Estuaries and Coasts*, 17(3), 597-605. doi: 10.2307/1352407
- Nordlund, L. M., Jackson, E. L., Nakaoka, M., Samper-Villarreal, J., Beca-Carretero, P., Creed, J. C. (2018). Seagrass ecosystem services - What's next? *Mar. Poll. Bull.*, 134, 145-151.
- Orfanidis, S., Panayotidis, P., Stamatis, N. (2001). Ecological evaluation of transitional and coastal waters: a marine benthic macrophytes-based model. *Mediterr. Mar. Sci.*, 2(2), 45-66.
- Orfanidis, S., Panayotidis, P., Stamatis, N. (2003). An insight to the ecological evaluation index (EEI). *Ecol. Indic.*, 3(1), 27-33.
- Peinador, M. (1999). Las cianobacterias como indicadores de contaminación orgánica. *Rev. Biol. Trop.*, 47(3), 381-391.
- Piazzini, L. D., Balata, F., Cinelli, L., Benedetti-Cecchi (2004). Patterns of spatial variability in epiphytes of *Posidonia oceanica*. Differences between a disturbed and two reference locations. *Aquat. Bot.*, 79, 345-356.
- Rivas, L., Salazar, H., Hernández, M., Peña, L., Núñez, C. (2011). *Diagnóstico de la problemática ambiental en la*

- zona litoral del Consejo Popular Santa Fe, municipio Playa, Ciudad de la Habana, Cuba.* Informe inédito. Instituto de Oceanología.
- Rodeiro, I., Hernández, I., Herrera, J. A., Riera, M., Donato, M. T., Tolosa, L., González, K., Ansoara, Y., Gómez-Lechón, M. J., Vanden Berghe, W., Lopes, M. (2018). Assessment of the cytotoxic potential of an aqueous-ethanolic extract from *Thalassia testudinum* angiosperm marine grown in the Caribbean Sea. *J. Pharm. Pharmacol.*, 70(11), 1553-1560.
- Romero, J., Lee, K. S., Pérez, M., Mateo, M. A., Alcoverro, T. (2006). Nutrient dynamics in seagrass ecosystems. En A. W. D. Larkum, R. J. Orth, C. M. Duarte (eds.). *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (pp. 227-254). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Ruiz Plasencia, I. (2017). *Las áreas protegidas de Cuba*. La Habana, Cuba: Centro Nacional de Áreas Protegidas.
- Russet Rodríguez, A. J., Azanza Ricardo, J., García Alfonso, E., Betancourt Ávila, R., Cabrera Guerra, C., y Calderón Peña, R. (2021). Prevalencia de fibropapilomas en juveniles de "*Chelonia mydas*" (Testudines, Cheloniidae) y calidad ambiental de su hábitat en el norte de Villa Clara, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 41(1), 91-105
- Serrano, O., Gómez-López, D.I., Sánchez-Valencia, L., Acosta-Chaparro, A., Navas-Camacho, R., González-Corredor, J., Salinas, C., Masque, P., Bernal, C. A. y Marbà, N. (2021). Seagrass blue carbon stocks and sequestration rates in the Colombian Caribbean. *Sci. Rep.*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90544-5>
- Steneck, R.S. y Dethier, M.N. (1994). A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos*. 476-498.
- Suárez, A. M., Martínez-Daranas, B., Alfonso, Y. (2015). *Macroalgas marinas cubanas*. La Habana: Editorial UH.
- Trelles, J., Suárez, A. M., de la Guardia, E. (2001). Macroalgas dominantes de Playa Herradura, plataforma noroccidental de Cuba: Caulerpales y Dictyotales. *Rev. Invest. Mar.*, 22(1), 1-6.
- Unsworth, R. K. F., Collier, C. J., Henderson, G. M., McKenzie, L. J. (2012). Tropical seagrass meadows modify seawater carbon chemistry: implications for coral reefs impacted by ocean acidification. *Environ. Res. Lett.*, 7(2), 024026.
- Valdivia Acosta, A. (2004). *Variación espacial y temporal de las asociaciones de algas en zonas del sublitoral norte habanero, Cuba*. [Tesis de maestría, Universidad de La Habana, Cuba]. <http://hdl.handle.net/1834/5552>.
- van Tussenbroek, B. I., Cortés, J., Collin, R., Fonseca, A. C., Gayle, P. M. H., Guzmán, H. M., Jácome, G. E., Juman, R., Koltes, K. H., Oxenford, H. A., Rodríguez-Ramírez, A., Samper-Villarreal, J., Smith, S. R., Tschirky, J. J., Weil, E. (2014). Caribbean-Wide, Long-Term Study of Seagrass Beds Reveals Local Variations, Shifts in Community Structure and Occasional Collapse. *PLoS One*, 9(3), e90600.
- van Tussenbroek, B. I., Vonk, J. A., Stapel, J., Erftemeijer, P. L. A., Middelburg, J. J., Zieman, J. C. (2006). The biology of *Thalassia*: paradigms and recent advances in research. En A. W. D. Larkum, R. J. Orth, C. M. Duarte (eds.). *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* (pp. 409-439), the Netherlands, Springer.
- van Tussenbroek, B. I., Santos, M. G. B., Wong, J. G. R., Van, Dijk J. K., Waycott, M. (2010). *Guía de los pastos marinos tropicales del Atlántico oeste*. Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, México, D. F.
- Vega, A., Ocaña, F., Fernández, A., Zayas, C. R., Córdova, E., Fernández S. (2009). Variación de la composición y abundancia de macroalgas en playa Don Lino, región nororiental de Cuba. *Anu. Invest. Ambient.*, 1-21.
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Short, F. T., Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 106, 12377-12381.
- Yang, X., Zhang, P., Li, W., Hu, C., Zhang, X., He, P. (2018). Evaluation of four seagrass species as early warning indicators for nitrogen overloading: Implications for eutrophic evaluation and ecosystem management. *Sci. Total. Environ.*, 635, 1132-1143.

Anexo 1. Resultados del análisis de varianza multivariado permutacional (PERMANOVA) con dos factores fijos: estaciones y los transectos anidados en las estaciones.

Annex 1. Results of the permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) with two fixed factors: stations and transects nested within stations.

PERMANOVA

Permutational MANOVA *Resemblance worksheet* Name: Resem5

Data type: Similarity Selection: All Transform: Square root

Resemblance: S17 Bray Curtis similarity (+d) Sums of squares type: Type III (partial) Fixed effects sum to zero for mixed terms

Permutation method: Permutation of residuals under a reduced model Number of permutations: 9999

Factors

Name	Abbrev.	Type	Levels
Estación	Es	Fixed	4
Transecto	Tr	Fixed	3

PERMANOVA table of results

Unique

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms
Es	3	25329	8443,1	7,6999	0,0001	9930
Tr(Es)	8	27239	3404,9	3,1052	0,0001	9915
Res	114	1,25E5	1096,5			
Total	125	1,7626E5				

PAIR-WISE TESTS

Term 'Tr(Es)'

Unique

Groups	t	P(perm)	perms
SF1, SF2	2,9493	0,0002	9940
SF1, RG1	1,4326	0,1194	9937
SF1, RG2	2,5962	0,0004	9940
SF2, RG1	3,4716	0,0001	9960
SF2, RG2	4,1887	0,0001	9956
RG1, RG2	1,4499	0,1007	9948

PAIR-WISE TESTS

Term 'Tr(Es)'

Within level 'SF1' of factor 'Es'

Unique

Groups	t	P(perm)	perms
1, 2	1,0106	0,349	9811
1, 3	0,79779	0,5702	9808
2, 3	1,2905	0,1856	9826

Within level 'SF2' of factor 'Es'

Unique

Groups	t	P(perm)	perms
1, 2	2,1402	0,0007	9919
1, 3	1,477	0,1193	9456
2, 3	3,6555	0,0002	9924

Within level 'RG1' of factor 'Es'

Unique

Groups	t	P(perm)	perms
1, 2	2,2855	0,0301	9133
1, 3	1,2074	0,2189	9201
2, 3	2,8291	0,0066	9444

Within level 'RG2' of factor 'Es'

Unique

Groups	t	P(perm)	perms
1, 2	1,1812	0,2439	9803
1, 3	1,7778	0,0568	9454
2, 3	0,95312	0,3952	9797

Como citar este artículo

Pérez-Martínez, L., Cabrera Guerra, C., Martínez-Daranas, B. (2025). Evaluación del estado de conservación del pasto marino en localidades de La Habana, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 45(2), e-9565.