

¿Puede afectar el arribazón de sargazo en el Caribe Mexicano a la cobertura y morfología de *Syringodium filiforme* (Cymodoceaceae)?

Can the *Sargassum* sp. drift influence on cover and morphology of *Syringodium filiforme* (Cymodoceaceae) in the Mexican Caribbean?

Mariana Álvarez-Rocha[✉] e Ileana Ortigón-Aznar^{*✉}

Recibido: 17 de diciembre de 2021.

Aceptado: 02 de abril de 2022.

Publicado: Abril de 2022.

RESUMEN

Antecedentes. Hay pocos estudios sobre el efecto de los arribazones de sargazo en los ecosistemas costeros. Uno de los cambios más evidentes es el aumento de la turbidez; sin embargo, poco se sabe sobre su impacto en las comunidades de pastos marinos y los cambios que pueden inducir en ellos. **Objetivos.** Determinar el porcentaje de cobertura y medidas morfométricas del pasto *Syringodium filiforme* en relación con la turbidez por causa de los arribazones de sargazo en la laguna arrecifal de la zona de El Castillo, Xcalak, Quintana Roo. **Métodos.** Se realizaron cinco transectos de 50 m, consecutivos. En cada transecto se colocaron cuadrantes de 25 x 25 cm cada 10 m para tomar datos de porcentaje de cobertura, se determinó el porcentaje de transparencia y se recolectaron muestras para estimar las medidas morfométricas del pasto. Para los análisis estadísticos se aplicó una ANOVA no paramétrica Kruskal-Wallis para determinar diferencias significativas entre la transparencia y la longitud del pasto, así como una regresión simple para determinar correlación entre estos parámetros. **Resultados.** A una menor transparencia (40%) se encontraron praderas monoespecíficas, al igual que tallas más grandes (58.9 cm) de *S. filiforme*, mientras que, en zonas con mayor transparencia mostraron longitudes menores y mezcladas con *Thalassia testudinum*. Los análisis muestran una relación negativa significativa entre la transparencia y la longitud de las hojas de *Syringodium*. **Conclusiones.** Existe una relación directa entre la turbidez y la elongación atípica del dosel, así como la presencia de praderas monoespecíficas, siendo estos, indicadores de cambio en las praderas de pastos marinos de la laguna arrecifal; sin embargo, se considera que habría que investigar qué otros factores podrían también estar influyendo en esta variación.

Palabras clave: Arribazón, Sargazo, *Syringodium*, pastos marinos, variación morfológica, cobertura

ABSTRACT

Background. There are few studies of the effect of *Sargassum* sp. drift on coastal ecosystems. One of the most obvious changes is the increase in turbidity, however it has been only a few studies of how this is affecting seagrass communities and what changes they can induce in them that can indicate their impact in the ecosystem. **Objectives.** Determine the relationship between the turbidity caused by the *Sargassum* drift and the morphological variation and cover percentage of *Syringodium filiforme*, at the reef lagoon of the area of El Castillo, Xcalak, Quintana Roo. **Methods.** Five consecutive 50 m transects were placed perpendicular to the coast. In each transect, 25 x 25 cm quadrants every 10 m were used to obtain cover and morphometric data. Percentage of transparency was estimated. Samples from quadrants, were identified and measured. Significant differences between transparency and plant longitude were tested through nonparametric ANOVA, Kruskal-Wallis test and a simple linear regression analysis used to determine a possible significant correlation between this two parameters. **Results.** At 40% transparency, monospecific meadows were found, as well as larger sizes (58.9 cm) of *S. filiforme*, while in the areas with greater transparency, specimens with shorter lengths and mixed with *Thalassia testudinum* were found. Analyzes show a negative direct relationship between turbidity and *Syringodium* length. **Conclusions.** The existence of a negative direct relationship between the atypical elongation of the canopy and the transparency, with monospecific meadows, show that, a change exist in the seagrass meadows of the reef lagoon. We consider also necessary to investigate other factors that could be also causing this variation.

Keywords: *Sargassum* drifts, *Syringodium*, seagrasses, morphological variation, coverage.

Departamento de Botánica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil Km. 15.5 S/N, Mérida, Yucatán, 97000. México.

*Corresponding author:

Ileana Ortigón-Aznar: e-mail: oaznar@correo.uady.mx

To quote as:

Álvarez-Rocha, M. & I. Ortigón-Aznar. 2022. ¿Puede afectar el arribazón de sargazo en el Caribe Mexicano a la cobertura y morfología de *Syringodium filiforme* (Cymodoceaceae)? *Hidrobiológica* 32 (1): 51-58.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbshidro/2022v32n1/Alvarez

INTRODUCCION

Los pastos marinos son un grupo de plantas fanerógamas marinas de origen polifilético (Littler & Littler, 2000) que además de formar uno de los biotopos marinos más productivos del mundo, cumplen funciones importantes, en los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas (Marba *et al.*, 2005), y como estabilizadores de sedimento (James *et al.*, 2019). Además, dan refugio, protección y alimento a una gran diversidad de organismos marinos como invertebrados y peces (Gutiérrez-Aguirre *et al.*, 2000; Orth *et al.*, 2006; Martínez-Daranas *et al.*, 2009). En el Atlántico tropical las especies pioneras en estos ecosistemas marinos son *Halodule wrightii* Ascherson y *Syringodium filiforme* Kützting, las cuales dan pie al establecimiento de la especie dominante *Thalassia testudinum* Banks ex König (Gallegos *et al.*, 1994).

El sargazo ha arribado comúnmente de manera estacional a estas costas; sin embargo, a partir del 2011 los arribazones empezaron a ser masivos, con registros en 2015 de hasta 9726 m³ en promedio por mes (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016; Van-Tussenbroek *et al.*, 2017) y para el 2019 había en el Mar Caribe y Golfo de México un volumen de más de 10 millones de toneladas de sargazo (Optical Oceanography Lab, 2019). Se estima que estos eventos han incrementado la turbidez en el agua debido a la materia disuelta resultante del mismo sargazo y al exceso de nutrientes, lo cual ha afectado de distinta manera a las poblaciones de pastos marinos (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016), como el caso de las praderas de *T. testudinum* en el Caribe Colombiano, que ha sufrido un deterioro considerable (Albis-Salas, 2010). Asimismo, el incremento de niveles de nitrógeno en la costa del Caribe Mexicano ha coincidido con el aumento de arribazones en la zona, por lo que los ecosistemas oligotróficos como los arrecifes coralinos, pueden verse afectados ante este aumento de nutrientes (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). Las praderas marinas, son sensibles a las alteraciones en los parámetros ambientales y un aumento de nutrientes de manera rápida provoca un cambio en la extensión y composición de estas praderas (Mumby *et al.*, 2014). Por ello, se recomiendan monitoreos para estimar el estado del ecosistema, en los que se incluyan parámetros poblacionales que se han usado como indicadores de salud del ecosistema. Estos parámetros incluyen: cambios en la densidad, cobertura y altura del dosel (Riosmena-Rodríguez *et al.*, 2014).

Las praderas en áreas de influencia de los arribazones de sargazo alteraron principalmente sus coberturas, densidades, así como la composición comunitaria teniendo como una consecuencia la erosión de las playas adyacentes (Ávila-Mosqueda, 2021).

Poco se sabe sobre el efecto de los arribazones de *Sargassum* en los ecosistemas costeros y cómo éste está afectando a las comunidades de pastos marinos y qué cambios pueden inducir en su composición y cobertura que puedan indicar el estado de salud en el ecosistema. Los parches de *Syringodium filiforme*, no solo han estado sustituyendo los parches de *T. testudinum*, que es la especie que suele ser dominante en la región (Gallegos *et al.*, 1994), sino que tienen un efecto en la aparentemente atípica elongación de la hoja de *S. filiforme* (obs pers.). Por lo que en el presente trabajo se determinó el porcentaje de cobertura y la variación morfométrica del pasto *S. filiforme* para evidenciar si están relacionados con la turbidez causada por la descomposición de los arribazones de sargazo, en la laguna arrecifal de la zona de El Castillo, Xcalak, Quintana Roo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El presente trabajo se realizó en la laguna arrecifal de la zona de El Castillo, Xcalak, Quintana Roo, que pertenece al Área Natural Protegida: Parque Nacional Arrecifes de Xcalak. Las observaciones *in situ* se llevaron a cabo en El Castillo situado en la zona costera de la carretera Mahahual-Xcalak al sur del estado de Quintana Roo, en el sureste de México (18°37'36.3" N 87°43'49.7" O) (Fig. 1). A lo largo de la costa del puerto de Mahahual, y sobre la plataforma continental se ubica una barrera arrecifal discontinua, y piedras semisumergidas; el "canal" que se forma entre la línea de costa y la barrera arrecifal, tiene profundidades variables desde 0.5 hasta 200 metros (CONANP, 2004).

Los vientos de la costa del Caribe Mexicano están influenciados por los vientos alisios, y por vientos templados y fríos. Los frentes en invierno tienen una duración de 3 a 10 días y las temperaturas medias mensuales de la superficie del mar oscilan entre 25,1°C a 29,9°C. La corriente de Yucatán fluye hacia el norte a lo largo de la estrecha plataforma continental y durante la temporada de los vientos alisios, las aguas superficiales son transportadas al área del arrecife (Chávez *et al.*, 2020).

Los arribazones de sargazo que llegan a la costa del Caribe mexicano no son intermitentes, sino que son continuas, inician entre marzo-abril y no deja de llegar hasta que inicia la temporada de Nortes conocidos como frentes fríos entre octubre-noviembre aproximadamente (Chávez *et al.*, 2020; Arellano-Verdejo & Lazcano-Hernández, 2021).

Colecta de muestras: El muestreo se realizó en septiembre de 2018, (mes que se considera como uno de los meses que tuvo mayor afluencia de sargazo, Chávez *et al.*, 2020) y el sargazo se encontraba acumulado desde la zona de la playa hasta el interior del mar, formando una franja de sargazo flotante en la orilla del litoral de aproximadamente 20 m, generando capas de materia orgánica en descomposición en la orilla hasta de 30 cm de profundidad. (Fig. 2).

Para el muestreo se colocaron cinco transectos consecutivos de 50 m, perpendiculares a la costa (Fig. 3) (desde los 18° 37.573' N - 87° 43.778' O hasta 18° 37.545' N - 87° 43.634' O). En cada transecto y en una adaptación de los métodos de Braun-Blanquet (1979) (0 = ausente; 0,1 = menos del 5% y cubierto por un solo individuo o brote corto; 1 = cobertura menor al 5%, con muchos individuos / brotes; 2 => 5 a 25% de cobertura; 3 => 25 a 50% de cobertura; 4 => 50 a 75% de cobertura; 5 => 75 a 100%), se estimó la cobertura de cuatro cuadrantes de 25 x 25 cm colocados alternadamente cada 10 m. Se tomaron muestras de dos cuadrantes por transecto (8 cuadrantes en total, ya que en el primer transecto no había vegetación), y en cada cuadrante se recolectaron 3 individuos de *S. filiforme* de diferentes tamaños, tomados al azar y colocados en bolsas Ziploc, para luego medir el largo y diámetro de la hoja. En cada cuadrante se midió el porcentaje de transparencia del agua con un disco Secchi.

Para el análisis de datos se hizo un análisis de Kruskal-Wallis para comparar entre las variables analizadas, con pruebas de intervalos múltiples y la prueba de (LSD) Fisher. Se hizo una regresión lineal simple para determinar el nivel de correlación entre la longitud de la hoja y la transparencia del agua, para cada uno de los puntos muestreados. Solo se tomaron en cuenta los transectos donde se presentaron valores. Para estos análisis se utilizó Statgraphics 19™.

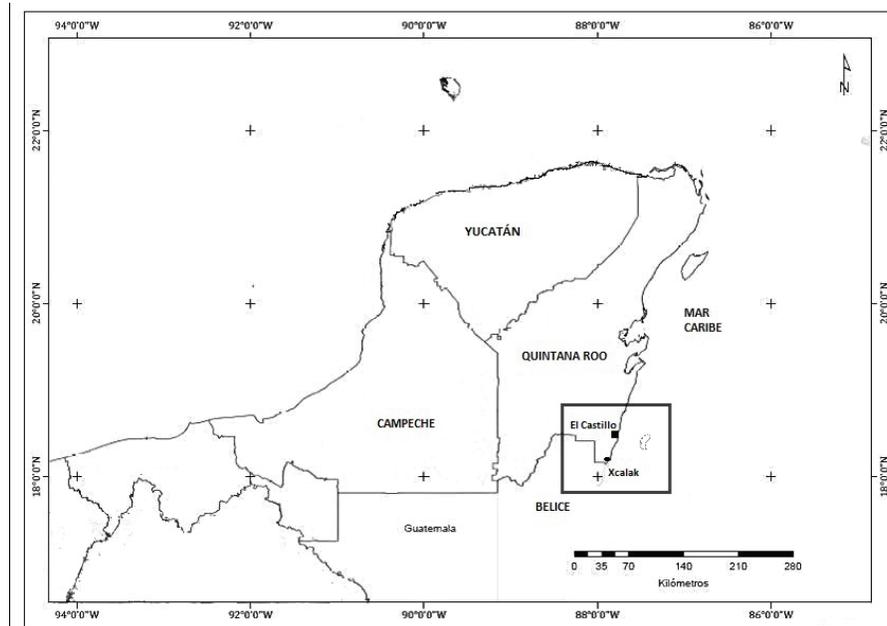


Figura 1. Área de Estudio.

RESULTADOS

Debido a la acumulación de sargazo, los primeros 50 m presentaron visibilidad nula y sin flora o fauna aparente; cuanto más lejos de la costa y más cerca de la cresta, la visibilidad aumentaba. Desde el metro 50 al metro 100, se encontraron prados monoespecíficos de *S. filiforme*, con un valor de cobertura Braun-Blanquet de 3 (> 25 a 50%) y una transparencia de 40% (Fig. 4a). Las longitudes de hoja fueron superiores a 30 cm (Tabla 1). Desde el metro 100 en adelante, con una transparencia de 50% se observaron praderas de *S. filiforme* (cobertura de 25 a 50%) entremezclados con *T. testudinum* (< 5% de cobertura) (Fig. 4b). Conforme el muestreo se acercaba hacia la barrera arrecifal, la transparencia aumentó hasta el 95% y la presencia de *T. testudinum*,

y su porcentaje de cobertura se incrementaron (50%) y la de *S. filiforme* disminuyó (Fig. 4c). En lo que corresponde a las dimensiones de las hojas de *S. filiforme*, a menor transparencia (40%) se registraron mayores longitudes, obteniendo una longitud máxima de 58.9 cm (Fig. 5) y un diámetro de 4 mm. Mientras que a mayor transparencia (95%) menores longitudes y diámetros, teniendo un mínimo de 8.5 cm de largo y 1.5 mm de diámetro (Tabla 1). Las longitudes de las hojas mostraron que había diferencias significativas entre transectos (Estadístico = 16.4811, Valor-P = 0.00243714 a intervalos de confianza del 95.0%) el análisis *post hoc* de Fisher LSD muestra que es significativo entre el transecto 5 y los transectos 2, 3 y 4 (Fig. 6), mas no así entre cuadrantes por transecto (Estadístico = 0.00575758 Valor-P = 0.939516 a intervalos de confianza del 95.0%).

Tabla 1. Medidas de *S. filiforme* en El Castillo, Xcalak, Quintana Roo. Cobertura. (0 = ausente; 0.1 = menos de 5% y presencia de un individuo; 1 = menos de 5% de cobertura, con algunos individuos; 2 = > 5 a 25%; 3 => 25 a 50%; 4 => 50 a 75%; 5 => 75 a 100% de cobertura)

Transecto	Distancia de la costa (m)	Transparencia %	Profundidad (m)	muestras	Valor de Cobertura	Longitud promedio (cm) ± 10	Diámetro promedio (mm) ± 1
T1	0-50	0	> 1m	0	0	0	0
				0	0	0	0
T2	50-100	20-40	1-1.5m	1	3	52.2	3
				2	3	57	2.5
T3	100-150	40-50	1.5-2m	3	4	55.4	2.75
				4	4	58.9	3
T4	150-200	50-80	2-3 m	5	3	47.5	3
				6	3	50	3
T5	200-250	80-100	3 -1.5	7	2	38.7	2
				8	2	17.2	2.25



Figura 2. Zona de estudio con sargazo acumulado en la orilla de la costa y sargazo flotando.

Se encontró una relación negativa directa entre la longitud de las hojas y la transparencia, con un coeficiente de correlación igual a -0.727623 y un valor-P de 0.0014 , mostrando una relación estadísticamente significativa entre longitud y transparencia con un nivel de confianza del 95.0% . El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 52.9435% de la variabilidad en longitud; lo que indica que a menor transparencia mayores tallas (Fig. 7).

DISCUSIÓN

Si bien las tasas de crecimiento de los pastos marinos son variables en una misma especie (Páez-Osuna & Osuna-Martínez, 2011), la luz es un elemento fundamental para la fotosíntesis, por lo que su limitación puede provocar estrés en los diferentes organismos fotoautótrofos, que disminuyen su crecimiento, aumentan su mortalidad y limitan su distribución (Kenworthy & Fonseca, 1996).

En la zona del Caribe mexicano, en condiciones normales, los pastos marinos dominantes son los de *T. testudinum* entremezcladas con *S. filiforme* (Van-Tussenbroek, 2011). En este estudio se observó que los parches de *S. filiforme*, han estado sustituyendo los parches de *T. testudinum* cuando menos en el área estudiada y ya se ha registrado la presencia de pastizales monoespecíficos de *S. filiforme*, en condiciones de poca luz en el Caribe (Van-Tussenbroek *et al.*, 2010) y en los Cayos de Florida (Kenworthy & Schwarzschild, 1998; Fourqurean *et al.*, 2019).

En cuanto a las tallas de *S. filiforme*, las hojas pueden alcanzar valores de biomasa de 100 a 500 g de peso corporal por metro cuadrado y alturas de copa de 50 a 100 cm (Kenworthy & Schwarzschild, 1998; Schwarzschild *et al.*, 2008). En el estudio de Schwarzschild *et al.* (2008) se encontraron longitudes promedio de hoja en *S. filiforme* de 33.6 cm y una longitud máxima de aproximadamente 55 cm, bajo un porcentaje de irradiación solar del 40% , porcentaje muy cercano al requerimiento mínimo de luz para la misma especie, que es del 24 al 37% según Kenworthy & Fonseca (1996).

Para el Golfo de México y el Mar Caribe estas longitudes varían de 3.3 a 39.1 cm, dependiendo de las características específicas de cada región. Profundidades mayores a 20 m cerca de la costa y gran aporte de nutrientes proveniente de ríos, en particular el aporte de nitrógeno (Ferdie & Fourqurean, 2004), parecen ser los factores favorables para el crecimiento óptimo de *S. filiforme* (Creed *et al.*, 2004). Sin embargo, en el presente trabajo, las condiciones de poca luz están relacionadas con la transparencia del agua y no con la profundidad ya que ésta no excede los 2 m de profundidad. La longitud máxima de la hoja de *S. filiforme*, en el presente estudio, es superior a los registros de ésta especie en la región del Golfo de México y el Mar Caribe, alcanzando hasta 58.9 cm. de longitud, cuando el promedio de lo registrado se encuentra en los 20.7 cm., lo que equivale a más del 50% en el límite superior citado (Tabla 2).

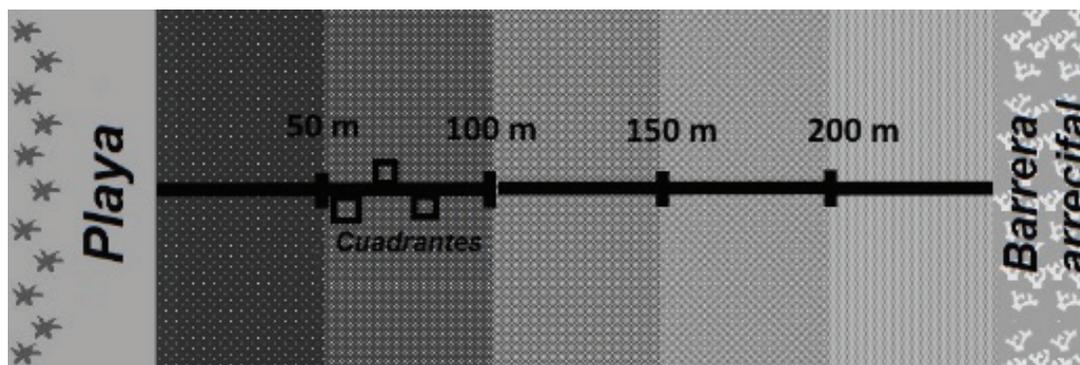


Figura 3. Transectos de 50 m, consecutivos, perpendiculares a la playa con cuadrantes alternados cada diez metros.

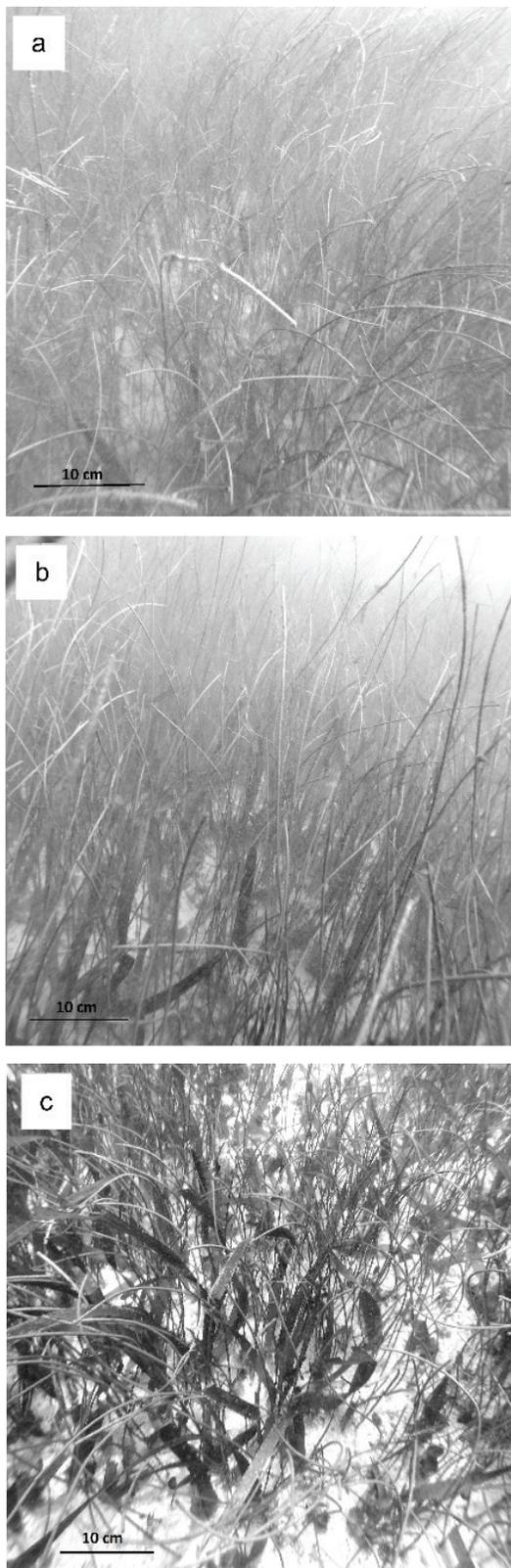


Figura 4. Cobertura de pasto por porcentaje de transparencia. a) 40% b) 60% c) 95%.

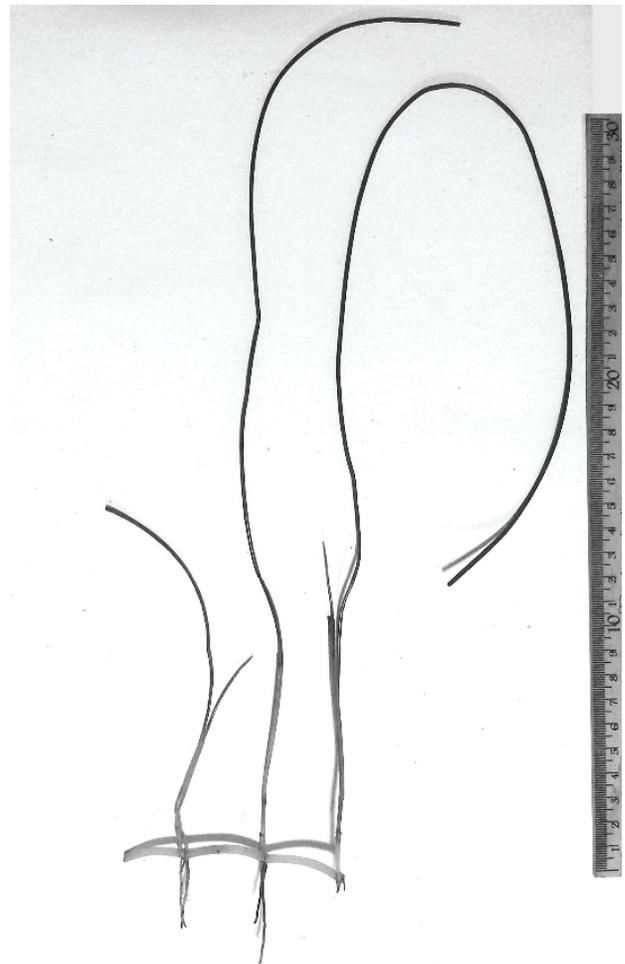


Figura 5. Habito de *Syringodium filiforme*, espécimen de mayor tamaño que midió los 58.9 cm y 4 mm de diámetro.

Los análisis muestran una diferencia significativa entre transectos, y una variación de la longitud a medida que se alejan de la zona de impacto del sargazo hacia una zona más transparente cerca del arrecife.

El análisis de correlación mostró una relación negativa directa entre la longitud de las hojas y la transparencia, por lo que se demuestra que a menor transparencia valores mayores de longitud del pasto *S. filiforme* y a medida que se incrementa la transparencia los valores de las tallas disminuyen y son desplazadas por parches de *T. testudinum*, por lo que se puede asumir que este crecimiento atípico puede deberse posiblemente para compensar el exceso de turbidez que se presentan en las zonas más cercanas a la costa donde se da la mayor presencia del sargazo.

Se ha visto que los arribazones de sargazo en el Caribe Mexicano han contribuido a la baja disponibilidad de luz y a un aumento de nitrógeno en los ecosistemas costeros (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016), condiciones que podrían favorecer la elongación de las hojas en *S. filiforme* (Schwarzschild *et al.*, 2008).

Tabla 2. Comparación de las diferentes longitudes de las hojas registradas en trabajos previos del Caribe y Golfo de México con base en su profundidad y localidad, con respecto a este trabajo. ND: No Determinado.

País	localidad	profundidad (m)	Longitud máxima (cm)	Longitud promedio (cm)	Referencia
México	Xcalak	2	58.9	50.46	Este trabajo
Colombia	Providencia	ND	ND	39.1	Castillo-Torres (2002)
Estados Unidos	Sprigger Bank	1.5	ND	35	Schwarzschild <i>et al.</i> (2008)
Estados Unidos	Sprigger Bank	0.5	ND	30	Schwarzschild <i>et al.</i> (2008)
Panamá	San Blas	7	16.3	15.2	Sweatman & Robertson (1994)
Estados Unidos	Florida Keys	7	21.75	20.25	Ferdie & Fourqurean (2004)
Estados Unidos	Florida Keys	4.5	14	11	Ferdie & Fourqurean (2004)
Colombia	Cahuita Parque Nacional	ND	36	20	Samper-Villarreal <i>et al.</i> (2020)
México	Laguna Madre	<1	22.5	16.23	Arellano-Méndez <i>et al.</i> (2019)
México	Puerto Morelos	1.8 - 3.8	20.6	13.8	Molina-Hernández & Van-Tussenbroek (2014)
Bermuda	Bermuda	3.8	21.3	6.7	Fourqurean <i>et al.</i> (2019)
México	Puerto Morelos	2.5	9.2	SD	Cruz-Palacios & Van-Tussenbroek (2005)

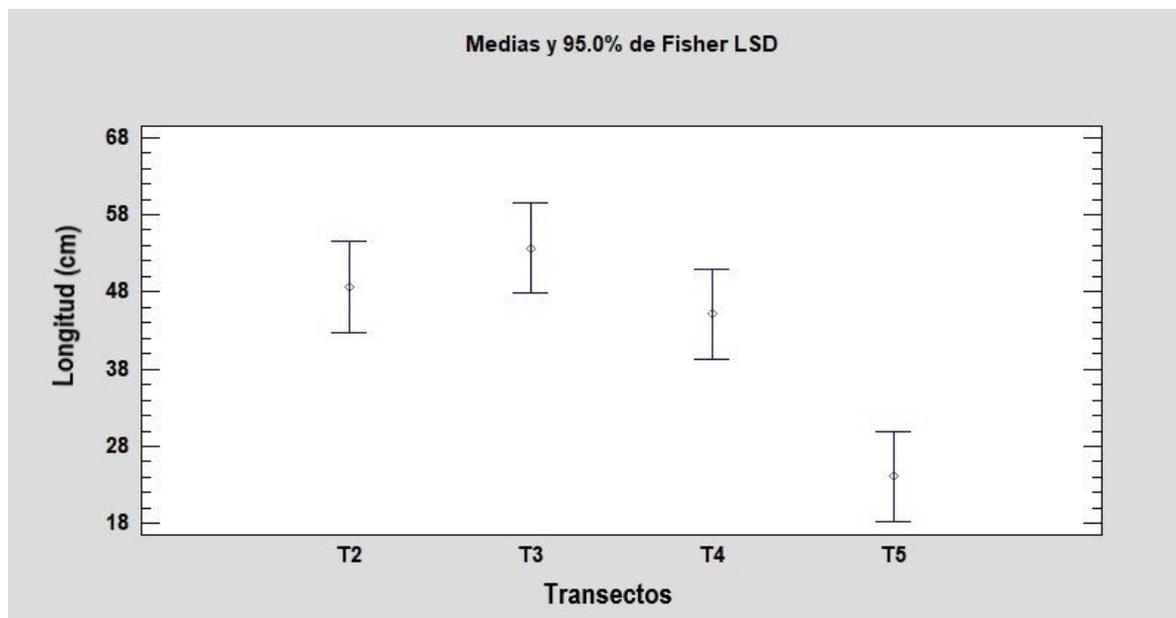


Figura 6. Gráfico del análisis de medias entre la longitud de las hojas por transecto y el análisis *post hoc* de Fisher que indica significancia entre los transectos.

La tolerancia de *S. filiforme* a la baja disponibilidad de luz, junto con el desplazamiento de *T. testudinum*, podrían explicar las praderas monoespecíficas de *S. filiforme* en la laguna arrecifal del El Castillo; aunque todavía no hay estudios que indiquen el impacto que puede tener este cambio de dominancia de praderas, se sabe que alteraciones negativas en la estructura y cobertura de los pastos marinos, provocan una baja calidad del agua, alteración del flujo de materia orgánica y del ciclo de nutrientes, lo que conlleva consecuencias negativas tales como

una baja protección costera y un posible colapso de recursos pesqueros (Bach *et al.*, 1986; De Jonge & De Jonge, 1992).

Aunque se sabe que el aumento de nutrientes, específicamente nitrógeno, favorece el crecimiento de *S. filiforme* (Creed *et al.*, 2004), no se tienen suficientes datos que respalden esta aseveración y se sugiere, en futuros trabajos, medir los niveles de nutrientes en la columna de agua y en su tejido, para poder determinar si el exceso de nutrientes también es un factor implicado en la atípica elongación de las hojas.

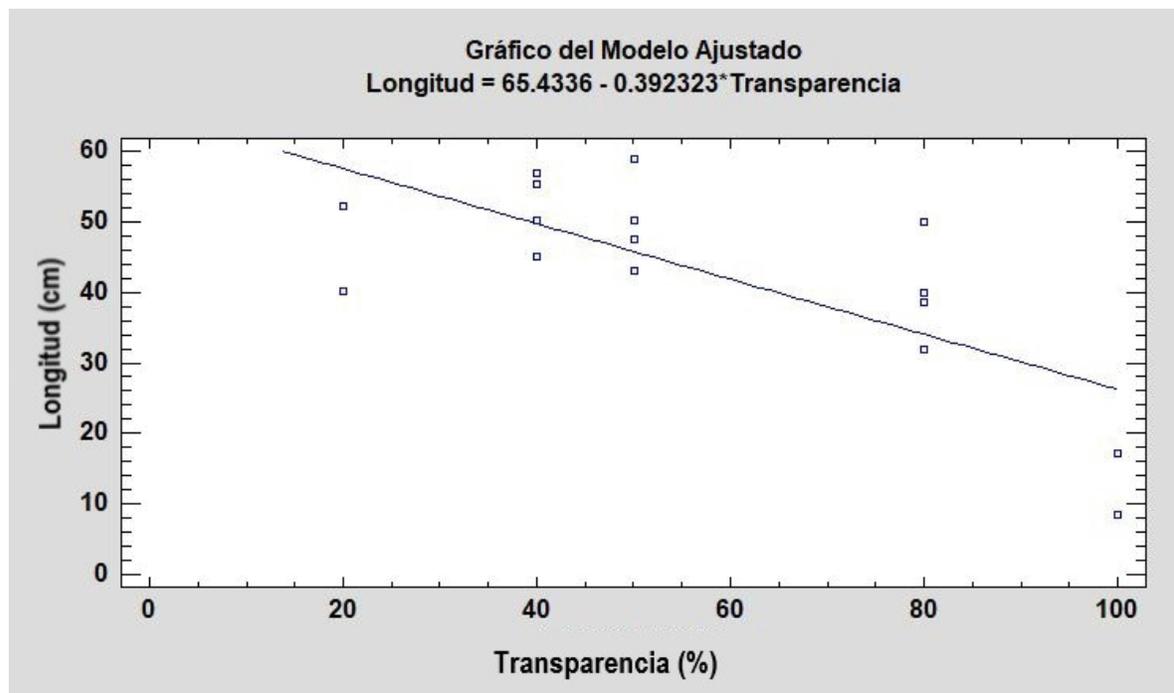


Figura 7. Correlación negativa directa entre el porcentaje de transparencia y la longitud de las hojas de *S. filiforme*

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Lic. en Mat. Luis Aldana por su revisión y asesoramiento en los análisis estadísticos.

REFERENCIAS

- ALBIS-SALAS, M.R. 2010. Características estructurales y fisiológicas de las praderas de *Thalassia testudinum*. Tesis de Maestría en Ciencias en Biología, Universidad Nacional de Colombia, Santa Marta, Colombia. 128 p.
- ARELLANO-MÉNDEZ, L.U., A. MORA-OLIVO, C. ZAMORA-TOVAR, E. ROSA-MANZANO, J.A. TORRES-CASTILLO & J. BELLO-PINEDA. 2019. Structural complexity of tropical seagrasses meadows in a temperate lagoon in the Gulf of Mexico. A landscape ecology approach. *Journal of Coastal Conservation* 23:969-976. DOI:10.1007/s11852-019-00701-2
- ARELLANO-VERDEJO, J. & H.E. LAZCANO-HERNÁNDEZ. 2021. Collective view: mapping *Sargassum* distribution along beaches. *Peer J. Comput. Sci.* 7:e528. DOI:10.7717/peerj-cs.528
- ÁVILA-MOSQUEDA, S.V. 2021. Variabilidad espacial en comunidades de pastos marinos asociada a afluencias masivas de *Sargassum* spp." Tesis de Maestría Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. CDMX, México. 74 p.
- BACH, S., G. THAYER & M. LA CROIX. 1986. Export of detritus from eelgrass (*Zostera marina*) beds near Beaufort, North Carolina, USA. *Marine Ecology Progress Series* 28:265-278.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1979. *Fitosociología, bases para el estudio de las comunidades vegetales*. H. Blume ediciones. Rosario, España. 820 p.
- CASTILLO-TORRES, P.A. 2002. Caracterización estructural y evaluación del estado ambiental de las praderas de pastos marinos del Caribe Colombiano. Tesis de Licenciatura en Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia. 82 p.
- CHÁVEZ, V., A. URIBE-MARTÍNEZ, E. CUEVAS, R.E. RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, B.I. VAN-TUSSEN-BROEK, V. FRANCISCO, M. ESTÉVEZ, L.B. CELIS, L.V. MONROY-VELÁZQUEZ, R. LEAL-BAUTISTA, L. ÁLVAREZ-FILIP, M. GARCÍA-SÁNCHEZ, L. MASIA & R. SILVA. 2020. Massive influx of pelagic *Sargassum* spp. on the coasts of the Mexican Caribbean 2014-2020: challenges and opportunities. *Water* 12:1-24. DOI:10.3390/w12102908
- CONANP (COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS). 2004. *Programa de manejo Parque Nacional Arrecifes de Xcalak*. Comisión Nacional de áreas marinas protegidas, 1er ed. 2004. 161 p.
- CREED, J.C., R.C. PHILLIPS & B.I. VAN-TUSSEN-BROEK. 2004. The seagrasses of the Caribbean. In: Green E.P. & F.T. Short (eds.). *World Atlas of Seagrasses*. University of California, pp. 235-242.
- CRUZ-PALACIOS, V. & B.I. VAN-TUSSEN-BROEK. 2005. Simulation of hurricane-like disturbances on a Caribbean seagrass bed. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 324:44-60.
- DE JONGE, V.N & D.J. DE JONGE. 1992. Role of tide, light, and fisheries in the decline of *Zostera marina* L in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Institute for Sea Research Publication Series* 20:161-176.

- FERDIE, M. & J.W. FOURQUREAN. 2004. Responses of seagrass communities to fertilization along a gradient of relative availability of nitrogen and phosphorus in a carbonate environment. *Limnology and Oceanography* 49(6):2082-2094.
- FOURQUREAN, J.W., S.A. MANUEL, K.A. COATES, S.C. MASSEY & W.J. KENWORTHY. 2019. Decadal monitoring in Bermuda shows a widespread loss of seagrasses attributable to overgrazing by the green sea turtle *Chelonia mydas*. *Estuaries and Coasts* 42:1524-1540.
- GALLEGOS, M.E., M. MERINO, A. RODRIGUEZ, N. MARBA & C.M. DUARTE. 1994. Growth patterns and demography of pioneer Caribbean seagrasses *Halodule wrightii* and *Syringodium*. *Marine Ecology Progress Series* 109:99-104.
- GUTIÉRREZ-AGUIRRE, M.A., M.G. DE LA FUENTE-BETANCOURT & A. CERVANTES-MARTÍNEZ. 2000. Biomasa y densidad de dos especies de pastos marinos en el sur de Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical* 48(2-3):313-316
- JAMES, R.K., R. SILVA, B.I. VAN-TUSSENBROEK, M. ESCUDERO-CASTILLO, I. MARIÑO-TAPIA, H.A. DIJKSTRA & T.J. BOUMA. 2019. Maintaining tropical beaches with seagrass and algae: a promising alternative to engineering solutions. *Bio Science* 69(2):136-142.
- KENWORTHY, W.J. & I.M.S. FONSECA. 1996. Light requirements of seagrasses *Halodule wrightii* and *Syringodium filiforme* derived from the relationship between diffuse light attenuation and maximum depth distribution. *Estuaries* 19:740-750.
- KENWORTHY, W.J. & A.C. SCHWARZSCHILD. 1998. Vertical growth and short-shoot demography of *Syringodium filiforme* in outer Florida Bay, USA. *Marine Ecology Progress Series* 73(1):25-37.
- LITTLER, D.S. & M.M. LITTLER. 2000. *Caribbean Reef Plants*. OffShore Graphics. 542 p.
- MARBA, N., M. HOLMER & E. GARCIA. 2005. Seagrass beds and coastal biogeochemistry. In: Larkum, A.W.D., R.J. Orth, C.M. Duarte (eds.). *Seagrass Biology*. Springer Holanda, pp. 133-155.
- MARTÍNEZ-DARANAS, B.R., M. CANO-MALLO & L. CLERO-ALONSO. 2009. Los pastos marinos de Cuba: estado de conservación y manejo. *Oceanológica* 5(2):24-44.
- MOLINA-HERNÁNDEZ, A.L. & B.I. VAN-TUSSENBROEK. 2014. Patch dynamics and species shifts in seagrass communities under moderate and high grazing pressure by green sea turtles. *Marine Ecology Progress Series* 517:143-157.
- MUMBY, P.J., J. FLOWER, I. CHOLLETT, S.J. BOX, Y. BOZEC, C. FITZSIMMONS, J. FORSTER, D. GILL, R. GRIFFITH-MUMBY, H.A. OXENFORD, A.M. PETERSON, S.M. STEAD, R.A. TURNER, P. TOWNSLEY, P.J.H. VAN-BEUKERING, F. BOOKER, H.J. BROCKE, N. CABAÑILLAS-TERÁN, S.W.J. CANTY, J.P. CARRICART-GANIVET, J. CHARLERY, C. DRYDEN, F.C. VAN-DUYL, S. ENRÍQUEZ, J. DEN-HAAN, R. IGLESIAS-PRÍETO, E.V. KENNEDY, R. MAHON, B. MUELLER, S.P. NEWMAN, M.M. NUGUES, J. CORTÉS-NÚÑEZ, L. NURSE, R. OSINGA, C.B. PARIS, D. PETERSEN, N.V.C. POLUNIN, C. SÁNCHEZ, S. SCHEP, J.R. STEVENS, H. VALLÉS, M.J.A. VERMEIJ, P.M. VISSER, E. WHITTINGHAM & S.M. WILLIAMS. 2014. *Hacia la resiliencia del arrecife y medios de vida sustentables: Un manual para los administradores de arrecifes de coral del Caribe*. University of Exeter, Exeter. 38 p.
- OPTICAL OCEANOGRAPHY LAB. 2019. Outlook of 2019 *Sargassum* blooms in the Caribbean Sea. University of South Florida. Available online at: https://optics.marine.usf.edu/projects/SaWS/pdf/Sargassum_outlook_2019_bulletin07_USF.pdf. (downloaded October 31, 2019).
- ORTH, R.J., T.J. CARRUTHERS, W.C. DENNISON, C.M. DUARTE, J.W. FOURQUREAN, K.L. HECK & F.T. SHORT. 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience* 56(12):987-996.
- PÁEZ-OSUNA, F. & C.C. OSUNA-MARTÍNEZ. 2011. Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: una revisión sobre los organismos utilizados. *Hidrobiológica* 21(3):229-238.
- RIOSMENA-RODRÍGUEZ, R., J.M. LÓPEZ-CALDERÓN, R. MUÑOZ-SALAZAR, J.M. LÓPEZ-VIVAS, J. TORRE-COSÍO & J. MELIN. 2014. Parámetros poblacionales de *Zostera marina* como indicadores de salud ecosistémicos. In: González, C.A., A. Vallarino, J.C. Pérez & A.M. Low-Pfeng (eds.). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. INECC, ECOSUR, pp. 561-577.
- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R., B.I. VAN-TUSSENBROEK & E. JÓRDAN-DAHLGREN. 2016. Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe Mexicano (2014-2015). In: García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz & E.J. Núñez-Vázquez (eds.). *Florecimientos algales nocivos en México*. CICESE, pp. 353-365.
- SAMPER-VILLARREAL, J., M. LORÍA-NARANJO, B.I. VAN-TUSSENBROEK & J. CORTÉS. 2020. Reproducción sexual sincronizada del pasto marino *Syringodium filiforme* (Cymodoceaceae) en la laguna de un arrecife tropical en la costa Caribe de Costa Rica. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras* 12(1):49-68
- SCHWARZSCHILD, A.C., W.J. KENWORTHY & J.C. ZIEMAN. 2008. Leaf growth of the seagrass *Syringodium filiforme* in outer Florida Bay, Florida. *Bulletin of Marine Science* 83(3):571-585.
- SWEATMAN, H. & D.R. ROBERTSON. 1994. Grazing halos and predation on juvenile Caribbean surgeonfishes. *Marine Ecology Progress Series* 111:1-6.
- STATGRAPHICS CENTURION X.V.I. 2009. Statpoint Technologies. INC. versión, 16, 17.
- VAN-TUSSENBROEK, B.I. 2011. Dynamics of seagrasses and associated algae in coral reef lagoons. *Hidrobiológica* 21(3):293-310.
- VAN-TUSSENBROEK, B.I., M.G. SANTOS, J.G. WONG, J.K. VAN-DIJK & M. WAYCOTT. 2010. *Guía de los pastos marinos tropicales del Atlántico Oeste*. Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán, México. 79 p.
- VAN-TUSSENBROEK, B.I., H.A. HERNÁNDEZ, R.E. RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, J. ESPINOZA-AVALOS, H.M. CANIZALES-FLORES, C.E. GONZÁLEZ-GODOY, M.G. BARBA-SANTOS, A. VEGA-ZEPEDA & L. COLLADO-VIDES. 2017. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin* 122:272-281.