

Monitoreo del estado ecológico de una playa representativa de la península de Yucatán para tres grupos clave

Ricardo De La Rosa-Castillo*, Darío Q. Gutiérrez-Urrutia, Elian G. Vivas-Camacho

Abstract

Dada la importancia de pastos marinos, peces y oligoquetos en la estabilidad ecológica de los ecosistemas costeros de la península de Yucatán y del mundo, una serie de muestreos estandarizados que integren estos tres grupos puede resultar valiosa para el monitoreo de áreas de conservación. Analizamos el estado ecológico de una comunidad costera en una playa representativa de la península de Yucatán, empleando distintos métodos de muestreo buscamos observar mayor abundancia y riqueza en los grupos de interés en distintas zonas de la playa como indicador de estabilidad ecológica. Hipotetizamos que: (1) en zonas más someras existirá un mayor desarrollo de pastos marinos y algas en comparación a zonas más hondas, explicado por una disminución en la cantidad de luz disponible; (2) la comunidad de pastos marinos que proporciona hábitat, junto con la presencia de *T. diazi* como alimento, fomentan la presencia de distintas especies de peces; (3) la población de *T. diazi* se concentrará en la zona intermareal, explicado porque esta zona ofrece refugio contra la depredación y la desecación. Para probar estas hipótesis, empleamos y adaptamos previos métodos de monitoreo y muestreo estandarizados, en un período de cinco días en la localidad costera Dzilam de Bravo, seleccionada por su diversidad biológica. No encontramos evidencia suficiente para respaldar nuestras hipótesis, pero tampoco podemos descartarlas por completo, ya que se observó una tendencia acorde con lo planteado. Nuestros hallazgos abren nuevas oportunidades a futuras investigaciones complementarias que amplíen la metodología empleada, permitiendo obtener datos más concluyentes y garantizar un monitoreo representativo que identifique el estado ecológico de la playa, en aras de la sostenibilidad y el bienestar de las comunidades costeras y marinas, regionales y globales.

Keywords: Monitoreo ambiental, playas de la Península de Yucatán, pastos marinos, peces, oligoquetos

1. Introducción

Las playas en la Península de Yucatán son zonas esenciales para la biodiversidad regional y global, no sólo porque funcionan como refugio para especies de animales migratorios de importancia mundial, sino también porque son hábitat para especies clave, fundamentales en el flujo de energía en las redes tróficas y de interacción entre los organismos de los ecosistemas. Más allá de su belleza, las playas yucatecas deben preservarse para garantizar la sostenibilidad y el bienestar de las comunidades costeras y marinas (Aguilar-Medrano, 2007).

Una demostración de lo anterior son las comunidades de pastos marinos que cubren las costas poco profundas de la península. En estas grandes extensiones de vegetación se encuentran siete de las once especies que hay en México de estas plantas acuáticas, *Thalassia testudinum* König 1805, *Halodule wrightii* Ascherson 1868, *Syringodium filiforme* Kützing 1860, *Halophila engelmannii* Ascherson 1875, *Halophila decipiens* Ostenfeld 1902, *Ruppia maritima* Linnaeus 1753 y *Ruppia mexicana* den Hartog & van Tussenbroek 2016 (Espinoza-Avalos, 1996; den Hartog et al., 2016).

Las comunidades de estas plantas actúan como captadores de carbono masivos, reteniendo entre 48 y 112 Tg de carbono al año, incluyendo el carbono en la biomasa de estos organismos y los sedimentos que retienen como reservorio (Kennedy et al., 2010; Ocaña et al., 2023). Este reservorio

*Corresponding author

Email addresses: 319296972@gmail.com (Ricardo De La Rosa-Castillo), 320528677@enesmerida.unam.mx (Darío Q. Gutiérrez-Urrutia), 423005952@enesmerida.unam.mx (Elian G. Vivas-Camacho)

se mantiene gracias al dosel foliar y a su sistema radical, los cuales funcionan como trampas de sedimentos (Fourqurean et al., 2012). Además, los pastos marinos son disipadores de la energía de las corrientes, lo que evita que el sedimento se mantenga suspendido en la columna de agua. Estas características y funciones ecológicas dependen tanto de la composición de las comunidades, como de la morfología y fisiología de las especies (García and Duarte, 2001); lo anterior vuelve fundamental llevar a cabo un monitoreo constante de estas zonas.

Los pastos marinos también proporcionan refugio y alimento a diversas especies de animales. De todos, destacamos particularmente a los peces, cuya presencia y abundancia refleja salud en las comunidades. Comprender esta relación resulta muy valioso para la conservación de estas zonas. Así, el monitoreo de las poblaciones de peces en las zonas de pastos marinos resulta una muy buena herramienta para evaluar el equilibrio ecológico, ya que, de observar cambios en su distribución, es posible indicar alteraciones en la capacidad de los pastos marinos para retener carbono y mantener la estabilidad de la comunidad (Aguilar-Medrano, 2007; Chovanec et al., 2003).

De la misma manera, las plantas y los peces no son los únicos grupos cuya presencia puede indicar alteraciones en la salud de la comunidad. La subclase Oligochaeta (Annelida) es un grupo de gusanos que forma parte de la meiofauna marina y que cumple un papel fundamental en la estabilidad del sistema costero al ser parte esencial de las redes tróficas como alimento de diversas especies de animales, incluidos peces (Díaz et al., 1987). Además, este grupo edáfico contribuye al reciclaje de la materia orgánica y a la oxigenación en el sedimento; lo que influye directamente en la calidad del agua y suelo en las playas (Giere, 2006; Verdonshot, 2001; Collado et al., 1999).

En este grupo de organismos, *Tubificoides diazi* Brinkhurst & Baker 1979 destaca por su gran abundancia en los suelos arenosos de las playas de Yucatán, ofreciendo la oportunidad de analizar la abundancia y estructura de las poblaciones de oligoquetos para observar el estado de salud del agua, del suelo y la sostenibilidad de la zona en general (Behrend et al., 2012). Esto resalta la importancia de su monitoreo como bioindicadores ecológicos.

Dada la importancia de pastos marinos, peces y oligoquetos en la estabilidad ecológica de las playas

de la península de Yucatán, una serie de muestreos estandarizados que integren a estos tres grupos puede resultar valiosa para el monitoreo de áreas de conservación. Destacamos la importancia de emplear protocolos de muestreo existentes, ya que es fundamental para presentar información comparable con estudios previos y posteriores al presente, lo que permitirá obtener una perspectiva más completa del estado ecológico de la zona. Así, el objetivo de este trabajo es reportar el estado ecológico actual de una playa representativa de la península de Yucatán a partir del análisis de la composición y estructura de las comunidades de pastos marinos, de peces y de la estructura de la población de oligoquetos.

Se plantean las siguientes hipótesis: (1) en zonas más someras existirá un mayor desarrollo de pastos marinos y algas en comparación a zonas más hondas, explicado por una disminución en la cantidad de luz disponible; (2) la composición diversa de la pradera de pastos marinos que proporciona hábitat, junto con la presencia de *T. diazi* como recurso alimenticio, fomentan la presencia de distintas especies de peces; (3) la población de *T. diazi* se concentrará en la zona intermareal, ya que esta ofrece un refugio contra la depredación por parte de peces en la zona submareal, mientras que evitan la desecación asociada a la zona supramareal.

A partir de las hipótesis anteriores, se espera observar en profundidades someras en comparación con profundidades más hondas: (1) Una mayor cobertura de pastos marinos y un mayor número de especies; (2) mayor biomasa en peso húmedo de algas; (3) mayor número de haces foliares y de vástagos de pastos marinos; (4) marcas de herbivoría visibles en pastos marinos; (5) un mayor largo de individuos de pastos marinos; (6) mayor biomasa en peso húmedo de pastos marinos. Además, esperamos observar (7) el mismo número de especies de peces reportadas en muestreos similares anteriormente en el sitio y, por último, (8) un mayor número de individuos de *T. diazi* en la zona intermareal en comparación con las zonas supramareal y submareal.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El presente se llevó a cabo en Dzilam de Bravo (21.390166° N, 88.908361° W), región costera del

norte de la península de Yucatán, México. Este sitio fue seleccionado debido a su diversidad biológica, la cual incluye a los grupos objeto de estudio. La zona se caracteriza por un clima cálido a lo largo del año, con temperaturas promedio anuales de 25.3 °C. El sustrato predominante en la zona es arena fina.

2.2. Muestreo

2.2.1. Parámetros fisicoquímicos

Se midieron parámetros fisicoquímicos del agua marina de la zona dos veces al día, entre las 7:00 y las 11:00 hrs (matutino), y entre las 15:00 y las 18:00 hrs (vespertino), en dos días distintos separados por un día, tomando como referencia el muelle con las coordenadas 21.39027° N, 88.90837° W. Para este procedimiento se utilizó un medidor multiparamétrico ProQuatro YSI, el cual ofrece valores en tiempo real de: oxígeno disuelto (OD) (mg/L), salinidad (ppt), sólidos disueltos totales (SDT) (mg/L), pH, temperatura (C°), entre otros parámetros. Los mencionados son aquellos que se registraron para el presente estudio.

2.2.2. Abundancia relativa

La metodología empleada en este apartado se basa en la propuesta por Botello et al. (2022) como 'Indicador 3'. Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo dentro de un área de 5 metros de radio. Después, en cada uno de los sitios se colocó una unidad de muestreo (UM), la cual se trataba de un cuadrante de 1 m² hecho de tubo PVC, dividido en 16 cuadrados con hilo de nailon, subunidades de muestreo (SUM), donde cada una de estas representó el 6.25% de la UM. Empleando una cámara acuática Nikon W300, se tomaron fotografías de cada una de las SUM para ser procesadas posteriormente en el laboratorio de campo, únicamente cuando las partículas de sedimento suspendidas en el agua no comprometían el análisis de los grupos presentes en la imagen; de ser el caso contrario, se registraron la presencia y proporciones (en porcentaje) de los grupos *in situ*.

En ambos casos, las proporciones se obtuvieron por determinación visual. De igual manera, se destaca la importancia de inspeccionar entre los haces de los pastos para verificar la presencia de taxones de menor tamaño. Toda esta metodología se llevó a cabo en los horarios matutino y vespertino definidos anteriormente en dos días separados por un día. Para el primer día, el procedimiento

se llevó a cabo en una zona somera para el horario matutino y en una zona profunda para el horario vespertino; para el segundo día, se llevó a cabo en una zona profunda para el horario matutino y en una zona somera para el horario vespertino.

2.2.3. Biomasa de macroalgas

La metodología empleada en este apartado se basa en la propuesta por Botello et al. (2022) como 'Indicador 4'. Se seleccionaron dos sitios de muestreo, separados por 5 metros, distintos a los del procedimiento anterior. En la UM, que es la misma que se utiliza en el protocolo anterior, seleccionamos una de las SUM para coleccionar todos los cuerpos de macroalgas presentes en él; cuando fue posible, se separaron del sedimento que pudieran retener. Esta metodología se llevó a cabo en los horarios, días y profundidades definidas en el protocolo anterior. Las muestras de cada sitio se separaron por morfotipos distintos para después ser identificadas al menor nivel taxonómico posible con base en la guía de Littler et al. (1989). Por último, cada grupo identificado fue pesado en húmedo.

2.2.4. Pastos marinos

La metodología empleada en este apartado se basa en las propuestas por Botello et al. (2022) como 'Indicador 5', 'Indicador 6' e 'Indicador 7'. Se seleccionaron dos sitios de muestreo, separados por 5 metros, distintos a los del procedimiento anterior, estos sitios caracterizados uno como representativo de la diversidad de la zona y otro de mayor abundancia de pastos marinos. Después, en cada sitio se extrajo un núcleo de sedimento y vegetación empleando una herramienta apropiada para esto, de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto, acomodando las hojas largas de los pastos marinos bajo la herramienta. Del núcleo extraído se conservaron los organismos y se regresó el sedimento de la muestra al lugar del que fue extraído para mitigar el efecto del muestreo en la comunidad. Esta metodología se llevó a cabo en los horarios, días y profundidades definidas anteriormente.

Las muestras obtenidas se procesaron en el laboratorio de campo. Se pesaron las muestras obtenidas para cada grupo de pasto y macroalgas; sin embargo, en pastos se separaron los tejidos de arriba del sedimento y los de abajo del sedimento, en la medida de lo posible, y se pesaron ambas partes resultantes por separado para cada grupo de pasto. Además, a cada pasto marino se le contó el número

de haces foliares, se buscó la presencia de marcas de herbivoría y, por último, se midieron los tres individuos más largos.

2.2.5. Peces

La metodología empleada en este apartado se basa en la propuesta por [Botello et al. \(2022\)](#) como ‘Indicador 11’. Se seleccionaron dos sitios en zonas despejadas sin vegetación. Debido a que la presencia de humanos ahuyenta a los peces de los pastizales, se usaron cámaras para fotografiar y grabar a los peces en la zona. En el primer sitio se posicionaron dos cámaras encontradas para que tomaran fotografías cada dos minutos durante 24 horas. En el segundo sitio se colocaron cuatro cámaras dispuestas en los puntos cardinales para grabar durante 1 hora. Tras recuperar las cámaras, se analizó el material obtenido para identificar las especies de peces con base en la guía de [Gallardo-Torres et al. \(2014\)](#).

2.2.6. Oligoquetos

El suelo donde se tomaron las muestras presentó, para el gradiente de la zona supramareal a la submareal, variaciones en la textura y/o en la cobertura de biomasa, sin embargo, se mantuvo consistente en estas composiciones para las réplicas. El muestreo se realizó en tres días, con un día de separación entre cada uno. El primer muestreo se llevó a cabo en horario vespertino, el segundo en horarios matutino y vespertino, y el último sólo en horario matutino. Los horarios se definieron a las 6:00 horas para matutino y a las 15:00 horas para vespertino. Se realizaron en transectos, separados por 50 metros, cada uno partiendo de la zona del rompimiento de olas (intermareal) hacia la zona supramareal y la zona submareal.

El punto intermareal se estableció por la tarde para el primer día y por la mañana para el segundo y tercero, el punto intermareal se mantuvo en el mismo lugar para la medición en el horario de la tarde del segundo día, además, desde el punto intermareal se midió la distancia a un punto de referencia, donde terminara la línea de playa y comenzara la vegetación de duna costera.

Para la extracción de núcleos de suelo se utilizó una herramienta cilíndrica de 30 cm de diámetro y 50 cm de altura. Los núcleos se tomaron con una separación de un metro entre cada uno. Se realizaron un total de ocho transectos, cada uno con nueve núcleos, cuatro en la zona supramareal, cuatro en la submareal y uno en la intermareal. Los

gusanos fueron extraídos mediante un proceso de tamizado en el que el sustrato se lavó tres veces con agua agitada para facilitar la salida de los organismos. Después, se separaron en frascos con agua marina recolectada en el sitio. En el laboratorio de campo, se contó el número de individuos extraídos de cada núcleo y se midió la talla de cada organismo en centímetros de largo.

2.3. Análisis de datos

Los datos obtenidos en campo, se almacenaron en hojas de cálculo para su posterior análisis. Todo el análisis se realizó en R (4.3.1) utilizando RStudio (2024.4.0.735). Las pruebas estadísticas se realizaron de manera independiente para los distintos conjuntos de datos obtenidos.

Para los datos obtenidos del protocolo de oligoquetos, se tenía planeado comparar la abundancia y talla entre las distintas regiones de la playa (submareal, intermareal, supramareal) sin embargo, al empezar a extraer los oligoquetos se volvió aparente que existe más variación dentro, que entre las distintas regiones de la playa (ver Figure 5), por lo que se decidió tratar los distintos núcleos como unidades de muestreo separadas.

Previo al análisis estadístico se realizaron pruebas Shapiro-Wilks y Levene {car}, para observar la distribución de los datos y la homogeneidad de varianza. Dado que tanto los datos de talla de oligoquetos como su abundancia, no cumplieron los supuestos para un Análisis de Varianza, se optó por realizar un análisis de varianza multivariante permutacional (PERMANOVA). Antes de ejecutar el PERMANOVA los datos se transformaron mediante una raíz cuarta para reducir la influencia de los valores extremos.

El PERMANOVA se realizó utilizando una matriz de distancia euclidiana, tanto para los datos de talla, como los de abundancia. La cantidad de oligoquetos medidos limitó el número de permutaciones a 99. Para el análisis de abundancia se logró realizar 9,999 permutaciones. Para ambos análisis se midió el efecto de dos factores: el horario de la medición, y la posición de la playa.

Dada la naturaleza del estudio de cobertura de pastos marinos y algas, se ejecutó un PERMANOVA. Se empezó agrupando los datos de cobertura de las SUM, y convirtiéndolos en porcentajes. Al igual que con el análisis de oligoquetos los datos se transformaron con una raíz cuarta.

Posteriormente se generó una matriz de distancia Bray-Curtis, antes de realizar un PERMANOVA, de 9,999 permutaciones, utilizando como factor la profundidad categórica. El peso de algas colectadas de los cuadrantes, así como el de las algas y pastos extraídos con el nucleador, fue analizado de la misma manera. Por último, se realizaron dos PERMANOVAs utilizando matrices de distancias euclidianas analizando, el número de haces y el tamaño de las especies de pastos marinos extraídos con el nucleador.

3. Resultados

Table 1: Variables ambientales del agua medidas con el medidor multiparamétrico. Las mediciones se tomaron al principio de cada muestreo de pastos marinos.

Fecha	Horario	Temp (C°)	OD (%)	SDT (mg/L)	Salinidad (ppt)	pH	Prof (m)
13/may	Matutino	26.8	34.0	34556	35.05	8.03	0.5
13/may	Vespertino	30.9	93.5	34830	35.24	8.26	0.4
15/may	Matutino	28.7	58.3	33972	34.33	8.18	0.5
15/may	Vespertino	31.5	140.1	34256	34.60	8.40	0.4

3.1. Pastos marinos

El protocolo de pastos se realizó a lo largo de 2 días en 4 eventos de muestreo. En total se midió la cobertura de 14 cuadrantes, 8 en zonas someras y 6 profundas. Se identificaron 3 especies de pastos marinos (*Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme*, *Halodule beaudettei*), y 4 especies de algas (*Laurencia poitei*, *Acetabularia calyculus*, *Halimeda incrassata*, *Penicillus capitatus*). En zonas someras, hay una mayor cobertura de algas, en comparación con zonas más profundas, sin embargo en ambas regiones los pastos marinos son más dominantes que especies de algas. El análisis estadístico no mostró diferencias estadísticamente significativas entre la composición de la cobertura en las dos profundidades ($F = 0.83$, $p = 0.3924$). La especie de pasto *H. beaudettei* contribuyó más a la disimilitud entre las dos profundidades, seguido por *P. capitatus* y *L. poitei*.

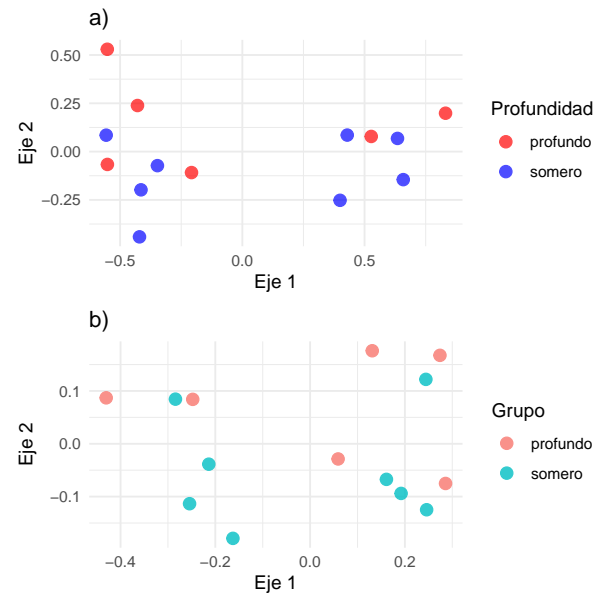


Figure 1: (a) MDS y (b) PCO de la cobertura de la comunidad de pastos, los colores representan la profundidad (profundo = rojo, somero = azul).

Table 2: La cobertura promedio de los cuadrantes en las dos profundidades, y el total de ambas profundidades por especie. La columna “Total” muestra la suma total de los porcentajes de cobertura de todas las especies. La fila de aporte a la disimilitud muestra cuando las especies contribuyen a la diferencia entre ambas zonas. Los valores p fueron calculados con la función de `simper {vegan}`, y valores mas bajos indican un mayor aporte a las diferencias entre las dos profundidades.

Prof	S. f.	H. b.	T. t.	L. p.	H. i.	A. c.	P. c.	Total
Somero	27.20%	14%	10.70%	28.50%	12.10%	2%	0%	94.50%
Profundo	28.40%	37.30%	2.50%	16.20%	8.50%	0.50%	0.03%	93.40%
Ambos	27.80%	25.65%	6.60%	22.35%	10.30%	1.25%	0.02%	93.95%
Aporte a la disimilitud	0.833	0.069	0.739	0.317	0.888	0.43	0.23	NA

Para el protocolo de biomasa de algas se colectaron las algas de 8 SUM. Se identificaron 7 especies, 4 de las cuales no se habían presentado en el muestreo de cobertura (*Dictyota divaricata*, *Dictyota cervicornis*, *Udotea sp.*, *A. crenulata*). El PERMANOVA no mostró diferencias significativas entre las dos profundidades ($F = 1.4239$, $p = 0.2621$). Por último se habían extraído 8 núcleos de sedi-

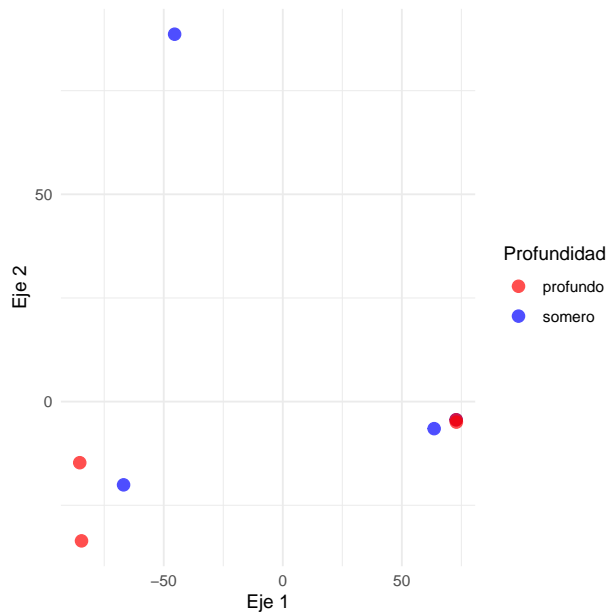


Figure 2: MDS del peso de las algas extraídas de un cuadrante de 25 cm^2 . Los muestreos en zonas profundas están representados por los puntos rojos mientras los de las zonas someras en azul.

mento. Ninguno de los análisis a los datos extraídos de los núcleos mostraron diferencias significativas (biomasa de las algas y pastos, $F = 0.6667$, $p = 0.7119$; número de haces, $F = 0.4803$, $p = 0.7418$; individuos más largos, $F = 1.4908$, $p = 0.2837$).

3.2. Peces

Las cámaras trampa capturaron un total de 1,514 fotos, 39 de las cuales contenían peces. Se lograron identificar dos especies. La especie que más salió en las fotos fue *Eucinostomus gula* (mojarra española), es probable que las distintas fotos sean del mismo individuo (Figure 3) La segunda especie que se logró identificar fue *Sphoeroides testudineus*, que apareció en solamente una imagen (Figure 4). Hubo una imagen que capturó a 4 peces pero por la distancia a la cámara no se lograron identificar.

3.3. Oligoquetos

Durante el transcurso de la práctica se realizaron 8 transectos, 4 en el horario matutino y en el horario vespertino. En cada transecto se extrajeron 9 núcleos: 4 en la zona submareal, 1 en el intermareal, y 4 en la área supramareal. En total se realizaron 72 muestreos donde se recolectaron 1,226 oligoquetos con un tamaño medio de 4.5 cm, una mediana de



Figure 3: Foto capturada con la cámara trampa de *E. gula*.



Figure 4: Foto capturada con la cámara trampa de *S. testudineus*.

3.8, con un rango en tamaño de entre 0.2 cm y 20.1 cm. La abundancia de individuos por núcleo estuvo entre 0 y 141, con una media de 15.8 y mediana de 3. La mayoría de oligoquetos se encontraron al centro del transecto, con los muestreos en el supramareal 4 y submareal 4, sin presentar ningún oligoqueto en la mayoría de los muestreos. Para ambas variables los muestreos más alejados del intermareal, tanto en las zonas submareales, como las supramareales, presentaron valores medios más bajos.

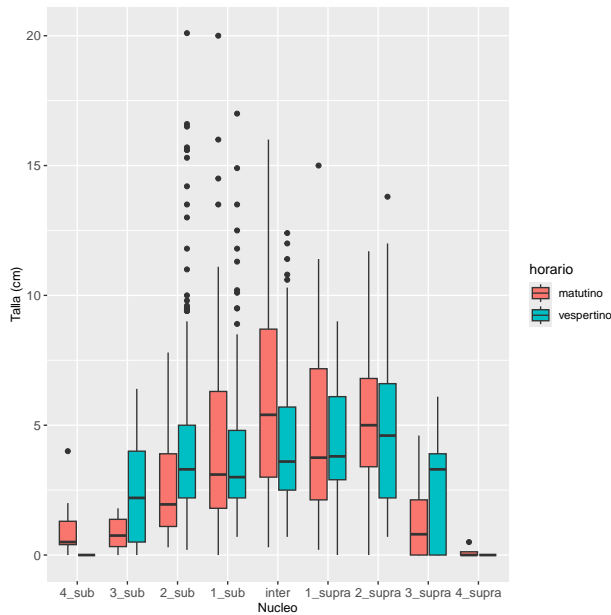


Figure 5: Boxplot de la talla de oligoquetos en los distintos muestreos de la playa. Los colores representan horarios distintos (matutino = rojo, vespertino = azul).

El análisis mostró que tanto la hora ($F = 10.081$, $p < 0.01$; Figure 6), como la posición en la playa ($F = 51.336$, $p < 0.01$; Figure 5) y la interacción entre ambos ($F = 28.042$, $p < 0.01$), son factores que influyen de manera significativa sobre la talla. El tamaño promedio de los oligoquetos extraídos en el horario matutino es ligeramente mayor que los encontrados en el horario vespertino. El tamaño de los oligoquetos va incrementando desde el submareal 4 hasta el intermareal donde se mantiene constante hasta el supramareal 2 donde vuelve a declinar. Para la variable de abundancia únicamente la posición en la playa influyó de manera significativa ($F = 10.554$, $p = 0.0001$; Figure 7), sin embargo la interacción entre las dos variables fue significativa. Para ambas variables los muestreos más alejados del intermareal, tanto en las zonas submareales, como

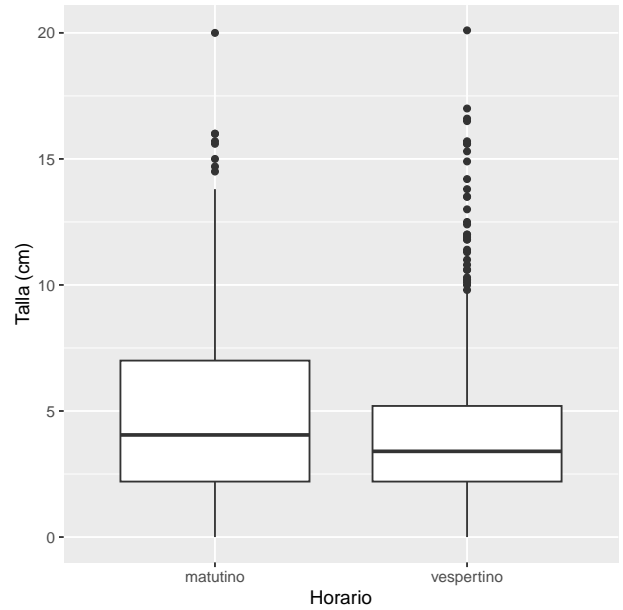


Figure 6: Boxplot de la talla de oligoquetos en ambos horarios.

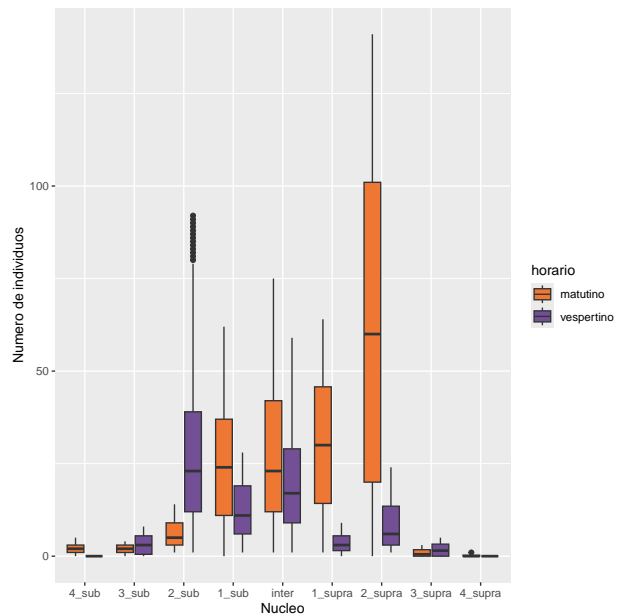


Figure 7: Boxplot de la abundancia de oligoquetos a lo largo de los transectos. Los colores representan el horario (matutino = rojo, vespertino = morado).

las supramareales, presentaron valores medios más bajos.

4. Discusión

Este estudio analiza el estado ecológico de una playa representativa de la península de Yucatán, centrándose en tres grupos de organismos clave para el ecosistema, involucrados en la salud de la comunidad a través de sus interacciones bióticas. Con base en los resultados obtenidos de los análisis, no podemos afirmar con certeza que nuestras predicciones iniciales se hayan cumplido, pero tampoco podemos descartarlas por completo, ya que se observa una tendencia acorde con lo planteado, aún si los datos obtenidos no ofrecen evidencia suficiente para confirmar que las predicciones se cumplieron. Para futuras investigaciones, sugerimos aumentar la cantidad de muestras para obtener datos más representativos y mejorar la precisión de los análisis.

Estudios previos han señalado una abundante presencia de organismos intersticiales tanto en la zona intermareal como en la supramareal, particularmente en regiones húmedas pero no sumergidas, [McLachlan and Brown \(2006\)](#) denominaron este espacio como la “zona de retención”. De la misma manera, la distribución de estos organismos, debido a su carácter de menores dimensiones, está influenciada principalmente por interacciones bióticas, como la atracción para la reproducción y la evasión de depredadores ([Giere, 2009](#)).

Así, el constante movimiento de las corrientes marinas resulta fundamental en esta distribución, pues se ha observado que el levantamiento del sedimento los deja expuestos y vulnerables a sus depredadores y a ser transportados incluso por corrientes de baja intensidad, lo que limita su permanencia en zonas de inundación prolongada ([McLachlan and Brown, 2006](#)). Para estudios futuros, será esencial considerar la influencia de las variaciones en la altura de la marea en la distribución de estas poblaciones, en lugar de asumir un punto fijo como zona intermareal.

La distribución de oligoquetos sigue patrones definidos, aunque con ciertas variaciones irregulares. [Edwards and Arancon \(2022\)](#) reportan ritmos de actividad diurnos, lo que indica que los horarios en los que se realizaron los muestreos no fueron la causa de la falta de certidumbre en los datos. Además, el

número de individuos por núcleo fue similar con lo reportado previamente en estudios que utilizaron la misma metodología en la misma zona ([Guerra-Castro et al., 2020](#)), lo que sugiere que los datos obtenidos son representativos de la población estudiada.

Por otra parte, durante el muestreo, se registró una cobertura de biomasa de vegetación en descomposición sobre la zona de retención en la supramareal, lo que pudo haber influido en la retención de humedad del ambiente intersticial y, en consecuencia, en la distribución de la población de *T. diazi* en la playa. Estos factores pudieron haber sido la causa de que los datos no fueran lo suficientemente contundentes para respaldar con certeza los fenómenos previamente descritos, por lo tanto, representan un punto de partida para futuras investigaciones que consideren estos elementos.

En cuanto al registro de peces, las cámaras utilizadas para la grabación no estaban correctamente configuradas, lo que impidió la obtención de datos. Respecto a las fotografías, el material obtenido no representa la diversidad reportada previamente en la zona, la cantidad de especies que reportamos sólo cubre 2 de las 81 reportadas para la comunidad de la localidad, sin embargo, son dos de las seis especies más abundantes en el sitio ([Arceo-Carranza and Vega-Cendejas, 2009](#)).

Para futuros trabajos de monitoreo recomendamos seguir la metodología de [Arceo-Carranza and Vega-Cendejas \(2009\)](#), donde se llevaron a cabo seis muestreos bimestrales, separados por dos meses, que en conjunto abarcaron un período de un año. Un monitoreo más prolongado permitirá observar una mayor y mejor representación de la fauna íctica de la región y el papel de la comunidad de pastos marinos como zonas de gran impacto ecológico ([Catalán et al., 2014](#)).

Por otro lado, para la evaluación del desarrollo de la composición de pastos marinos tampoco observamos datos contundentes para asegurar el cumplimiento de nuestras predicciones, sin embargo, como en los casos anteriores, una ampliación de nuestra metodología permitiría observar variación de manera más significativa, un mayor número de muestras y profundidades más alejadas de la línea de la costa. Resaltamos particularmente los resultados obtenidos para la cobertura, sería recomendable realizar mediciones adicionales mar adentro, pues, a pesar de que la distancia a la que llevamos a cabo

el muestreo no presentó la variación esperada, la profundidad, como se observa en la Figure 1, explica en buena medida dicha variación, aunque no la explique lo suficiente.

No consideramos que la aparente homogeneidad de la comunidad de pastos marinos sea consecuencia de eventos de origen antrópico o natural, sino por limitaciones en la metodología empleada. Sin embargo, resaltamos la importancia de considerar ciertas perturbaciones en futuros estudios dirigidos a evaluar y reportar el estado ecológico de las comunidades costeras.

Herrera-Silveira and Morales-Ojeda (2009) reportan que los cambios negativos en la cobertura y composición de especies de vegetación acuática sumergida en pastos marinos están generalmente asociados con la eutrofización del ambiente (Orth and Moore, 1983; Stevenson et al., 1993), provocada por un crecimiento excesivo de macroalgas y epífitas (Dennison et al., 1993); así mismo, indican que no existe una medida que determine cuándo el crecimiento de estos organismos se vuelve nocivo para la comunidad. No obstante, resaltan que un buen acercamiento para evaluar esta situación es examinar el cambio en el porcentaje de cobertura en el tiempo (Bricker et al., 2003). Así, llevar a cabo monitoreos periódicos siguiendo una metodología estandarizada, se vuelve clave para prevenir el deterioro en la salud de la comunidad de pastos marinos.

Por otra parte, Herrera-Silveira et al. (2019) analizan el impacto de los puertos industrializados en las comunidades de pastos marinos, especialmente en zonas de intenso desarrollo costero, donde la pérdida de extensas áreas de estas plantas ocurre a un ritmo acelerado. De la misma manera, presentan los efectos de estas pérdidas en la calidad del agua, como el aumento de la turbidez debido a la disminución en la retención de sedimentos y la eutrofización causada por la ausencia de estos organismos clave en el ciclado de nutrientes.

Además, las comunidades de pastos marinos también se ven afectadas por eventos hidrometeorológicos, los cuales incrementan la escorrentía y, en consecuencia, la turbidez del agua, reduciendo la disponibilidad de luz. Este fenómeno se agrava en el caso de tormentas prolongadas, que pueden durar semanas y causar daños significativos, al dañar, remover y enterrar grandes cantidades de biomasa de estas plantas acuáticas (Herrera-Silveira et al., 2019).

Aunque nuestro estudio no obtuvo evidencia concluyente para determinar el estado ecológico de la comunidad en la playa de Dzilam de Bravo, sí ofrece un panorama sobre las condiciones en las que se encuentra. En zonas como esta, donde las comunidades de pastos marinos están sometidas a una intensa presión por efectos antrópicos derivados de grandes desarrollos costeros, así como por factores naturales propios de una región expuesta constantemente a eventos hidrometeorológicos, es fundamental realizar muestreos periódicos y estandarizados que permitan evaluar el impacto de dichas perturbaciones en los pastos marinos, zonas clave para garantizar la sostenibilidad y el bienestar de las comunidades costeras y marinas, regionales y globales, al ser sitios esenciales para la interacción intra e interespecífica.

Referencias

- Aguilar-Medrano, R., 2007. Importancia de los humedales costeros de la península de Yucatán como centros de conexión ecológica para peces. *Bioagrociencias* 16, 27–33.
- Arceo-Carranza, D., Vega-Cendejas, M.E., 2009. Spatial and temporal characterization of fish assemblages in a tropical coastal system influenced by freshwater inputs: north-western Yucatán peninsula. *Revista de Biología Tropical* 57, 89–103. URL: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442009000100009.
- Behrend, R., Takeda, A., Gomes, L., Fernandes, S., 2012. Using oligochaeta assemblages as an indicator of environmental changes. *Brazilian Journal of Biology* 72, 873–884. URL: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000500014>, doi:10.1590/S1519-69842012000500014.
- Botello, F., Vázquez-Camacho, C., Mayani-Parás, F., Vega-Orihuela, M.E., Morales-Díaz, S., 2022. Protocolo para el monitoreo ecosistémico de pastos marinos en Áreas Naturales Protegidas. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, Conservación Biológica y Desarrollo Social A. C.
- Bricker, S.B., Ferreira, J.G., Simas, T., 2003. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling* 169, 39–60. doi:10.1016/S0304-3800(03)00199-6.
- Catalán, I.A., Dunand, A., Álvarez, I., Alos, J., Colinas, N., Nash, R.D., 2014. An evaluation of sampling methodology for assessing settlement of temperate fish in seagrass meadows. *Mediterranean Marine Science* 15, 338–349. URL: <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/hcmr-med-mar-sc/article/view/12486>, doi:10.12681/mms.539.
- Chovanec, A., Hofer, R., Schiemer, F., 2003. Chapter 18 fish as bioindicators, in: Markert, B., Breure, A., Zechmeister, H. (Eds.), *Bioindicators & Biomonitoring*. Elsevier, volume 6 of *Trace Metals and other Contaminants in the Environment*, pp. 639–676. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927521503801480>, doi:[https://doi.org/10.1016/S0927-5215\(03\)80148-0](https://doi.org/10.1016/S0927-5215(03)80148-0).

- Collado, R., Kasprzak, P., Schmelz, R., 1999. Oligochaeta and aphanoneura in two northern german hardwater lakes of different trophic state. *Hydrobiologia* 406, 143–148. doi:10.1023/A:1003700604272.
- den Hartog, C., van Tussenbroek, B., Wong, J., Mercado Ruaro, P., Márquez Guzmán, J., 2016. A new ruppia from mexico: *Ruppia mexicana* n.sp. *Aquatic Botany* 131, 38–44. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304377016300171>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.02.005>.
- Dennison, W.C., Orth, R.J., Moore, K.A., Stevenson, J.C., Carter, V., Kollar, S., Bergstrom, P.W., Batiuk, R.A., 1993. Assessing water quality with submersed aquatic vegetation: Habitat requirements as barometers of chesapeake bay health. *BioScience* 43, 86–94. URL: <https://doi.org/10.2307/1311969>, doi:10.2307/1311969.
- Diaz, R.J., Erséus, C., Boesch, D.F., 1987. Distribution and ecology of middle atlantic bight oligochaeta, in: Brinkhurst, R.O., Diaz, R.J. (Eds.), *Aquatic Oligochaeta*, Springer Netherlands, Dordrecht. pp. 215–225.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q., 2022. *Biology and Ecology of Earthworms*. Fourth ed., Springer Nature, New York, NY, USA. doi:10.1007/978-0-387-74943-3.
- Espinoza-Avalos, J., 1996. Distribution of seagrasses in the yucatan peninsula, mexico. *Bulletin of Marine Science* 59, 449–454.
- Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M.A., Apostolaki, E.T., Kendrick, G.A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K., Serrano, O., 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience* 5, 505–509.
- Gallardo-Torres, A.G., Badillo-Alemán, M., Galindo-de Santiago, C., Loera-Pérez, J., García-Galano, T., Chiappa Carrara, X., 2014. Catálogo de peces de la costa norte de Yucatán. Segunda edición ed., Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo de Ciencia, Innovación y Tecnología del estado de Yucatán.
- García, E., Duarte, C.M., 2001. Sediment retention by a mediterranean posidonia oceanica meadow: the balance between deposition and resuspension. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52, 505–514. doi:10.1006/ecss.2000.0753.
- Giere, O., 2006. Ecology and biology of marine oligochaeta – an inventory rather than another review. *Hydrobiologia* 564, 103–116. doi:10.1007/s10750-005-1712-1.
- Giere, O., 2009. *Meiobenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments*. Second ed., Springer, Berlin. doi:10.1007/978-3-540-68661-3.
- Guerra-Castro, E., Hidalgo, G., Castillo-Cupul, R.E., Muciño-Reyes, M., Noreña-Barroso, E., Quiroz-Deaquino, J., Mascaro, M., Simoes, N., 2020. Sandy beach macrofauna of yucatán state (mexico) and oil industry development in the gulf of mexico: First approach for detecting environmental impacts. *Frontiers in Marine Science* 7. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2020.589656>, doi:10.3389/fmars.2020.589656.
- Herrera-Silveira, J., Morales-Ojeda, S., Mendoza-Martínez, J., Medina-Gómez, I., Ramírez-Ramírez, J., Sandoval-Gil, J.M., Camacho-Ibar, V., 2019. Capítulo 8 PASTOS MARINOS. pp. 150–177.
- Herrera-Silveira, J.A., Morales-Ojeda, S.M., 2009. Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in south-east mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submersed aquatic vegetation. *Marine Pollution Bulletin* 59, 72–86. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X08005353>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.11.017>.
- Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Holmer, M., Marbà, N., Middelburg, J.J., 2010. Seagrass sediments as a global carbon sink: isotopic constraints. *Global Biogeochemical Cycles* 24, GB4026. doi:10.1029/2010GB003848.
- Littler, D.S., Littler, M.M., Norris, J.N., Bucher, K.E., 1989. *Marine Plants of the Caribbean: A Field Guide from Florida to Brazil*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- McLachlan, A., Brown, A., 2006. The Ecology of Sandy Shores. doi:10.1016/B978-0-12-372569-1.X5000-9.
- Ocaña, F.A., Olmos-García, R.E., de Jesús-Carrillo, R.M., Noreña-Barroso, E., Guerra-Castro, E., 2023. Spatiotemporal patterns of macrophyte subsidies to sandy beaches of yucatán, mexico. *Regional Studies in Marine Science* 63, 102979. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352485523001688>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102979>.
- Orth, R.J., Moore, K.A., 1983. Chesapeake bay: An unprecedented decline in submerged aquatic vegetation. *Science* 222, 51–53. doi:10.1126/science.222.4619.51.
- Stevenson, J.C., Staver, L.W., Staver, K.W., 1993. Water quality associated with survival of submersed aquatic vegetation along an estuarine gradient. *Estuaries* 16, 346–361. URL: <https://doi.org/10.2307/1352507>, doi:10.2307/1352507.
- Verdonchot, P., 2001. Hydrology and substrates: determinants of oligochaete distribution in lowland streams (the netherlands). *Hydrobiologia* 463, 249–262. doi:10.1023/A:1013132514610.