

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel



**Almacenes de carbono en praderas de pasto marino del
Pacífico Sur tropical mexicano**

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de
Licenciada en Biología Marina

Presenta

Abril Vargas Hervert

Director

Dr. Vladislav Carnero Bravo

Codirectora

Dra. Tania Cecilia Cota Lucero

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2026

Índice

1. Introducción.....	10
2. Antecedentes	14
3. Justificación.....	17
4. Hipótesis.....	18
5. Objetivo general	19
5.1 Objetivos específicos	19
6. Materiales y Métodos	19
6.1 Área de estudio	19
6.2 Diseño de muestreo	22
6.3 Recolecta de muestras	24
6.4 Variables fisicoquímicas.....	25
6.5 Extracción de los núcleos sedimentarios	25
6.6 Procedimiento para la identificación de la especie de pasto marino	27
6.7 Procesamiento de muestras y análisis de laboratorio	28
6.7.1 Seccionamiento de núcleos	28
6.7.2 Liofilización, homogenización y triturado.....	29
6.7.3 Método de Pérdidas por Ignición (PPI)	30
6.7.4 Análisis de carbono.....	31
6.7.5 Fumigación con HCL.....	31
6.7.6 Analizador elemental.....	32
6.7.7 Análisis de carbono total (C_{tot}) y carbono orgánico (C_{org}).....	33
6.8 Análisis de datos	34
6.8.1 Cálculo de masas y almacén del carbono orgánico	34
7. Resultados	35
7.2. Identificación de pastos marinos	42
7.3 Resultados estadísticos	44
7.4 Perfiles sedimentarios, densidad aparente	45
7.5 Perfiles de MO y carbonatos	46
7.6 Relación entre la MO y el C_{org}	47
7.7 Perfiles de C_{org} e inventarios.....	48
8. Discusión.....	50
9. Conclusión.....	57
REFERENCIAS.....	58

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de la ubicación de la Laguna Mar Muerto. En la esquina superior derecha, el cuadrado rojo señala la zona costera del Golfo de Tehuantepec que forma parte del Pacífico Sur tropical. La laguna está dividida por tres subsistemas hidrológicos: SE=sistema eurihalino, ST=sistema de transición y SM=sistema Marino.....	20
Figura 2. Mapa preliminar de la Laguna Mar Muerto para seleccionar las zonas potenciales de extracción de los núcleos de acuerdo con la VAS (vegetación acuática sumergida) representada por el color café en la interpretación del fondo. Elaborado por: Juan E. Mendoza Martínez.....	22
Figura 3. Imágenes capturadas con dron de los sitios seleccionados para la extracción de los núcleos. (A) Sitio N1 y (B) sitio N2.....	23
Figura 4. Cobertura de las praderas en Laguna Mar Muerto. (A) Sitio N1, clasificado con alta cobertura. (B) Sitio N2, clasificado con baja cobertura de pastos marinos. Se observa la fauna asociada (ej. crustáceo).....	24
Figura 5. Extracción de núcleos sedimentarios en las praderas marinas. (A) Punto de extracción del sitio 1. (B) Núcleo N1.....	25
Figura 6. Extracción de núcleos sedimentarios en las praderas marinas. (A) Punto de extracción del sitio 2. (B) Núcleo N2.....	25
Figura 7. Manipulación y transporte de los núcleos extraídos. (A) Selecciones del punto de extracción, (B) enterramiento del tubo con ayuda de una tapa de madera y un marro, (C y D) sustracción del núcleo y trasporte a la embarcación siempre de manera vertical. Se sellaron perfectamente por ambos lados y fueron transportados el mismo día de la extracción al Laboratorio de Oceanografía Geológica.....	26
Figura 8. Identificación de la especie de pasto marino. (A) Estereoscopio electrónico con cámara. (B) Angiosperma recolectada en la Laguna Mar Muerto.....	27
Figura 9. Caracterización de núcleos sedimentarios. (A) Seccionamiento de núcleos en laboratorio. (B) Vista longitudinal del núcleo y (C) parte superficial del núcleo.	28
Figura 10. Preprocesamiento de núcleos sedimentarios. (A) Liofilizadora utilizada para secar las muestras seccionadas de cada núcleo. (B) Mortero de cerámica para triturar el sedimento.....	29

Figura 11. Análisis de materia orgánica en sedimentos (A) Crisoles con muestra triturada y pesada. (B) Disposición de las muestras dentro de la mufla.....	30
Figura 12. Procesamiento de muestras por el método de fumigación. (A) Materiales utilizados, (B) preparación de la muestra y (C) microtabulador después del proceso de fumigación con HCl al 37.5 %.....	32
Figura 13. (A) Analizador elemental CHNS-ORGANIC ELEMENTAL ANALIZER Flash 2000, (B) muestreador automático (C) Software usado por el equipo (ventana de verificación de flujos).....	33
Figura 14. Estimación de cobertura en las praderas marinas de la Laguna el Mar Muerto. (A) Sitio 1 con densidad foliar de 95 ± 9 %. (B) Sitio 2 con densidad foliar de 55 ± 24 %.....	36
Figura 15. Fotografía de dron del sitio N1, Ortomosaico del sitio 1, con una extensión de pastos de 2,253 m ² (cobertura espacial de 34.4 % de área verde, conformado por 844 parches).....	38
Figura 16. Fotografía de dron del sitio N2, Ortomosaico del sitio 2, con una extensión de pastos de 2,701 m ² (cobertura espacial de 54.4 % de área verde, conformado por 15 parches).....	40
Figura 17. Mapa de cobertura total de pastos marinos en la Laguna de Mar Muerto la cobertura está representada por el color verde, los puntos rojos son los sitios N1 y N2 correspondientes a los ortomosaicos anteriores. Realizado en ARCGis. Por M.C Juan Mendoza Martínez.....	41
Figura 18. Estructuras foliar y subterránea de la especie de pasto marino. (A, B y C) Ápice de la angiosperma marina de la Laguna Mar Muerto, el círculo rojo (A) señala la punta del ápice de la hoja. (C y D) Ancho de la hoja de 1 cm revisa esto, arriba dices que 0.5 checa bien las escalas estas manejando una de mm y cm. (E y F) Rizoma rastreador herbáceo con entrenudos y raices cortas.....	43
Figura 19. Ápices de las especies de <i>Halodule sp.</i> identificadas por de Sousa et al. (2025). (A) <i>H. beaudettei</i> , (B) <i>H. beaudettei</i> , (C) <i>H. wrightii</i> y (D) <i>H. wrightii</i>	44
Figura 20. Guía de identificación de den Hartog (1964; Taxonomy of <i>Halodule</i> Endl. Potamogetonaceae) y de den Hartog & Kuo (2006; Taxonomy and Biogeography of Seagrasses). Donde (A) representa ápices de hojas de <i>Halodule beaudettei</i> y (B) de <i>Halodule wrightii</i>	44

Figura 21. Perfiles de densidad aparente para cada sitio. (izquierda) N1 y (derecha) N2.....	46
Figura 22. Perfiles de MO (%) para cada sitio. (izquierda) N1 y (derecha) N2.....	47
Figura 23. Perfiles de carbonatos (%) para cada sitio. (izquierda) N1 y (derecha) N2. Se muestra el valor extremo (~22 %) de la superficie del N2 en una extensión de la gráfica.....	48
Figura 24. Correlación lineal entre la MO obtenida por el método de PPI y el C _{org} obtenido por el análisis elemental. Los puntos representan ambos núcleos (18 datos).....	49
Figura 25. Perfiles de C _{org} (%) en las praderas marinas del género <i>Halodule</i> con densidad de cobertura foliar de 95 ± 9 % (N1) y de 55 ± 24 % (N2).....	50
Figura 26. Inventarios de C _{org} por sección para <i>Halodule beaudettei</i> con densidad de cobertura foliar de 95 ± 9 % (N1) y de 55 ± 24 % (N2).....	51

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados de campo. Muestreo realizado el 7 de Julio del 2024.....	36
Tabla 2. Atributos especiales de cada sitio. Resultados del mapeo de pastos marinos. ...	37

Anexos

Anexos 1. Infografía Laguna Mar Muerto	68
---	----