



UNIVERSIDAD DEL MAR
campus Puerto Ángel

Variación espacio temporal de la biomasa de
macroalgas en dos sitios del Sistema Lagunar
Huave, Oaxaca, México

TESIS

Que para obtener el título profesional de
Licenciada en Biología Marina

Presenta:

Areli Soto Enriquez

Director:

Dr. Julio Adolfo Acosta Calderón

Codirectora:

Dra. Alejandra Piñón Gimate

Puerto Ángel, Oaxaca 2025

Resumen

La biomasa de macroalgas es un indicador de eutrofización de las lagunas costeras y algunas especies forman florecimientos macroalgales que pueden ser aprovechados. El objetivo de este estudio fue analizar la variación espacio temporal de la composición, riqueza y abundancia de macroalgas en dos sitios del Sistema Lagunar Huave. Para lo anterior se realizaron muestreos durante julio (temporada de lluvias) y octubre del 2022 (temporada de nortes) en San Vicente y Santa María del Mar, en el sistema Lagunar Huave. En cada localidad se dispusieron dos transectos de 21 m perpendiculares a la ribera de la laguna, en cada transecto se colocó un cuadrante de 1 m² cada tres metros y se recolectó la biomasa de macroalgas dentro de cada cuadrante. La temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y profundidad fueron registrados con una sonda multiparamétrica YSI y la concentración de nitratos, nitritos, amonio y fosfatos del agua del medio se estimó mediante colorimetría. Las macroalgas recolectadas fueron determinadas a nivel de género *in situ* y el peso húmedo se obtuvo con una balanza electrónica. Se elaboró un listado taxonómico actualizado y una matriz de presencia-ausencia (taxón x temporada x sitio), a partir de la cual se determinó la riqueza específica de cada localidad por temporada climática. Se determinaron las diferencias de la biomasa y variables ambientales entre localidades y temporadas mediante una ANOVA de una vía ($\alpha = 0.05$). El grado de similitud de especies entre localidades y temporadas se estimó mediante análisis de similitud de Bray-Curtis. La relación entre las variables ambientales y la biomasa de las especies se exploró con un ACP. Las macroalgas ubicadas fueron *Gracilaria parvispora*, *G. tepocensis*, *Grateloupia catenanta*, *Ulva intestinalis*, *Cladophora brasiliana*, *Hypnea spinella* y *Dictyota dichotoma*. La mayor biomasa de macroalgas estuvo presente en Santa María del Mar en ambas temporadas, asociada a una alta concentración de nitratos (35 - 1328 mg l⁻¹) *Gracilaria parvispora* presentó la mayor biomasa con 10417 g con una correlación positiva con el pH y la salinidad y negativa con la temperatura y profundidad. Se recomienda continuar con el monitero de la biomasa de macroalgas y su relación con las variables ambientales en el Sistema Lagunar Huave para identificar cambios en la calidad del agua y especies susceptibles de aprovechamiento.

Palabras claves: abundancia, eutrofización, Pacífico tropical, *Gracilaria parvispora*, ecología, lagunas costeras.

Abstract

The biomass of macroalgae is an indicator of eutrophication of coastal lagoons and some species form macroalgal blooms that can be exploited. The objective of this study was to analyze the spatiotemporal variation of the composition, richness and abundance of macroalgae in two sites of the Huave Lagoon System. Sampling was carried out during July (rainy season) and October 2022 (northerly season) in San Vicente and Santa María del Mar, in the Huave Lagoon System. At each location, two 21 m transects were arranged perpendicular to the lagoon shore, a 1 m² quadrat was placed in each transect every three meters and macroalgae biomass was collected within each quadrat. Temperature, salinity, dissolved oxygen, pH and depth were recorded with a YSI multiparameter probe and the concentration of nitrate, nitrite, ammonium and phosphate in the water was estimated by colorimetry. The macroalgae collected were determined to genus level in situ and the wet weight was obtained with an electronic balance. An updated taxonomic list and a presence-absence matrix (taxon x season x site) were prepared, from which the specific richness of each locality by climatic season was determined. Differences in biomass and environmental variables between localities and seasons were determined using a one-way ANOVA ($\alpha = 0.05$). The degree of species similarity between localities and seasons was estimated by Bray-Curtis similarity analysis. The relationship between environmental variables and species biomass was explored with a PCA. The macroalgae located were *Gracilaria parvispora*, *G. tepocensis*, *Grateloupia catenanta*, *Ulva intestinalis*, *Cladophora brasiliana*, *Hypnea spinella* and *Dictyota dichotoma*. The highest biomass of macroalgae was present in Santa Maria del Mar in both seasons, associated with high nitrate concentration (35 - 1328 mg l⁻¹) *Gracilaria. parvispora* presented the highest biomass with 10417 g with a positive correlation with pH and salinity and negative correlation with temperature and depth. It is recommended to continue monitoring the biomass of macroalgae and their relationship with environmental variables in the Huave Lagoon System to identify changes in water quality and species susceptible to exploitation.

Key words: abundance, eutrophication, tropical Pacific, *Gracilaria parvispora*, ecology, coastal lagoons.

“Vive con orgullo y la frente en alto. No permitas que tus miedos y debilidades, te alejen de tus objetivos. Mantén tu corazón ardiendo. No importa qué pase, sigue avanzando y no te rindas a pesar de haberte caído. Recuerda que el tiempo no espera a nadie, no te hará compañía ni compartirá tus penas.”

– Kyōjurō Rengoku 🔥

Agradecimientos

A la Universidad del Mar (UMAR), Campus Puerto Ángel, por el apoyo brindado mediante el proyecto interno “Bioprospección ficoquímica de especies selectas de macroalgas de sistemas lagunares y zonas rocosas de Oaxaca” con clave interna 2IE2204. A la Dirección General de Ordenamiento Pesquero por el Permiso de Pesca de Fomento DGPO-PPF 100/22

A mi director de tesis, Dr. Julio Adolfo Acosta Calderón (UMAR) por su apoyo brindado durante este proyecto, por la pasión que me ha inculcado por las algas y la investigación. También por creer en mí para llevar a cabo este proyecto, gracias por ser un excelente director, profesor y amigo. A mi Co-directora la Dra. Alejandra Piñón Gimete (CICIMAR-IPN) por su asesoría y disponibilidad para colaborar. Al comité revisor por su tiempo, dedicación y valiosas observaciones, que enriquecieron este trabajo y contribuyeron a mi formación académica. A la Dra. Nieves Trujillo Tapia (UMAR) por su apoyo en el muestreo y por sus pláticas tan amenas que hicieron que el trabajo fuera menos pesado. Al Dr. Tonatiuh Chávez Sánchez (CICIMAR) por asesorías brindadas en los análisis estadísticos. A mis compañeros Alejandra, Pavel y Ana Karen por su apoyo brindado en los meses muestreados, por arriesgarlo todo para que este proyecto saliera adelante y hacer de los muestreos una experiencia amena y divertida. A los estudiantes de servicio social del proyecto 2IE2204 por su ayuda en trabajo de laboratorio.

A mi madre Edilberta Enríquez, mi padre Carlos Soto, mis hermanos Ingrid y Carlos Soto, y mis cuñados Leonel y Romina, por su amor, apoyo y porque sé que siempre contare con ustedes y estarán ahí para mí. También agradezco al universo por traer a mi vida a personas increíbles a quienes estimo mucho y sin dudarlo se convirtieron en parte de mi familia: Emma, Katherin, Karen, Alfredo y Valle. Tengo mucho que agradecerles en conjunto y de manera particular y también tengo mucho porqué recordarlos y a pesar de que vayamos a destinos diferentes siempre estarán presentes en mi mente y corazón. Finalmente agradecerle a mi fiel y mejor amigo, Gantu por siempre acompañarme y sin decir nada darme todo su amor y apoyo necesario para seguir adelante con este proyecto, simplemente gracias por existir.

Gracias a todos y todas porque sin ustedes esto no sería posible.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	9
1. MARCO TEÓRICO	12
1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS MACROALGAS	12
1.2 RELACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES CON EL CRECIMIENTO MACROALGAL	14
2. ANTECEDENTES.....	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	24
4. OBJETIVOS	24
5. HIPÓTESIS	25
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
6.1 ÁREA DE ESTUDIO	25
6.2 LOCALIDADES DE MUESTREO	28
6.3 TRABAJO DE CAMPO	31
6.4 TRABAJO DE LABORATORIO	31
6.4.1 <i>Determinación taxonómica</i>	31
6.5 TRABAJO DE GABINETE	32
6.5.1 <i>Composición y riqueza de especies</i>	32
6.5.2 VARIACIÓN DE LA BIOMASA.....	32
7. RESULTADOS	35
7.1 COMPOSICIÓN Y RIQUEZA DE ESPECIES.....	35
7.2 DESCRIPCIONES TAXONÓMICAS	37
7.2.1 <i>Gracilaria parvispora</i>	37
7.2.2 <i>Gracilaria tepocensis</i>	37
7.2.3 <i>Grateloupia catenata</i>	38
7.2.4 <i>Hypnea spinella</i>	39
7.2.5 <i>Ulva intestinalis</i>	39
7.2.6 <i>Cladophora brasiliana</i>	40
7.2.7 <i>Dictyota dichotoma</i>	41
7.3 VARIACIÓN DEL PESO HÚMEDO	49
7.4 ANÁLISIS DE SIMILITUD	53
7.5 VARIABLES AMBIENTALES	54
7.6 RELACIÓN DE LA BIOMASA CON LAS VARIABLES AMBIENTALES.....	62
8. DISCUSIÓN.....	67
8.1 VARIABLES AMBIENTALES	67
8.2 COMPOSICIÓN Y RIQUEZA DE ESPECIES	69
8.3 VARIACIÓN DE LA BIOMASA Y RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES	71

9. CONCLUSIÓN	76
10. RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA. 1. ÁREA DE ESTUDIO).....	27
FIGURA. 2. PLAYA SAN VICENTE..	29
FIGURA. 3. SANTA MARÍA DEL MAR	30
FIGURA. 4. <i>GRACILARIA. PARVISPORA</i>	42
FIGURA. 5. <i>G. TEPOCENSIS</i>	43
FIGURA. 6. <i>GRATELOUPIA. CATENATA</i>	44
FIGURA. 7. <i>H. SPINELLA</i>	45
FIGURA. 8. <i>U. INTESTINALIS</i>	46
FIGURA. 9. <i>C. BRASILIANA</i>	47
FIGURA. 10. <i>D. DICHOTOMA</i>	48
FIGURA. 11. VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DEL PESO HÚMEDO TOTAL DE LAS ESPECIES REGISTRADAS.....	51
FIGURA. 12. DENDROGRAMA DE SIMILITUD DE BRAY CURTIS.	53
FIGURA. 13. TEMPERATURA PROMEDIO PARA CADA LOCALIDAD Y MES DE MUESTREO.....	54
FIGURA. 14. SALINIDAD PROMEDIO PARA CADA LOCALIDAD Y MES DE MUESTREO	55
FIGURA. 15. NO_3 PROMEDIO PARA CADA LOCALIDAD Y MES DE MUESTREO.....	56
FIGURA. 16. NH_3 PROMEDIO PARA CADA LOCALIDAD Y MES DE MUESTREO.....	57
FIGURA. 17. NH_4 PROMEDIO PARA CADA LOCALIDAD Y MES DE MUESTREO.....	58
FIGURA. 18. PO_4 PROMEDIO PARA CADA LOCALIDAD Y MES DE MUESTREO.	59
FIGURA. 19. VALORES DE P_2O_5 PROMEDIO PARA CADA LOCALIDAD Y MES DE MUESTREO..	60
FIGURA. 20. pH PROMEDIO PARA CADA LOCALIDAD Y MES DE MUESTREO.	61
FIGURA. 21. PROFUNDIDAD PROMEDIO PARA CADA LOCALIDAD Y MES DE MUESTREO.	62
FIGURA. 22. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)	65
FIGURA. 23. ACP MOSTRANDO LA DISPOSICIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS LOCALIDADES Y MESES DE MUESTREO.	66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA. I. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS MACROALGAS	13
TABLA. II. LISTA DE ESPECIES PREVIAMENTE REGISTRADAS EN EL SISTEMA LAGUNAR HUAVE.....	18
TABLA. III. LISTADO TAXONÓMICO DE LAS ESPECIES ENCONTRADAS.....	35
TABLA. IV. PESO HÚMEDO TOTAL DE LAS ESPECIES OBSERVADAS POR MES Y LOCALIDAD DE MUESTREO.....	49
TABLA. V. BIOMASA EXPRESADA EN PESO HÚMEDO.....	52
TABLA. VI. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)	63
TABLA. VII. VALORES DE CORRELACIÓN DEL ACP.....	64