

UNIVERSIDAD DEL MAR
Campus Puerto Ángel



**Flujos de carbono inorgánico disuelto en Bahías de
Huatulco Oaxaca, México**

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de

Licenciado en Biología Marina

Presenta

Hugo Oswaldo García Burciaga

Directora

Dra. Cecilia Chapa Balcorta

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México a Septiembre de 2023

Resumen

En este trabajo se evaluaron los componentes del sistema de carbonatos utilizando muestras de agua de mar en la zona costera de Bahías de Huatulco (BH) durante diferentes periodos en 2017 y 2018. Se midieron parámetros como el carbono inorgánico disuelto (CID), alcalinidad total (AT), pH, presión parcial del CO₂ ($p\text{CO}_2$) y estado de saturación de aragonita (Ω_{Ar}), así como flujos de CO₂ (FCO₂) océano-atmósfera. Los resultados indicaron que la masa de Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt) enriqueció las aguas superficiales con CID ($>2150 \mu\text{mol kg}^{-1}$), AT ($>2260 \mu\text{mol kg}^{-1}$) y $p\text{CO}_2$ ($>1000 \mu\text{atm}$), junto con bajos niveles de pH (<7.8) y Ω_{Ar} , (<1.5) durante los periodos post-tehuano y tehuano de 2017. Este ascenso de masa de agua estuvo relacionado con eventos oceanográficos como la surgencia costera y los vientos tehanos. En julio de 2018 (lluvias), se registró la presencia de la masa de Agua Superficial Tropical (ATS) y agua dulce del río Copalita, lo que afectó el sistema de carbonatos con un aumento leve en el CID ($\sim 2000 \mu\text{mol kg}^{-1}$) y la $p\text{CO}_2$ ($\sim 550 \mu\text{atm}$), y una disminución en la AT ($2200 \mu\text{mol kg}^{-1}$), pH (<7.9) y de Ω_{Ar} (<3). Los FCO₂ fueron en promedio positivos para los tres periodos de muestreo (post-tehanos = $0.74 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, tehanos = $11.8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y lluvias = $2.32 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). En cuanto a los sedimentos, se observó un bajo porcentaje de material carbonatado cerca del río Copalita debido a una alta carga sedimentaria en temporada de lluvias, mientras que en las estaciones más alejadas el porcentaje fue mayor, indicando que los ecosistemas arrecifales pueden estar contribuyendo con carbonatos en esta zona. Este estudio destacó la llegada de agua subsuperficial a la zona costera de BH, acidificando el agua superficial y poniendo en riesgo a las comunidades arrecifales durante la temporada de post-tehanos y tehanos. Estudios previos han revelado la vulnerabilidad de estas estructuras biogénicas a la acidificación del océano. La investigación proporciona una comprensión más completa del sistema de carbonatos y los flujos de CO₂ en la zona costera de BH, lo que tiene implicaciones significativas para la salud de los ecosistemas marinos en la región.

Palabras clave: Acidificación del océano, Golfo de Tehuantepec, masas de agua, vientos tehanos.

A mi familia (Rosy, Hugo y Brenda) porque es lo mas sagrado que tengo y sin su apoyo, este proyecto no podría haberse realizado.

Agradecimientos

A mi familia Rosa, Hugo y Brenda, por siempre estar ahí cuando los necesito, son mi pilar y mis ganas de seguir adelante. Gracias por su confianza y su inmenso amor.

A la Dra. Cecilia Chapa Balcorta por aceptar ser directora de este trabajo. Por brindarme su tiempo, su conocimiento, su paciencia y sus sabios consejos a pesar de su gran carga de trabajo. Por siempre mantenerme motivado y por su amistad.

Al Dr. José Martín Hernández Ayón por formar parte del comité revisor y sus valiosos comentarios para mejorar este trabajo.

Al M.S.c. Ragi Alfonso Guerra por su contribución al comité revisor y por sus valiosas recomendaciones al manuscrito de la tesis.

Al Dr. Antonio López Serrano por su participación en el comité revisor y por compartir su conocimiento en la conclusión de este trabajo.

A la Dra. María Luisa Leal Acosta por su relevante papel en el comité revisor y por proporcionar observaciones sumamente valiosas que contribuyeron a la finalización de este proyecto.

A la Secretaría de Marina (SEMAR) por el apoyo en las campañas de 2017 a bordo de los cruceros oceanográficos ARM “Río Tecolutla” (BI-08) y ARM “ALTAIR” (BI-03).

Al proyecto “Programa de monitoreo permanente de la acidificación del océano y su efecto en corales formadores de arrecifes en México” (278637), financiado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT”, por el apoyo económico en la obtención de las muestras y su análisis.

A la Universidad del Mar (UMAR) por brindarme el espacio para trabajar y el apoyo en la obtención de las muestras.

A Pablo Gregorio Ruiz Pérez por el apoyo en el análisis de las muestras de agua de mar y al Dr. José Martín Hernández Ayón encargado del Laboratorio de Oceanografía Química del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) por brindar el espacio para los análisis.

A Omar López Robles por el apoyo en la colecta de sedimentos durante el XXIII Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico del 18 de junio al 03 de agosto de 2018.

A Lizzeth por su amistad y ayuda en el tema de programación.

A los Laboratorios de Investigación Química y Biológica y de Oceanografía Geológica de la UMAR por permitirme analizar las muestras de sedimento.

Al Laboratorio de Biogeoquímica Marina de la UMAR por darme el espacio para trabajar y escribir la tesis.

A Yurani por apoyarme durante este proyecto.

A mis amigos que conocí durante la carrera y a todas las personas que me recibieron como uno de su familia en el hermoso estado de Oaxaca.

Índice

1. Introducción	1
1.1 <i>Reservorios de Carbono</i>	1
1.2 <i>Ciclo del CO₂ en el océano</i>	2
1.3 <i>Arrecifes de coral como almacenes de carbono</i>	6
1.4 <i>Mecanismos que intervienen en el ciclo del CO₂ en el océano</i>	7
1.5 <i>El Golfo de Tehuantepec</i>	10
2. Antecedentes	13
2.1 <i>Reservorios de Carbono</i>	13
2.2 <i>Flujos de CO₂ océano-atmósfera</i>	16
3. Justificación	19
4. Hipótesis	20
5. Objetivos	21
5.1 <i>Objetivo General</i>	21
5.2 <i>Objetivos particulares</i>	21
6. Área de estudio	22
6.1 <i>Ubicación</i>	22
6.2 <i>Clima</i>	22
6.3 <i>Oceanografía</i>	23
6.4 <i>Hidrología</i>	27
7. Materiales y métodos	27
7.1 <i>Obtención de muestras</i>	28
7.2 <i>Análisis de laboratorio</i>	29
7.2.1 <i>Carbono Inorgánico Disuelto</i>	29
7.2.2 <i>Alcalinidad Total</i>	30
7.2.3 <i>pH</i>	30
7.2.4 <i>Sedimentos</i>	31
7.3 <i>Análisis de Gabinete</i>	32
7.3.1 <i>Campo de viento</i>	32
7.3.2 <i>Remolinos de mesoescala y propiedades termohalinas</i>	32
7.3.3 <i>Salinidad absoluta y Temperatura conservativa basados en TEOS 10</i>	33
7.3.4 <i>Variables del sistema del CO₂</i>	33
7.3.5 <i>Flujos de CO₂</i>	33

8	Resultados	34
8.1	<i>Condiciones climáticas y oceanográficas en el Golfo de Tehuantepec</i>	34
8.1.1	<i>Campo de viento</i>	34
8.1.2	<i>Remolinos de mesoescala</i>	37
8.1.3	<i>Distribución superficial de las propiedades termohalinas</i>	41
8.1.4	<i>Masas de agua</i>	45
8.2	<i>Tangolunda: Post-Tehuano y Tehuano 2017</i>	46
8.2.1	<i>Estructura termohalina de la columna de agua</i>	46
8.2.2	<i>Variables del sistema de carbonatos</i>	48
8.2.3	<i>Flujos de CO₂ océano-atmósfera</i>	51
8.3	<i>Bahías de Huatulco: Lluvias 2018</i>	52
8.3.1	<i>Distribución superficial de la estructura termohalina y el sistema de carbonatos</i>	53
8.3.2	<i>Secciones verticales de la estructura termohalina y el sistema de carbonatos</i>	56
8.3.3	<i>Flujos de CO₂ océano-atmósfera</i>	59
8.3.4	<i>Sedimentos</i>	60
9	Discusiones	62
9.1	<i>Post-Tehuano y Tehuanos 2017</i>	63
9.2	<i>Lluvias 2018</i>	68
9.2.1	<i>Sedimentos</i>	72
10	Conclusiones	74
	Referencias	75
	Apéndice 1	87