
**NUEVO CONOCIMIENTO SOBRE EL CORREDOR ARRECIFAL
DEL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO:
integrando los ambientes costeros**

Díaz-Medina, H.C., J.A. Aké-Castillo & L.A. Ortega-Clemente. 2025. Aportes Fluviales y su Potencial Efecto sobre los Arrecifes Monte Negro y Rizo Sureste en la Región Central del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, p. 173-186. In: A. Granados-Barba, L.D. Ortiz-Lozano & A.L. Gutiérrez-Velázquez (eds.). Nuevo Conocimiento sobre el Corredor Arrecifal del suroeste del Golfo de México: Integrando los Ambientes Costeros. Universidad Autónoma de Campeche. 540 p. ISBN 978-607-8907-34-2. doi 10.26359/EPOMEX02202506.

Aportes Fluviales y su Potencial Efecto sobre los Arrecifes Monte Negro y Rizo Sureste en la Región Central del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

Hilary Cristina Díaz-Medina^{1,}, José Antolín Aké-Castillo²
& Luis Alfredo Ortega-Clemente³*

¹Programa de Maestría en Ecología y Pesquerías.
Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías
Universidad Veracruzana.
Boca del Río, Veracruz

²Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías
Universidad Veracruzana.
Boca del Río, Veracruz

³Instituto Tecnológico de Boca del Río
Tecnológico Nacional de México,
Boca del Río, Veracruz

*Autor de correspondencia: *hilaryhiran13@gmail.com*

Resumen

En la región central del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM), desembocan tres ríos y existen arrecifes que se encuentran cercanos a ellos. En el año 2023 se estudiaron dos arrecifes sumergidos, Monte Negro cercano al río La Antigua y Rizo Sureste con influencia del río Papaloapan, con el objetivo de comparar ambos arrecifes en términos de la cobertura bentónica, tasas de sedimentación y sólidos suspendidos totales en tres temporadas climáticas. Se colocaron cuatro trampas para sedimentos en ambos arrecifes a 17 m y 23 m de profundidad, recuperando el material al final de las temporadas y se colectaron cuatro muestras de agua para el análisis de sólidos suspendidos totales (SST). En el laboratorio se pesaron los sedimentos obtenidos de las trampas, y se hizo un análisis granulométrico; se estimaron los SST a través de filtración en membranas de 0.7 micras de poro y por diferencia de pesos. En los mismos sitios de muestreo, se extendieron cuatro transectos y se realizaron fototransectos. Los porcentajes de cobertura bentónica se estimaron mediante el software CPCE. Los resultados mostraron una mayor tasa de sedimentación en temporada de nortes en ambos arrecifes. Asimismo, la cantidad de SST fue mayor en esta temporada; sin embargo, en lluvias se presentó la mayor concentración en el arrecife Rizo Sureste (0.021 mg/L). Se encontró una cobertura bentónica mayor en Rizo Sureste, las especies coralinas con mayor cobertura fueron *Montastrea cavernosa* y *Siderastrea siderea* y para Monte Negro *Agaricea lamarcki* y *S. siderea*. El haber obtenido la mayor tasa de sedimentación en la temporada de nortes podría relacionarse con un fenómeno de resuspensión de las partículas, y el alto porcentaje de cobertura de algas y baja cobertura de escleractineos podrían ser también un resultado del aporte de sedimentos.

Palabras clave: arrecifes sumergidos, sedimentación, turbidez.

Abstract

In the central region of the CASGM, three rivers flow into and some reefs are close to them. In 2023, two submerged reefs were studied, Monte Negro near La Antigua River and Rizo Sureste with the influence of the Papaloapan River, to compare both reefs in terms of benthic cover, sedimentation rates, and total suspended solids in three climatic seasons. Four sediment traps were placed on both reefs at 17 m and 23 m depth, recovering the material at the end of the seasons and collecting four water samples to analyze total suspended solids (TSS). In the laboratory, the sediments obtained from the traps were weighed, and a granulometric analysis was carried out. The TSS was estimated through filtration in 0.7-micron pore membranes and by weight difference. At the same sampling sites, four transects were extended and phototransects were made. The benthic cover percentages were estimated using the CPCE software. The results showed a higher sedimentation rate during the Nortes season in both reefs. Also, the amount of total suspended solids was higher in this season, however, during the rainy season the highest concentration was found in the Rizo Sureste reef (0.021 mg/L). A higher benthic cover was found in Rizo Sureste, the coral species with the highest cover were *Montastrea cavernosa* and *Siderastrea siderea* and for Monte Negro *Agaricea lamarcki* and *S. siderea*. Having obtained the highest sedimentation rate in the Nortes season could be related to a particle resuspension phenomenon, and the high percentage of algae cover and low scleractinian cover could also be a result of the sediment contribution.

Keywords: Sedimentation, submerged reefs, turbidity.

Introducción

Una cuenca es un sistema constituido por un conjunto de componentes conectados que interactúan formando una unidad. Es el terreno donde el agua, sedimentos y materiales disueltos drenan a un punto común (arroyos, humedales, lagos o ríos). Las cuencas exorreicas tienen un sistema de drenaje que transporta agua de lluvia a sus salidas fluyendo desde la tierra hasta las costas, y en casos particulares, llegando a los arrecifes de coral. Este tipo de sistemas constituyen un área crítica para la intervención en el manejo de la salud de estos ecosistemas, ya que la condición de las cuencas (actividades humanas, vegetación nativa) regula la escorrentía terrestre (Wakwella *et al.*, 2022).

Las cuencas hidrológicas y los arrecifes de coral no suelen estudiarse en conjunto como sistemas conectados (Rogers & Ramos-Scharrón, 2022); sin embargo, desde hace algunos años el tema sobre los arrecifes coralinos que sobreviven en ambientes turbios o con alta sedimentación ha sido importante para generar estudios alrededor del mundo. Casos como el de los arrecifes de la Gran Barrera de Coral en Australia (Brown *et al.*, 2013) o debajo de la pluma del río Amazonas (Moura *et al.*, 2016), han sido claves para atraer la atención hacia este tema. Los sedimentos y las partículas suspendidas han sido catalogados como factores estresantes para los corales, ya que en exceso pueden causar efectos negativos o inhibidores sobre los arrecifes; suelen llegar a las costas por actividades agrícolas, mineras o de dragado, así como también en las temporadas de lluvias donde regularmente los aportes fluviales

se incrementan (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008; Gaspari, 2012).

Se sabe que en las zonas donde las tasas de sedimentación son altas, en comparación con aquellas con menor sedimentación, hay: 1) una menor diversidad de especies, donde solo permanecen especies tolerantes a los sedimentos y a niveles de luz reducidos; 2) menor cobertura de coral vivo; 3) menores tasas de crecimiento de especies de coral; y 4) zonificación batimétrica de especies coralinas con base en niveles de intensidad lumínica. Asimismo, es uno de los factores que tiene una fuerte influencia en el crecimiento excesivo de las algas, las cuales pueden causar efectos perjudiciales sobre los corales, como: un menor crecimiento de coral, menor fecundidad y mayor mortalidad. Aunado a esto, la turbidez puede tener también efectos diversos sobre las especies coralinas e incluyen la limitación de la disponibilidad de la luz para la fotosíntesis, asfixia y/o reducción del asentamiento larvario (Rogers, 1994; Risk & Edinger, 2011; Morgan *et al.*, 2020; Rogers & Ramos-Scharrón, 2022).

Por otro lado, se han reportado sitios en los cuales los arrecifes turbios sustentan una mayor abundancia de colonias más grandes que en arrecifes menos turbios. Una baja riqueza y un alto nivel de endemismos es una característica típica de arrecifes naturalmente expuestos a una alta sedimentación y turbidez. Por lo regular las especies que se encuentran en este tipo de zonas, desarrollan adaptaciones que les permiten hacer frente a las cargas de sedimentos (Rogers, 1994; Browne *et al.*, 2013; Loiola *et al.* 2019).

Una de las principales fuentes de aportes de sedimentos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) son las cuencas hidrológicas. Once de las 13 cuencas que abarcan el estado de Veracruz, desembocan directamente en el golfo de México (Ortiz-Lozano *et al.*, 2010) y se encuentran distribuidas a lo largo de la zona del CASGM. Se encuentran presentes tres de las cuencas más importantes del país por su caudal: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan y Coatzacoalcos (Pereyra-Díaz *et al.*, 2010). En el área que comprende al Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), desembocan tres ríos, La Antigua al norte con un caudal anual de $2.88 \times 10^6 \text{ m}^3$, Jamapa al centro con un caudal anual de $1.89 \times 10^6 \text{ m}^3$ y Papaloapan al sur con un caudal anual de $36.19 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008). Una característica importante de este sistema

arrecifal es su buen desarrollo a pesar de estar sometidos a estrés, ya sea natural o inducido (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008).

Exploraciones realizadas a lo largo del CASGM han dado como resultado el descubrimiento de arrecifes sumergidos. En el SAV es donde se ha encontrado la mayor cantidad de arrecifes de este tipo, y muchos de éstos se encuentran cercanos o frente a desembocaduras de los ríos como es el caso de los arrecifes Monte Negro, Pedregales Norte, Centro y Sur, Camaronera y Rizo Sureste (Ortiz-Lozano *et al.*, 2018, 2019)

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de los sedimentos y sus efectos sobre la cobertura bentónica, en dos arrecifes sumergidos del SAV localizados en diferentes distancias de las desembocaduras de los principales ríos de la zona central de Veracruz.

Métodos

Área de estudio

El arrecife sumergido Monte Negro se localiza en las coordenadas $19^{\circ}18'9.201''$, $96^{\circ}14'5.7834''$ a 2.775 km de la línea de costa al norte del SAV, con un área estimada de 20.734 ha con profundidades entre 17 m y 23 m (Ortiz-Lozano *et al.*, 2018) y se encuentra a 5 km de la desembocadura del río La Antigua.

El arrecife sumergido Rizo Sureste, se localiza al sureste del arrecife emergido Rizo, en las coordenadas $19^{\circ}3'12.3978''$, $95^{\circ}53'42.4854''$ al sur del SAV y presenta una superficie de 40.444 ha, su profundidad mínima es de 18 m y alcanza los 29 m, este arrecife se encuentra a 22 km y 20 km de

las desembocaduras de los ríos Jamapa y Papaloapan, respectivamente (figura 1) (Ortiz-Lozano *et al.*, 2018).

Diseño de muestreo

Se realizó una visita a los sitios de estudio para la instalación de trampas para sedimentos los días 9 de enero del 2023, en Monte Negro, y 12 de enero del 2023, en Rizo Sureste. Posteriormente, se realizaron las colectas bajo el siguiente diseño, que se aplicó en ambos arrecifes bajo las mismas profundidades (17 y 23 m):

Para la estimación de tasa de sedimentación se colocaron cuatro trampas colectoras

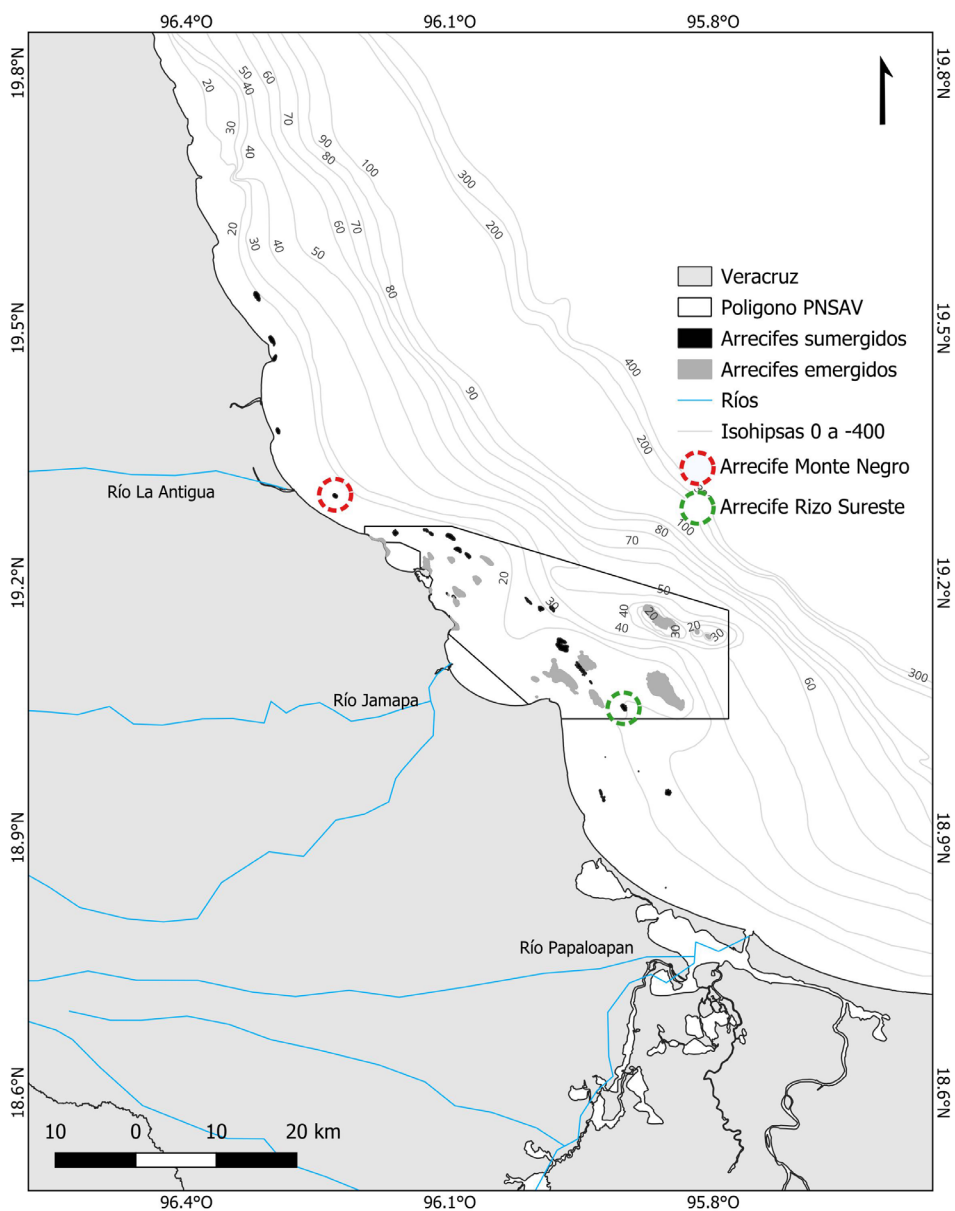


Figura 1. Ubicación de los arrecifes y ríos estudiados en esta investigación.

de sedimento en cada arrecife, instaladas a las mismas profundidades, dos profundas (23 m) y dos someras (17 m). El sedimento fue recuperado al final de las temporadas de nortes (13 de abril, Monte Negro y 18 de

abril, Rizo Sureste), secas (16 de junio, Rizo Sureste y 19 de junio, Monte Negro) y lluvias (28 de septiembre, Monte Negro y 6 de octubre, Rizo Sureste). Para obtener las concentraciones de SST se recolectaron muestras

de agua en los mismos sitios, profundidades, temporadas y días.

Para estimar los componentes de la cobertura bentónica se establecieron cuatro transectos de 30 m en cada arrecife, en los sitios mencionados, los cuales se estudiaron los días 2 y 6 de junio del 2023.

Trabajo de campo

Las trampas fueron construidas con un bloque de concreto de 40 x 40 cm (peso muerto), una varilla de metal de 1.30 m y dos tubos de pvc de 10 cm de diámetro x 50 cm de largo, sujetos a la varilla con cinchos de plástico. Se colocaron en los sitios seleccionados, bajándolas desde la embarcación por un cabo y mediante buceo autónomo se aseguraron los tubos colectores. Se recuperó el sedimento al final de cada temporada climática mediante el siguiente procedimiento: mediante buceo autónomo se recuperaron los tubos colectores y se llevaron a la superficie, el material fue colocado en bolsas ziploc etiquetadas debidamente, los tubos vacíos fueron instalados nuevamente.

Los SST se obtuvieron colectando cuatro muestras de agua (1 L) por arrecife por temporada, con ayuda de una botella Niskin, bajada desde la embarcación a las profundidades ya mencionadas (1 m aproximadamente arriba del fondo) y se transportaron en botellas de plástico, etiquetadas debidamente, guardándolas en oscuridad para evitar herbivoría hasta el momento de realizar el análisis en el laboratorio.

Para la cobertura coralina se recorrieron los transectos establecidos mediante buceo autónomo y se tomaron fotografías a cada metro del transecto con una cámara Olympus Tough TG-6, manteniéndose por arriba del sustrato aproximadamente 1 m de distancia.

Trabajo de laboratorio

El material recuperado de las trampas fue secado a 70 °C por 48 h, en un horno (Arsa) y fue pesado en una balanza analítica (Ergo). Los datos obtenidos de las trampas fueron convertidos a flujos de material ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{día}$) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de sedimentación} = \frac{\text{Peso en seco del sedimento}}{\text{No. de días en el sitio} \times \pi r^2}$$

Donde πr^2 representa el área del tubo.

Se realizó un análisis granulométrico, mediante el método de prueba para el análisis de agregados finos y gruesos (Ayala del Toro *et al.*, 2019), secando las muestras de sedimento a una temperatura de 70 °C por 48 h. Posteriormente se tamizaron y se realizaron los cálculos necesarios para obtener el porcentaje de masa retenida en cada tamiz. El tamaño de grano del sedimento en ambos arrecifes se clasificó en clases texturales de acuerdo con Udden (1914) y Wentworth (1922) las cuales abarcan: gravas muy finas ($>2000 \mu\text{m}$), arenas muy gruesas ($2000-1000 \mu\text{m}$), arenas gruesas ($1000-500 \mu\text{m}$), arenas medias ($1000-250 \mu\text{m}$), arenas finas ($250-125 \mu\text{m}$), arenas muy finas ($125-63 \mu\text{m}$) y limos y arcillas ($< 63 \mu\text{m}$). Los resultados de cada trampa fueron promediados por temporada para cada arrecife.

Para la estimación de SST, se realizó el filtrado de las muestras teniendo como referencia el método de APHA-AWWA-WPCF (1992). Los filtros de fibra de vidrio de $0.7 \mu\text{m}$ de apertura de poro que se utilizaron para el procedimiento, fueron pesados sin residuos para obtener su peso inicial. Después de cada filtrado, se secaron los filtros a 70 °C por 48 h. Posteriormente, se obtuvo el resultado de los SST mediante la siguiente fórmula:

$$\text{mg de sólidos totales en suspensión/l} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volumen de la muestra, ml}} \times 1000$$

Donde:

A= peso del filtro + residuo seco (mg)
(peso final)

B= Peso del filtro (mg) (peso inicial)

Los resultados obtenidos por muestras fueron promediados por temporada para cada arrecife.

Las fotografías sobre los transectos para el estudio de la cobertura coralina fueron procesadas en el software cpce 4.1, donde se distribuyeron 40 puntos aleatorios para la identificación de especies, y estimación de cobertura de coral muerto (fósil), esponjas, macroalgas y tapete algal. Una vez terminado el procesamiento de fotografías se obtuvo una base de datos con las especies y cobertura de éstas.

Análisis de datos

Se realizaron las pruebas no paramétricas de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis para evaluar la diferencia significativa entre arrecifes y entre temporadas, ya que se violaron los supuestos de las técnicas paramétricas; dichos análisis se realizaron en el software Statistica ver. 10.

Para la tasa de sedimentación se realizaron las pruebas de Mann-Whitney entre arrecifes y entre arrecifes por temporada, y la prueba de Kruskal-Wallis entre temporadas y entre temporadas para cada arrecife.

Se realizaron pruebas de Mann-Whitney para SST, entre arrecifes por temporada y entre arrecifes y la prueba de Kruskal-Wallis entre temporadas y entre temporadas para cada arrecife.

Resultados

La tabla 1 muestra la tasa de sedimentación determinada para los dos arrecifes en las diferentes temporadas climáticas. Para ambos arrecifes las mayores tasas de sedimentación se registraron en la temporada de nortes y las menores en lluvias, aunque de los dos arrecifes el que presentó valores mayores en ambas temporadas fue el arrecife Monte Negro. Las tasas sedimentación que se presentan en el arrecife Monte Negro son estadísticamente significativas en dos temporadas climáticas (Secas $Z=2.16$, Lluvias $Z=2.16$, $P<0.05$). Hay diferencias significativas para Monte Negro entre las temporadas de nortes y lluvias (KW: $H=8.9$, $P=0.011$, comparación

múltiple $P=0.009$). Para Rizo Sureste, ocurre el mismo comportamiento (KW: $H=9.07$, $P=0.010$, comparación múltiple $P=0.009$). En la temporada de nortes no hay diferencia significativa entre arrecifes ($Z=1.74$, $P>0.05$) y en la temporada de secas.

La determinación de la granulometría de los dos arrecifes por temporada se muestra en la figura 2. Para el arrecife Monte Negro se registró una predominancia de las arenas muy finas, arenas finas y limos, con una variación temporal muy marcada. En la temporada de secas los porcentajes se invierten, predominando los limos y arcillas por encima de las arenas. Para el arrecife Rizo Sureste

Nuevo Conocimiento sobre el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México:
integrando los ambientes costeros

Tabla 1. Tasa de sedimentación para los arrecifes Monte Negro y Rizo Sureste.

Arrecife	Profundidad	Nortes	Secas	Lluvias
Monte Negro	17 m	0.099	0.0112	0.0035
	17 m	0.158	0.0122	0.0028
	23 m	0.129	0.0111	0.0026
	23 m	ND	0.0192	0.0024
Promedio		0.129 mg/cm ² /día	0.013 mg/cm ² /día	0.0028 mg/cm ² /día
Rizo Sureste	17 m	0.058	0.0055	0.0020
	17 m	ND	0.0048	0.0023
	23 m	0.058	0.0051	0.0020
	23 m	0.045	0.0041	0.0020
Promedio		0.054 mg/cm ² /día	0.0049 mg/cm ² /día	0.0021 mg/cm ² /día

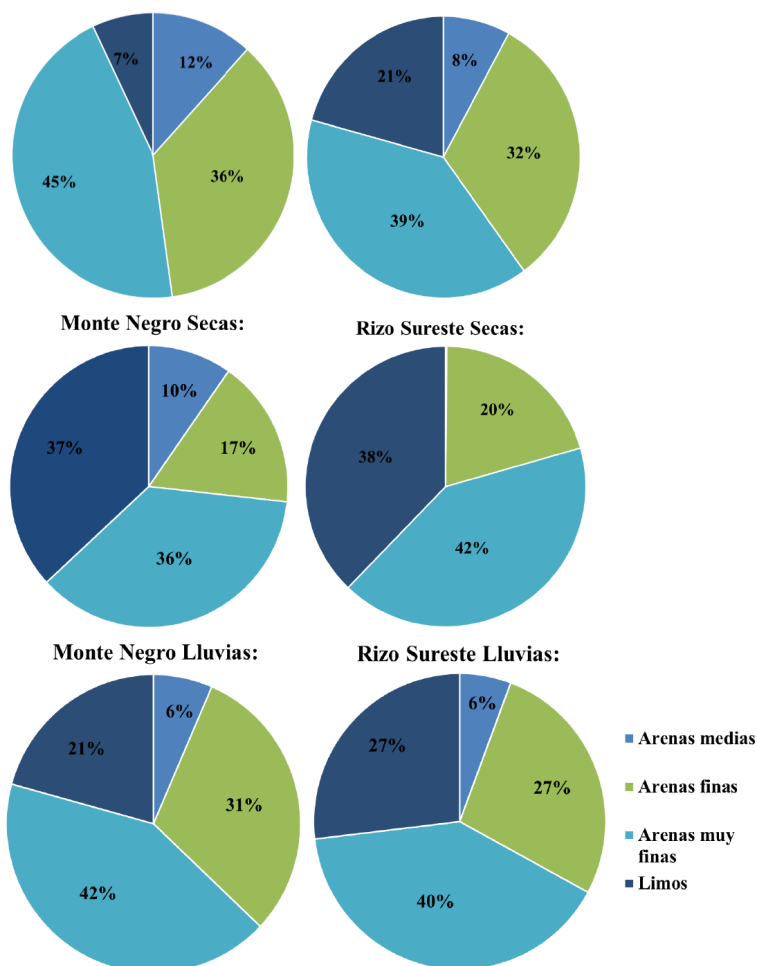


Figura 2. Granulometría por arrecife y temporada climática.

fueron predominantes las arenas muy finas y limos y arcillas sin una variación temporal notoria.

Sólidos suspendidos totales

En la figura 3 se muestran los valores de SST en las temporadas en ambos arrecifes. La mayor concentración corresponde al arrecife Monte Negro en la temporada de nortes, y la mínima también al mismo arrecife en la temporada de secas. Únicamente en la temporada de lluvias el arrecife Rizo Sureste presentó mayor concentración que Monte Negro; sin embargo, las diferencias entre los valores de arrecifes en cada temporada no son significativas (Nortes $Z=1.58$, Secas $Z=-0.14$, Lluvias $Z=-0.43$, $P>0.05$). Asimismo, la prueba de Kruskal-Wallis mostró que, tanto entre temporadas ($H=3.63$ $P=0.16$) como por arrecifes ($H=5.13$, $P=0.07$; $H=1.84$, $P=0.39$), no existen diferencias significativas.

Cobertura bentónica

Para el arrecife Monte Negro los grupos biológicos que obtuvieron mayor dominancia fueron las algas (72.38 % en promedio) y las esponjas (15.82 % en promedio), mientras que de escleractineos se obtuvieron pocos porcentajes; sin embargo, se observó que *Siderastrea siderea* fue la especie con mayor porcentaje de cobertura (1.59 %), seguida por *Agaricia lamarcki* (0.32 %) (tabla 2).

En el arrecife Rizo Sureste el grupo biológico dominante fueron las esponjas (24.83 %), seguido por las algas (20.65 %), se observan también una mayor cantidad de especies de escleractineos (6 especies) en comparación con el arrecife Monte Negro (4 especies), de las cuales *S. siderea* presentó la mayor cobertura (1.28 %), seguida por *Montastrea cavernosa* (0.24 %) y *A. lamarcki* (0.28 %).

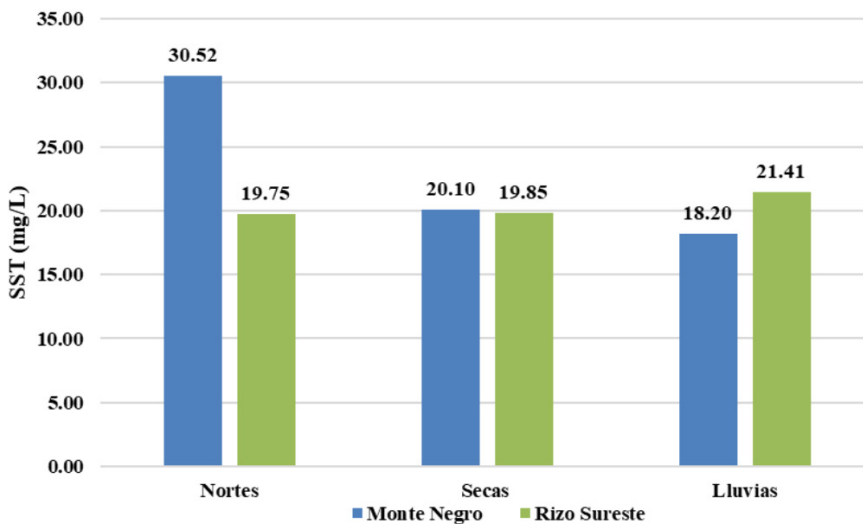


Figura 3. Promedio de los SST por temporada y entre arrecifes.

Tabla 2. Cobertura bentónica de los arrecifes en los diferentes niveles de profundidad estudiados.
*Requiere confirmación.

Especies	Pérez-España & Vargas-Hernández		Monte Negro		Rizo Sureste	
	15-18 m	21-24 m	23 m	17 m	23 m	17 m
<i>Acropora palmata</i>	-	2.60 %	-	-	-	-
<i>Agaricia agaricites</i>	-	-	-	-	-	0.28 %
<i>Agaricia lamarcki</i>	1.30 %	5.10 %	0.07 %	0.58 %	-	0.78 %
<i>Colpohyllia natans</i> *	-	-	0.10%	0.15 %	-	-
<i>Madracis decactis</i>	-	2.60 %	-	-	-	-
<i>Montastraea cavernosa</i>	5.10 %	2.60 %	0.20%	-	0.24%	-
<i>Montastraea faveolata</i>	3.80 %	2.60 %	-	-	-	-
<i>Oculina varicosa</i>	-	2.60 %	-	-	-	-
<i>Orbicella annularis</i>	1.30 %	2.60 %	-	-	-	0.12 %
<i>Orbicella franksi</i>	-	-	-	-	0.14%	-
<i>Porites astreoides</i>	1.30 %	2.60 %	-	-	-	0.50 %
<i>Siderastrea radians</i>	2.60 %	2.60 %	-	-	-	-
<i>Siderastrea siderea</i>	3.80 %	2.60 %	0.20 %	2.98 %	0.23 %	2.34 %
Esponjas	2.56 %	3.85 %	9.18 %	13.29 %	16.01 %	33.65 %
Macroalgas	2.60 %	2.60 %	78.38 %	66.39 %	15.36 %	25.94 %
Tapete algal	12.80 %	10.30 %	-	-	-	-
Coral muerto (estructura fósil)	-	-	12.08 %	29.71 %	61.59 %	49.27 %

Discusión

Los resultados encontrados en el presente estudio mostraron valores mayores de tasa de sedimentación en la temporada de nortes, y las menores tasas fueron encontradas en lluvias. Esto difiere con los resultados de Pérez-España & Vargas-Hernández (2008) quienes reportan lo contrario para la temporada de lluvias, por lo que el haber obtenido una menor tasa en lluvias y una tasa mayor en nortes, podría estar ligada a la resuspensión de las partículas y a las corrientes forzadas por los vientos. La sedimentación fue mayor en el arrecife Monte Negro; sin embargo, ésta es mayor en temporada de nortes, no

de lluvias como se hipotetizaba debido a su cercanía al río La Antigua.

Arrecife Monte Negro se encuentra en una zona expuesta al norte del SAV por lo que sería más sensible a los fenómenos atmosféricos (vientos) que ocurren en la zona los cuales generan la resuspensión de los sedimentos depositados en el arrecife. Por el contrario, Rizo Sureste se encuentra al sur, protegido por varios arrecifes emergidos a su alrededor, pese a lo anterior, se puede apreciar la influencia del río Papaloapan en temporada de lluvias a través de los SST del arrecife, aunque sería necesario obtener un número mayor de

muestras para poder detectar el comportamiento de los sólidos con precisión entre las temporadas. El tamaño de partículas en las diferentes temporadas sería un reflejo de la energía que generan las corrientes en ambos arrecifes, el tamaño nos habla de la energía en la zona, conforme mayor sea la energía, las partículas transportadas y/o resuspendidas se moverán con mayor facilidad (Salas de León et al., 2008).

Las mayores concentraciones de SST se encontraron en temporada de nortes en ambos arrecifes, ésta fue mayor en Monte Negro. Para la temporada de lluvias se encontró una mayor concentración en Rizo Sureste. Por el contrario, la tasa de sedimentación fue menor en esta temporada y los tamaños de partículas predominantes fueron las arenas muy finas y los limos, mientras que en Monte Negro predominaron las arenas. Estos resultados concuerdan con los reportados por Horta-Puga et al. (2015), donde los promedios varían entre 22-32 mg/L en los arrecifes del sur. Haber obtenido concentraciones altas en temporada de lluvias en Rizo Sureste podría ser un reflejo de la influencia del río Papaloapan sobre el arrecife. En cuanto a la granulometría observada en la temporada de lluvias en Rizo Sureste, los sedimentos más finos ($<0,0625$ mm = 62.5 μ m), son los que permanecen en suspensión por más tiempo y se resuspenden fácilmente (Roger & Ramos-Scharrón, 2023), está podría ser la causa de haber encontrado estos tamaños de grano en la temporada de lluvias.

De las especies que presentaron mayor cobertura dos de ellas (*Montastraea cavernosa* y *Siderastrea siderea*) son consideradas como especies resistentes a sedimentos, así como otras especies que se encontraron en los arre-

cifes, como *Porites astreoides*, *Agaricia agaricites* u *Orbicella annularis* (Lasker, 1980; Risk et al., 1980; Rogers & Ramos, 2022). Aunque existe evidencia de que algunas especies tienen diferente tolerancia al aporte de sedimentos, no existe algún gradiente definido para las respuestas de los corales a este fenómeno. Un efecto que se sabe es una consecuencia de la cantidad de sedimentos en los arrecifes es una alta cobertura de algas y una baja cobertura de coral, del mismo modo, los arrecifes que soportan aportes de sedimentos son susceptibles a la competencia entre los organismos bentónicos (Putra et al., 2023; Quezada-Pérez et al., 2023), lo que podría explicar el por qué la baja cobertura coralina en los transectos.

Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron porcentajes de cobertura de coral bajos y poca cantidad de especies de escleractineos, alta cobertura de algas, esponjas y coral muerto (fósil), por lo que la competencia por el espacio sería un factor determinante en el éxito de la alta cobertura de algas. Haciendo una comparación entre arrecifes emergidos (Pérez-España & Vargas-Hernández, 2008), se observa una diferencia entre el número de especies con respecto al presente estudio. Los autores citados encontraron más especies entre los 21 a 24 m, pero su cobertura es menor en la zona somera (15 m a 18 m). Para los arrecifes Monte Negro y Rizo Sureste no se observaron variaciones en cuanto a la cantidad de especies entre los 23 m y 17 m; sin embargo, las coberturas sí tienen variación en cuanto a la profundidad, ya que en la zona somera (17 m) la cobertura es mayor, por lo que estas especies estarían adaptadas a las condiciones de sedimentación que se generan.

Conclusiones

El arrecife Monte Negro presentó mayores tasas de sedimentación que el arrecife Rizo Sureste. Ambos arrecifes presentaron una diferencia significativa entre la temporada de nortes y lluvias, siendo la temporada seca una temporada de transición.

La tasa de sedimentación está más influenciada por la temporada de nortes que por la cercanía a los ríos, por lo que la distancia de estos arrecifes a los ríos no tiene un efecto diferencial en el aporte de sedimentos.

Existen diferencias en las tasas de sedimentación entre ambos arrecifes; sin embargo, no hay efectos diferenciables en la cantidad de sólidos suspendidos totales, considerando la composición de los sedimentos.

Las algas y las esponjas representan los grupos con mayor cobertura en los corales con porcentajes menores a 5 en ambos arrecifes.

Agradecimientos

Agradecemos al proyecto CONAHCYT Ciencia de Frontera 39553, a cargo del Dr. Leonardo D. Ortiz Lozano y a Dra. Ana Lilia Gutiérrez Velázquez, por su apoyo en el financiamiento. Al CONAHCYT por la beca de posgrado otorgada a HCDM (CVU: 1227240).

A la Dra. Ana Lilia Gutiérrez Velázquez, Dra. Gabriela Athié de Velasco y al Dr. Leonardo D. Ortiz Lozano, por su ayuda y asesoría en la realización de este trabajo.

Literatura citada

- American Public Health Association, American Water Works Association & Water Pollution Control Federal, 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos. España. 350 pp.
- Ayala-del Toro, Y., H. Delgado-Alamillo, V.H. Cuellar-Pérez & A.Z Salazar-Rivera, 2019. Manual de ensayos para laboratorio: Agregados (Ag) para mezclas asfálticas. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación técnica No. 551. México. 130 pp. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt551.pdf>
- Browne, N.K., Smithers, S.G. & Perry. C.T. 2013. Spatial and temporal variations in turbidity on two inshore turbid reefs on the Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs*, 32:195-210. DOI:10.1007/s00338-012-0965-1
- Gaspari, F., A. Rodríguez, G. Senisterra, M. Delgado & S. Besteiro, 2013. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Editorial de la Universidad de La Plata. Argentina. 191 pp. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27877>
- Horta-Puga, G., J.L. Tello-Musi, A. Beltrán-Torres, J.P. Carricart-Ganivet, J.D. Carriquiry & J.V. Vellaescusa-Celaya, 2015. Veracruz

- Reef System: a hermatypic coral community thriving in a sedimentary terrigenous environment. 181-208 pp. In: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. México. 366 pp. https://www.researchgate.net/publication/284550460_Veracruz_Reef_System_a_hermatypic_coral_community_thriving_in_a_sedimentary_terrigenous_environment
- Loiola, M., I. Cruz, D.S. Lisboa, E. Mariano-Neto, Z. Leão, M. Oliveira & R. Kikuchi, 2019. Structure of marginal coral reef assemblages under different turbidity regime. *Marine Environmental Research*, 147:138–148. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.03.013>
- MacIntyre, I.G., 1972. Submerged reefs of eastern Caribbean. *AAPG Bulletin*, 56(4):720-738. DOI:10.1306/819A407C-16C5-11D7-8645000102C1865D
- Morgan, K.M., M.A. Moynihan, N. Sanwani & A.D. Switzer, 2020. Light limitation and depth-variable sedimentation drives vertical reef compression on turbid coral reefs. *Frontiers in Marine Science*, 7:571256. DOI:10.3389/fmars.2020.571256.
- Moura, R.L., G.M. Amado-Filho, F. C. Moraes, P.S. Brasileiro, P.S. Salomon, M.M. Mahiques, & F.L. Thompson, 2016. An extensive reef system at the Amazon River mouth. *Science Advances*, 2:4, e1501252. DOI:10.1126/sciadv.1501252.
- Ortiz-Lozano, L., P. Arceo-Briseño, A. Granados-Barba, D. Salas-Monreal & L. Jiménez-Badillo, 2010. Zona Costera. 123-146 pp. In: E. Florescano & E. Ortiz-Escamilla (eds.). *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz*, Tomo I: Patrimonio Natural. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. México. 280 pp. https://www.researchgate.net/publication/274962502_Zona_Costera
- Ortiz-Lozano, L., F. Martínez, M. Escorcía, G. García, X. Ramos-Pedruza & C. Colmenares-Campos, 2018. El corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México. Retos y oportunidades para su protección. Primer Informe. Centro Mexicano del Derecho Ambiental. México. 80 pp. <https://www.cemda.org.mx/publicaciones-y-estudios-del-cemda/el-corredor-arrecifal-del-suroeste-del-golfo-de-mexico-retos-y-oportunidades-para-su-proteccion-y-manejo/>
- Ortiz-Lozano, L., A. Gutiérrez-Velázquez, C. Colmenares-Campos, A. Aja-Arteaga, V. Ramos-Castillo & L. Olivera-Vázquez, 2019. Arrecifes sumergidos en el corredor arrecifal de suroeste del Golfo de México. Segundo Informe. Centro Mexicano del Derecho Ambiental. México. 63 pp. https://www.researchgate.net/publication/335101485_Arrecifes-sumergidos-en-el-corredor-arrecifal-del-Suroeste-del-Golfo-de-Mexico-Segundo-Informe-julio-2019
- Quezada-Pérez, F., Mena-González, S., Fernández-García, C. & Alvarado, J. 2023. Are We Talking about Coral or Macroalgae Reefs? Status of Coral Reef Communities on the Caribbean Coast of Costa Rica. *Oceans*. 4:315-332. doi: 10.20944/preprints202307.0916.v1
- Salas-Pérez, J.J. & A. Granados-Barba, 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*. 21:3, 281-301. https://www.researchgate.net/publication/26526973_Oceanographic_characterization_of_the_Veracruz_reefs_system
- Pérez-España, H. & J.M. Vargas-Hernández, 2008. Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera Etapa. Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM002. México. 99 pp. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfDM002.pdf>

- Pereyra-Díaz, D., J.A. Pérez-Sesma & M. Salas-Ortega, 2010. Hidrología. 85-122 pp. In: E. Florescano & E. Ortiz-Escamilla (eds.) Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, Tomo I: Patrimonio Natural. Comisión del Edo. de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. México. 280 pp. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/9650?show=full>
- Putra, R.D., D. Surinati, A. Mulyono, I. Narulita, M.R. Djuwansah, H. Wirayahanto, M.R. Yulada, A.C. Saputra, F.D. Hukom & T.E. Sari, 2023. Oceanographic conditions and sedimentation in the Kawal River, Bintan Island, and impact on the prevalence of coral disease. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1148:012028. DOI:10.1088/1755-1315/1148/1/012028
- Risk, M.J & E. Edinger, 2011. Impacts of sediment on coral reefs. 575-586. In: Hopley, D. (ed.). Encyclopedia of Modern Coral Reefs Structure, Form and Process. Springer Science+Business Media. The Netherlands. 1174 pp. DOI:10.1007/978-90-481-2639-2_25
- Rogers, C.S., G. Garrison, R. Grober, Z.M. Hillis & M.A. Franke, 1994. Coral reef monitoring manual for the Caribbean and Western Atlantic. Virgin Islands National Park. First Print. 120 pp. <http://www.irf.org/wp-content/uploads/2015/10/CoralReefMonitoringManual.pdf>
- Rogers, C.S. & C.E. Ramos-Scharrón, 2022. Assessing effects of sediment delivery to coral reefs: A Caribbean watershed perspective. *Frontiers in Marine Science*, 8:773968. DOI:10.3389/fmars.2021.773968.
- Salas-Monreal, D., J.J. Salas-Pérez, M. Marín-Hernández, I.C. Chacón-Gómez & J.O. Avendaño-Álvarez, 2015. Dinámica marina del Sistema Arrecifal Veracruzano. 19-34 pp. In: Granados-Barba, A., L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. México. 366 pp. <https://www.researchgate.net/publication/284532969>
- Udden, J.A., 1914. Mechanical composition of clastic sediments. Bulletin of the Geological Society of America, 25(1):655-744. <http://dx.doi.org/10.1130/GSAB-25-655>.
- Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5): 377-392. <https://www.jstor.org/stable/30063207>