

Actualización del conocimiento de los sistemas coralinos poco conocidos del sur del Pacífico mexicano

[Andrés López-Pérez](#)^{1*}, [Rebeca Granja-Fernández](#)^{2,3}, [Omar Valencia-Méndez](#)⁴, [Tania González-Mendoza](#)⁴, [Eduardo Ramírez-Chávez](#)⁵, [Abigail Pañola-Madrigal](#)⁴, [Daniel López-López](#)⁴, [Luis E. Calderón-Aguilera](#)⁴, [Fabián A. Rodríguez-Zaragoza](#)³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del artículo:

Recibido 17 de junio de 2024

Aceptado 23 de septiembre de 2024

Publicado 19 de noviembre de 2024

READ IN ENGLISH:

<https://doi.org/10.7773/cm.v2024.3503>

AUTOR DE CORRESPONDENCIA

* E-mail: alopez@xanum.uam.mx

- ¹ Laboratorio de Arrecifes y Biodiversidad (ARBIOLAB)/Laboratorio de Ecosistemas Costeros, Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, 09340 Ciudad de México, México.
- ² Investigadora Posdoctoral (CONAHCYT) asociada al Programa de Maestría en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas (BIMARENA), Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, 45200 Nextipac, Jalisco, México.
- ³ Laboratorio de Ecología Molecular, Microbiología y Taxonomía, Departamento de Ecología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, 45200 Nextipac, Jalisco, México.
- ⁴ Laboratorio de Esclerocronología, Ecología y Pesquerías de la Zona Costera, Departamento de Ecología Marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 22860 Ensenada, Baja California, México.
- ⁵ Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Instituto de Ecología. Universidad del Mar, 70902 Puerto Ángel, Oaxaca, México.

RESUMEN. Puerto Ángel (PA), Puerto Escondido (PE) y Punta Maldonado (PM) albergan ecosistemas coralinos en el sur del Pacífico mexicano (SPM); sin embargo, estos ecosistemas se encuentran dentro de los menos evaluados y prospectados. Este trabajo proporciona un inventario de especies de coral y contribuye a la caracterización de estos sistemas para el SPM. Entre 2009 y 2023 se prospectaron 15 sitios (PA = 9; PE = 4; PM = 2) mediante buceo errante y transectos de punto intercepto realizados por buzas y buzos con equipo de buceo autónomo, así como vehículos submarinos operados remotamente. Se registraron un total de 10 especies de corales (PA = 10; PE = 5; PM = 2) de los géneros *Pocillopora* (aguas someras; <30 m de profundidad), *Pavona* y *Porites* (<37 m de profundidad). Por primera vez en PM, se registraron corales distribuidos en aguas profundas (<37 m de profundidad) y alejadas de la línea de costa, lo cual es poco común en los sistemas de coral del SPM. Esto puede deberse al límite más amplio de la zona mesofótica y a la anómala y extensa plataforma continental de PM formada por procesos geológicos. Puerto Ángel presentó una mayor cobertura coralina (30.2% ± 21.9) en comparación con la de PE (6.6% ± 8.7), donde predominaba el sustrato rocoso. Estos porcentajes son menores que los reportados para otras regiones del SPM y son consecuencia de las características geomorfológicas de las áreas, pero principalmente se deben a las perturbaciones antropogénicas que han experimentado a lo largo del tiempo, como el cambio en el uso de suelo y la extracción de colonias de coral para los mercados de artesanías.

Palabras clave: características del sustrato, cobertura, coral, Puerto Ángel, Puerto Escondido, Punta Maldonado, Pacífico mexicano, registros, zona mesofótica.

Acceso abierto

En línea ISSN: 2395-9053

Verificado con Similarity Check impulsado por iThenticate

<https://doi.org/10.7773/cm.v2024.3503>



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](#), que permite compartir y adaptar el trabajo, siempre y cuando se dé el crédito apropiado a los autores originales y la fuente, proporcione un enlace a la licencia Creative Commons e indique si se realizaron cambios. Las figuras, tablas y otros elementos del artículo están incluidos en la licencia CC BY 4.0 del artículo, a menos que se indique lo contrario. Debe solicitar permiso al titular de los derechos de autor para utilizar material no cubierto por esta licencia. El título de la revista está protegido por derechos de autor propiedad de la Universidad Autónoma de Baja California, y el título y el logotipo de la revista no están sujetos a esta licencia.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de coral del sur del Pacífico mexicano (SPM) juegan un papel relevante en la dispersión de organismos y en el mantenimiento de la conectividad entre los sistemas ubicados en la porción central y sur del Pacífico oriental (Lequeux et al. 2018). Los sistemas más importantes, por su extensión y grado de desarrollo, se encuentran en las zonas de Ixtapa-Zihuatanejo, en el estado de Guerrero, y Huatulco, en el estado de Oaxaca (Glynn y Leyte-Morales 1997, López-Pérez et al. 2012). Dichos sistemas han sido los más estudiados y caracterizados; sin embargo, a pesar de su gran importancia para la biodiversidad regional, el estudio de otros sistemas aledaños ha pasado desapercibido, ya que han sido poco prospectados o nunca antes visitados (Glynn y Leyte-Morales 1997, López-Pérez et al. 2012, Granja-Fernández et al. 2023).

Existen escasos estudios en el SPM para las áreas alrededor de Puerto Ángel y Puerto Escondido en Oaxaca, así como el área alrededor de Punta Maldonado en Guerrero. Sin embargo, se han registrado algunas especies de coral para unos cuantos sitios en Puerto Escondido (e.g., Puerto Angelito) y Puerto Ángel (e.g., Panteones, La Guacha y Estacahuite) debido a las prospecciones llevadas a cabo durante el siglo pasado (Palmer 1928, Durham 1947, Durham y Barnard 1952, Geister 1977, Leyte-Morales 1997, Reyes-Bonilla y Leyte-Morales 1998). En contraste, la presencia de corales en Punta Maldonado nunca ha sido documentada. A pesar de esto, la relevancia de estas 3 áreas es tal que se han encontrado y descrito especies nuevas de corales fósiles en las zonas terrestres aledañas (Palmer 1928, Durham 1947, Gío-Argaez et al. 2019).

Los trabajos anteriores han aportado información sobre la composición de especies en solo algunos sitios, pero no han proporcionado datos sobre las características del sustrato de los ecosistemas de coral de estas 3 áreas, con excepción de la investigación de Reyes-Bonilla y Leyte-Morales (1998) en Puerto Ángel. En virtud de lo anterior, el presente trabajo abona al conocimiento de estos sistemas de coral del SPM, pues proporciona registros de especies de coral para un mayor número de sitios de muestreo, documenta registros de corales para Punta Maldonado por primera vez y contribuye a la caracterización de los sitios con sistemas de coral en Puerto Escondido y Puerto Ángel. Esta información resulta de relevancia para estas áreas que han sido escasamente estudiadas. Además, estas áreas están experimentando cambios antropogénicos y ambientales acelerados y constantes asociados al desarrollo costero, y están sujetas a eventos interanuales regionales, como el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur, y a procesos de gran escala, como el cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se incluyeron 3 áreas del SPM con sistemas coralinos en el estudio: Punta Maldonado (Guerrero), Puerto Escondido (Oaxaca) y Puerto Ángel (Oaxaca) (Fig. 1). Debido a

las condiciones ambientales, la región se describe comúnmente como una “alberca de agua cálida” del Pacífico Oriental Tropical (POT), caracterizada por aguas superficiales cálidas y de salinidad baja que se encuentran sobre una termoclina fuerte y poco profunda (Fiedler y Lavin 2017). La región se extiende a través del límite tectónico de un margen convergente activo caracterizado por la subducción de las placas de Cocos y Rivera bajo la placa de Norteamérica (Ramírez-Herrera y Urrutia-Fucugauchi 1999). Como consecuencia de la actividad tectónica, la plataforma continental es muy estrecha; sin embargo, Punta Maldonado presenta un ensanchamiento anómalo de la plataforma conocido como Tartar Shoal, delimitado por el cañón submarino Quetzala (Carranza-Edwards et al. 2005).

La prospección y caracterización de los ecosistemas de coral se realizó de manera intermitente entre los años 2009 y 2023 mediante diversos métodos: (1) transectos de punto intercepto de 20 m (datos obtenidos cada 20 cm) para registrar el tipo de sustrato (i.e., coral vivo, coral muerto, roca, arena o algas) utilizando equipo de buceo autónomo, (2) prospección visual mediante buceo errante utilizando equipo de buceo autónomo y (3) navegación errante de vehículos submarinos operados remotamente (ROV, por sus siglas en inglés) (BlueROV2, Blue Robotics, St. Torrence, EE. UU.; BLUEROV, Hamburgo, Alemania; Fifish V6, QYSEA, Shén-zhen, China). En cada caso, la técnica y el número de unidades de muestreo dependieron de las dimensiones y la profundidad del sitio y las condiciones climáticas presentes al momento de la prospección, por lo que los períodos de muestreo variaron entre sitios. Las técnicas de muestreo empleadas en cada sitio se encuentran referidas en la Tabla 1.

Los tipos de sustrato en los sitios de muestreo fueron explorados gráficamente con un análisis de coordenadas principales (ACoP) con base en una matriz de similitud de Bray-Curtis construida con los datos de la composición y cobertura del tipo de sustrato; los datos se transformaron mediante la raíz cuadrada para disminuir la sobrerepresentación (dominancia) de cualquier tipo de sustrato. El ordenamiento incluyó los vectores de cada tipo de sustrato, donde la longitud y dirección del vector indican la importancia relativa de cada variable en la ordenación. Solo se incluyeron las variables con una correlación de Pearson >0.7 en el ordenamiento (Anderson et al. 2008). La variación espacial del tipo de sustrato se evaluó mediante un modelo multiescalar de un análisis de varianza multidimensional permutacional (PERMANDEVA) de 2 vías anidadas (factor de efecto fijo: área; factor de efecto aleatorio: sitios anidados en áreas; modelo tipo III):

$$Y = \mu + \text{área}_i + \text{sitio}_j (\text{área}_i) + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

donde Y es la variable de respuesta, μ es la media y ε_{ij} es el error acumulado. El PERMANDEVA se realizó con los datos de la composición y cobertura del tipo de sustrato; los datos se transformaron con la raíz cuadrada para reducir la importancia relativa de los datos extremos y, posteriormente,

obtener una matriz de Bray-Curtis. La significancia estadística del PERMANDEVA se determinó con 10,000 permutaciones de residuales bajo un modelo reducido y la suma de cuadrados tipo III (Anderson et al. 2008). El ACoP y PERMANDEVA fueron realizados mediante PRIMER 6 y PERMANOVA+ (Anderson et al. 2008).

RESULTADOS

Un total de 15 sitios pertenecientes a las 3 áreas (Punta Maldonado [2 sitios], Puerto Escondido [4 sitios] y Puerto Ángel [9 sitios]) (Tabla 1) fueron prospectados. Dentro de estas áreas se registró la presencia de un total de 10 especies de corales pétreos correspondientes a los géneros *Pavona*, *Pocillopora* y *Porites*. Las especies *Porites panamensis* (14 sitios), *Pavona gigantea* (11 sitios) y *Pocillopora capitata*

(10 sitios) se observaron en el mayor número de sitios; por el contrario, *Pavona clavus* y *Pocillopora effusa* fueron registradas en un solo sitio (Tabla 1).

Durante las prospecciones en el área de Punta Maldonado se registró la ocurrencia de colonias de 2 especies de corales pétreos: *P. panamensis* y *P. gigantea*. En el área de Puerto Escondido se registraron 5 especies; los sitios de El Faro y Zapatito presentaron la menor riqueza (2 especies), mientras que Puerto Angelito presentó la mayor riqueza (4 especies). El área de Puerto Ángel presentó la mayor riqueza de corales pétreos (10 especies) de las 3 áreas de estudio. En esta área, el sitio de La Tijera presentó la mayor riqueza (10 especies), mientras que el sitio de Puerto Angelito, en el área de PE, presentó la menor riqueza (4 especies).

Los ecosistemas de coral más someros se encontraron en el área de Puerto Ángel (4-12 m), seguido por Puerto Escondido

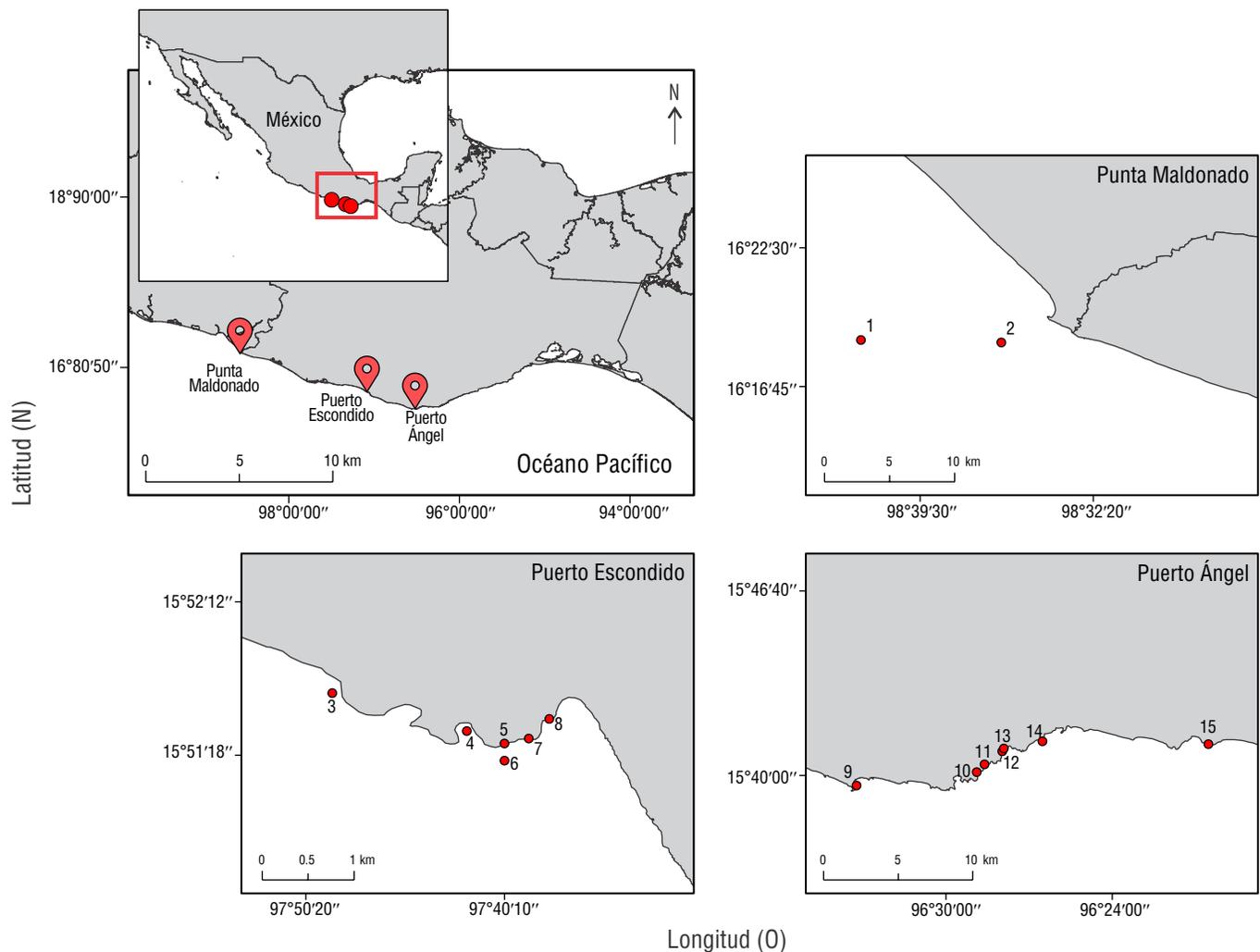


Figura 1. Mapa de los sitios de muestreo en la región del sur del Pacífico mexicano (SPM). Los marcadores rojos denotan las áreas de estudio de Punta Maldonado, Puerto Escondido y Puerto Ángel. Los puntos rojos denotan los sitios de muestreo con sistemas coralinos: 1 (Las 24), 2 (Altura Baja), 3 (Bachoco), 4 (Carrizalillo), 5 (Puerto Angelito), 6 (El Faro), 7 (Zapatito), 8 (Puerto Escondido), 9 (Mazunte), 10 (Playa del Muerto), 11 (Estacahuite), 12 (La Mina), 13 (Boquilla), 14 (Tijera) y 15 (Salchi).

Tabla 1. Composición de los corales pétreos por sitio y área en los sistemas coralinos del sur del Pacífico mexicano (SPM). Los valores en la tabla indican presencia.

	1 ^c	2 ^{b,c}	3 ^{a,*}	4 ^{a,b}	5 ^{a,b}	6 ^{a,b}	7 ^{a,b}	8 ^{a,b,*}	9 ^{a,b}	10 ^{a,b}	11 ^{a,b}	12 ^{a,b}	13 ^{a,b}	14 ^{a,b}	15 ^{a,b}
<i>Pavona clavus</i>															1
<i>Pavona gigantea</i>	1			1	1	1	1			1	1	1	1	1	
<i>Pocillopora capitata</i>					1				1	1	1	1	1	1	1
<i>Pocillopora damicornis</i>				1					1	1	1	1	1	1	1
<i>Pocillopora effusa</i>									1					1	1
<i>Pocillopora elegans</i>															1
<i>Pocillopora grandis</i>									1		1		1	1	1
<i>Pocillopora meandrina</i>									1		1			1	1
<i>Pocillopora verrucosa</i>					1				1	1	1	1	1	1	1
<i>Porites panamensis</i>	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	

Punta Maldonado: 1 (Las 24), 2 (Altura Baja), 3 (Bachoco), 4 (Carrizalillo), 5 (Puerto Angelito), 6 (El Faro), 7 (Zapatito), 8 (Puerto Escondido), 9 (Mazunte), 10 (Playa del Muerto), 11 (Estacahuite), 12 (La Mina), 13 (Boquilla), 14 (Tijera) y 15 (Salchi).

Técnica de muestreo: a = transecto SCUBA; b = buceo errante SCUBA; c = buceo errante ROV.

*No se registraron corales formadores de arrecifes, sino solo coral muerto.

(9.5-20 m) y, finalmente, Punta Maldonado (12-37 m). El rango de profundidad en Punta Maldonado fue una limitante para la evaluación del sustrato en esta área, por lo que solo se evaluaron las áreas de Puerto Escondido y Puerto Ángel. La cobertura de coral vivo (media \pm DE) fue relativamente baja en los sitios del área de Puerto Escondido (6.6% \pm 8.7, $n = 36$) en comparación con la cobertura del mismo en los sitios ubicados en el área de Puerto Ángel (30.2% \pm 21.9, $n = 48$) (Pseudo- $F_{(1,82)} = 37$, $P < 0.001$). Este patrón coincide con lo observado en la cobertura algal (valores bajos en el área de Puerto Escondido y valores altos en el área de Puerto Ángel) (Pseudo- $F_{(1,82)} = 19.9$, $P < 0.001$). Por su parte, la cobertura de roca mostró un comportamiento inverso (Puerto Escondido: 68.4% \pm 18.6; Puerto Ángel: 27.9% \pm 35.8; Pseudo- $F_{(1,82)} = 37.9$, $P < 0.001$) (Fig. 2).

El primer componente de la ordenación del ACoP (Fig. 3) explicó el 68.4% de la variación, mientras que el segundo componente explicó el 24%, lo que indica que casi el total de la variación (92.4%) entre los sitios de muestreo fue explicado por el análisis. La ordenación mostró una variación amplia entre los sitios del área de Puerto Ángel con respecto a los sitios del área de Puerto Escondido. De acuerdo con la ordenación, los sitios del área de Puerto Escondido son predominantemente arrecifes rocosos, mientras que los sitios del área de Puerto Ángel tienen una importante contribución de corales. Esto se hace evidente en los resultados del PERMANDEVA,

que indicaron diferencias significativas entre las áreas (Pseudo- $F_{(1,71)} = 12.8$, $P = 0.0003$), así como entre los sitios (Pseudo- $F_{(11,71)} = 3$, $P = 0.0002$).

DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo para las áreas de Punta Maldonado, Puerto Escondido y Puerto Ángel se suman a los registros previos de corales y a la caracterización de los ecosistemas de coral de Ixtapa-Zihuatanejo, Acapulco y Huatulco en el SPM (Glynn y Leyte-Morales 1997; Leyte-Morales 1997; Reyes-Bonilla y Leyte-Morales 1998; López-Pérez et al. 2012, 2019). En particular, la prospección y evaluación de Punta Maldonado y Puerto Escondido son de relevancia, ya que representan las primeras realizadas en ambas áreas.

En la parte continental, entre la entrada del Golfo de California y Oaxaca, 25 especies de corales zooxantelados han sido registradas; 17 de estas corresponden al SPM (13 en Guerrero y 16 en Oaxaca) (Reyes-Bonilla et al. 2010, López-Pérez et al. 2012). Los resultados mostraron que la composición de especies en las áreas exploradas representa una submuestra de la composición previamente registrada en los estados de Guerrero y Oaxaca. A pesar de lo anterior, las siguientes 7 especies registradas en los 2 estados no fueron avistadas durante nuestras prospecciones: *Cycloseris distorta*, *Gardineroseris*

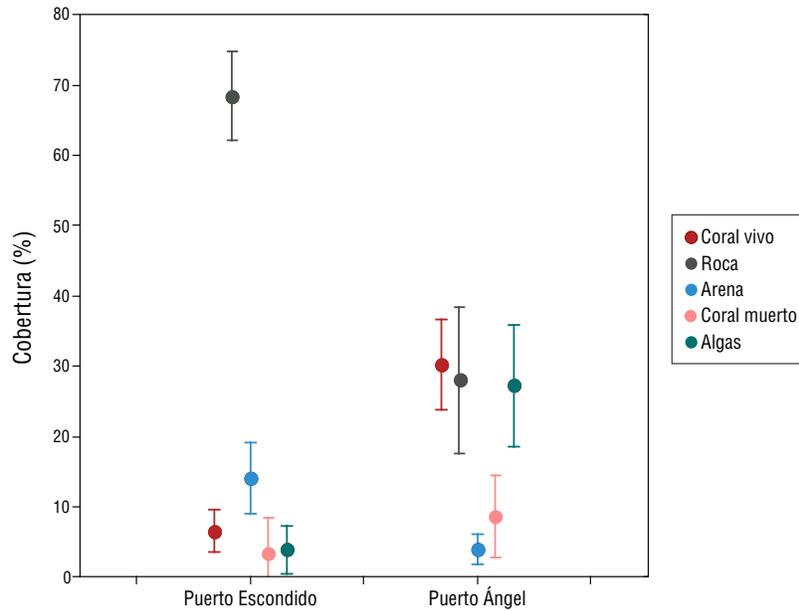


Figura 2. Cobertura (%) de sustrato en las áreas de estudio de Puerto Escondido y Puerto Ángel en el sur del Pacífico mexicano (SPM). Los datos representan la media \pm desviación estándar.

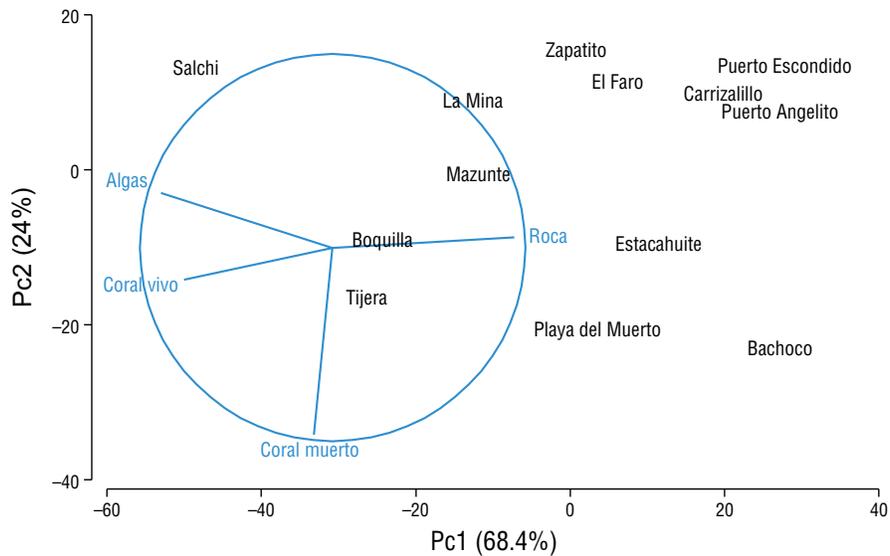


Figura 3. Ordenación de los sitios de muestreo en las áreas de estudio de Puerto Escondido (Bachoco, Carrizalillo, Puerto Angelito, El Faro, Zapatito y Puerto Escondido) y Puerto Ángel (Mazunte, Playa del Muerto, Estacahuite, La Mina, Boquilla, Tijera y Salchi) en el sur del Pacífico mexicano (SPM), en función del tipo de sustrato, basada en el análisis de coordenadas principales. En el lado derecho se ubican los sitios de muestreo del área de Puerto Escondido y en el lado izquierdo se ubican los sitios de muestreo del área de Puerto Ángel. De acuerdo con los vectores, hacia el lado derecho de la ordenación se encuentran los sitios con una importante cobertura de roca, mientras que en el lado izquierdo se encuentran los sitios con predominancia de cobertura de coral vivo. En la porción inferior de la ordenación se ubican los sitios con una cobertura de coral muerto relativamente alta.

planulata, *Leptoseris papyracea*, *Pavona varians*, *Pocillopora inflata*, *Porites lobata* y *Psammocora stellata* (Glynn y Leyte-Morales 1997, Leyte-Morales et al. 2001, Reyes-Bonilla et al. 2005, López-Pérez et al. 2012). Realizar prospecciones más detalladas en la región contribuirá a aumentar el número de registros de especies comunes, como *P. varians*, que se han observado en coberturas bajas en algunos sitios de Ixtapa y Huatulco (López-Pérez et al. 2012, 2014). Sin embargo, las prospecciones futuras difícilmente lograrán aumentar los registros para las especies observadas raramente en la región, como *C. distorta*, *G. planulata*, *L. papyracea*, *P. inflata*, *P. lobata* y *P. stellata*, las cuales cuentan con tamaños poblacionales bajos y registros mayormente restringidos al Golfo de California, al centro y sur del Pacífico mexicano y a Centro América (Leyte-Morales et al. 2001, Cortés y Jiménez 2003, Reyes-Bonilla et al. 2005, López-Pérez et al. 2012).

Los ecosistemas de coral continentales del POT son caracterizados principalmente por la dominancia de *Pocillopora* que ocurre típicamente en profundidades someras (0-8 m). Contrariamente, *Pavona* y *Porites* pueden encontrarse a mayores profundidades (10-30 m) en áreas más expuestas y con características oligotróficas, como las islas oceánicas (Glynn et al. 2017). Los sitios con coral en las áreas de Puerto Escondido y Puerto Ángel se distribuyeron dentro de los rangos batimétricos comúnmente registrados en la zona y el POT (i.e., <30 m de profundidad) (Pérez-Castro et al. 2022). Por otro lado, la franja costera somera de Punta Maldonado corresponde a playas arenosas con una gran energía del oleaje, en donde los corales se detectaron hasta profundidades poco comunes (34-37 m) para las áreas costeras del Pacífico mexicano (Glynn et al. 2017, Pérez-Castro et al. 2022), destacando la presencia de *P. gigantea* y *P. panamensis*, así como la ausencia del género *Pocillopora*. En términos de profundidad, el registro de estas especies en Punta Maldonado excede a los registros más profundos para las áreas continentales aledañas (Puerto Ángel) (Pérez-Castro et al. 2023), pero se suma a los registros de corales en sitios oceánicos del Pacífico oriental (Pérez-Castro et al. 2022).

La presencia de *P. gigantea* y *P. panamensis* en sitios relativamente profundos en el área de Punta Maldonado podría deberse a las características del agua de mar y a la presencia de simbiontes específicos. De acuerdo con la profundidad de los registros y la ubicación espacial de los mismos, el agua de mar en el área de Punta Maldonado podría clasificarse como Agua Turbia Tipo I, para la cual el límite superior de la zona mesofótica es de 15-35 m, mientras que el límite inferior es de 36-60 m (Tabla 1 en Pérez-Castro et al. 2022). En cuanto al tipo de simbionte, la presencia de corales se ajusta a las predicciones realizadas por Iglesias-Prieto et al. (2004), quienes señalan que la presencia de simbiontes específicos adaptados a distintos regímenes de luz determina la distribución vertical de los corales hospederos. Particularmente, la presencia de *P. gigantea* podría relacionarse con el desempeño foto-fisiológico de los simbiontes adaptados a la penumbra, es decir, a *P. gigantea* “no le gusta la luz”.

Otra característica que llama la atención es que, a diferencia de los sistemas coralinos del SPM ubicados cerca de la línea de costa, los de Punta Maldonado se encuentran hasta 10 km alejados de ella. Esta región posee un ensanchamiento anómalo de su plataforma continental, conocido como Tartar Shoal, que permite una amplia extensión de aguas someras, donde predominan algas coralinas y fragmentos de roca (Carranza-Edwards et al. 2005). Por lo tanto, Punta Maldonado es un área viable para el establecimiento de corales.

La gran profundidad y la plataforma continental amplia de Punta Maldonado solo permitieron la prospección mediante ROV. El empleo de esta técnica resultó en el descubrimiento de una gran cantidad de sitios cuyo sustrato podría albergar corales constructores de arrecifes. Sin embargo, se requieren futuras prospecciones que podrían resultar en el registro de un mayor número de especies, incluyendo *Pocillopora* spp., en sitios más someros. Además del área marina, la prospección terrestre es necesaria, ya que se han encontrado algunos corales fósiles del Plioceno en la Formación Punta Maldonado (Gío-Argaez et al. 2019). Los resultados de dicha prospección podrían ayudar a comprender y reconstruir la historia evolutiva de los corales de la región.

Las profundidades relativamente someras de las áreas de Puerto Ángel y Puerto Escondido permitieron su evaluación por medio de transectos. La cobertura de sustratos distintos refleja 2 historias en el área prospectada. En el área de Puerto Escondido, la cobertura de coral (~7%) fue consistentemente baja entre sitios, mientras que la cobertura de roca fue relativamente alta (~68%). Lo opuesto fue observado en el área de Puerto Ángel, donde la cobertura de coral fue 5 veces mayor y la cobertura de roca fue comparativamente menor. Comparada con la cobertura de los ecosistemas de coral en las áreas de Ixtapa-Zihuatanejo (Guerrero) y Huatulco (Oaxaca), la cobertura de coral registrada fue sustantivamente menor (Glynn y Leyte-Morales 1997, López-Pérez et al. 2012).

Todos los ecosistemas de coral en este trabajo se encuentran dentro de la alberca de agua cálida del POT, por lo que las características ambientales en las que se desarrollan los corales son similares (Fiedler y Lavin 2017). Dado lo anterior, las diferencias del fondo y el grado de desarrollo entre los sistemas coralinos podrían estar relacionadas con las características geomorfológicas y oceanográficas de cada área o sitio, como la extensión de la plataforma, la profundidad, la intensidad y dirección del oleaje, la orientación de la playa respecto a la dirección del viento y las corrientes principales (Kench y Brander 2006).

Concurrentemente, las áreas y los sitios y, por consiguiente, los sistemas coralinos históricamente han experimentado distintos tipos y grados de perturbación antropogénica. Por ejemplo, mientras que Puerto Escondido y Puerto Ángel fueron fundadas entre finales de 1800 y principios de 1900, su crecimiento poblacional ha variado a lo largo del tiempo. Actualmente, Puerto Escondido es una de las áreas más pobladas de la costa de Oaxaca (INEGI 2020). Asociado a esto, la deforestación y degradación de los bosques y selvas han sido desigual, aunque proporcional al incremento poblacional

(Leija-Loredo et al. 2016). Al mismo tiempo, existen historias orales que indican que lanchas cargadas hasta la borda llegaban a Acapulco (Guerrero) para vender obsequios derivados de coral en el mercado de artesanías. La demanda en el mercado de artesanías para los corales, asociado al desarrollo del puerto de Acapulco, agotó los sistemas de coral aledaños al puerto. Una vez que fueron agotados los sistemas de Acapulco, las colonias comenzaron a ser extraídas del área de Puerto Escondido. Al parecer, tales prácticas terminaron durante los últimos años de la década de los 80; sin embargo, la degradación fue devastadora.

Desde entonces, los sistemas de coral de Puerto Escondido no se han recuperado y aún existen parches de corales muertos salpicados de colonias de *Pocillopora*. Por su parte, no existen registros de la extracción de corales para la venta en los mercados de artesanías del área de Puerto Ángel. Sin embargo, el extensivo cambio de uso de suelo del área tiene el potencial de contribuir con grandes cantidades de sedimentos terrígenos y nutrientes a los ecosistemas de coral adyacentes, como se ha reportado para los sistemas de Huatulco (Granja-Fernández y López-Pérez 2008, Leija-Loredo et al. 2016).

CONCLUSIONES

El conocimiento de los ecosistemas de coral del SPM se ha centrado en estudios de áreas extensas, de fácil acceso y con cobertura coralina evidente. No obstante, es importante sumar esfuerzos para aumentar la información y mantener un monitoreo constante en regiones que son relativamente menos extensas (Puerto Ángel), alejadas y de difícil acceso (Punta Maldonado) o degradadas (Puerto Escondido). Después de la ola de calor registrada durante 2023, hay evidencia sólida de una mortalidad masiva de corales en Huatulco, así como comunicados que indican que la mortalidad en el área de Ixtapa-Zihuatanejo fue considerable (López-Pérez et al. 2024, Reimer et al. 2024). Suponiendo que la ola de calor causó un daño igualmente severo a los sistemas coralinos en las 3 áreas de estudio, la presencia de corales a mesoescala se encuentra gravemente comprometida en la actualidad. No solo se podrían haber perdido millones de colonias de corales, sino que esta pérdida podría mermar severamente el funcionamiento actual de los ecosistemas de coral de la región y su futura recuperación, ya que estas áreas podrían funcionar como fuentes de larvas y reclutas para las comunidades conectadas (Lequeux et al. 2018).

DECLARACIONES FINALES

Agradecimientos

Los autores están en deuda con estudiantes y colegas que han participado en las campañas de prospección y monitoreo en el sur del Pacífico mexicano. Además, agradecemos encañidamente a los capitanes de las embarcaciones que contribuyeron con gran compromiso a que este trabajo se hiciera posible; más importante aún, siempre nos mantuvieron

seguros. Queremos agradecer particularmente a Eladio Espindola (Capi) y Andrés Pacheco (Potro), quienes cuidaban de su “hipo” mutuamente, a Juan (John Patrol) por compartir sus sitios “especiales” en Punta Maldonado y a Virgilio Antonio (Buceo Huatulco) por el apoyo a la investigación marina en Huatulco.

Fondos

Este estudio fue financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) a través de los proyectos “Programa de monitoreo permanente de la acidificación del océano y su efecto en la calcificación de los corales formadores de arrecifes en México” (No. 278637), “Objetando la hipótesis del refugio profundo y sus implicaciones ante un escenario de cambio climático” (No. 39210) y “Evaluación de la función geo-ecológica de los arrecifes coralinos del Pacífico mexicano” (No. 86397) y por la Universidad Autónoma Metropolitana a través del proyecto “Caracterización de los ecosistemas costeros de México” (No. 14705007). TGM (940837) y APM (599981) recibieron una beca doctoral de CONAHCYT y RGF (332289) recibió una beca posdoctoral de la misma institución.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: ALP, RGF; Curación de datos: ALP, RGF, OVM, TGM, ERC, FARZ; Análisis formal: ALP; Adquisición de financiación: ALP, LECA; Investigación: ALP, RGF, ERC, APM, DLL, LECA; Metodología: ALP, RGF, ERC; Administración del proyecto: ALP, LECA; Recursos: ALP, ERC, LECA; Redacción—borrador original: ALP, RGF; Redacción—revisión y edición: ALP, RGF, OVM, TGM, ERC, APM, DLL, LECA, FARZ.

Disponibilidad de datos

Se pueden obtener los datos para este estudio a través del autor de correspondencia bajo petición razonable.

Uso de herramientas de IA

Los autores no utilizaron herramienta de inteligencia artificial en este trabajo.

REFERENCIAS

- Anderson MJ, Gorley RN, Clarke RK. 2008. Permanova + for Primer: Guide to Software and Statistical Methods. Plymouth (United Kingdom): PRIMER-E. 214 p.
- Carranza-Edwards A, Rosales-Hoz L, Urrutia-Fucugauchi J, Sandoval-Fortanel A, Morales de la Garza E, Santa Cruz RL.

2005. Geochemical distribution pattern of sediments in an active continental shelf in Southern Mexico. *Cont Shelf Res.* 25(4):521-537.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.09.013>
- Cortés JC, Jiménez C. 2003. Corals and Coral Reefs of the Pacific of Costa Rica: history, research and status. In: Cortés J (ed.), *Latin American Coral Reefs*. Amsterdam (Netherlands): Elsevier. p. 361-386.
<https://doi.org/10.1016/B978-044451388-5/50017-5>
- Durham JW. 1947. Corals from the Gulf of California and the North Pacific coast of America. California (United States of America): Geological Society of America. 75 p.
<https://doi.org/10.1130/MEM20-p1>
- Durham JW, Barnard JL. 1952. Stony corals of the eastern Pacific collected by the Velero III and Velero IV. *Allan Hancock Pac Exped.* 16(1):1-110.
- Fiedler PC, Lavin MF. 2017. Oceanographic conditions of the Eastern Tropical Pacific. In: Glynn PW, Manzello DP, Enochs IC (eds.), *Coral Reef of the World. Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific: Persistence and Loss in a Dynamic Environment*. Dordrecht (Netherlands): Springer. p. 59-84.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4_3
- Geister J. 1977. Occurrence of *Pocillopora* in late Pleistocene Caribbean coral reefs. *Bur Rech Géol Min Mém.* 89:378-388.
- Gío-Argaez FR, Gómez-Espinosa C, Flores-de-Bois LA, Cruz-Flores D, Salgado-Souto S. 2019. Composition of the Pliocene meiofauna from Punta Maldonado Formation, Guerrero (Mexico). In: Boughdiri M, Bádenas B, Selden P, Jaillard E, Bengtson P, Granier BRC (eds.), *Paleobiodiversity and Tectono-Sedimentary Records in the Mediterranean Tethys and Related Eastern Areas: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), Tunisia 2018*. Dordrecht (Netherlands): Springer. p. 141-143.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-01452-0_34
- Glynn PW, Alvarado JJ, Banks S, Cortés J, Feingold JS, Jiménez C, Maragos JE, Martínez P, Maté JL, Moanga DA, et al. 2017. Eastern Pacific coral reef provinces, coral community structure and composition: an overview. In: Glynn PW, Manzello DP, Enochs IA (eds.), *Coral reefs of the Eastern Tropical Pacific. Persistence and loss in a dynamic environment*. Berlin (Germany): Springer. p. 107-176.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4_5
- Glynn PW, Leyte-Morales GE. 1997. Coral reefs of Huatulco, west Mexico: reef development in upwelling gulf of Tehuantepec. *Rev Biol Trop.* 45:1033-1047. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/21114>
- Granja-Fernández MR, López-Pérez RA. 2008. Sedimentación en comunidades arrecifales de Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. *Rev Biol Trop.* 56(3):1179-1187.
- Granja-Fernández R, López-Pérez A, Valencia-Méndez O, Chapa-Balcorta C, Flores-Ramírez M, Domínguez-Domínguez O, Torres-Hernández E, López-Arroyo MY. 2023. Isla La Blanca, la comunidad coralina más suroriental del Pacífico mexicano. *Hidrobiológica.* 33(2):257-264.
- Iglesias-Prieto R, Beltran VH, LaJeunesse TC, Reyes-Bonilla H, Thome PE. 2004. Different algal symbionts explain the vertical distribution of dominant reef corals in the eastern Pacific. *Proc R Soc B.* 271(1549):1757-1763.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2757>
- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2020. Censo de Población y Vivienda 2020. Mexico: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html>
- Kench PS, Brander RW. 2006. Wave processes on coral reef flats: implications for reef geomorphology using Australian case studies. *J Coast Res.* 2006(221):209-223.
<https://doi.org/10.2112/05A-0016.1>
- Leija-Loredo EG, Reyes-Hernández H, Reyes-Pérez O, Flores-Flores JL, Sahagún-Sánchez FJ. 2016. Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera Bosques.* 22(1):125-140.
- Lequeux BD, Ahumada-Sempoal MA, López-Pérez A, Reyes-Hernández C. 2018. Coral connectivity between equatorial eastern Pacific marine protected areas: A biophysical modeling approach. *PLoS one.* 13(8):e0202995.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202995>
- Leyte-Morales GE. 1997. La colección de corales de la Universidad del Mar. *Ciencia y Mar* 1(2):3-16.
- Leyte-Morales GE, Reyes-Bonilla H, Cintra-Buenrostro CE, Glynn PW. 2001. Range extension of *Leptoseris papyracea* (Dana, 1846) to the west coast of Mexico. *Bull Mar Sci.* 69(3):1233-1237.
- López-Pérez RA, Calderón-Aguilera LE, Reyes-Bonilla H, Carriquiry JD, Medina-Rosas P, Cupul-Magaña AL, Herrero-Perezrul MD, Hernández-Ramírez H, Ahumada-Sempoal MA, Luna-Salguero BM. 2012. Coral communities and reefs from Guerrero, southern Mexican Pacific. *Mar Ecol.* 33(4):407-416.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2011.00505.x>
- López-Pérez A, Granja-Fernández R, Aparicio-Cid C, Zepeta-Vilchis RC, Torres-Huerta AM, Benítez-Villalobos F, López-López DA, Cruz-Antonio C, Valencia-Méndez O. 2014. Corales pétreos, equinodermos y peces asociados a comunidades y arrecifes coralinos del Parque Nacional Huatulco, Pacífico sur mexicano. *Rev Mex Biod.* 85(4):1145-1159.
<https://doi.org/10.7550/rmb.43848>
- López-Pérez A, Granja-Fernández R, Ramírez-Chávez E, Valencia-Méndez O, Rodríguez-Zaragoza FA, González-Mendoza T, Martínez-Castro A. 2024. Widespread coral leaching and mass mortality of reef-building corals in southern Mexican Pacific reefs due to 2023 El Niño warming. *Oceans.* 5(2):196-209.
<https://doi.org/10.3390/oceans5020012>
- López-Pérez A, Granja-Fernández R, Valencia-Méndez O, Aparicio-Cid C, Torres-Huerta AM, Barrientos-Luján NA, Benítez-Villalobos F, Hernández L. 2019. Biodiversity associated with southern Mexican Pacific coral systems. In: Ibañez AL (ed.), *Mexican Aquatic Environments: A General View from Hydrobiology to Fisheries*. Dordrecht (Netherlands): Springer. p. 119-144.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-11126-7_5
- Palmer RH. 1928. Fossil and recent corals and coral reefs of Western Mexico. Three new species. *Proc Amer Philos Soc.* 67(1):21-31.
- Pérez-Castro MÁ, Eyal G, Leyte-Morales GE, Hinojosa-Arango G, Enriquez S. 2023. Benthic characterization of mesophotic communities based on optical depths in the southern Mexican Pacific coast (Oaxaca). *Diversity.* 15(4):531.
<https://doi.org/10.3390/d15040531>
- Pérez-Castro MÁ, Schubert N, de Oca GAM, Leyte-Morales GE, Eyal G, Hinojosa-Arango G. 2022. Mesophotic Coral Ecosystems in the Eastern Tropical Pacific: The current state of knowledge and the spatial variability of their depth boundaries. *Sci Total Environ.* 806(Part 2):150576.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150576>
- Ramírez-Herrera MT, Urrutia-Fucugauchi J. 1999. Morphotectonic zones along the coast of the Pacific continental margin, southern Mexico. *Geomorphology.* 28:237-250.
- Reimer JD, Peixoto RS, Davies SW, Traylor-Knowles N, Short ML, Cabral-Tena RA, Burt JA, Pessoa I, Banaszak AT, Winters RS, et al. 2024. The fourth global coral bleaching event: Where do we go from here?. *Coral Reefs.* 43:1121-1125.
<https://doi.org/10.1007/s00338-024-02504-w>

Reyes-Bonilla H, Calderón-Aguilera LE, Cruz-Piñón G, López-Pérez RA, Medina-Rosas P. 2010. Evaluación de la diversidad gama de corales arrecifales (Scleractinia) en el Pacífico de México. *Rev Mex Biodivers*. 81(1):113-121.

Reyes-Bonilla H, Calderón Aguilera LE, Cruz-Piñón G, Medina-Rosas P, López-Pérez A, Herrero-Perezrul D, Leyte-Morales GE, Cupul-Magaña A, Carriquiry J. 2005. Atlas de los Corales

Pétreos del Pacífico Mexicano. Ciudad de México (Mexico): CICESE/CONABIO/CONACYT/UABCS/UdG/UMAR. 124 p.

Reyes-Bonilla H, Leyte-Morales GE. 1998. Corals and coral reefs of the Puerto Angel region, west coast of México. *Rev Biol Trop*. 46:679-681.

Este artículo forma parte de un número especial de *Ciencias Marinas* que comprende artículos seleccionados del "XII Congreso Mexicano de Arrecifes Coralinos y III Congreso Panamericano de Arrecifes Coralinos" de 2024 celebrado en Ensenada, Baja California, México.