

Funcionalidad física como indicador de disponibilidad de hábitat en Islas Marietas, Nayarit, México

Physical functionality as an indicator of habitat availability in Islas Marietas, Nayarit, Mexico

Luis Mario Montalvo-Jaramillo¹, Alma Paola Rodríguez Troncoso², Amilcar Leví Cupul Magaña², Rafael A. Cabral-Tena^{1*}

Recibido: 31 de octubre de 2022.

Aceptado: 22 de junio de 2023.

Publicado: agosto de 2023.

RESUMEN

Antecedentes. Pocas investigaciones emplean la diversidad funcional y el Índice de Función Arrecifal (IFA) para evaluar el estado de las comunidades arrecifales. **Objetivo.** Evaluar la funcionalidad física como indicador de disponibilidad de hábitat de peces y su relación con la diversidad funcional. **Métodos.** La funcionalidad física del arrecife se evaluó mediante el IFA integrando datos de cobertura coralina, complejidad estructural y tasa de calcificación. La estructura de los ensamblajes de peces se analizó mediante el cálculo de índices de diversidad funcional (riqueza, equidad y divergencia) con base en seis atributos funcionales (tamaño corporal, movilidad, periodo de actividad, tipo de agregación, posición en la columna de agua y dieta). La relación entre la diversidad funcional del ensamblaje y el IFA se evaluó mediante un análisis de regresión lineal. **Resultados.** La Zona de Restauración presentó los valores más altos en el IFA; por el contrario, Túnel Amarradero presentó los valores más bajos. En ambos sitios se observó una mayor presencia de *Pocillopora verrucosa*. La diversidad funcional presentó los valores más bajos en los tres índices funcionales en la Zona de Restauración. Los análisis de regresión lineal no fueron significativos. **Conclusiones.** No se encontró una relación lineal entre el IFA y la diversidad funcional, esto puede atribuirse a que en sitios con baja cobertura coralina como Islas Marietas, la diversidad funcional de peces presenta una débil relación con la tridimensionalidad otorgada por los corales. Lo anterior debido a que, en sitios con baja cobertura coralina, otros elementos estructurales (características geológicas y sustratos rocosos) podrían proveer de esas estructuras tridimensionales.

Palabras clave: Arrecife, diversidad funcional, Índice de Función Arrecifal, Pacífico mexicano.

ABSTRACT

Background. Few investigations use functional diversity and the reef functional index (IFA) to assess the state of reef communities. **Objectives.** Evaluate physical functionality as an indicator of fish habitat availability and its relationship with functional diversity. **Methods.** The physical functionality of the reef was evaluated using the IFA, integrating data on coral cover, structural complexity, and calcification rate. The structure of the fish assemblages was analyzed by calculating functional diversity indices (richness, evenness, and divergence) based on six functional traits (body size, mobility, activity period, type of aggregation, position in the water column, and diet). The relationship between functional diversity and IFA was evaluated using linear regression analysis. **Results.** Área de Restauración showed the highest values in the IFA; on the contrary, Túnel Amarradero presented the lowest values. In both sites, a greater presence of *Pocillopora verrucosa* was observed. Functional diversity presented the lowest values in the three functional indices in Área de Restauración. Linear regression analyses were not significant. **Conclusions.** No linear relationship was found between the IFA and functional diversity; this can be attributed to the fact that in sites with low coral cover, such as Islas Marietas, the functional diversity of fish presents a weak relationship with the three-dimensionality provided by corals since in sites with low coral cover, other structural elements (geologic features and rock substrates) could promote these three-dimensional structures.

Keywords: Reef, functional diversity, reef functional index, Mexican Pacific.

¹ Departamento de Ecología Marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas, Ensenada, Baja California, 22860. México

² Laboratorio de Ecología Marina, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Avenida Universidad de Guadalajara 203, col. Los Tamarindos, Puerto Vallarta, Jalisco, 48280. México

*Corresponding author:

Rafel A. Cabral-Tena : e-mail: rcabral@cicese.mx

To quote as:

Montalvo-Jaramillo, L. M., A. P. Rodríguez Troncoso, A. L. Cupul Magaña & R. A. Cabral-Tena. 2023. Funcionalidad física como indicador de disponibilidad de hábitat en Islas Marietas, Nayarit, México. *Hidrobiológica* 33 (2): 149-156.

DOI:10.24275/BDTE3481

INTRODUCCIÓN

Los corales contribuyen con un rango amplio de funciones ecosistémicas clave en los arrecifes tropicales, incluyendo calcificación, fotosíntesis, reciclaje de nutrientes y provisión de hábitat (Cabral-Tena *et al.*, 2020). Dentro de las funciones clave que desempeñan los corales escleractinios se encuentra la construcción del arrecife, dicha característica otorga una funcionalidad física, entendida como su capacidad de crear estructuras tridimensionales como resultado de la precipitación de carbonato de calcio. La funcionalidad física del ecosistema está determinada por tres propiedades fundamentales de cada especie de coral hermatípico: la abundancia, la tasa de calcificación y la complejidad estructural (González-Barrios *et al.*, 2021).

Para mejorar el entendimiento sobre el estado de las funciones que se desempeñan dentro del ecosistema, se ha empleado la ecología funcional, la cual permite detectar posibles cambios en las funciones (reciclaje de nutrientes, regulación de cadena alimenticia y flujos de energía) y los procesos ecosistémicos (Mouillot *et al.*, 2013). Esta aproximación basada en atributos funcionales se centra en las características morfológicas, fisiológicas o comportamentales de las especies, las cuales se miden a nivel individual (especie) y reflejan el desempeño biológico de un organismo en el ecosistema (Violle *et al.*, 2007). A partir de ambos enfoques (taxonómico y funcional), se pueden detectar cambios en la estructura de las comunidades, sin embargo, el enfoque funcional ha demostrado ser más sensible ante perturbaciones ambientales que afectan ciertos rasgos o atributos (Rincón-Díaz *et al.*, 2018). La evaluación de las funciones ecosistémicas basada en atributos provee un marco de referencia para entender la dinámica de las comunidades, particularmente en el contexto de cambio climático y la pérdida de biodiversidad, revelando las respuestas de la comunidad frente a perturbaciones naturales y antropogénicas (González-Barrios & Álvarez-Filip, 2018).

La diversidad funcional se define como las diferencias en atributos funcionales entre los organismos presentes en una comunidad, de gran importancia para varios procesos ecológicos e impactando directamente en el equilibrio dinámico, dinámica de la comunidad y sus procesos ecológicos (De Bello *et al.*, 2021). Este tipo de diversidad posee varios componentes tales como: la riqueza funcional (el volumen del espacio multidimensional ocupado por todas las especies en una comunidad dentro del espacio funcional), la equidad funcional (la regularidad de la distribución y abundancia relativa de especies en el espacio funcional para una comunidad determinada) y la divergencia funcional (la proporción de la abundancia total soportada por las especies con los valores de los atributos más extremos dentro de una comunidad) (Mouillot *et al.*, 2013). Dichos elementos son complementarios y describen diferentes características de cómo se distribuyen los valores de los atributos de las especies de una comunidad dentro del espacio funcional (Mouillot *et al.*, 2013; De Bello *et al.*, 2021).

Respecto a los análisis funcionales y taxonómicos, los peces de arrecife son un buen modelo de estudio ya que es un grupo relativamente bien conocido taxonómicamente y ecológicamente, son sumamente diversos y desempeñan diversas e importantes funciones ecológicas, las cuales son de relevancia para el mantenimiento de los arrecifes. Por ejemplo, los grandes herbívoros son importantes en la remoción de sedimentos, bioerosión y regulación de la cobertura algal, mientras que, las especies depredadoras juegan un papel importante para la biomasa de peces, regulando la cadena alimentaria (Olivier *et al.*, 2018). Con-

currentemente, los ensamblajes de peces son un buen indicador para evaluar y monitorear los cambios dentro de un ecosistema (Morales-de Anda *et al.*, 2020) pues se ha demostrado que la degradación de colonias de coral, así como cambios en su abundancia, genera cambios en la composición de los ensamblajes de especies de peces en arrecifes coralinos. Lo anterior indica que, debido a su respuesta a cambios en el ambiente, amplia distribución y gran diversidad, los ensamblajes de peces deben ser considerados como potenciales indicadores clave del estado de salud del ecosistema. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la funcionalidad física como indicador de disponibilidad de hábitat y su relación con la diversidad funcional de peces.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El Parque Nacional Islas Marietas, Nayarit, México se localiza en el extremo noroeste de Bahía de Banderas (20°42'47"-20°41'11" N, 105°33'18"-105°36'00" O) (Fig. 1) (CONANP-SEMARNAT, 2007; Sotelo-Casas *et al.*, 2014). La temperatura superficial del mar promedio es de 26.4 °C, con una mínima de 23 °C en marzo y una máxima de 30 °C en septiembre. Esta zona se encuentra influenciada por la Corriente de California que acarrea aguas frías del norte hacia el sur (18 - 21 °C) de enero a mayo, la Corriente Costera Mexicana que lleva aguas cálidas desde el sur al norte (27 - 31 °C) de junio a diciembre y la corriente del Golfo de California que trae aguas cálidas (> 34.9 °C) de septiembre a octubre con gran salinidad a mediados del verano (Sotelo-Casas *et al.*, 2014; Cosain-Díaz *et al.*, 2021). La salinidad promedio es de 35 ups, con su pico máximo en diciembre (36 ups) y mínimo en septiembre (30.2 ups). El pH es casi constante a lo largo del año (CONANP-SEMARNAT, 2007; González-Pabón *et al.*, 2021).

El archipiélago de Islas Marietas está delimitado por una isobata de los 20 m; de manera particular, las islas Larga (comprendiendo los sitios: Cueva del Muerto, Zona de Restauración, Zona de Restauración Sur) y la Redonda (comprendiendo los sitios: Túnel Amarradero, Plataforma Pavona y Playa Amor) por la isobata de los 10 m. Tanto en Isla Larga como en Isla Redonda, el oleaje es más intenso en la parte de sotavento (parte sur y oeste de ambas islas). La parte de barlovento (norte y este de ambas islas) presenta condiciones de oleaje menos intenso; por ello, son las zonas más visitadas por embarcaciones al ser áreas con menor oleaje (CONANP-SEMARNAT, 2007). Respecto a la cobertura coralina de ambas islas, los corales se encuentran distribuidos principalmente en la parte este y en algunas caletas de la parte oeste de Isla Larga, la cual presenta mayor riqueza de corales pétreos que Isla Redonda. El género *Pocillopora* es el de mayor representación de corales pétreos para ambas islas, distribuyéndose en ambas, casi desde la superficie. Por otro lado, las comunidades de *Pavona gigantea* (Verrill, 1869) se distribuyen en el lado este de ambas islas, con agrupaciones de mayor tamaño en la Isla Redonda (Cupul-Magaña *et al.*, 2000).

Trabajo de campo y datos biológicos: Durante mayo de 2021, se realizaron 30 censos visuales submarinos mediante transectos paralelos a la línea de costa (25 m de largo por 4 m de ancho), entre 2 y 20 m de profundidad, en seis sitios localizados en Islas Marietas (promedio de cinco transectos por sitio) para la caracterización del ecosistema arrecifal. Para cada transecto, se registraron los componentes del sustrato cada cuatro metros mediante un cuadrante de 1 m² con el objetivo de caracterizar el tipo de fondo: arena, roca, especie de coral y grupo algal. Con estos datos, se obtuvo la cobertura coralina a partir del porcentaje

de cobertura registrado para cada especie de coral por transecto. Para caracterizar la ictiofauna, se realizaron censos visuales, en donde se registró la especie, talla y abundancia por transecto (100 m² por transecto). Se estimó la biomasa de cada individuo a partir de la estimación de talla en campo, utilizando la fórmula: $P = aL^b$ (P = peso en gramos; L = talla en cm por individuo; a y b = constantes peso-longitud, extraídas de Froese & Pauly (2022).

Tasa de calcificación: Debido a las variaciones en el depósito de carbonato de calcio por especie de coral según su morfología, la tasa de calcificación fue determinada usando la información publicada sobre la tasa de extensión y densidad esquelética de cada especie en el sitio de muestreo (Tortolero-Langarica *et al.*, 2016, 2017, 2020). En cada sitio y para cada transecto, la morfología coralina fue evaluada mediante fotografías de la región apical de colonias seleccionadas aleatoriamente (de manera que todas las morfologías fueran representadas), con el fin de cuantificar el número de ramas y determinar el promedio de densidad de ramas por m². Adicionalmente, para los corales ramificados se midió el diámetro de las ramificaciones para estimar la tasa de calcificación debido a su morfología digitiforme. Para los corales masivos, especies con morfología paraboloide, se midieron el diámetro del eje máximo y la altura de cada colonia.

Complejidad estructural: La complejidad estructural fue determinada con base en el índice de rugosidad (IR) y la altura máxima de las colonias. Este índice contempla la relación entre la longitud del contorno desde el principio hasta el final de la colonia (V_{min}), y la distancia lineal a lo largo del eje máximo de la colonia (V_{max}) (Álvarez-Filip *et al.*, 2011).

El IR otorga un valor de 1 a una colonia de coral plana, aumentando este valor conforme aumenta la complejidad estructural; dicho índice no presenta un valor máximo (Cabral-Tena *et al.*, 2020).

Índice de función arrecifal: El Índice de Función Arrecifal (IFA) estima la capacidad de los corales escleractinios de crear estructuras tridimensionales a partir de estimaciones de complejidad morfológica, cobertura y tasa de calcificación (González-Barrios *et al.*, 2021).

El IFA se calculó con base en los promedios de cobertura, complejidad estructural y tasa de calcificación, escalando estas últimas variables (calcificación, índice de rugosidad (IR) y altura de la colonia) para estandarizar los datos en un rango de 0-1. Siendo y el valor de cada una de las variables para cada especie:

$$X = \frac{(y - \text{valormínimo})}{(\text{valormáximo} - \text{valormínimo})}$$

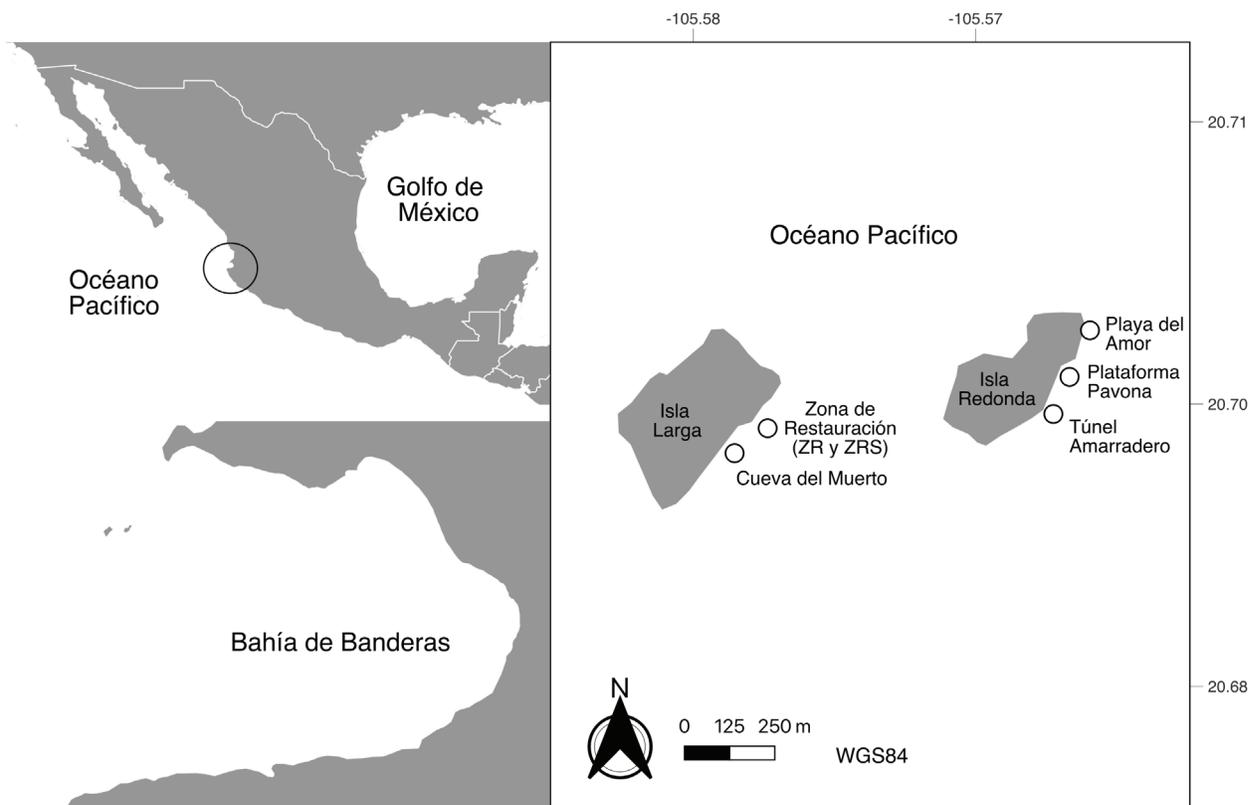


Figura 1. Mapa del área de estudio y sitios de muestreo. Zona de Restauración (ZR). Zona de Restauración Sur (ZRS).

Se promediaron las variables escaladas para la obtención del coeficiente funcional específico (CF) y se procedió con el cálculo del IFA a partir de la sumatoria de la cobertura de coral vivo (CCV_i) por el CF para cada sitio.

$$IFA = \sum \left(\frac{CCV_i}{100} \right) CF_i$$

Finalmente, se aplicó una raíz cuarta a los resultados obtenidos del IFA, así como la desviación estándar de los mismos, con el objetivo de facilitar la interpretación matemática. El IFA oscila en valores del 0 al 1; muestra valores cercanos a 0 (cero) en sitios con función arrecifal baja y valores cercanos a 1 en sitios con función arrecifal alta (Cabral-Tena *et al.*, 2020).

Atributos funcionales e índices de diversidad funcional: Para estimar la diversidad funcional de los ensamblajes de peces, cada especie registrada fue clasificada con base en seis atributos funcionales propuestos por Mouillot *et al.* (2014; Tabla I) relacionados con la biología de cada especie y las funciones ecológicas que éstas proveen dentro del ecosistema arrecifal. Los atributos funcionales fueron tanto nominales como ordinales: 1) longitud corporal estimada en campo (ordinal), 2) movilidad (ordinal), 3) periodo de actividad (nominal), 4) tipo de agregación (ordinal), 5) posición vertical en la columna de agua (ordinal) y 6) dieta (nominal).

Una “entidad funcional” o “grupo funcional” representa una combinación de atributos funcionales (Olán-González *et al.*, 2020), dichas entidades funcionales fueron transformadas en valores numéricos para la construcción de la matriz funcional de todo el ensamblaje de peces. Los índices de diversidad funcional fueron calculados a partir de la matriz funcional y mediante el uso de la paquetería *mFD* del lenguaje de programación R de acuerdo con lo descrito por Magneville *et al.* (2022).

Relación entre IFA e índices de diversidad funcional: Para determinar la relación entre el IFA y la diversidad funcional de los ensamblajes de peces se aplicaron modelos de regresión lineal simple mediante el uso de la paquetería *stats* y la función *lm* del lenguaje de programación R. Para estos modelos se utilizó el IFA por transecto como variable predictora, mientras que los índices de diversidad funcional (riqueza, equidad y divergencia) fueron las variables respuesta. Finalmente, se realizó un análisis de residuales para comprobar la robustez de cada modelo.

RESULTADOS

Índice de Función Arrecifal: La Zona de Restauración presentó los valores más altos de IFA (0.788; Fig. 2, Tabla II), siendo *Pocillopora verrucosa* Ellis & Solander, 1786, la especie que proporcionó el mayor porcentaje de cobertura coralina (24.8 %) y *Porites panamensis* Verrill, 1866, el menor (1.5 %). Por el contrario, Túnel Amarradero presentó los valores mínimos de IFA (0.297; Fig. 2, Tabla II), siendo *P. verrucosa* la que proporcionó el mayor porcentaje de cobertura coralina (2.7 %) y *Tubastraea coccinea* Lesson, 1830, el menor (0.03 %).

Índices funcionales: Los valores máximos de riqueza funcional se observaron en la Zona de Restauración Sur (0.359 ± 0.137; Fig. 2, Tabla II) en donde se registraron 33 especies pertenecientes a 19 familias, las cuales contribuyeron con 18 % de la biomasa total (biomasa en conjunto de todos los sitios de muestreo). Por el contrario, los valores mínimos se observaron en la Zona de Restauración (0.033 ± 0.017; Fig. 2, Tabla II) donde se observaron 18 especies de peces pertenecientes

a 12 familias, las cuales contribuyeron con 17 % de la biomasa total. Plataforma Pavona presentó los valores máximos de equidad funcional (0.592 ± 0.026; Fig. 2, Tabla II), mientras que la Zona de Restauración presentó los valores mínimos (0.516 ± 0.093; Fig. 2, Tabla II). Respecto a la divergencia funcional, Cueva del Muerto presentó los valores máximos (0.940 ± 0.038; Fig. 2, Tabla II), caso contrario a la Zona de Restauración donde se observaron los valores mínimos (0.836 ± 0.031; Fig. 2, Tabla II). Vale la pena recalcar que los valores más bajos de los índices funcionales empleados en el presente estudio fueron observados en la localidad Zona de Restauración.

Relación entre IFA e índices de diversidad funcional: Los modelos de regresión lineal simple no mostraron una relación lineal significativa ($p > 0.05$) entre el índice de función arrecifal y cada uno de los índices de diversidad funcional: riqueza funcional ($p = 0.344$), equidad funcional ($p = 0.088$) y divergencia funcional ($p = 0.611$).

DISCUSIÓN

El Índice de Función Arrecifal presentó su mayor valor en la Zona de Restauración (0.788) mientras que, el valor más bajo fue registrado en Túnel Amarradero (0.297). En ambos sitios, *P. verrucosa* fue la especie de coral que proporcionó el mayor porcentaje de cobertura. *Pocillopora verrucosa* contribuye con una complejidad estructural alta y una tasa de crecimiento alta; no obstante, el porcentaje de cobertura que se presentó en ambos sitios fue casi 10 veces mayor en la Zona de Restauración (sitio con valores máximos) con 24.8 % respecto a Túnel Amarradero (sitio con valores mínimos) con 2.7 %, lo que destaca el papel de la cobertura en el cálculo del IFA (Álvarez-Filip *et al.*, 2011; González-Barrios & Álvarez-Filip, 2018; Cabral-Tena *et al.*, 2020). La presencia de *P. verrucosa* como especie dominante en el sitio y con altos valores de IFA es congruente con lo reportado por Cabral-Tena *et al.* (2020) para el Pacífico Sur mexicano, donde los autores la clasifican dentro del grupo con mayor potencial de IFA debido a su alta tasa de calcificación e índice de rugosidad (complejidad estructural).

La riqueza funcional representa la cantidad del espacio funcional ocupado por una comunidad (Villegier *et al.*, 2008). La Zona de Restauración Sur presentó el valor más alto de riqueza funcional respecto al resto de los sitios de muestreo, lo que corresponde a la envolvente convexa (volumen funcional) de mayor volumen, que sugiere una mayor funcionalidad y cantidad de servicios ecológicos proporcionados por las especies presentes en el sitio. Dicho valor es superior a lo reportado por Olán-González *et al.* (2020) para el Pacífico Oriental Tropical, tanto para arrecifes de las costas de Huatulco (0.27) y La Paz (0.24).

El valor del índice de riqueza funcional (0.359) de la Zona de Restauración Sur puede estar relacionado con la riqueza de las especies presentes en sitio, puesto que los estudios realizados en Huatulco y La Paz presentaron una menor riqueza de especies (25 y 26 especies, respectivamente), mientras que el presente estudio registró 33 especies).

Respecto a la equitatividad funcional, Plataforma Pavona tuvo el valor ligeramente más elevado respecto al valor más bajo registrado en Zona de Restauración. No existe una diferencia notable en este indicador para los sitios que comprende el estudio, sin embargo, los valores oscilan cercanamente al valor medio que puede adquirir el índice por lo que no existe certeza respecto a homogeneidad o heterogeneidad en las biomásas de las especies dentro del espacio funcional (Villegier *et al.*, 2008). Por lo anterior, los valores obtenidos sugieren que la

uniformidad entre sitios es regular ya que no hay sitios donde la uniformidad sea más alta o más baja. Lo observado pudiera relacionarse a la temporalidad del periodo de estudio (mayo 2021), puesto que la equitatividad funcional tiende a ser una métrica de respuesta a una perturbación y a reflejar el grado de la misma; por lo tanto, cambios en la equitatividad funcional en respuesta a eventos ambientales, presiones antropogénicas constantes como turismo y pesca ilegal pudieran verse reflejadas en el índice (Mouillot *et al.*, 2013; Morales-de-Anda *et al.*, 2020). Por su parte, la divergencia funcional entre los seis sitios de muestreo fue alta, debido a que los valores de los índices fueron superiores a 0.83 (Tabla II), lo que sugiere que entre sitios, varios grupos funcionales son distintos y con ello, las funciones que éstos proveen al ecosistema (Villegier *et al.*, 2008).

Finalmente, no se encontró una relación lineal entre el IFA y la diversidad funcional de los ensamblajes de peces, probablemente atribuido a que los sitios poseen una baja cobertura coralina (menor al 13 %; CONANP-SEMARNAT, 2007) y, en estos, la diversidad funcional de peces presenta una débil relación con la tridimensionalidad otorgada por los corales, ya que si bien en el Pacífico mexicano el mejor predictor ecológico es estructural (i.e., IFA), en estos sitios con baja cobertura

coralina otros elementos estructurales del fondo como accidentes fisiográficos, características geológicas y sustratos rocosos podrían proveer tridimensionalidad al área (Morales-de-Anda *et al.*, 2020).

Por ello, se concluye que la funcionalidad física del arrecife no necesariamente influye en la estructura de los ensamblajes de peces, puesto que otras características geológicas y tipos de sustratos pueden suplir dicha tridimensionalidad en lugares con baja cobertura coralina.

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este estudio se realizó gracias al Posgrado de Ecología Marina del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), al Laboratorio de Ecología Marina (LEMAC) de la Universidad de Guadalajara, al proyecto CONACYT CF 2019/866397 “Evaluación de la función geo-ecológica de los arrecifes coralinos del Pacífico mexicano”, a la beca CONACYT de maestría otorgada a LMMJ (CVU 1136029) y a todos los revisores anónimos que enriquecieron con sus sugerencias el contenido de este manuscrito.

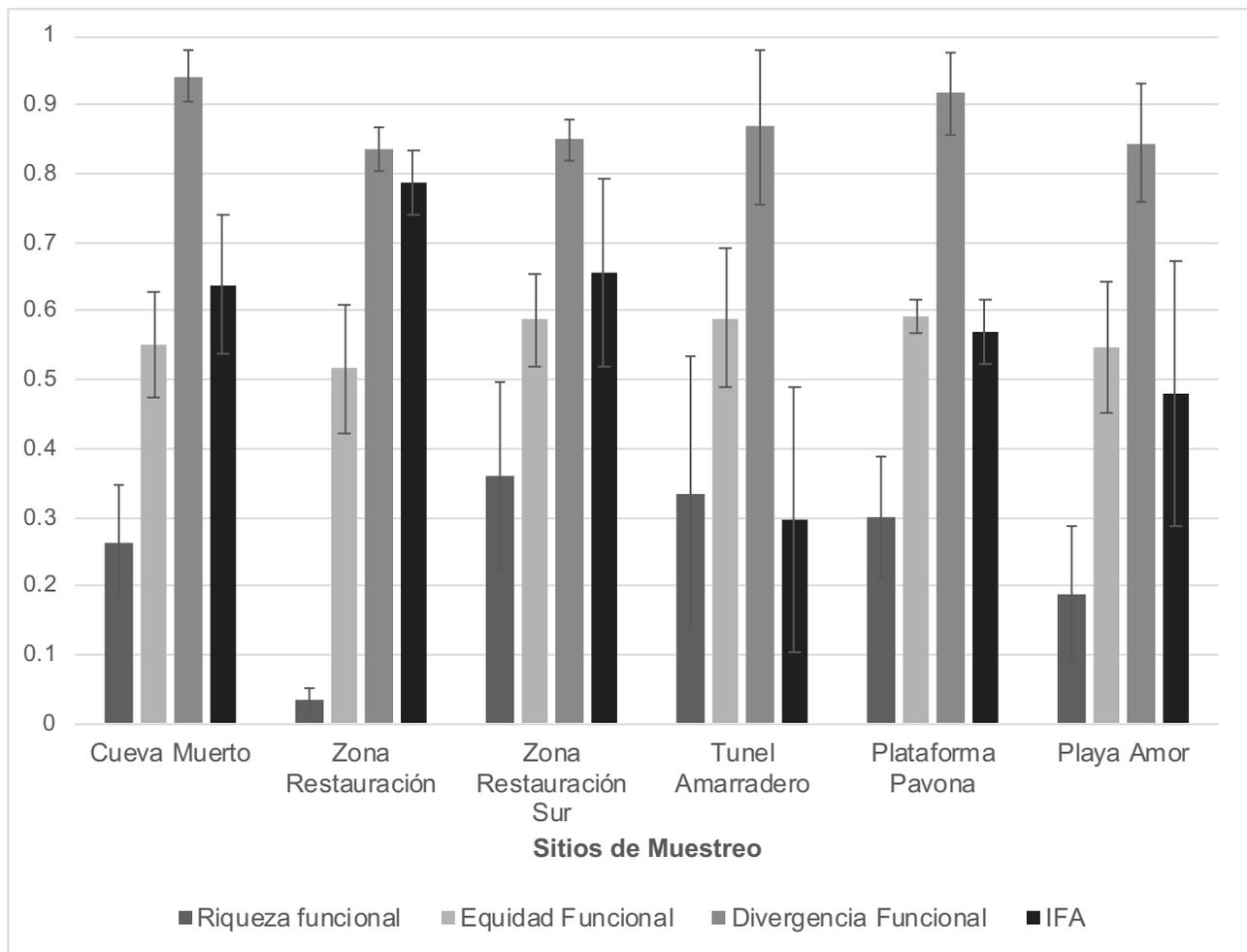


Figura 2. Índices de diversidad funcional (riqueza, equidad, divergencia) de los ensamblajes de peces e Índice de Función Arrecifal (IFA) de Islas Marietas, Nayarit.

Tabla I. Atributos funcionales seleccionados para evaluar la diversidad funcional de peces por sitio de muestreo. Las categorías empleadas para cada atributo fueron adaptadas de Mouillot *et al.* (2014).

Función ecosistémica	Atributo	Categorías
Revela información sobre el comportamiento alimenticio de las especies y el impacto en la cadena alimenticia debido a las interacciones depredador-presa (Halpern & Floeter, 2008; Costa, 2009).	Tamaño corporal (longitud total)	(1) 5 - 7 cm (2) 7.1 - 15 cm (3) 15.1 - 30 cm (4) 30.1 - 50 cm (5) 50.1 - 80 cm (6) > 80 cm
Determina las necesidades energéticas. Especies móviles requieren mayor cantidad de energía por unidad de masa comparadas con especies sedentarias (Mouillot <i>et al.</i> , 2014).	Movilidad	(1) Especies muy vinculadas al sitio (principalmente especies territoriales y crípticas) (2) Especies móviles con un área de distribución pequeña (ej. Chaetodontidae, Pomacanthidae, Pomacentridae no territoriales) (3) Especies muy móviles con un amplio rango de distribución (ej. grandes Labridae y Acanthuridae, Scaridae, Haemulidae, la mayoría de los Lutjanidae y Serranidae) (4) Especies de amplia movilidad y un área de distribución muy grande (especies capaces de viajar grandes distancias, ej. Carangidae, Belontiidae, Lutjanidae y Serranidae muy grandes)
Posee implicaciones en el rol trófico que juegan las especies en la red alimenticia a través de ambos tipos de control (top-down y bottom-up). Especies nocturnas escapan de la depredación de especies depredadoras durante el día y viceversa (Mouillot <i>et al.</i> , 2014).	Periodo de Actividad	(A) Diurnos (B) Nocturnos
Relacionado con el comportamiento y determina la habilidad de escape de los depredadores (Stier <i>et al.</i> , 2013).	Gregarismo	(1) Solitario (1 individuo) (2) Vive en pares (2 individuos) (3) Pequeño-mediano (3 - 50 individuos) (4) Grupos grandes (> 50 individuos)
Provee información detallada de en qué posición de la columna de agua se encuentra el pez la mayor parte del tiempo y cómo el hábitat es usado para actividades básicas como la reproducción, alimentación, etc. (Mouillot <i>et al.</i> , 2014)	Posición vertical del hábitat en la columna de agua	(1) Bentónico (2) Bento-pelágico (3) Pelágico
Revela información acerca del flujo de energía y materia entre las especies (Wiedmann <i>et al.</i> , 2014).	Dieta	(A) Herbívoros-detritívoros (peces que se alimentan de algas y/o de materia orgánica indefinida) (B) Invertívoros dirigidos a invertebrados sésiles (ej., corales, esponjas, ascidias) (C) Invertívoros dirigidos a invertebrados móviles (ej., especies bentónicas como crustáceos) (D) Planctívoros (peces que se alimentan de pequeños organismos en la columna de agua) (E) Piscívoros (incluyendo peces y cefalópodos) (F) Omnívoros (peces para los que tanto el material vegetal como el animal son importantes en su dieta)

Tabla II. Valores (promedio \pm desviación estándar) de índices de diversidad funcional e Índice de Función Arrecifal (IFA) por sitio de muestreo.

Sitios	Riqueza Funcional	Equidad Funcional	Divergencia Funcional	IFA
Cueva del Muerto	0.264 \pm 0.082	0.552 \pm 0.076	0.940 \pm 0.038	0.638 \pm 0.101
Zona Restauración	0.033 \pm 0.017	0.516 \pm 0.093	0.836 \pm 0.031	0.788 \pm 0.047
Zona Restauración Sur	0.359 \pm 0.137	0.587 \pm 0.068	0.849 \pm 0.030	0.654 \pm 0.136
Túnel Amarradero	0.335 \pm 0.198	0.590 \pm 0.100	0.869 \pm 0.112	0.297 \pm 0.192
Plataforma Pavona	0.300 \pm 0.086	0.592 \pm 0.026	0.916 \pm 0.060	0.569 \pm 0.047
Playa Amor	0.19 \pm 0.099	0.549 \pm 0.096	0.844 \pm 0.086	0.481 \pm 0.194

REFERENCIAS

- ÁLVAREZ-FILIP, L., N. K. DULVY, I. M. CÔTEÉ, A. R. WATKINSON & J. A. GILL. 2011. Coral identity underpins architectural complexity on Caribbean reefs. *Ecological Applications* 21 (6): 2223-2231. DOI: 10.1890/10-1563.1
- CABRAL-TENA, R. A., A. LÓPEZ-PÉREZ, L. ÁLVAREZ-FILIP, F. J. GONZÁLEZ-BARRIOS, L. E. CALDERÓN-AGUILERA & C. APARICIO-CID. 2020. Functional potential of coral assemblages along a typical Eastern Tropical Pacific reef tract. *Ecological Indicators* 119: 106795. DOI: 10.1016/j.ecoind.2020.106795
- CONANP-SEMARNAT. 2007. *Programa de Conservación y Manejo: Parque Nacional Islas Marietas*. CONANP, SEMARNAT, México, 155 p.
- COSAIN-DÍAZ, J. A., J. D. J. A. TORTOLERO-LANGARICA, A. P. RODRÍGUEZ-TRONCOSO, E. BAUTISTA-GUERRERO, D. M. ANTUNA-ROMAN, P. SALAZAR-SILVA & A. L. CUPUL-MAGAÑA. 2021. Internal bioerosion in massive corals associated with reef communities in the northeastern tropical Pacific: The effect of intrinsic and extrinsic factors. *Ciencias Marinas* 47 (1): 33-47. DOI: 10.7773/cm.v47i1.3047
- COSTA, G. C. 2009. Predator size, prey size, and dietary niche breadth relationships in marine predators. *Ecology* 90 (7): 2014-2019. DOI: 10.1890/08-1150.1
- CUPUL-MAGAÑA, A. L., O. S. ARANDA, P. MEDINA-ROSAS & V. O. VIZCAINO. 2000. Comunidades coralinas de las Islas Marietas, Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. *Mexicoa* 2 (1): 15-22.
- DE BELLO, F., C. P. CARMONA, A. T. DIAS, L. GÖTZENBERGER, M. MORETTI & M. P. BERG. 2021. *Handbook of trait-based ecology: from theory to R tools*. Cambridge University Press, Cambridge, 312 p.
- FROESE, R. & D. PAULY. 2022. FishBase. World Wide Web electronic publication. Disponible en línea en: www.fishbase.org (consultado el 01 febrero 2022)
- GONZÁLEZ-BARRIOS, F. J. & L. ÁLVAREZ-FILIP. 2018. A framework for measuring coral species-specific contribution to reef functioning in the Caribbean. *Ecological Indicators* 95: 877-886. DOI: 10.1016/j.ecoind.2018.08.038
- GONZÁLEZ-BARRIOS, F. J., R. A. CABRAL-TENA & L. ÁLVAREZ-FILIP. 2021. Recovery disparity between coral cover and the physical functionality of reefs with impaired coral assemblages. *Global Change Biology* 27 (3): 640-651. DOI: 10.1111/gcb.15431
- GONZÁLEZ-PABÓN, M. A., J. A. TORTOLERO-LANGARICA, L. E. CALDERÓN-AGUILERA, E. SOLANA-ARELLANO, A. P. RODRÍGUEZ-TRONCOSO, A. L. CUPUL-MAGAÑA & R. A. CABRAL-TENA. 2021. Low calcification rate, structural complexity, and calcium carbonate production of *Pocillopora* corals in a biosphere reserve of the central Mexican Pacific. *Marine Ecology* 42 (6): e12678. DOI: 10.1111/maec.12678
- HALPERN, B. S. & S. R. FLOETER. 2008. Functional diversity responses to changing species richness in reef fish communities. *Marine Ecology Progress Series* 364: 147-156. DOI: 10.3354/meps07553
- MAGNEVILLE, C., N. LOISEAU, C. ALBOUY, N. CASAJUS, T. CLAVERIE, A. ESCALAS & S. VILLÉGER. 2022. mFD: an R package to compute and illustrate the multiple facets of functional diversity. *Ecography* 2022 (1): e05904. DOI: 10.1111/ecog.05904
- MORALES-DE ANDA, D., A. L. CUPUL-MAGAÑA, F. A. RODRÍGUEZ-ZARAGOZA, C. AGUILAR-BETANCOURT, G. GONZÁLEZ-SANSÓN & A. P. RODRÍGUEZ-TRONCOSO. 2020. Reef fish functional composition and metrics reveal spatial differences in three protected islands in the Eastern Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 635: 139-150. DOI: 10.3354/meps13186
- MOUILLOT, D., N. A. GRAHAM, S. VILLÉGER, N. W. MASON & D. R. BELLWOOD. 2013. A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in Ecology & Evolution* 28 (3): 167-177. DOI: 10.1016/j.tree.2012.10.004
- MOUILLOT, D., S. VILLÉGER, V. PARRAVICINI, M. KULBICKI, J. E. ARIAS-GONZÁLEZ, M. BENDER, P. CHABANET, S. R. FLOETER, A. FRIEDLANDER, L. VIGLIOLA & D. R. BELLWOOD. 2014. Functional over-redundancy and high functional vulnerability in global fish faunas on tropical reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (38): 13757-13762. DOI: 10.1073/pnas.131762511
- OLÁN-GONZÁLEZ, M., H. REYES-BONILLA, L. ÁLVAREZ-FILIP, H. PÉREZ-ESPAÑA & D. OLMIER. 2020. Fish diversity divergence between tropical eastern pacific and tropical western Atlantic coral reefs. *Environmental Biology of Fishes* 103 (11): 1323-1341. DOI: 10.1007/s10641-020-01026-y
- Olivier, D., N. Loiseau, D. Petatán-Ramírez, O. T. Millán, A. N. Suárez-Castillo, J. Torre, A. Munguia-Vega & H. Reyes-Bonilla. 2018. Functional biogeography of the reef fishes of the islands of the Gulf of California: integrating functional divergence into marine conservation. *Global Ecology and Conservation* 16: e00506. DOI: 10.1016/j.gecco.2018.e00506

- RINCÓN-DÍAZ, M. P., S. J. PITTMAN, I. ARISMENDI & S. S. HEPELL. 2018. Functional diversity metrics detect spatio-temporal changes in the fish communities of a Caribbean marine protected area. *Ecosphere* 9 (10): e02433. DOI: 10.1002/ecs2.2433
- SOTELO-CASAS, R. C., A. L. CUPUL-MAGAÑA & A. P. RODRÍGUEZ-TRONCOSO. 2014. First record of the genus *Clunio* (Diptera: Chironomidae) associated with the coral communities at Islas Marietas, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85 (1): 14-23. DOI: 10.7550/rmb.38165
- STIER, A. C., S. W. GEANGE & B. M. BOLKER. 2013. Predator density and competition modify the benefits of group formation in a shoaling reef fish. *Oikos* 122: 171-178. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2012.20726.x
- TORTOLERO-LANGARICA, J. J. A., A. P. RODRÍGUEZ-TRONCOSO, J. P. CARRICART-GANIVET & A. L. CUPUL-MAGAÑA. 2016. Skeletal extension, density, and calcification rates of massive free-living coral *Porites lobata* Dana, 1846. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 478: 68-76.
- TORTOLERO-LANGARICA, J. J. A., J. P. CARRICART-GANIVET, A. L. CUPUL-MAGAÑA & A. P. RODRÍGUEZ-TRONCOSO. 2017. Historical insights on growth rates of the reef-building corals *Pavona gigantea* and *Porites panamensis* from the Northeastern tropical Pacific. *Marine Environmental Research* 132: 23-32. DOI: 10.1016/j.marenvres.2017.10.004
- TORTOLERO-LANGARICA, J. A., A. P. RODRÍGUEZ-TRONCOSO, A. L. CUPUL-MAGAÑA & B. RINKEVICH. 2020. Micro-fragmentation as an effective and applied tool to restore remote reefs in the Eastern Tropical Pacific. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (18): 6574. DOI: 10.3390/ijerph17186574
- VILLÉGER, S., N. W. MASON & D. MOUILLOT. 2008. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* 89 (8): 2290-2301. DOI: 10.1890/07-1206.1
- VIOLLE, C., M. L. NAVAS, D. VILE, E. KAZAKOU, C. FORTUNEL, I. HUMMEL & E. GARNIER. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116 (5): 882-892. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x
- WIEDMANN, M., M. ASCHAN, G. CERTAIN, A. DOLGOV, M. GREENACRE, E. JOHANNESSEN, B. PLANQUE & R. PRIMICERIO. 2014. Functional diversity of the barents sea fish community. *Marine Ecology Progress Series* 495: 205-218. DOI: 10.3354/meps10558