

DIVERSIDAD DE OFIUROS (ECHINODERMATA: OPHIUROIDEA) ASOCIADOS A SUSTRATOS CORALINOS EN EL PNN GORGONA (PACÍFICO COLOMBIANO)

Valentina Orozco Llanos

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

correo electrónico: valentina.orozco@correounivalle.edu.co

Edgardo Londoño Cruz, Dr.Sc.

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

correo electrónico: edgardo.londono@correounivalle.edu.co

Bellineth Valencia Ph.D.

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

correo electrónico: bellineth.valencia@correounivalle.edu.co

RESUMEN

Los arrecifes coralinos son ecosistemas diversos y complejos, uno de sus componentes principales de diversidad son los invertebrados, destacándose entre ellos los equinodermos. La clase Ophiuroidea agrupa a los animales más diversos, móviles y crípticos de los equinodermos; sin embargo, el conocimiento que se tiene acerca de este grupo en los ecosistemas coralinos en cuanto a su diversidad y ecología es fraccionado. El objetivo de esta investigación fue caracterizar la diversidad de ofiuros asociados a sustratos coralinos vivos y muertos en el Parque Nacional Natural (PNN) Gorgona. Se realizaron muestreos en dos arrecifes coralinos: La Azufrada (70 puntos) y El Muelle (10 puntos) en dos tipos de sustrato: coral vivo y coral muerto. Se encontraron ocho especies de ofiuros: *Ophiactis savignyi*, *Ophiactis* sp., *Ophiocomella alexandri*, *Ophiothrix spiculata*, *Ophiocoma aethiops*, *Ophiothela mirabilis*, *Amphipholis* sp. y *Ophiocomella sexradia*, la cual constituye un nuevo registro para el Pacífico colombiano. Se calcularon índices de diversidad para cada arrecife y tipo de sustrato y se implementaron análisis estadísticos (ANOVA) con el fin de

evaluar el efecto del factor arrecife sobre la biomasa, la abundancia y la riqueza. Finalmente se encontró que no existen diferencias en cuanto a la composición de especies de ofiuros entre los arrecifes coralinos del PNN Gorgona.

Palabras clave: Echinodermata, Ophiuroidea, arrecifes coralinos, Pacífico colombiano, Isla Gorgona.

ABSTRACT

Coral reefs are diverse and complex ecosystems, one of their main components of diversity are invertebrates, among which echinoderms stand out. The class Ophiuroidea groups the most diverse, mobile, and cryptic animals of the echinoderms; however, the knowledge we have about this group in coral ecosystems in terms of their diversity and ecology is fragmented. The objective of this research was to characterize the diversity of ophiuroids associated with live and dead coral substrates in the Gorgona National Natural Park (NNP). Sampling was carried out in two coral reefs: La Azufrada (70 points) and El Muelle (10 points) in two types of substrates: live coral and dead coral. Eight species of brittle stars were found: *Ophiactis savignyi*, *Ophiactis* sp., *Ophiocomella alexandri*, *Ophiothrix spiculata*, *Ophiocoma aethiops*, *Ophiothela mirabilis*, *Amphipholis* sp. and *Ophiocomella sexradia*, which is a new record for the Colombian Pacific. Diversity indices were calculated for each reef and substrate type and statistical analyses (ANOVA) were implemented to evaluate the effect of the reef factor on biomass, abundance, and richness. Finally, it was found that there are no differences in the composition of ofiuroids species among the coral reefs of NNP Gorgona.

Key words: Echinodermata, Ophiuroidea, Coral reefs, Colombian Pacific, Isla Gorgona.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos se caracterizan por ser uno de los ecosistemas más complejos y diversos, en los cuales la biodiversidad está comúnmente dominada por invertebrados, destacándose entre estos el filo Echinodermata (Granja-Fernández *et al.*, 2014). Estos animales son de gran importancia en los ecosistemas coralinos ya que cumplen roles estructurales y funcionales claves, como, por ejemplo, bioerosionar el andamio arrecifal y recircular los nutrientes (Benavides-Serrato

et al., 2013; Blanchet-Aurigny *et al.*, 2012), de tal manera que un cambio en la abundancia y distribución de algunas especies conlleva a un impacto significativo en el flujo de materia orgánica y la energía de los ecosistemas (Granja-Fernández *et al.*, 2022). Por lo tanto, el conocimiento de la ecología de este grupo contribuye a comprender la estructura y funcionamiento del ecosistema coralino (Alvarado y Chiriboga, 2008). Un componente importante de la fauna arrecifal es la criptofauna, lo cual corresponde a los animales que se refugian en las fisuras y cavidades de las estructuras arrecifales (Enochs, 2012). Muchas especies de ofiuroides hacen parte de la criptofauna y son poco conocidas.

La clase Ophiuroidea (filo Echinodermata), que incluye a los ofiuros y estrellas canasta, agrupa a los animales más móviles, crípticos y diversos de todo el filo (Béarez y Bujard, 2014; Gondim *et al.*, 2013). A pesar de que los ofiuros son comunes y un componente básico en el funcionamiento trófico de diversos ecosistemas bentónicos (Granja-Fernández *et al.*, 2014), el interés científico para describir la diversidad y ecología de este grupo no ha sido constante, lo que ha generado un conocimiento fraccionado (Gondim *et al.*, 2013).

El Pacífico Oriental cuenta con una diversidad de ofiuros relativamente baja; sin embargo, se reconoce un alto endemismo (Stöhr *et al.*, 2012). En el Pacífico Oriental Tropical (POT) el conocimiento que se tiene acerca de la diversidad de los equinodermos -y en particular de los ofiuros- se ha enfocado en los patrones de distribución y composición de especies en localidades de Costa Rica (Alvarado y Fernández, 2005; Alvarado y Chiriboga, 2008), Perú (Granja-Fernández y Hooker, 2020), México (Solís-Marín *et al.*, 2014; Granja-Fernández *et al.*, 2014; Granja-Fernández *et al.*, 2015; Granja-Fernández *et al.*, 2015; Granja-Fernández *et al.*, 2017; Granja-Fernández *et al.*, 2022) y Colombia (Cohen-Rengifo *et al.*, 2009; Neira *et al.*, 1992; Neira y Cantera, 2005; Arias Galvez, 2012; Borrero-Pérez y Vanegas-González, 2020). Sin embargo, en la

costa del Pacífico colombiano, aspectos como la ecología y estructura poblacional de los equinodermos han sido poco abordados (Valencia-Giraldo *et al.*, 2013).

El Parque Nacional Natural (PNN) Gorgona (Pacífico colombiano) cuenta con arrecifes coralinos pequeños, distribuidos en parches y con un desarrollo modesto; sin embargo, estos arrecifes están dentro de los mejor desarrollados del POT (Zapata y Vargas-Ángel, 2003). Los arrecifes coralinos comúnmente albergan gran abundancia de ofiuros, pues al ser organismos de hábitos crípticos aprovechan la alta heterogeneidad estructural que estos proporcionan (Granja-Fernández *et al.*, 2014). Actualmente en el PNN Gorgona hay reportadas 44 especies de equinodermos (Muñoz y Londoño-Cruz, 2016; Londoño-Cruz *et al.*, 2018; Londoño-Cruz, 2020; Benavides-Serrato *et al.*, 2013) de las cuales 13 son ofiuroides. Este estudio busca contribuir al conocimiento de los ofiuros presentes en la criptofauna de sustratos coralinos vivos y muertos del PNN Gorgona.

MÉTODOS

Área de estudio

El PNN Gorgona (2,96667°N; -78,18194°W) se localiza a 30 km de la costa Pacífica colombiana, tiene una extensión de 616,8 km², de los cuales el 2,4% es terrestre y el 97,6% es marino (Díaz *et al.*, 2001). El clima se caracteriza por altos niveles de precipitación (4.164 – 8.176 mm·año), alta humedad relativa (90%) y una temperatura promedio del aire de 26°C (Blanco, 2009; Díaz *et al.*, 2001). Las aguas que rodean la isla tienen una temperatura y salinidad promedio mensual que oscilan entre 26-28°C y 28-35, respectivamente (Giraldo *et al.*, 2008). Adicionalmente, la visibilidad anual oscila entre 6 y 12 m (Cardona-Gutiérrez y Londoño-Cruz, 2020; Giraldo y Valencia, 2012).

El PNN Gorgona comprende las formaciones coralinas más desarrolladas del Pacífico colombiano, las cuales se encuentran en el lado suroriental de la isla y se caracterizan por estar dominadas por especies de coral del género *Pocillopora*, aunque también se pueden encontrar algunas colonias de especies masivas de los géneros *Pavona*, *Porites* y *Gardineroseris* (Zapata y Vargas-Ángel, 2003). Los muestreos para este trabajo se hicieron en las formaciones arrecifales conocidas como La Azufrada y El Muelle. La Azufrada, tiene una extensión aproximada de 0,112 km² y una profundidad que oscila entre 4 m (en la planicie) y 12 m (en el talud) durante marea alta (Zapata, 2001; Zapata y Vargas-Ángel, 2003; Cardona-Gutiérrez y Londoño-Cruz, 2020). Este arrecife es uno de los más estudiados de la isla y se caracteriza por presentar un buen estado de conservación con una cobertura coralina relativamente alta (55-66%) (Zapata, 2017). En contraste, El Muelle es el arrecife más pequeño de la isla con una extensión aproximada de 0,0016 km² (Zapata, 2001). Independiente de su tamaño, El Muelle es similar en estructura y zonación a los otros arrecifes de borde encontrados en la isla, presentando una planicie arrecifal extensa, seguida por un frente empinado y un talud arenoso con desechos bioclásticos y escombros coralinos a 6 m de profundidad (Zapata y Vargas-Ángel, 2003).

Muestreo

Los puntos de muestreo se establecieron sobre mapas aéreos de los arrecifes mencionados, obtenidos a partir de mapeo fotogramétrico mediante dron. En La Azufrada se establecieron 100 puntos de muestreo, los cuales se separaron entre sí por una distancia aproximada de 30 metros. Para El Muelle se establecieron 10 puntos de muestreo, separados por una distancia entre 10 y 15 m entre sí. En cada punto de muestreo se ubicó un cuadrante de 1 m², donde se recolectó el sustrato coralino vivo y muerto.

Dentro de cada cuadrante se recolectó una colonia viva de coral del género *Pocillopora*, la cual se envolvió en una nasa de tela negra y posteriormente se guardó en una bolsa Ziploc para evitar la pérdida de organismos. Luego se procedió a recolectar el coral muerto en un área de aproximadamente 900 cm², el material en esta área se recolectó en recipientes plásticos hasta alcanzar un volumen aproximado de 3,5 Litros.

Procesamiento de muestras

- Coral vivo: las colonias recolectadas fueron sumergidas en agua de mar para poder realizar la extracción manual de los organismos visibles utilizando pinzas y goteros. Este procedimiento evitó dañar el tejido de las colonias y permitió que estas fueran regresadas al arrecife en óptimas condiciones.
- Coral muerto: los fragmentos recolectados se sumergieron en agua de mar con un poco de aceite de clavo con el fin de facilitar la extracción de los organismos crípticos.

En adición, el agua marina donde se sumergió cada muestra (tanto de coral vivo como muerto) fue tamizada usando un tamiz de 500 micras con el fin de recolectar los organismos más pequeños. Los especímenes de ofiuroideos presentes en las muestras fueron separados, preservados en alcohol al 96% y almacenados en recipientes identificados con el tipo de sustrato (vivo o muerto) y arrecife de recolección.

Análisis de muestras

Para el arrecife La Azufrada fueron analizadas 70 de las 100 muestras obtenidas, mientras que para el arrecife El Muelle se analizaron las diez muestras. De los organismos recolectados se seleccionaron los individuos que se encontraban en mejor estado de conservación, con el fin de ser incluidos en la Colección de Referencia de Biología Marina de la Universidad del Valle. Los individuos restantes, diferenciados en morfoespecies, fueron contados y luego destinados para realizar los análisis de biomasa. Los Ophiuroidea almacenados en la Colección de Referencia de Biología Marina de la Universidad del Valle fueron revisados con el fin de identificar a nivel de especie las diferentes morfoespecies.

Análisis de datos

A cada muestra se le calculó la riqueza, abundancia, biomasa y los índices ecológicos de heterogeneidad (Shannon-Wiener, H'), dominancia (Simpson) y equidad (Pielou).

La biomasa se estimó como la diferencia entre el peso seco y el peso de cenizas. Este procedimiento se realizó separando en cada muestra los individuos de cada especie, los cuales se pesaron usando una balanza analítica ($\pm 0,0001$). Inicialmente se removió el exceso de humedad usando papel secante, luego los individuos fueron puestos en sobres de papel aluminio previamente pesados. Las muestras fueron sometidas a una temperatura de 60°C durante 48 horas en un horno eléctrico para obtener el peso seco. Finalmente, la materia orgánica se quemó usando una mufla a una temperatura de 500°C durante 5 horas para obtener el peso de cenizas.

Las muestras de coral vivo y de coral muerto fueron analizadas por separado debido a que estas no eran independientes, lo cual se debe al diseño experimental utilizado. En adición, la diferencia entre

los tamaños de las muestras de coral vivo y muerto (las muestras de coral muerto provienen de un área de 900 cm², mientras que las muestras de coral vivo se recolectaron de colonias con un tamaño promedio de $86,8 \pm 40,1$ cm² en La Azufrada y de $78,4 \pm 30,9$ cm² en El Muelle) requería de extrapolaciones que hacían las comparaciones poco realistas. Dado lo anterior, los análisis estadísticos buscaron comparar las variables de respuesta (biomasa, abundancia y diversidad) entre los arrecifes (El Muelle vs La Azufrada) dentro de cada tipo de sustrato y no entre sustratos.

Las variables biomasa (transformada con raíz cuadrada para obtener normalidad) y diversidad (N1) fueron analizadas utilizando modelos generales linealizados con estimación por mínimos cuadrados (GLS), mientras que la abundancia fue analizada con un modelo general linealizado (GLM) bajo una distribución binomial negativa. Con el propósito de valorar el efecto del factor arrecife, se utilizaron análisis de varianza (ANOVA) sobre los modelos.

Análisis exploratorios de datos

A pesar de que las comparaciones entre tipo de sustrato podrían generar resultados poco realistas (datos dependientes, diferentes áreas entre coral vivo y coral muerto), se decidió estandarizar la abundancia de los ofiuros en coral vivo a un área de 900 cm² para realizar un análisis exploratorio de similaridad (ANOSIM) utilizando Bray-Curtis como medida de distancia. Se realizaron dos ANOSIM uno para comparar entre arrecifes (La Azufrada y El Muelle) y otro entre sustratos (coral vivo y coral muerto), cada uno con 9999 permutaciones. Adicionalmente, se realizó un análisis de ordenamiento (escalamiento multidimensional no métrico - nMDS) para entender las relaciones entre las muestras. Finalmente, se empleó un análisis de especies indicadoras con el fin de

identificar cuáles especies predominan en asociación con cada tipo de sustrato o arrecife. El análisis de los datos se realizó empleando el software de licencia libre R versión 4.2.2 (R Core Team, 2022).

RESULTADOS

Riqueza y composición de especies

Durante este estudio se identificaron ocho especies agrupadas en dos órdenes (Amphilepidida y Ophiacanthida) y cuatro familias (Ophiactidae, Ophiotrichidae, Amphiuridae y Ophiocomidae) (Tabla 1). La familia con mayor riqueza fue Ophiocomidae, de la cual se identificaron 3 especies, *Ophiocoma aethiops*, *Ophiocomella alexandri*, *Ophiocomella sexradia*, siendo esta última un nuevo registro para el Pacífico colombiano. En contraste, la familia con menor riqueza fue Amphiuridae, con un solo morfo identificado como *Amphipholis* sp. La especie podría corresponder a *Amphipolis squamata*; sin embargo, la identificación hasta especie no fue posible debido al pequeño tamaño de los individuos recolectados.

El arrecife con mayor riqueza fue La Azufrada, en donde el coral vivo presentó la mayor riqueza con ocho especies y siete en coral muerto (Tabla 1), la única especie que no se registró en coral muerto fue *Amphipholis* sp. En el arrecife El Muelle se encontraron cuatro especies en coral muerto (*O. savignyi*, *O. sexradia*, *O. spiculata* y *O. mirabilis*) y tres especies en coral vivo, siendo *O. mirabilis* la única especie no encontrada en el coral vivo.

Descripción morfológica de las especies

Orden Amphilepida O'Hara, Hugall, Thuy, Stöhr & Martynov, 2017

Familia Ophiactidae Matsumoto, 1915

Género Ophiactis Lütken, 1856

Ophiactis savignyi Müller & Troschel, 1842

Diámetro del disco (DD) aproximadamente 3,9 mm y longitud del brazo (LB) aproximadamente 18,4 mm (Mireles-Velázquez, et al., 2021). En este estudio se revisaron 440 especímenes, los cuales presentan disco de forma redondeada cubierto por escamas pequeñas con algunas espinas en la parte aboral y en el margen. Escudos radiales proporcionalmente grandes, escudos orales pequeños más largos que anchos de forma romboide. Seis brazos largos, placas dorsales ovaladas más largas que anchas, espinas romas en los brazos. La coloración de los organismos fijados en alcohol es verde oliva con manchas color beige en el disco y los brazos con franjas color verde oliva y beige (Fig. 1a y b).

Ophiactis sp. Lütken, 1856

En este estudio se revisaron 565 especímenes de esta morfo especie. Se caracteriza por tener disco de forma redondeada cubierto de escamas, sin espinas. Escudos orales en forma romboide, más largos que anchos y de puntas redondeadas. Seis brazos alargados con placas dorsales ovaladas más anchas que largas, espinas romas en los brazos. Coloración de los individuos fijados en alcohol, disco rosa con manchas beige y los brazos con bandas de color beige y rosa (Fig. 1c y d).

***Familia Ophiotrichidae* Ljungman, 1867**

***Género Ophiothrix* Müller & Troschel, 1840**

***Ophiothrix (Ophiothrix) spiculata* Le Conte, 1851**

Durante este estudio se revisaron 20 especímenes. Se caracteriza por tener el disco de forma pentagonal con las puntas redondeadas y con espinas. Escudos orales más anchos que largos y redondeados. Escudos aborales pequeños, de forma triangular. Presenta pailas dentales a manera de racimo. Cinco brazos con placas ventrales de forma romboide, más anchas que largas. Espinas de los brazos translucidas y acerradas, esta característica la distingue de su congénere *O. rudis*. Escama tentacular pequeña y circular. Coloración en vivo tiene variaciones entre colores café, rojo, naranja o amarillo. Cuando se fijan en alcohol su coloración cambia a tonos violeta (Fig. 1e y f).

***Género Ophiothela* Verrill, 1867**

***Ophiothela mirabilis* Verrill, 1867**

Durante este estudio se revisaron 19 especímenes. Se caracteriza por tener el disco lobulado (DD 1,3 a 4,3 mm aproximadamente) cubierto de gránulos de distintos tamaños (Granja-Fernández, et al., 2014). Carece de papila oral, presenta papilas dentales redondeadas en forma de racimo. Presenta seis brazos enrollados que le permiten aferrarse en las espinas de erizos o ramas de gorgonias; se aprecian espinas de los brazos a modo de gancho. Coloración varía entre naranja y amarillo, mientras que los individuos fijados en alcohol tienen coloraciones violetas, rosa o blanca, (Fig. 1g y h).

***Familia Amphiuridae* Ljungman, 1867**

***Amphipholis* sp. Ljungman, 1866**

Durante este estudio se revisaron 2 especímenes de esta morfo especie. Presenta disco de forma circular, cubierto por escamas de color blanco algunas de color más oscuro formando ornamentaciones a modo de círculo en la base de los cinco brazos y en la mitad del disco. Escudos orales en forma de rombo con puntas redondeadas, más anchos que largos. Cinco brazos largos y delgados, con espinas puntiagudas, la coloración de los individuos fijados en alcohol fue blanca. Debido al tamaño tan pequeño de los ejemplares recolectados, no fue posible llegar a la identificación hasta especie (Fig. 2a y b).

***Orden Ophiacanthida* O'Hara, Hugall, Thuy, Stöhr & Martynov, 2017**

***Familia Ophiocomidae* Ljungman, 1867**

***Género Ophiocomella* A.H. Clark, 1939**

***Ophiocomella sexradia* Duncan, 1887**

Se revisaron 460 especímenes. Esta especie es un nuevo registro para el Pacífico colombiano. Disco con forma hexagonal cubierto por gránulos pequeños y robustos distribuidos de manera más o menos uniforme, escudos orales con forma ovalada, más largos que anchos. Presenta seis brazos robustos, placas aborales de los brazos ovaladas o con forma similar a una gota, placas orales de los brazos de forma rectangular más larga que ancha con las puntas redondeadas. Espinas de los brazos cortas, robustas y romas. Coloración en alcohol amarillo pálido (Fig. 2c y d).

***Ophiocomella alexandri* Lyman, 1860**

Durante este estudio se revisaron 18 especímenes. Disco de forma circular (DD 1,3 a 25,2 mm) (Granja-Fernández *et al.*, 2014) cubierto en su totalidad por gránulos, escudos radiales e interrados cubiertos por gránulos similar que en la parte aboral del disco. Escudos orales circulares. Presenta cinco brazos robustos y alargados, espinas de los brazos cortas y romas. Coloración en alcohol varía entre amarillo claro y marrón oscuro, los brazos con bandas color marrón amarillento a marrón oscuro (Fig. 2e y f).

***Género Ophiocoma* L. Agassiz, 1836**

***Ophiocoma aethiops* Lütken, 1859**

Durante este estudio se revisaron 16 especímenes. Disco de forma circular (DD 1,1 a 29,4 mm) (Granja-Fernández *et al.*, 2014) cubierto de gránulos pequeños que van hasta la base de los brazos, escudos radiales e interrados cubiertos por granulación similar. Escudos orales ovalados, más largos que anchos. Cinco brazos robustos y largos, placas aborales de los brazos ovaladas, más anchas que largas, placas orales de los brazos en forma similar. Espinas de los brazos robustas y de punta roma. Coloración negra o marrón oscuro (Fig. 2g y h).

Índices ecológicos

Al evaluar los resultados obtenidos de los índices ecológicos se observa que en general son similares entre los arrecifes. Para el coral muerto, el número de Hill (N1) que se obtuvo en La Azufrada fue mayor que en El Muelle, para el coral vivo el N1 en La Azufrada fue mayor que en

El Muelle. El índice de Simpson presenta un comportamiento similar indicando que la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en un muestreo al azar para el coral muerto en La Azufrada es mayor que en El Muelle al igual que en el coral vivo en La Azufrada se tiene una probabilidad mayor que en El Muelle. El índice de heterogeneidad de Pielou en el coral muerto para La Azufrada fue mayor que para El Muelle, el mismo comportamiento se observa en el coral vivo donde La Azufrada tuvo mayor heterogeneidad que El Muelle (Tabla 2).

Porcentaje de contribución a la abundancia

Las especies que registraron mayor abundancia en el coral muerto en La Azufrada fueron *Ophiactis* sp. (37%), *O. savignyi* (34%) y *O. sexradia* (27%). Adicionalmente, se encontraron las especies *O. spiculata*, *O. mirabilis*, *O. alexandri* y *O. aethiops*; sin embargo, las abundancias de estas especies fueron menores (<1 %). En contraste, Las especies más abundantes en El Muelle fueron, *O. sexradia* (50%), *O. savignyi* (25%), *Ophiactis* sp. (20%), *O. spiculata* y *O. mirabilis* (<2,5% cada una) (fig. 3a).

Por otro lado, las especies que se registraron con mayor abundancia en el coral vivo en La Azufrada fueron *O. spiculata* (25%), seguida por *O. savignyi* (23%), *Ophiactis* sp. (17%), *O. sexradia* y *O. mirabilis* (16% cada una), siendo estas cinco especies dominantes en este tipo de sustrato. Sumado a esto se registra con menor abundancia las especies *O. alexandri*, *O. aethiops* (<2%) y *Amphipholis* sp. (0,6%). En contraste, en El Muelle, el porcentaje de contribución a la abundancia fue similar para *O. spiculata* (46%) y *O. sexradia* (42%), mientras que la contribución de *O. savignyi* (13%) fue menor (fig. 3 b).

Comparación entre arrecifes

Abundancia y biomasa

Los análisis estadísticos para coral muerto evidenciaron que el factor arrecife tiene efectos significativos en las variables abundancia ($p < 0,001$) y biomasa ($p < 0,001$), siendo en ambos casos los valores significativamente mayores en La Azufrada (fig. 4). En contraste, para el coral vivo no se evidenciaron diferencias significativas entre los arrecifes para las variables abundancia ($p = 0,222$) y biomasa ($p = 0,938$) (fig. 4).

Diversidad (N1)

No se encontraron diferencias significativas entre los arrecifes La Azufrada y El Muelle para la variable diversidad (N1), ni en el coral muerto ($p = 0,1683$) (Fig. 4) ni en el coral vivo ($p = 0,052$) (fig. 4).

Análisis exploratorios

El análisis de similitud (ANOSIM) mostró que hay diferencias significativas en la composición del ensamblaje de ofiuros entre los arrecifes ($r = 0,1581$, $p = 0,02$) y entre el tipo de sustrato ($r = 0,2888$, $p < 0,001$). La prueba de especies indicadoras muestra que la especie *Ophiactis* sp. se encuentra asociada al sustrato coralino muerto ($p = 0,001$), mientras que en el sustrato coralino vivo las especies asociadas son *O. spiculata* ($p = 0,001$) y *O. mirabilis* ($p = 0,005$) (fig. 5).

DISCUSIÓN

Riqueza y composición de especies

Existen 13 especies de ofiuros reportadas para el PNN Gorgona (Benavides-Serrato et al., 2013). Cinco de las especies reportadas en este estudio (*Ophiocoma aethiops*, *Ophiocomella alexandri*, *Ophiactis savignyi*, *Ophiothella mirabilis* y *Ophiothrix spiculata*) están dentro de dicho listado, de tal manera que las tres especies restantes (*Ophiactis* sp., *Amphipholis* sp., *Ophiocomella sexradia*) son nuevos reportes y contribuyen al conocimiento sobre la riqueza de ofiuros en el PNN Gorgona, con lo que se alcanza una riqueza de 16 especies para esta área protegida.

Biomasa y abundancia de ofiuros

A pesar de que La Azufrada y El Muelle presentan características similares en cuanto a estructura, zonación y ser dominados por corales del género *Pocillopora* (Zapata, 2001), se observó que tanto la abundancia como la biomasa de ofiuros se vio afectada solo cuando el sustrato considerado fue coral muerto. Estas diferencias pueden atribuirse a que, en El Muelle, el sustrato muerto se obtuvo tras descubrir el andamio arrecifal (roca coralina), pues la cobertura de coral vivo era cercana al 100% en los cuadrantes, mientras que, en La Azufrada, el sustrato muerto representaba cascajo de coral cubierto de algas filamentosas y calcáreas, coral muerto y roca coralina, los cuales proveen mejores recursos como refugio y alimento para que los ofiuros habiten. La ausencia de diferencias en estas variables cuando el sustrato analizado es el coral vivo puede ser atribuido a las adaptaciones defensivas del coral, las cuales evitan que se establezcan los animales no simbioses (Enochs, 2012).

Análisis exploratorios

A pesar de que ambos arrecifes presentan características similares en cuanto a estructura, zonación y dominancia (predominan corales del género *Pocillopora*), estos arrecifes presentan una notable diferencia en el área, siendo La Azufrada aproximadamente 70 veces más extenso (0,112 km²) que El Muelle (0,0016 km²) (Zapata, 2001). Se puede considerar que esta diferencia en extensión representa para las especies de ofiuros mayor competencia en cuanto al aprovechamiento de recursos alimenticios y de refugio, obteniendo como resultado menor riqueza y abundancia de especies en El Muelle.

Por otro lado, el ANOSIM realizado para comparar entre los sustratos coralinos vivo y muerto también evidencia que existen diferencias significativas entre los sustratos. Para La Azufrada las abundancias de ofiuros son mayores en coral muerto. En general, la criptofauna móvil en arrecifes coralinos tiende a presentar mayores abundancias en coral muerto (Wolfe *et al.*, 2020), lo que incluye a los equinodermos, pues las adaptaciones defensivas del coral evitan que los animales no simbioses se establezcan (Enochs, 2012). La clase ofiuroides se caracteriza por ser muy abundante en coral muerto, donde incluso se ha reportado que tres especies de ofiuros pueden representar hasta el 86% de la abundancia de los equinodermos asociados a *P. damicornis* (López-Pérez *et al.*, 2017).

Adicionalmente, la prueba de especies indicadoras muestra que en cada tipo de sustrato se asocian especies distintas. En coral muerto, la especie indicadora fue *Ophiactis* sp. Esta especie se caracteriza por ser de tamaño pequeño, lo cual puede favorecer al aprovechamiento de refugio en la estructura tridimensional del coral muerto. Así mismo, las especies del género *Ophiactis* se han descrito como micrófagas, es decir que su alimentación es suspensivora o detritivora (Berecoechea,

2014). Estas características pueden favorecer a que esta especie habite sustratos coralinos muertos aprovechando de manera eficiente los recursos que estos proveen.

Por otro lado, la misma prueba de especies indicadoras sugiere que las especies asociadas al coral vivo son *O. spiculata* y *O. mirabilis*, ambas especies pertenecen a la familia Ophiotrichidae. Teniendo en cuenta la historia natural de ambas especies, es común que sean encontradas asociadas a coral vivo. *O. mirabilis* es una especie epizoica la cual puede asociarse a gorgonias, corales e incluso a otros equinodermos, se adhiere a los huéspedes enrollando los brazos y usando las espinas en forma de gancho (Tavares *et al.*, 2019; Granja-Fernández *et al.*, 2014). Así mismo, *O. spiculata* puede encontrarse en corales pétreos vivos, coral muerto, esponjas y rocas. Es conocida por ser una de las especies más abundantes en arrecifes coralinos en México, California y Panamá, reportándose en agregaciones masivas las cuales les confieren beneficios como protección contra depredadores, facilidad de alimentación en corrientes fuertes y facilitar la fertilización durante el desove (Granja-Fernández *et al.*, 2014).

La clase Ophiuroidea contribuye de manera importante a la productividad y diversidad de los ecosistemas coralinos. Este estudio contribuye al conocimiento que se tiene acerca de los ofiuros en los arrecifes coralinos del Pacífico colombiano. Si bien se logra dejar un aporte considerable sobre la diversidad de este grupo, es importante reconocer que existe aún mucho por investigar acerca de los ofiuros en el Pacífico colombiano. Por tanto, se motiva a los investigadores a incluir este grupo en siguientes estudios con los cuales se pueda aprender más de la diversidad y ecología de la clase Ophiuroidea.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Valle por proveer la formación y las herramientas necesarias para llevar este proyecto de grado. Al grupo de investigación en ecosistemas rocosos intermareales y submareales someros (LITHOS) y al profesor Edgardo Londoño-Cruz por acompañar y dirigir este proceso. Al grupo de investigación en ciencias oceanográficas y a la Dra. Bellineth Valencia por el acompañamiento a este proceso y por desarrollar el proyecto “Estructura y función de los invertebrados crípticos móviles en dos arrecifes coralinos del Pacífico colombiano”, cofinanciado por Colciencias y la Universidad del Valle (CI 71188), y permitir el aprovechamiento de esos muestreos para el desarrollo de este proyecto. Al INVEMAR por facilitar las herramientas necesarias para realizar mi estancia y a la Dra. Giomar Borrero por el acompañamiento y tutoría en el aprendizaje de los Ofiuros. A mi familia, mi compañero de vida y amigos por acompañarme y motivarme cada día a lograr la culminación de este proyecto de grado.

LITERATURA CITADA

Alvarado, J. J. & Chiriboga, Á., 2008. Distribución y abundancia de equinodermos en las aguas someras de la Isla del Coco, Costa Rica (Pacífico Oriental). *Revista de biología tropical*, 56(2), pp. 99-111.

Alvarado, J. J. & Fernández, C., 2005. Equinodermos del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 53(3), pp. 275-284.

Arias Galvez, F., 2012. *Distribución espacial de ofiuros (Echinodermata) de Bahía Málaga, Pacífico colombiano*, Cali: Universidad del Valle.

Barrios, L. M. & López-Victoria, M., 2001. *Gorgona Marina Contribución al conocimiento de una isla única*. Santa Marta, Colombia: Instituto de investigaciones marinas y costeras.

Béarez, P. & Bujard, J.-T., 2014. First record of *Astrocaneum spinosum* (Echinodermata: Ophiuroidea: Gorgonocephalidae) from the Gulf of Guayaquil, tropical eastern Pacific. *Marine Biodiversity Records*, Volumen 6, pp. 1-3.

Benavides-Serrato, M. y otros, 2013. Echinoderms of Colombia. En: J. J. Alvarado & F. A. Solís-Marín, edits. *Echinoderm Research and Diversity in Latin America*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 145-182.

Berecoechea, J. J., 2014. *Alimentación en Ophiuroidea (Echinodermata) de Argentina: estudios a partir del análisis de morfología y microestructura de mandíbulas y dientes*, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires Facultad de Ciencias exactas y Naturales.

Blanchet-Aurigny, A. y otros, 2012. Multi-decadal changes in two co-occurring ophiuroid population. *Marine Ecology Progress Series*, Volumen 460, pp. 79-90.

Blanco, J. F., 2009. Hidroclimatología de la isla Gorgona: Patrones estacionales y relacionados con el ENSO. *Actualidades biológicas*, 31(91), pp. 111-121.

Borrero-Pérez, G. H. & Vanegas-González, M. J., 2020. Riqueza, composición y distribución de los equinodermos de los riscales y morros del norte del Chocó, Pacífico colombiano. En: L. H. Chasqui Velasco, ed. *Biodiversidad de los arrecifes rocosos (Riscales y morros) del Pacífico Norte Chocoano*. Santa Marta: Serie Publicaciones Generales N° 116 de INVEMAR, pp. 232-275.

Cantera, J., Cuellar, J. L. & Franke, R., 2001. Composición y distribución de las asociaciones de moluscos en los ecosistemas litorales. En: L. M. Barrios & M. López-Victoria, edits. *Gorgona marina Contribución al conocimiento de una isla única*. Cali: INVEMAR, pp. 79-92.

Cantera, J. & Londoño-Cruz, E., 2011. *Colombia Pacífico: una visión sobre su Biodiversidad marina*. 1 ed. Cali-Colombia: Universidad del Valle.

Cantera, J. et al., 2001. Organismos bioerosionados en arrecifes de Isla Gorgona . In: L. M. Barrios & M. López-Victoria, eds. *Gorgona Marina contribución al conocimiento de una isla única*. Santa Marta: INVEMAR, pp. 51-64.

Cardona-Gutiérrez, M. F. & Londoño-Cruz, E., 2020. Gusanos perforadores (Sipuncula y Annelida: Polychaeta) de los arrecifes coralinos del Pacífico Tropical Oriental (Isla Gorgona, Colombia). *Bulletin of Marine and Coastal Research*, 49(2), pp. 9-24.

Cohen-Rengifo, M., Bessudo, S. & Soler, G., 2009. Echinoderms, Malpelo Fauna and Flora Sanctuary. Colombian Pacific: New reports and distributional issues. *Check List*, 5(3), pp. 702-711.

Díaz, J. M. et al., 2001. Generalidades. In: L. M. Barrios & López-Victoria, eds. *Gorgona Marina Contribución al conocimiento de una isla única*. Santa Marta: INVEMAR, pp. 17-26.

Enochs, I. C., 2012. Motile cryptofauna associated with live and dead coral substrates: implications for coral mortality and framework erosion. *Marine Biology*, Volumen 159, pp. 709-722.

Fell, B. H., 1960. *Synoptic Keys to the Genera of Ophiuroidea*. Wellington: Zoology Publications from Victoria University of Wellington.

Giraldo, A., Rodríguez-Rubio, E. & Zapata, F., 2008. Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico ortiental tropical de Colombia. *LatinAmerican Journal of Aquatic Research*, 36(1), pp. 121-128.

Giraldo, A. & Valencia, B., 2012. Geomorfología e Hidroclimatología de la Isla Gorgona. En: A. Giraldo & B. Valencia, edits. *Isla Gorgona, paraíso de biodiversidad y ciencia*. Cali: Programa Editorial Universidad Del Valle , pp. 17-233.

Gondim, A. I. y otros, 2013. A taxonomic guide to the brittle-stars (Echinodermata, Ophiuroidea) from the State of Paraíba continental shelf, Northeastern Brazil. *ZooKeys*, Volumen 307, pp. 45-93.

González Rodríguez, C. T., 2010. *Análisis ecológico de la estructura y la distribución espacial, de las comunidades coralinas de llanura de la ensenada El Aguacate, Golfo de Urabá (Colombia)*, Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

Granja-Fernández, R. et al., 2014. Ophiuroidea (Echinodermata) from coral reefs in the Mexican Pacific. *zookeys*, pp. 101-145.

Granja-Fernández, R. y otros, 2015. A literature review of the Ophiuroidea (Echinodermata) from the Pacific coast of México. *Revista de Biología Tropical*, 63(2), pp. 37-47.

Granja-Fernández, R. & Hooker, Y., 2020. Revisiting the diversity and distribution of the ophiuroids (Echinodermata: Ophiuroidea) from Peru. *zootaxa*, 4766(4), pp. 539-556.

Granja-Fernández, R. y otros, 2017. Ophiuroidea (Echinodermata) from the Central Mexican Pacific an updated checklist including new distribution records. *Mar Biodiv*, Volumen 47, pp. 167-177.

Granja-Fernández, R., Rodríguez-Zaragoza, F. A., López-Pérez, A. & López-López, D. A., 2022. Coral reef ecosystem-associated echinoderms (Echinodermata) at the Southern Mexican Pacific: species richness, distribution, and composition. *Marine Biodiversity*, pp. 52-65.

Granja-Fernández, R. y otros, 2015. Checklist of echinoderms (Echinodermata) from the Southern Mexican Pacific: a historical review. *Revista de Biología Tropical*, 63(2), pp. 87-114.

Irene, S.-G. y otros, 2013. Patrones de crecimiento y reproducción de la concha nácar, *Pteria sterna*, cultivada en un ambiente tropical de México: Implicaciones para el cultivo de perlas. *Ciencias Marinas*, pp. 75-88.

Laguarda-Figueras, A. y otros, 2004. Ofiuroideos (Echinodermata: Ophiuroidea) del Caribe Mexicano: Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Avicennia*, pp. 13-34.

Londoño-Cruz, E., Donovan-Obonaga, L. & Zucconi-Ramírez, M., 2018. First record of *Echinothrix calamaris* (Echinoidea: Diadematidae) in the Colombian Pacific. *Marine Biodiversity Records*, pp. 11-15.

Londoño-Cruz, E., 2020. Primer registro del pepino de mar garra de león *Eupta godeffroyi* Semper, 1868 (Holoturoidea: Apodida: Synaptidae) en la isla Gorgona, Pacífico colombiano. *Boletín de investigaciones Marinas y Costeras*, Volumen 49, pp. 229-236.

López-Pérez, A., Granja-Fernández, R., Benítez-Villalobos, F. & Jiménez-Antonio, O., 2017. Pocillopora damicornis-associated echinoderm fauna: richness and community structure across the southern Mexican Pacific. *Marine Biodiversity*, Volumen 47, pp. 481-490.

Medina-Robles, V., Velasco-Santamaría, Y. & Cruz-Casallas, P., 2006. Los bancos de recursos genéticos y su papel en la conservación de la biodiversidad. *Revista Orinoquia-Universidad de los Llanos*, 10(1), pp. 71-77.

Mireles-Velázquez, D., Rosales-Contreras, G. & Conejeros-Vargas, C. A. G.-F. R., 2021. Los ofiuroideos (Echinodermata: Ophiuroidea) de la bahía de Chamela, Jalisco, México. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), pp. 312-333.

Muñoz, C. G. & Londoño-Cruz, E., 2016. First record of the irregular sea urchin *Lovenia cordiformis* (Echinodermata: Spatangoida: Loveniidae) in Colombia. *Marine Biodiversity Records*, p. 9:67.

Neira, R., Barba, P. & Pardo, R., 1992. Equinodermos del Parque Nacional Natural Ensenada de Utria (Pacífico, Colombiano). *Anales Instituto de Investigaciones Marinas Punta Betín*, Volumen 21, pp. 77-83.

Neira, R. & Cantera, J. R., 2005. Composición taxonómica y distribución de las asociaciones de equinodermos en los ecosistemas litorales del Pacífico Colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 53(3), pp. 195-206.

Obonada, L. D., Zucconi, M. & Londoño-Cruz, E., 2017. Bioerosión por ramoneo en los arrecifes coralinos del Pacífico Colombiano: el caso de *Diadema mexicanum* (Echinoidea: Diadematidae). *Boletín de investigaciones Marinas y Costeras- INVERMAR*, pp. 41-54.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rodríguez Estrada, I., 2016. *Ofiuroideos (echinodermata: Ophiuroidea) de Puerto Chiapas, México*, Tuxtla Gutiérrez: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Solís-Marín, A. F., Laguarda-Figueras, A. & Honey-Escandón, M., 2014. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Volumen 85, pp. 441-449.

Stöhr, S., O'hara, T. D. & Thuy, B., 2012. Global Diversity of Brittle Stars (Echinodermata, Ophiuroidea). *Plos One*, 7(3), pp. 1-14.

Tavares, R. M., Silva, P. A. & Rezende, C. R., 2019. Population size structure, asexual reproduction, and somatic growth estimates of the non-indigenous brittle star *Ophiothela mirabilis* (Echinodermata: Ophiuroidea) on the southeastern coast of Brazil. *Marine Biodiversity*, Volumen 49, pp. 1713-1725.

Valencia-Giraldo, D. E., Londoño-Cruz, E., Orozco-Guarin, M. A. & Amariles, D. F., 2013. Variaciones morfométricas de *Ophiocoma aethiops* Lütken, 1859 en tres zonas de la Isla Gorgona. *Revista de ciencias, Universidad del Valle*, 17(2), pp. 25-34.

Wolfe, K., Desbiens, A., Stella, J. & Mumby, P., 2020. Length-Weight relationships to quantify biomass for motile coral reef cryptofauna. *Coral Reefs*, Volumen 39, pp. 1649-1660.

Zapata, F., 2001. Formaciones Coralinas de Isla Gorgona. En: L. M. Barrios & M. López-Victoria, edits. *Gorgona Marina Contribución al Conocimiento de una Isla Única*. Santa Marta: INVEMAR, pp. 41-50.

Zapata, F., 2017. Temporal dynamics of coral and algal cover and their drivers on a coral reef of Gorgona Island, Colombia (Eastern Tropical Pacific). *Revista de la Academia Colombiana de ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(160), pp. 298-310.

Zapata, F., Rodríguez-Ramírez, A., Caro-Zambrano, C. & Garzón-Ferreira, J., 2010. Mid-term coral-algal dynamics and conservation status of a Gorgona Island (Tropical Eastern Pacific) coral reef. *Revista de biología tropical*, pp. 81-94.

Zapata, F. & Vargas-Ángel, B., 2003. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia. En: J. Cortés, ed. *Latin American Coral Reefs*. s.l.:Elsevier Science, pp. 419-447.

LEYENDAS DE LAS FIGURAS

Figura 1. *Ophiactis savignyi* A. vista aboral del disco B. vista oral del disco. *Ophiactis* sp. C. vista aboral del disco D. vista aboral del disco. *Ophiothrix spiculata* E. vista aboral del disco F. vista aboral del disco. *Ophiothela mirabilis*. G. vista aboral del disco H. vista aboral del disco.

Figura 2. *Amphipholis* sp. A. vista aboral del disco B. vista aboral del disco. *Ophiocomella sexradia* C. vista aboral del disco D. vista aboral del disco. *Ophiocomella alexandri* E. vista aboral del disco F. vista aboral del disco. *Ophiocoma aethiops* G. vista aboral del disco H. vista aboral del disco.

Figura 3. Abundancia de especies en el coral muerto (A) y vivo (B) de los arrecifes coralinos La Azufrada, en color negro y El Muelle en color gris *O. savignyi* (Osav), *Ophiactis* sp. (Osp), *O. sexradia* (Osex), *O. spiculata* (Ospi), *O. alexandri* (Oale), *O. aethiops* (Oaet), *O. mirabilis* (Omir) y *Amphipholis* sp. (Asp).

Figura 4. Abundancia (paneles superiores), biomasa (paneles intermedios) e índice de diversidad de Hill (paneles inferiores) de ofiuros en sustrato coralino muerto (izquierda) y vivo (derecha) en los arrecifes de La Azufrada (AZ) y El Muelle (MU) del PNN Gorgona.

Figura 5. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS). Los triángulos representan el arrecife El Muelle y los círculos el arrecife La Azufrada, el color azul representa el sustrato coralino muerto y el color rojo el sustrato coralino vivo.

ANEXOS

Tabla 1. Listado de especies identificadas en el sustrato coralino del PNN Isla Gorgona.

Orden	Familia	Especies
Amphilepidida	Ophiactidae	<i>Ophiactis savignyi</i> (Müller & Troschel, 1842) <i>Ophiactis</i> sp. Lütken, 1856
	Ophiotrichidae	<i>Ophiothrix (Ophiothrix) spiculata</i> Le Conte, 1851 <i>Ophiothela mirabilis</i> Verrill, 1867
	Amphiuridae	<i>Amphipholis</i> sp. Ljungman, 1866
Ophiacanthida	Ophiocomidae	<i>Ophiocomella sexradia</i> (Duncan, 1887)
		<i>Ophiocomella alexandri</i> (Lyman, 1860)
		<i>Ophiocoma aethiops</i> Lütken, 1859

Orden	Familia	Especies
Amphilepidida	Ophiactidae	<i>Ophiactis savignyi</i> (Müller & Troschel, 1842) <i>Ophiactis</i> sp. Lütken, 1856
	Ophiotrichidae	<i>Ophiothrix (Ophiothrix) spiculata</i> Le Conte, 1851 <i>Ophiothela mirabilis</i> Verrill, 1867
	Amphiuridae	<i>Amphipholis</i> sp. Ljungman, 1866
Ophiacanthida	Ophiocomidae	<i>Ophiocomella sexradia</i> (Duncan, 1887)
		<i>Ophiocomella alexandri</i> (Lyman, 1860)
		<i>Ophiocoma aethiops</i> Lütken, 1859

Tabla 2. Valores de índices de diversidad en los arrecifes La Azufrada y El Muelle para dos tipos de sustrato.

Índice	La Azufrada				El Muelle			
	Vivo		Muerto		Vivo		Muerto	
	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.
N1	2.57	0.60	2.74	0.54	2.05	0.28	2.41	0.95
Simpson	0.52	0.13	0.57	0.12	0.48	0.07	0.48	0.16
Pielou	0.95	0.20	0.81	0.15	0.90	0.11	0.78	0.11

	La Azufrada		El Muelle	
	Vivo	Muerto	Vivo	Muerto
N1	2.57	2.74	2.05	2.41
Simpson	0.52	0.57	0.48	0.48
Pielou	0.95	0.81	0.90	0.78

	La Azufrada		El Muelle	
	Vivo	Muerto	Vivo	Muerto
N1	2.57	2.74	2.05	2.41
Simpson	0.52	0.57	0.48	0.48
Pielou	0.95	0.81	0.90	0.78

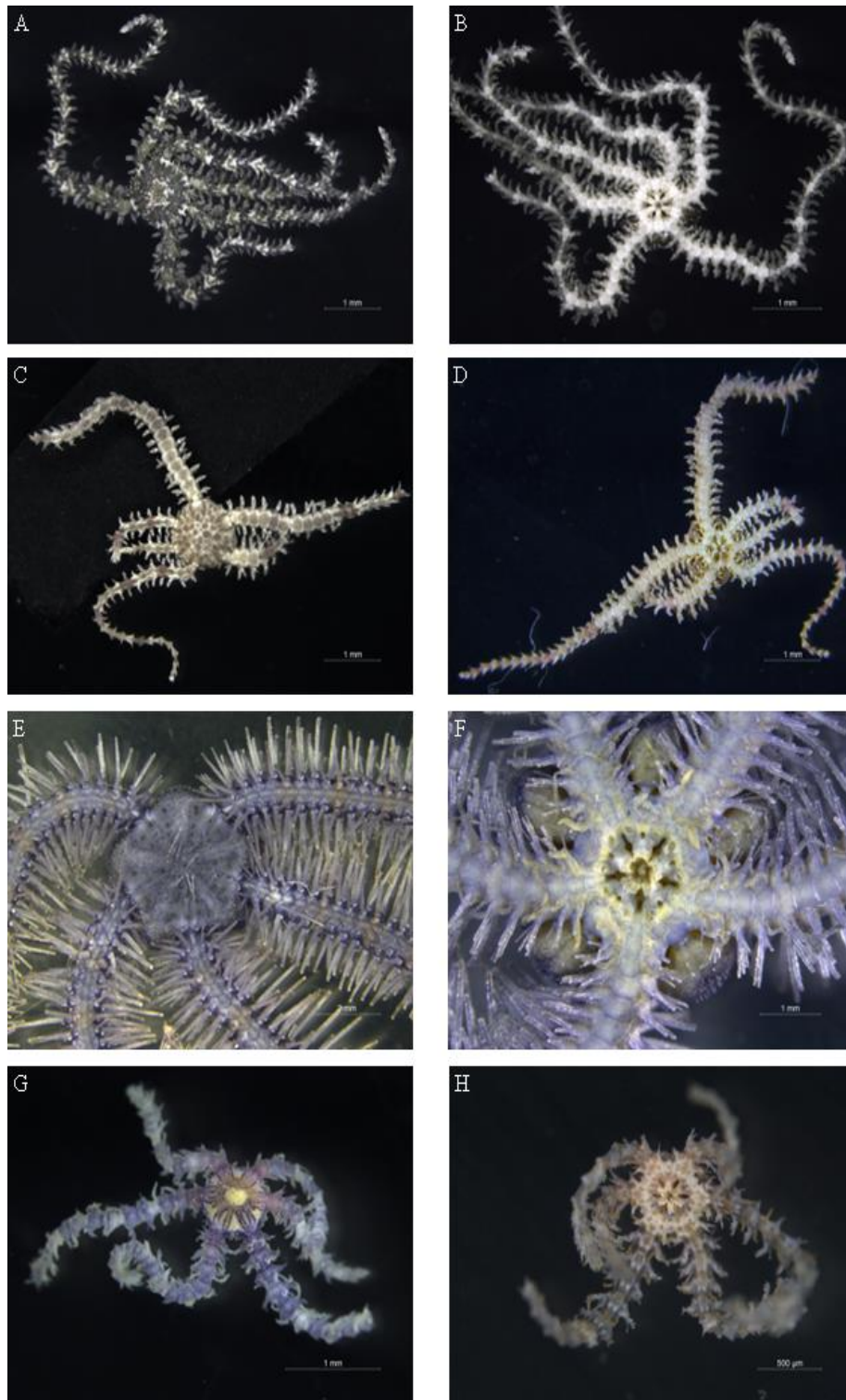


Figura 1.

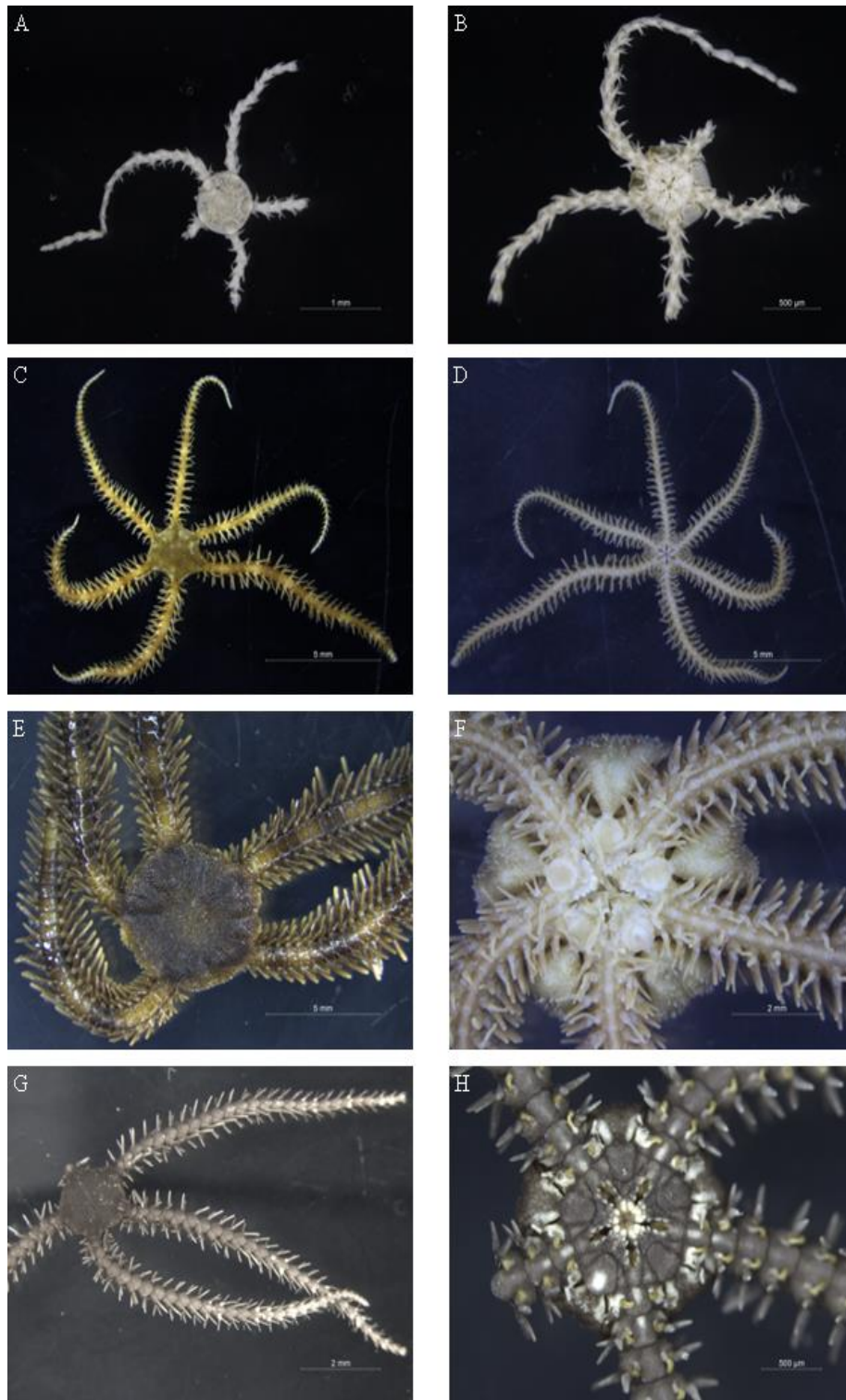


Figura 2.

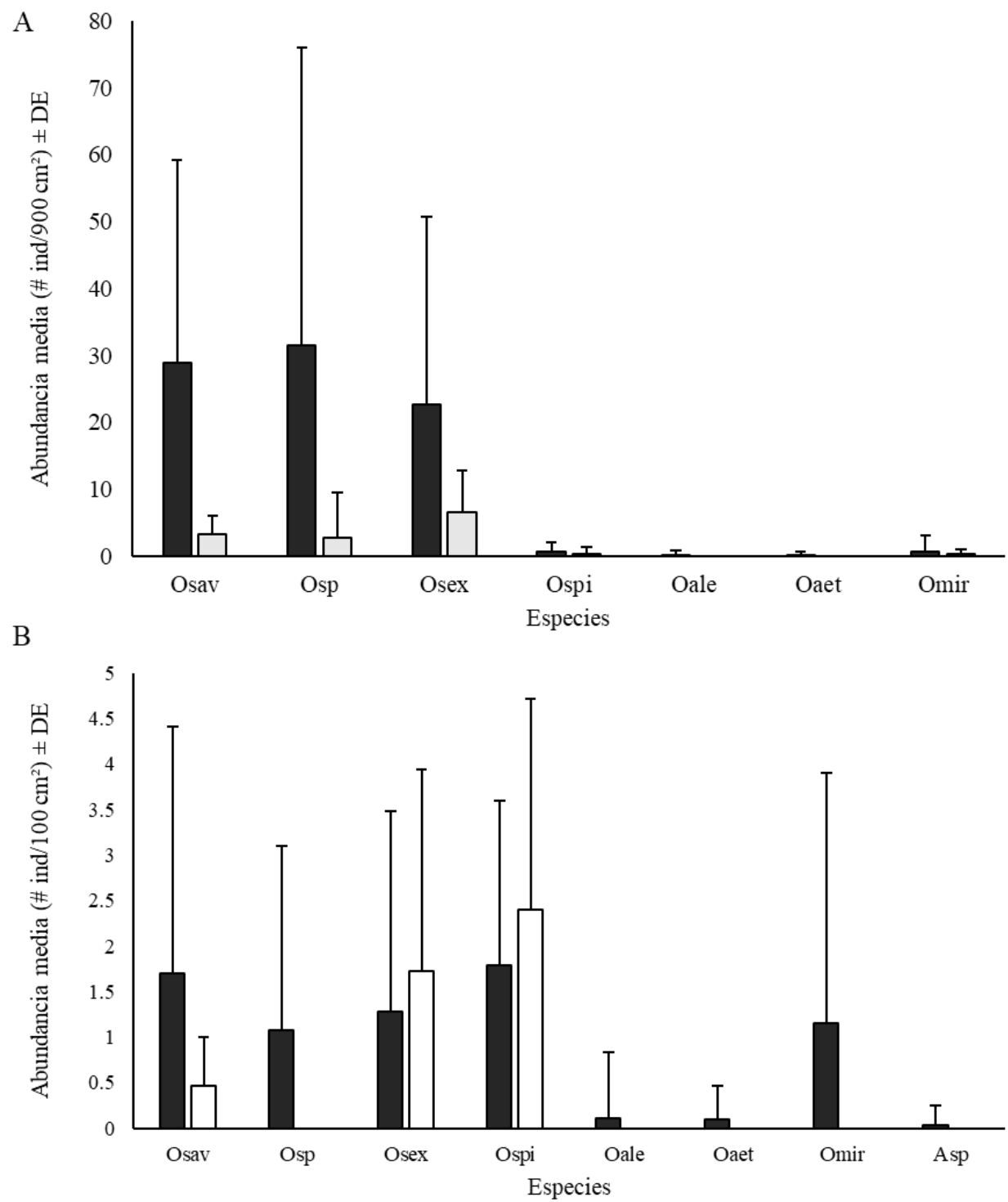


Figura 3.

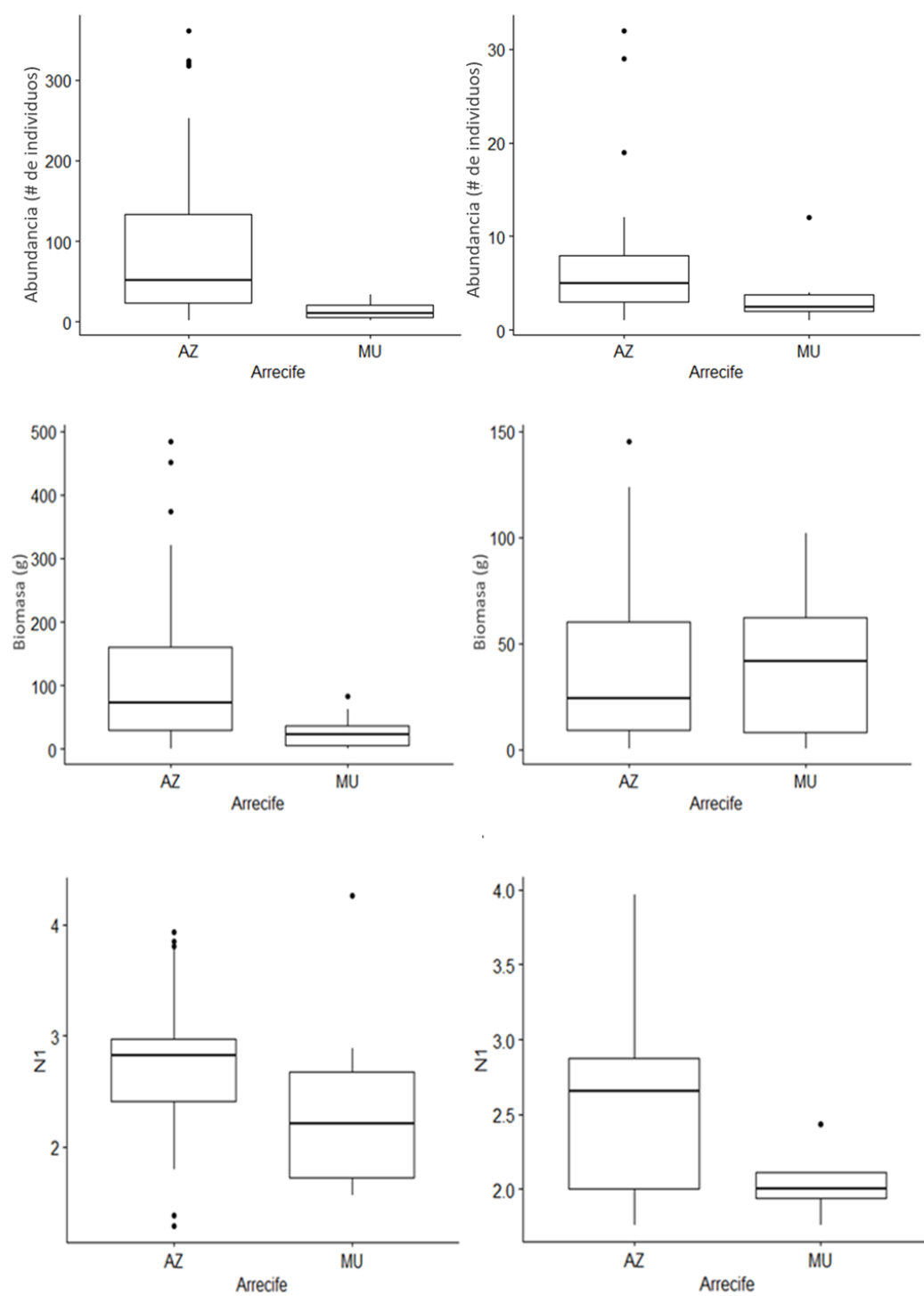


Figura 4.

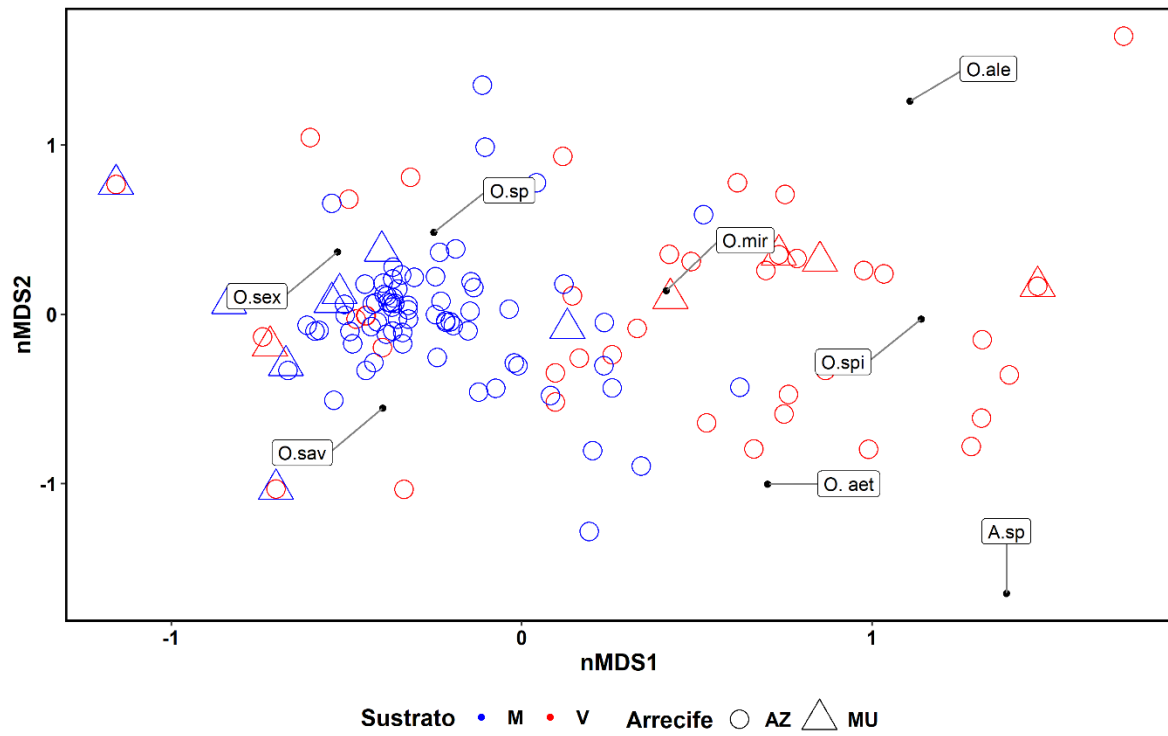


Figura 5.