

USO DE HÁBITAT EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DEL SARGENTO MAYOR *ABUDEDFUF TROSCHELII* (TELEOSTEI: POMACENTRIDAE) EN UNA COSTA ROCOSA DEL PACÍFICO TROPICAL ORIENTAL

Biología 3140

David Ortega Montoya

Departamento de Biología, Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia

Correo electrónico: ortega.david@correounivalle.edu.co

Fernando A. Zapata

Departamento de Biología, Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia

Correo electrónico: fernando.zapata@correounivalle.edu.co

RESUMEN

El sargento mayor panámico, *Abudefduf troschelii*, es una especie común en arrecifes rocosos y coralinos del Pacífico colombiano. Aunque existe información básica sobre los hábitats de las especies del género *Abudefduf* alrededor del mundo, se conoce poco sobre cómo el uso de hábitat varía en relación con la talla. La información existente se centra en la fase reproductiva, con pocos datos sobre el comportamiento juvenil y adulto no reproductivo. Para llenar este vacío, estudiamos el uso de hábitat de individuos de *A. troschelii* con longitudes estándar (LE) entre 2 y 15 cm y la relación entre la talla con la tasa de forrajeo, la distancia a la costa, la profundidad de natación y la profundidad del fondo. Estimamos también el área recorrida, la distancia total recorrida y la relación de aspecto del área recorrida durante 5 min mediante seguimientos individuales. Encontramos una relación parabólica significativa entre la talla y tanto el área como la distancia total recorrida, así como una relación positiva significativa entre la talla y la distancia a la costa, la profundidad del fondo y la profundidad de natación. Sin embargo, ni la tasa de forrajeo ni la relación de aspecto del área recorrida variaron en función de la talla. Estos hallazgos sugieren que ocurre un cambio ontogenético en el uso del hábitat de *A. troschelii* a medida que los individuos se acercan a tallas cercanas a la madurez reproductiva.

Palabras clave: área recorrida, distribución espacial, tasa de forrajeo, relación de aspecto, ontogenia.

ABSTRACT

The Panamic sergeant major, *Abudefduf troschelii*, is a common species found on rocky and coral reefs in the Colombian Pacific. Although basic information exists regarding the habitats of species in the genus *Abudefduf* worldwide, little is known about how habitat use varies with body

size. Most available information focuses on the reproductive phase, with limited data on the behavior of juveniles and non-reproductive adults. To address this gap, we studied habitat use in *A. troschelii* individuals with standard lengths (SL) ranging from 2 to 15 cm, examining the relationship between size and foraging rate, distance from shore, swimming depth, and bottom depth. We also estimated the area covered, total distance covered, and the aspect ratio of the covered area over five-minute individual focal observations. We found a significant parabolic relationship between size and both the area covered and the total distance covered, as well as a significant positive relationship between size and distance from shore, bottom depth, and swimming depth. However, neither foraging rate nor the aspect ratio of the covered area varied with size. These findings suggest an ontogenetic shift in habitat use by *A. troschelii* as individuals approach sizes near reproductive maturity.

Keywords: area covered, spatial distribution, foraging rate, aspect ratio, ontogeny.

INTRODUCCIÓN

“Hábitat” hace referencia al área que posee un conjunto específico de recursos y factores físicos y biológicos que soportan la supervivencia y reproducción de una especie (Ballance, 1992; Krausman, 1999; Stamps, 2008). Un hábitat difiere de otros en las condiciones que proporcionan a los organismos en términos de protección y recursos (Ballance, 1992). La forma en que las especies interactúan con esta variedad de recursos y factores se denomina “uso de hábitat”. Estudiar el uso de hábitat de una especie proporciona datos valiosos sobre su historia natural, ecología y comportamiento, incluyendo su distribución espacial, preferencias de hábitat y requerimientos para su supervivencia y reproducción (Bazzalo *et al.*, 2008; Sánchez-Rojas *et al.*, 2009; Sierra-Rozo *et al.*, 2011; Rincón-Díaz *et al.*, 2013; Mayagoitia-González *et al.*, 2013). Por lo tanto, comprender el uso de hábitat de las especies proporciona información crucial para la toma de decisiones sobre su manejo, conservación e interacciones antropogénicas.

La familia Pomacentridae (peces damiselas) es una familia diversa (436 especies) y ampliamente distribuida en el mundo (Fricke *et al.*, 2024). Sus especies habitan en arrecifes cerca de costas

tropicales y templadas, con su mayor diversidad en arrecifes de coral (Pratchett *et al.*, 2016). En el Pacífico Tropical Oriental (PTO) se encuentran 22 especies de 7 géneros (Robertson *et al.*, 2024). Los pomacéntridos presentan tres grupos tróficos principales: zooplanctívoros, alguívoros y omnívoros, y pueden ser solitarios o gregarios (Frédérich *et al.*, 2016).

Entre los pomacéntridos se encuentran los comúnmente conocidos sargentos mayores, los cuales pertenecen al género *Abudefduf*. Este género es circumtropical y cuenta con aproximadamente 25 especies, de las cuales 3 son endémicas del PTO (Robertson *et al.*, 2024): *Abudefduf declivifrons*, *A. concolor*, y *A. troschelii*. Esta última especie, conocida como sargento mayor panámico, está ampliamente distribuida desde el sur de California y el Golfo de California hasta Perú, incluyendo todas las islas oceánicas (Revillagigedo, Clipperton, Cocos, Malpelo y Galápagos), puede alcanzar los 23 cm de longitud total (LT) y se encuentra tanto en arrecifes rocosos como coralinos (Robertson *et al.*, 2024). *A. troschelii* se alimenta durante el día de plancton en la superficie o en la columna de agua, aunque también se alimenta en menor proporción de invertebrados bentónicos y algas en el arrecife (Castellanos y Giraldo, 2008; Allen *et al.*, 2010). La reproducción se presenta con el desove de hembras en nidos fijos sobre sustratos duros bentónicos, los cuales son custodiados por machos. El desove ocurre siguiendo una periodicidad lunar (Foster, 1987). Durante la etapa reproductiva, los individuos presentan cambios en la coloración, como otros miembros de su familia (Albrecht, 1969).

Existe información básica sobre los ambientes y hábitats generales comúnmente habitados por las especies de *Abudefduf* alrededor del mundo (Froese y Pauly, 2023; Robertson y Van Tassell, 2023; Robertson *et al.*, 2024). Pratchett *et al.* (2016) resumieron la información conocida sobre los requerimientos de microhábitat, rango de profundidad ocupado y grupo trófico para 17 especies del género. Sin embargo, con contadas excepciones enfocadas en el hábitat para el

desove y anidación (e.g., Albrecht, 1969; Fishelson, 1970; Keenleyside, 1972) hay poca información detallada sobre el uso de hábitat, y menos sobre cambios ontogenéticos relacionados, y sobre cómo varía el uso de hábitat en relación con el tamaño corporal en las especies de este género. Algunos estudios han abordado la relación entre ecología alimentaria y cambios ontogenéticos (e.g., Nunes *et al.*, 2023), pero estos enfoques siguen siendo escasos. Otros estudios han examinado aspectos relacionados con el uso de hábitat en especies de *Abudefduf* tales como diferencias en la composición de parásitos de *Abudefduf saxatilis* colectados en diferentes hábitats (Yeo y Spieler 1980), y diferencias en la composición de ácidos grasos del hígado entre diferentes clases de tamaño de *Abudefduf bengalensis* y *A. sexfasciatus* de Malasia como consecuencia de cambios en la dieta asociados a cambios ontogenéticos del hábitat (Arai *et al.* 2015). Estos estudios sugieren que diferencias en el uso de hábitat tienen consecuencias importantes para la supervivencia y éxito reproductivo de estos peces.

Estudios en la costa pacífica colombiana indican que *A. troschelii* (Gill, 1862) es una especie común y abundante tanto en arrecifes de coral como en ambientes rocosos intermareales (Zapata y Morales, 1997; Palacios y Zapata, 2014; Castellanos-Galindo y Giraldo, 2008; Castellanos-Galindo *et al.*, 2010; Castellanos-Galindo *et al.*, 2014). En el arrecife coralino de La Azufrada, en la Isla Gorgona, fue la quinta especie más abundante registrada durante un año de estudio (Zapata y Morales, 1997). Sin embargo, en otro estudio realizado en la misma localidad, no se observó en arrecifes de coral ramificado (*Pocillopora*), pero sí en aquellos formados por corales masivos (Palacios y Zapata, 2014). La mayor parte de la información disponible sobre esta especie se enfoca en su fase reproductiva (Foster, 1987; Foster, 1989; Solis-Mendoza *et al.*, 2023), mientras que su biología en las etapas juvenil y adulta no reproductiva ha sido menos estudiada. No obstante, se ha documentado que los juveniles son abundantes en charcos rocosos intermareales

(Castellanos-Galindo y Giraldo, 2008; Castellanos-Galindo et al., 2010; Castellanos-Galindo et al., 2014). Considerando este vacío de información, este estudio tuvo el objetivo de examinar como cambia el uso del hábitat dependiendo del tamaño de juveniles y adultos no reproductivos de *A. troschelii*. Para ello, se recolectó información sobre la distribución espacial, tasa de forrajeo, distancia total recorrida, tamaño y relación de aspecto del área recorrida en un rango de tallas de 2 a 15 cm de longitud estándar (LE) en una costa rocosa de la Isla Gorgona (Colombia).

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en tres salidas de campo en los meses de mayo, julio y septiembre de 2024 en el Parque Nacional Natural Gorgona (PNN Gorgona) (2°58'17"N 78°11'04"W). Gorgona es una isla continental ubicada a 30 km del continente, y es la isla más extensa (13.2 km²) sobre la plataforma continental del Pacífico colombiano (Giraldo *et al.*, 2008). La isla fue declarada Parque Natural Nacional en 1984 y forma parte del Corredor Marino de Conservación del PTO (Capella *et al.*, 2014). Gorgona cuenta con formaciones arrecifales coralinas y rocosas. El mejor desarrollo arrecifal se encuentra en la costa oriental, que constituye la parte de sotavento y está dominada principalmente por especies del género *Pocillopora*, aunque también se presentan colonias de los géneros *Psammocora*, *Porites*, *Pavona* y *Gardineroseris* (Glynn *et al.*, 1982; Zapata y Vargas-Ángel, 2003; Valencia y Giraldo, 2012). En estas formaciones coralinas se destaca el arrecife de La Azufrada, el cual es el más extenso de los arrecifes de Gorgona (Glynn *et al.*, 1982; Zapata y Vargas-Ángel, 2003; Mejía-Rentería *et al.*, 2024). En cuanto a los ecosistemas rocosos submareales se presentan principalmente en la zona norte, y suroriental

destacando El Laberinto y el Paso de Tasca entre las islas Gorgona y Gorgonilla (Valencia y Giraldo, 2012).

Para este estudio se seleccionó el sitio conocido localmente como “Yundigua” dada la facilidad para trabajar con la especie de interés y las condiciones de hábitat. Yundigua, ubicada al noreste de la isla (entre 02°59'15.2'' N, – 78°10'26.2'' W y 02°59'09.8'' N, – 78°10'26.8'' W), se caracteriza por presentar una mezcla de arrecife rocoso y comunidad coralina. Es la única comunidad coralina de la isla accesible al público y expuesta a presión humana, principalmente por buceo a pulmón libre (Moreno *et al.*, 2007). Yundigua presenta un litoral rocoso compuesto por cantos rodados, una terraza y talud dominados por fondo arenoso y colonias aisladas de *Pavona clavus* hasta una profundidad máxima de 10 m (Moreno *et al.*, 2007). Los límites de Yundigua están definidos por quebradas situadas tanto al norte como al sur, con una distancia aproximada de 130 m entre ellas. Estas quebradas moldean la formación de la comunidad coralina, que se concentra en la parte media (Moreno *et al.*, 2007). Moreno *et al.* (2007) contaron 19 colonias de *P. clavus*, 12 parches de *Pocillopora grandis*, 12 de *Porites panamensis* y 1 parche de *Tubastrea coccinea*. *P. clavus* es la especie observada a mayor profundidad y a mayor distancia de la costa, mientras que *P. panamensis* presenta el patrón inverso. *Pocillopora* y *Pavona* fueron los géneros con mayor cobertura (Moreno *et al.*, 2007). Nuestras observaciones corroboraron lo anterior (fig.1). Sin embargo, la mayoría de nuestras observaciones se realizaron sobre sustrato rocoso.

Uso de hábitat

Tasa de forrajeo: Se realizó un seguimiento focal de 77 individuos utilizando una cámara GoPro Hero 12 Black con la cual se grabaron videos de 5 minutos con ayuda de equipo de buceo autónomo (SCUBA). La talla de los individuos se estimó visualmente *in situ* y se obtuvo la tasa

de forrajeo en revisiones posteriores de los archivos de video contando el número de veces que el pez abrió su boca de manera característica dando a entender que atrapa una partícula u organismo planctónico o bentónico durante un lapso de 5 minutos. Por último, se calculó el porcentaje total del forrajeo que ocurrió específicamente en el sustrato bentónico y el sustrato pelágico en comparación con el forrajeo total realizado.

Distribución espacial: se siguieron 334 individuos dentro del hábitat en los cuales se estimó: 1)

Distancia a la costa: tomada como la distancia horizontal entre el borde del agua en la costa y el individuo. 2) Profundidad de natación: distancia vertical entre la superficie del agua y el individuo. 3) Profundidad del fondo: distancia vertical entre la superficie del agua y el fondo en el sitio en el que se encontraba el individuo. Adicional, se examinó la relación entre la profundidad del fondo y la distancia a la costa para examinar el perfil de la zona de estudio. La talla de cada individuo se obtuvo mediante la estimación visual de la longitud estándar (LE; Froese & Pauly, 2024).

Área: Durante los seguimientos focales de 5 minutos por individuo, se marcó el recorrido realizado por cada pez con 10 pesas con boyas a media agua (pelotas de pingpong) numeradas del 0 al 10. Desde el inicio y cada 30 segundos subsiguientes se dispuso un peso en el sitio exacto en donde se encontraba el individuo. Transcurridos los 5 min, se midió la distancia y el ángulo de orientación de la línea entre pesa y pesa utilizando una brújula. Las mediciones de ángulo y distancia se pasaron a coordenadas dentro de un plano cartesiano tomando el valor del punto cero como el origen y uniendo el punto diez con el punto cero para cerrar el área. Para esto se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$x_i + 1 = x_i + d_i * \cos(\theta_i)$$

$$y_i + 1 = y_i + d_i * \text{sen}(\theta_i)$$

Donde:

x y ***y*** son las respectivas coordenadas,

d es la distancia entre los puntos,

θ es el ángulo entre los puntos.

Se calculó la distancia total recorrida y el área total encerrada por el perímetro recorrido, utilizando los programas R (R Core Team, 2024) e ImageJ (Schneider *et al.*, 2012). La relación de aspecto del área recorrida se calculó dividiendo la diferencia de los valores más alejados de la longitud (eje X) y el ancho (eje Y) empleados en el cálculo del área. La longitud se consideró en dirección perpendicular a la costa, mientras que el ancho se estableció en dirección paralela.

Siguiendo las ecuaciones:

$$difX = maxX - minX$$

$$difY = maxY - minY$$

$$RA = \frac{difX}{difY}$$

Donde:

minX y ***minY*** son los valores mínimos de distancia en el eje *X* y *Y* respectivamente,

maxX y ***maxY*** los valores máximos de distancia en el eje *X* y *Y* respectivamente,

difX y ***difY*** son las diferencias,

RA es la relación de aspecto

Finalmente, los análisis estadísticos de estos datos se hicieron mediante modelos lineales examinando la relación entre las variables dependientes y las clases de tallas como variable independiente desde los 2 a 15 cm (LE).

RESULTADOS

Tasa de forrajeo

No se observó una diferencia significativa en la tasa de forrajeo entre los distintos tamaños de individuos de *A. troschelii*. Aunque hubo una correlación negativa muy débil entre la talla y la tasa de forrajeo, ésta no fue significativa (fig.2; $R^2 = -0.011$, $p = 0.559$, $n = 77$). Adicionalmente, solo el 0.86% del total de la actividad de forrajeo se realizó en el sustrato bentónico y el 99.14% en sustrato pelágico.

Distribución espacial

Profundidad del fondo: Los individuos nadaron sobre fondos cada vez más profundos a medida que se incrementó su talla. Es decir, a mayor talla, los organismos se distribuyen en un rango de profundidad mayor (fig. 3a; $R^2 = 0.75$, $P << 0.0001$, $n = 334$).

Distancia a la costa: Individuos con tallas entre 1-7 cm LE tendieron a presentar una relación lineal positiva con la distancia a la costa. Sin embargo, en individuos con tallas > 8 cm LE esta relación tendió a estabilizarse en distancias entre 4 y 8 m, indicando un límite en la distancia máxima a la que se encuentran los organismos. Por lo que la relación en general se ajustó mejor a una función logarítmica (fig. 3b; $R^2 = 0.73$, $P << 0.0001$, $n = 334$). Además, hubo una relación lineal significativa entre la profundidad del fondo y la distancia a la costa ($R^2 = 0.81$, $P <<$

0.0001, $n = 334$), la cual es informativa sobre el perfil batimétrico de la costa en el área de estudio.

Profundidad de natación: La relación entre la talla y la profundidad de natación de los individuos no fue lineal, ya que la profundidad de natación entre individuos pequeños (< 9 cm LE) fue relativamente constante con un máximo de 2 m, pero a partir de los 10 cm de LE la profundidad de natación fue altamente variable alcanzando un máximo de 6 m. Esta relación se puede ajustar a una ecuación polinómica de segundo grado, (fig. 3c; $R^2 = 0.43$, $P < 0.0001$, $n = 334$). Este patrón observado sugiere un efecto de umbral en el que individuos con tallas ≤ 9 cm LE nadan a una profundidad constante, pero individuos con tallas > 9 cm nadan en un relativamente amplio rango de profundidades.

Área

Área total recorrida: Las tallas desde los 2 a los 9 cm LE mostraron un aumento progresivo en la distancia total recorrida. En contraste, desde los 10 a los 14 cm LE presentaron una disminución, representando una relación parabólica con un ajuste a una relación polinómica de segundo grado (fig. 4a; $R^2 = 0.19$, $P = 0.037$, $n = 25$).

Distancia total recorrida: Al igual que el área total recorrida, la distancia total recorrida mostró un aumento progresivo desde la talla 2 hasta la talla 9 cm LE y una disminución desde los 10 a los 14 cm LE, representando una relación parabólica con un ajuste a un polinomio de segundo grado, (fig. 4b; $R^2 = 0.2$, $P = 0.03$, $n = 25$).

Relación de aspecto: La relación de aspecto del área recorrida tendió a disminuir con la talla, pero no mostró diferencias significativas, indicando que la forma del área no varía con la talla, (fig. 4c; $R^2 = 0.02$, $P = 0.297$, $n = 25$).

DISCUSIÓN:

El tamaño corporal es uno de los más importantes atributos de los organismos y se correlaciona con diversas características y procesos biológicos y ecológicos en una gran diversidad de organismos (Peters, 1983; Calder, 1984). En este estudio encontramos evidencia de que el tamaño corporal de individuos juveniles y subadultos de *A. troschellii* afecta al menos algunas de las variables utilizadas por nosotros para cuantificar el uso del hábitat. En particular, la profundidad del fondo, la distancia de la costa y la profundidad de natación del pez aumentaron significativamente en función de la talla de los peces. Otras variables como la distancia recorrida y el área recorrida durante 5 minutos mostraron una tendencia parabólica en relación con la talla de los peces. En contraste, variables relacionadas con la alimentación, específicamente la tasa de forrajeo, no varió en función de la talla.

Tasa de forrajeo

Con base en principios básicos tales como la relación alométrica negativa entre la tasa metabólica específica (i.e., por unidad de masa) y el tamaño corporal en organismos poikiloterms (Peters, 1983; Nunes *et al.*, 2021), esperábamos que la relación entre tasa de forrajeo y talla en *A. troschellii* fuese también negativa. Sin embargo, nuestros resultados no encontraron tal relación. No obstante, durante nuestras observaciones en campo, tuvimos la percepción de que los individuos con menor tamaño tenían mayor tasa de forrajeo y que algunos de los individuos más grandes tenían momentos (principalmente cuando descendían a mayores profundidades) en los que parecían no tener interés en alimentarse sino en patrullar un área dando mordidas de vez en cuando. Tanto los juveniles como los adultos se alimentaban en la columna de agua y en

ocasiones en el sustrato rocoso, generalmente piedras cubiertas de algas, en donde posiblemente se alimenten de micro invertebrados o microalgas (Castellanos y Giraldo, 2008; Frédérich *et al.*, 2016; Robertson *et al.*, 2024), siendo generalmente oportunistas. Nunes y colaboradores en 2023 encontraron que en *A. saxatilis*, la alta tasa de forrajeo en la columna de agua se puede explicar la facilidad de la captación de plancton, lo cual reduce los costos energéticos en la obtención de alimento. En nuestras observaciones tampoco vimos un cambio en la dieta con respecto a la talla. Considerando que muchas especies presentan cambios ontogenéticos de nicho y cambian su dieta a medida que aumentan de tamaño (Werner y Gilliam, 1984; Frédérich *et al.*, 2016), nosotros solo registramos dos forrajeos sobre sustrato bentónico, siendo estos en individuos de 11 y 5 cm LE, respectivamente, por lo que el porcentaje de forrajeo en sustrato bentónico fue muy bajo. Frédérich y colaboradores en 2009 encontraron que *A. vaigiensis*, que también es un alimentador pelágico, presentó un cambio de forrajeo a huevos demersales para explotar comida rica en nutrientes. Pero nuestros resultados no son los suficientemente fuertes para inferir este tipo de cambios.

Distribución espacial

Encontramos una relación clara entre el tamaño de los individuos y varias variables descriptivas del uso de hábitat, incluyendo la profundidad de natación, la distancia a la costa y la profundidad del fondo sobre el que nadan los peces.

Profundidad del fondo: Nuestros resultados muestran que los individuos de menor talla tienden a encontrarse a profundidades menores y que a medida que aumenta el tamaño de los peces, aumenta la profundidad del fondo sobre el que nadan. Esto es en parte debido al perfil batimétrico del área de estudio y a la significativa relación entre la profundidad del fondo y la distancia a la costa, ya que a medida que los peces son más grandes, nadan más lejos de la costa y

consecuentemente aumenta también la profundidad del fondo sobre el que nadan. Consideramos que este patrón es probablemente impulsado por la depredación, ya que los individuos pequeños son más vulnerables a los depredadores y en las zonas más cercanas a la costa y de menor profundidad, ellos pueden escapar con mayor facilidad y encontrar refugio de los depredadores (Michel *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2011). Por otro lado, ya que en todas las tallas *A. troschelii* se alimentó primordialmente de zooplancton o partículas en la columna de agua, no consideramos que la obtención de alimento explique el patrón de variación de la profundidad del fondo con la talla. Por lo tanto, creemos que a medida que aumenta la talla, disminuye el riesgo de depredación, los peces se alejan más de la costa y consecuentemente aumenta la profundidad del fondo. En últimas, el patrón puede deberse a preferencias de hábitat dependientes de la talla.

Distancia a la costa: La distancia a la costa máxima registrada en los individuos fue de 8 m (fig. 3b), coincidiendo con el límite externo de la comunidad arrecifal. Se observó que *Cephalopholis colonus*, una especie que se alimenta de plancton en la columna de agua (Robertson *et al.*, 2024), se ubicaba justo al final de la agregación de individuos de *A. troschelii* (distancia de ≈ 8 m de la costa), pero estas dos especies no se mezclaban durante el forrajeo, al igual que tampoco se observó ningún comportamiento agonístico de *A. troschelii* hacia otras especies. Lo anterior podría sugerir que *A. troschelii* tiende a evita la competencia interespecífica por alimentación. Además, teniendo en cuenta que algunas de las damiselas que se alimentan exclusivamente de zooplancton se mantienen por encima del arrecife en la columna de agua (Frédérich *et al.*, 2009; Aguilar-Medrano *et al.*, 2011; Frédérich *et al.*, 2016) y que se ocultan en este cuando se ven amenazados por depredadores (Helfman *et al.*, 2009), explicaría por qué *A. troschelii* solo se distribuye hasta cierta distancia de la costa manteniéndose en el límite de la comunidad arrecifal.

Profundidad de natación: Aunque la profundidad del área de estudio aumentó con una mayor distancia a la costa, nuestros resultados sobre la profundidad de natación de los individuos en la columna de agua mostraron que aquellos individuos < 9 cm de LE se mantenían muy cerca de la superficie, mientras que los de > 10 cm LE podían descender hasta los 6 m de profundidad encontrándose en un rango mayor de profundidades. Concordando con los resultados de Nunes y colaboradores en 2023 sobre *A. saxatilis*, donde individuos más pequeños mostraban una tendencia a forrajear cerca de la superficie del agua, mientras que los individuos de mayor tamaño forrajearan con mayor frecuencia en sustratos bentónicos, explicado este comportamiento en parte por el riesgo de depredación y requerimientos energéticos. Villegas-Hernández y colaboradores en 2022 reportaron que *A. saxatilis* alcanza la madurez en tamaños intermedios de (≈ 11 cm LT). Y si consideramos que *A. troschelii* se comporta de la misma manera, estos valores encontrados tienden a coincidir con los valores de tamaño que nosotros obtuvimos. Con lo cual se puede inferir que los cambios vistos pueden deberse a que los individuos descienden al acercarse a la edad reproductiva, y quizá se deba a búsqueda de sitios de anidación.

Área

Tanto el área total recorrida como la distancia total recorrida mostraron una relación parabólica con la talla en la que los individuos de tamaño < 9 cm presentan un aumento progresivo en estas dos medidas, mientras que en individuos de tamaños > 10 cm se observa una disminución de estas variables con la talla. Resalta en nuestros resultados que la talla en la que se presenta el vértice de la parábola (en el que la relación positiva cambia a negativa) tanto en el área total, distancia total y profundidad de natación se presenta siempre en el mismo tamaño de individuo (10 cm LE). Esto indica que en la talla en la que los individuos empiezan a descender a mayor profundidad, reducen la distancia recorrida y por ende el área total recorrida. Consideramos que el cambio que

observamos es probablemente debido a cambios ontogenéticos relacionados con procesos reproductivos: individuos más grandes que alcanzan la madurez sexual comienzan a explorar en el fondo sitios apropiados para la reproducción y por lo tanto se desplazan menos distancias que individuos de tamaño intermedio.

Con lo anterior, se puede entender que ocurre un cambio en el uso del hábitat en el ciclo de vida de *A. troschelii*. Se observa un cambio notable a medida que se acercan a las tallas de etapa reproductiva, alterando su distancia a la costa, la profundidad en la columna de agua y la profundidad de natación en la que se distribuyen. Asimismo, se observa un cambio en el área ocupada, y la distancia total recorrida, lo cual representa una línea de evidencia de un cambio ontogenético en el uso del hábitat. En conclusión, nuestro estudio brinda una nueva forma de investigar el uso de hábitat destacando cómo la relación entre el tamaño y las variables de comportamiento puede contribuir a dilucidar la ecología e historia de vida de las especies. Se recomienda explorar las implicaciones de estos patrones de comportamiento en las estrategias de conservación y manejo de las poblaciones de *A. troschelii*.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Fundación para la Investigación y Conservación Biológica Marina (ECOMARES) por su financiación en mi trabajo de grado y al Parque Nacional Natural Gorgona (PNNG) por permitirme realizar mi estudio en la isla. Al profesor Fernando A. Zapata por su valiosa guía, asesoría y paciencia durante este proceso. A mis profesores, familiares y amigos por su constante apoyo y compañía a lo largo de mi formación académica y especialmente a mi madre, Rosalba Ortega Montoya, a quien le debo todo lo que soy.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Medrano, R., Frederich, B., De Luna, E. and Balart, E.F., 2011. Patterns of morphological evolution of the cephalic region in damselfishes (Perciformes: Pomacentridae) of the Eastern Pacific. *Biological Journal of the Linnean Society*, 102(3), pp.593-613.
- Albrecht, H., 1969. Behaviour of four species of Atlantic damselfishes from Columbia, South America, (*Abudefduf saxatilis*, *A. taurus*, *Chromis multilineata*, *C. cyanea*; Pisces, Pomacentridae). *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 26(6), pp.662-676.
- Allen, G.R., Robertson, R., Rivera, R., Edgar, G., Merlen, G., Zapata, F. and Barraza, E., 2010. *Abudefduf troschelii*, Panama sergeant major. The IUCN Red List of Threatened Species, Issue T183397A117058177. 0
- Arai, T., Amalina, R. & Bachok, Z., 2015. Growth effect on liver fatty acid composition of damselfishes genus *Abudefduf* collected in coral reef habitats of the Malaysian South China Sea. *SpringerPlus*, 4, p.71.
- Ballance, L., 1992. Habitat use patterns and ranges of the bottlenose dolphin in the gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science*, 8(3), pp.262-274.
- Bazzalo, M., Flores, P. & Pereira, M., 2008. Uso de hábitat y principales comportamientos del delfín gris (*Sotalia guianensis*, Van Bénédén, 1864) en la Bahía Norte, estado de Santa Catarina, Brasil. *Mastozoología Neotropical*, 15(1), pp.9-22.
- Calder, W.A. III. 1984. Size, function, and life history. Harvard University Press, Cambridge. 431 pp.
- Capella, J., Flórez L., Falk P., Herrera J., Tobón I., Hernández E., Recalde A., 2014. Plan Básico para el Manejo de los Mamíferos Marinos en el PNN Gorgona-Pacífico colombiano. Cali: Parques Nacionales Naturales y WWF-Colombia. 0
- Castellanos-Galindo, G.A. & Giraldo, A., 2008. Food resource use in a tropical eastern Pacific tidepool fish assemblage. *Marine Biology*, 153, pp.1023-1035.
- Castellanos-Galindo, G.A., Krumme, U. and Willis, T.J., 2010. Tidal influences on fish distributions on tropical eastern Pacific rocky shores (Colombia). *Marine Ecology Progress Series*, 416, pp.241-254.
- Castellanos-Galindo, G.A., Giraldo, A. and Zapata, F.A., 2014. Tidepool fish assemblages of Gorgona Island, Colombian Pacific coast: a local and regional comparison. *Revista de Biología Tropical*, 62, pp.373-390.
- Fishelson, L., 1970. Behaviour and ecology of a population of *Abudefduf saxatilis* (Pomacentridae, Teleostei) at Eilat (Red Sea). *Animal Behaviour*, 18, pp.225-237.
- Foster, S.A., 1987. Diel and lunar patterns of reproduction in the Caribbean and Pacific sergeant major damselfishes *Abudefduf saxatilis* and *A. troschelii*. *Marine Biology*, 95, pp.333-343.

- Foster, S.A., 1989. The implications of divergence in spatial nesting patterns in the geminate Caribbean and Pacific sergeant major damselfishes. *Animal Behaviour*, 37, pp.465-476.
- Frédérich, B. & Parmentier, E., 2016. *Biology of Damselfishes*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Frédérich, B., Fabri, G., Lepoint, G., Vandewalle, P. and Parmentier, E., 2009. Trophic niches of thirteen damselfishes (Pomacentridae) at the Grand Récif of Toliara, Madagascar. *Ichthyological Research*, 56, pp.10-17.
- Fricke, R., Eschmeyer, W.N. & Van der Laan, R. (eds), 2024. Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references. Available at: <<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>> [Accessed 8 December 2024].
- Froese, R. & Pauly, D. (eds), 2023. FishBase. World Wide Web Electronic Publication. Available at: <<https://fishbase.se/Glossary/Glossary.php?sc=is&q=standard+length>> [Accessed 28 August 2024].
- Gill, T., 1862. Catalogue of the Fishes of Lower California in the Smithsonian Institution, Collected by Mr. J. Xantus: Part I. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, pp.140-151.
- Giraldo, A., Rodríguez, E. & Zapata, F., 2008. Oceanographic conditions off Gorgona Island, eastern tropical Pacific of Colombia. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 36(1), pp.121-128.
- Glynn, P., Prahl, H. & Guhl, F., 1982. Coral reefs of Gorgona island, Colombia, with special reference to corallivores and their influence on community structure and reef development. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*, 12, pp.185-214.
- Helfman, G.S., 2009. Fishes as prey. In: Helfman, G.S., Collette, B.B., Facey, D.E. and Bowen, B.W., *The diversity of fishes: biology, evolution, and ecology*. John Wiley & Sons, pp. 439-454.
- Keenleyside, M.H., 1972. The behaviour of *Abudefduf zonatus* (Pisces, Pomacentridae) at Heron Island, Great Barrier Reef. *Animal Behaviour*, 20(4), pp.763-774.
- Krausman, P., 1999. Some basic principles of habitat use. *Grazing behavior of livestock and wildlife*, 70, pp.85-90.
- Mayagoitia-González, P., Fierro-Cabo, A., Valdez, R., Andersen, M., Cowley, D. & Steiner, R., 2013. Uso de hábitat y perspectivas de *Lontra longicaudis* en un área protegida de Tamaulipas, México. *Therya*, 4(2), pp.243-256.
- Mejía-Rentería, J.C., Cantera-Kintz, J.R. and Zapata, F.A., 2024. High-resolution imagery of the coral reefs of Gorgona Island, Colombian Pacific Ocean: an improved view for monitoring and research. *Bulletin of Marine Science*.
- Michel, C. J., Henderson, M. J., Loomis, C. M., Smith, J. M., Demetras, N. J., Iglesias, I. S., et al., 2020. Fish predation on a landscape scale. *Ecosphere*, 11(6), e03168.

- Moreno, L.A.A., Uribe, D.G. & Isaacs, P., 2007. Estudio de línea base de las formaciones coralinas de Yundigua y el muelle, isla Gorgona, Pacífico colombiano. *Universitas Scientiarum*, 12, pp.65-81.
- Nunes, LT, Barneche, DR, Lastrucci, NS, Fraga, AA, Nunes, JA, Ferreira, CE, & Floeter, SR 2021, 'Predicting the effects of body size, temperature and diet on animal feeding rates', *Functional Ecology*, vol. 35, no. 10, pp. 2229–2240.
- Nunes, LT, Leão, CC, Floyd, AA, Sazima, I, Ferreira, CE & Floeter, SR 2023, 'Diel feeding activity of *Abudefduf saxatilis* (Perciformes: Pomacentridae) on southwestern Atlantic reefs', *Neotropical Ichthyology*, vol. 21, no. 3, e220119.
- Palacios, M. & Zapata, F., 2014. Fish community structure on coral habitats with contrasting architecture in the Tropical Eastern Pacific. *Rev. Biol. Trop.*, 62(1), pp.343-357.
- Peters, R.H. 1983. The ecological implications of body size. Cambridge University Press, New York. 329 pp.
- Pratchett, M.S., Hoey, A.S., Wilson, S.K., Hobbs, J.P.A. and Allen, G.R., 2016. Habitat-use and specialisation among coral reef damselfishes. In: Frédérich, B. and Parmentier, E., eds. *Biology of damselfishes*. Boca Raton, FL: CRC Press, pp.84-121.
- R Core Team, 2024. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <<https://www.R-project.org/>>.
- Rincón-Díaz, N.A., Siera-Rozo, O.M. & Santos-Martínez, A.D., 2013. Patrones ontogénicos y estacionales de peces cirujano (Acanthuridae) según el uso de hábitat en un paisaje insular: Reserva de Biosfera Seaflower, Caribe colombiano.
- Robertson, D.R., Sweatman, H., Fletcher, E. & Cleland, M., 1976. Schooling as a mechanism for circumventing the territoriality of competitors. *Ecology*, 57, pp.1208-1220.
- Robertson, D.R. & Allen, G., 2015. Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de Información en línea. Versión 2.0. Balboa, República de Panamá: Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales.
- D R Robertson and Gerald R Allen. 2024. Shorefishes of the Tropical Eastern Pacific: online information system. Version 3.0 Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panamá.
- Robertson, D.R., Allen, G., Peña, E., Estape, C. & Estape, A., 2024. Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de Información en línea, versión 3.0. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- D R Robertson and J Van Tassell. 2023. Shorefishes of the Greater Caribbean: online information system. Version 3.0 Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panamá.
- Sánchez-Rojas, G., Aguilar-Miguel, C. & Hernández-Cid, E., 2009. Estudio poblacional y uso de hábitat por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en un bosque templado de la Sierra de Pachuca, Hidalgo, México. *Tropical Conservation Science*, 2(2), pp.204-214.
- Schneider, C.A., Rasband, W.S. & Eliceiri, K.W., 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), pp.671-675.

- Sierra-Rozo, O.M., Santos-Martinez, A.D. & Acero Pizarro, A., 2011. Patrones Ontogénicos de Peces Loro Según el Uso de Hábitat en San Andrés Isla (Reserva de Biosfera Seaflower), en Epoca de Lluvias.
- Solís-Mendoza, M., Chassin-Noria, O., Hernández, C.L.P. & Mendoza-Cuenca, L., 2023. Reproductive benefits and reduced investment in parental care behavior associated with reproductive groups of males in *Abudefduf troschelii*. *PeerJ*, 11, p.e15804.
- Souza, A.T., Ilarri, M.I. & Rosa, I.L., 2011. Habitat use, feeding and territorial behavior of a Brazilian endemic damselfish *Stegastes rocasensis* (Actinopterygii: Pomacentridae). *Environmental Biology of Fishes*, 91, pp.133-144.
- Stamps, J., 2008. Habitat. In: Jorgensen, S.E. & Fath, B.D. (eds). *Encyclopedia of Ecology*. Amsterdam: Elsevier, pp.1807-1810.
- Valencia, B. and Giraldo, A., 2012. *Isla Gorgona: paraíso de biodiversidad y ciencia* (Vol. 2). Universidad del Valle.
- Villegas-Hernández, H., Novelo-Ríos, E., Fuentes-Dantorie, K., Guillén-Hernández, S., González-Salas, C., Pech-Puch, D. & Poot-López, G., 2022. Life-history traits facilitate the population success of the sergeant major *Abudefduf saxatilis* (Linnaeus, 1758, Perciformes
- Werner, E.E. and Gilliam, J.F., 1984. The ontogenetic niche and species interactions in size-structured populations. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15, pp.393-425.
- Yeo, S.E. and Spieler, R.E., 1980. Habitat effects on the occurrence of parasites inhabiting the sergeant major, *Abudefduf saxatilis* (Linnaeus), with a list of parasites of Caribbean damselfishes. *Bulletin of Marine Science*, 30(1), pp.313-324.
- Zapata, F.A. and Morales, Y.A., 1997. Spatial and temporal patterns of fish diversity in a coral reef at Gorgona Island, Colombia. In: *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium*, vol. 1, pp.1029-1034.
- Zapata, F.A. and Vargas-Ángel, B., 2003. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia. In: *Latin American coral reefs*. Elsevier Science, pp.419-447.



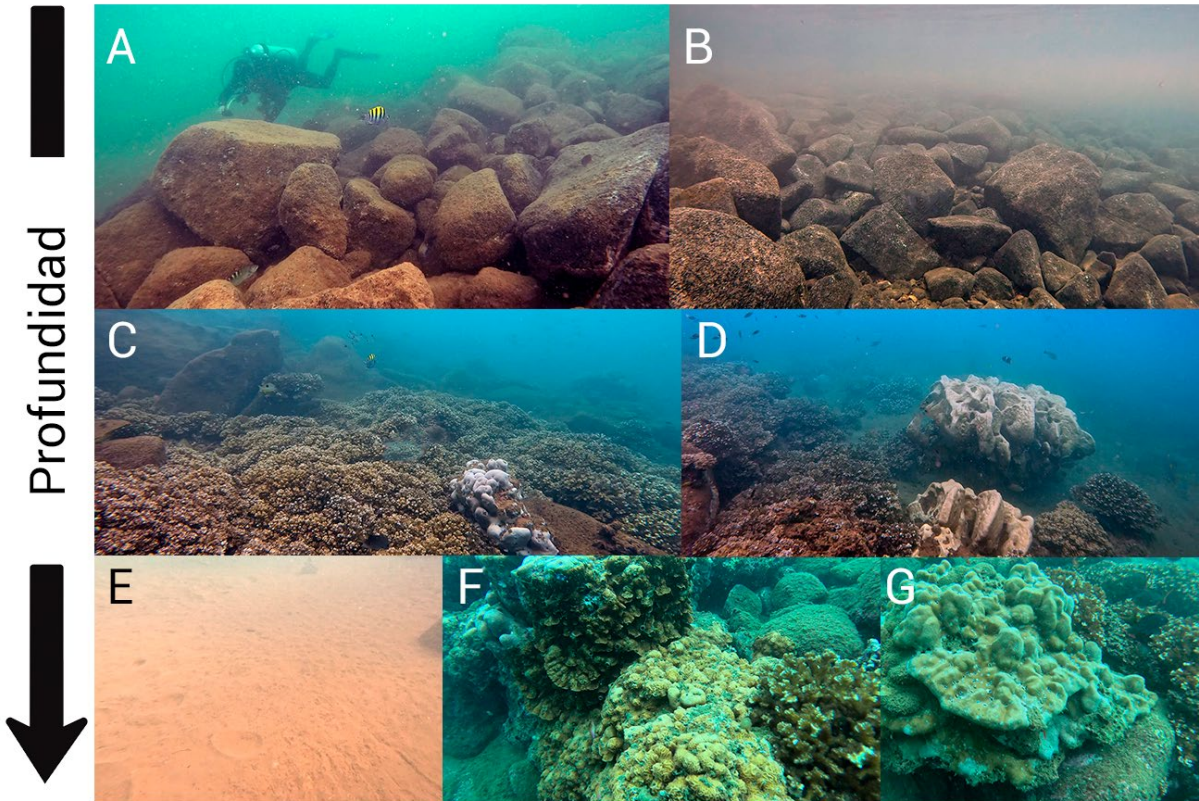
Figura. 1 Perfil del área de estudio. De menor a mayor profundidad, se representa un área formada por A y B: mezcla de rocas grandes, bloques y cantos rodados en los primeros metros. Seguido de C y D: una comunidad coralina dominada por la especies de *Pocillopora spp* y *Pavona clavus* en la parte media, y F y G: colonias aisladas de *Porites panamensis* y *pavona varians*, seguida de E: una planicie de arena en la parte más profunda, justo antes del talud.

Figura. 2 Frecuencia de forrajeo. Obtenida de individuos de *A. troschellii* en un rango de tallas desde los 2 hasta los 15 cm LE. Se ha ajustado una función polinómica de grado 2 a los datos. Se representa la media en puntos rojos.

Figura. 3 Relación entre la talla y A: distancia a la costa (distancia horizontal entre el individuo y el borde del agua, tomado de manera horizontal), B: profundidad de natación (distancia vertical entre la superficie del agua y el individuo), C: profundidad del fondo (distancia vertical entre la superficie del agua y el fondo). Se representa la media en puntos rojos.

Figura. 4 Distribución de A: distancia total recorrida, B: área total recorrida y C: relación de aspecto del área por talla desde los 2 a los 14 cm LE. Se representa la media en puntos rojos.

Perfil área de estudio



Tasa de forrajeo

