



Universidad Veracruzana

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Región Veracruz

Biología Marina

**Reclutamiento del pulpo común (*Octopus insularis*) en el
Sistema Arrecifal Veracruzano**

Tesis para acreditar la Experiencia recepcional

Presenta:

Metzli Arroyo Luis

Director de tesis:

Dr. César Gabriel Meiners Mandujano

Codirector de tesis:

Dr. Roberto Martín Cruz Castán

Junio de 2024

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”



Universidad Veracruzana

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Región Veracruz

Biología Marina

*Reclutamiento del pulpo común (Octopus insularis) en el Sistema
Arrecifal Veracruzano*

Tesis para acreditar la Experiencia recepcional

Presenta:
Metzli Arroyo Luis

Director de tesis:
Dr. César Gabriel Meiners Mandujano

Codirector de tesis:
Dr. Roberto Martín Cruz Castán

Dedicatoria

A mi madre, la mujer que más me ha amado en este mundo. Gracias por tu cariño, compañía y apoyo incondicional, sin ti no hubiera logrado nada de lo que soy hoy en día.

A mi padre, mi ejemplo a seguir. La persona más resiliente que he conocido, que me enseña que todo en esta vida es posible y que no hay cosa que no pueda lograr.

A mi hermano, mi compañero de vida y quien a pesar de las diferencias siempre estamos el uno para el otro echándonos ánimos.

A Ale y Tello, quienes me han visto crecer y me han acompañado a lo largo de este camino deseándome lo mejor. Gracias por cuidarme a pesar de la distancia.

A mis mascotas el Pepito y la Guerra, que me sacan sonrisas cada vez que los veo y me hacen olvidar los malos momentos. Probablemente nunca sepan lo importante que son para mí.

A Fido, quien sé que siempre me acompañará desde el cielo en forma de la estrella más bonita y luminosa que habrá. Me haces mucha falta.

Los amo, gracias a todos por creer en mí siempre. Tenerlos a ustedes el mejor regalo que la vida me pudo dar.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer al Dr. César Meiners, mi director de tesis y la persona que estuvo día con día empujándome a salir adelante durante esta etapa de mi vida, quien hizo demostrarme a mí misma de lo que soy capaz. Gracias Doc., por confiar en mí en momentos en los que ni yo lo hacía y siempre mantenerse positivo dándome ánimos.

A la Universidad Veracruzana, por brindarme la oportunidad de seguir creciendo académicamente proporcionándome un espacio de aprendizaje cómodo y académicos de calidad apasionados por su trabajo.

Al Dr. Roberto Castán y el M.C. Miguel Lozano, quienes me guiaron y apoyaron durante toda mi formación académica. Gracias por brindarme la confianza de acudir a ustedes sin pensarlo.

A mis amigos que me acompañaron durante todo el camino, Gaby, Perla, Hannia, Magdiel, Sebastián, Diego, ..., y todos aquellos con los que compartí momentos de alegría y me sacaron miles de sonrisas. Gracias por las enseñanzas, los consejos, y sobre todo por acompañarme en todo momento. Mi vida es más feliz gracias a ustedes.

Índice

Dedicatoria	1
Agradecimientos.....	2
Índice	4
Resumen	3
I. Introducción	4
II. Antecedentes	6
III. Justificación	11
IV. Hipótesis.....	11
V. Objetivos.....	12
General:.....	12
Específicos:.....	12
VI. Materiales y Métodos	13
Muestreo	13
Análisis de datos	17
VII. Resultados	19
IX. Conclusiones	30
Referencias	31

Resumen

El recurso pulpo que se explota artesanalmente en el Sistema Arrecifal Veracruzano está dominado por *Octopus insularis*, especie sobre la cual existe un aprecio socioeconómico local relevante. No obstante su importancia, los estudios sobre su biología y ecología son todavía escasos, en especial aquellos relacionados con el reclutamiento biológico a las áreas someras arrecifales. Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo fue determinar la temporalidad e intensidad del reclutamiento biológico de *O. insularis*, así como la importancia relativa del sustrato y el refugio disponible para este proceso en la laguna del Arrecife Ingeniero del Sistema Arrecifal Veracruzano (LAI-SAV). Se realizaron censos visuales por buceo libre entre marzo y noviembre de 2023, con capturas no letales georreferenciadas en los muestreos de agosto a noviembre de 2023, para medir y determinar el sexo de los reclutas de pulpo, así como describir las características del sustrato y de los refugios utilizados por los reclutas. Se censaron 50 pulpos (28 machos, 17 hembras y 5 indeterminados) con una moda de $45 \text{ mm} \pm 14.13 \text{ DE}$ de longitud del manto (LM) y una densidad promedio mensual de $1.19 \text{ ind} \cdot 1000\text{m}^{-2} + 1.39 \text{ DE}$. El pico de densidad máxima de reclutamiento ($3.22 \text{ ind} \cdot 1000\text{m}^{-2}$) ocurrió en agosto seguido de un decremento abrupto los meses posteriores. La distribución espacial de los pulpos no fue aleatoria y depende de sustratos que provean refugio, ya que el tamaño del pulpo y el tamaño de la oquedad están relacionados directamente ($r = 0.4321$, $p = 0.0041$). La ventana temporal del reclutamiento es estrecha y se extiende de finales de julio a septiembre. El tamaño y disponibilidad de refugio adecuado para los reclutas de pulpo es crítico, toda vez que la densidad de reclutas se reduce sensiblemente conforme crecen. Estos hallazgos representan el primer esfuerzo de caracterización y cuantificación del proceso de reclutamiento biológico de *O. insularis* en el Golfo de México.

Palabras clave: *Octopus insularis*, reclutamiento, oquedad, SAV, Arrecife Ingeniero, Golfo de México

I. Introducción

Los pulpos son moluscos del orden Octópoda, poseen un cuerpo en forma de saco y se caracterizan por tener ocho extremidades (tentáculos) con dos hileras de ventosas en la mayoría de las especies, una de estas extremidades está modificada en los machos y es usada como estructura copuladora, se encuentra ubicada en el tercer brazo del lado derecho y se distingue por ser más corto que los demás, con presencia de ventosas modificadas y con una terminación cóncava denominada lígula (Aguilar *et al.*, 2007). Además, poseen un aparato bucal quitinoso potente en forma de pico con siete dientes, localizado justo en el punto de unión entre sus brazos que les sirve para triturar su alimento (Jereb & Roper, 2010; González-Gómez, 2021). Los pulpos carecen de estructuras duras (a excepción del pico y rádulas), poseen un cuerpo blando que les permite deslizarse por hendiduras y túneles muy angostos (Grande & Zardoya, 2014). Adicionalmente, sus órganos neuromusculares denominados “cromatóforos” les brindan la capacidad de mimetizarse con su entorno, acción que es clave en su comportamiento; la cantidad y densidad de cromatóforos varía entre especies de acuerdo con los hábitos y estilo de vida del individuo (Messenger, 2001).

El ciclo de vida de la mayoría de los octópodos es corto, son semélparos, es decir, la reproducción ocurre solo una vez en su vida; las hembras una vez fecundadas buscan refugios adecuados donde desarrollar la puesta de los cordones de huevos los cuales son sujetados a las paredes duras del refugio con mucosa producida por la glándula oviductal de la hembra (Froesch & Marthy, 1975). Se estima que la fecundidad puede rondar los 85,000 huevos por hembra, con un desarrollo embrionario de 31 a 37 días dependiendo la temperatura y salinidad del agua, variables que también pueden influir en la calidad del desarrollo de los huevos (Lenz *et al.*, 2015; Rodríguez-Reyes, 2022). Durante el tiempo de cuidado de los cordones de huevos, la hembra no se alimenta ni abandona el refugio, lo cual provoca su muerte por debilidad por inanición y senescencia finalizando con la eclosión de los huevos (Boyle & Rodhouse, 2008; Hernández-Urcera & Guerra, 2014; Almansa & Perales, 2022).

Existen especies de pulpos tanto holobentónicos (los cuales tienen un desarrollo directo), como merobentónicos en donde después del desarrollo embrionario se forman “paralarvas” como primera fase después de la eclosión de los huevos (Young, 1998). *Octopus insularis* corresponde a una especie merobentónica, pues atraviesa por una fase de paralarva planctónica antes de asociarse finalmente al bentos (Leite *et al.*, 2008). Las hembras de *O.*

insularis tienen una tasa de fecundidad mayor y producen huevos más pequeños, a diferencia de otras especies que tienen desarrollo directo (Leite *et al.*, 2008; Villanueva & Norman, 2008).

La amplia distribución de *O. insularis* se explica por su fase dispersiva de paralarva planctónica, momento en el que se facilita su advección y formación de metapoblaciones por dispersión larvaria gracias a las corrientes marinas que dirigen las paralarvas hacia sitios diferentes a sus lugares de eclosión (exportación), aproximan paralarvas de otros lugares a la zona (importación), o retienen internamente las paralarvas las cuales nacerán y se reclutarán en el mismo lugar donde fueron eclosionadas (auto-reclutamiento) (Cowen *et al.*, 2002; Hixon & Webster, 2002).

El proceso de reclutamiento biológico del pulpo al sustrato ocurre en un periodo limitado cuando una paralarva pelágica pasa a una etapa juvenil demersal asociándose al bentos en sustratos preferiblemente rocosos; este proceso implica la “competencia” por un entorno adecuado entre la población tardía y el suministro de paralarvas al tener habilidades de caza por alimentación y técnicas de escape de sus depredadores como cambiar de color y textura (Kaufman *et al.*, 1992; McCormick & Makey, 1997; Hixon & Webster, 2002; Hernández-Urcera & Guerra, 2014; Amor *et al.*, 2017; Almansa & Perales-Raya, 2022).

Una de las condicionantes para la elección de sus oquedades es la profundidad y el tipo de sustrato, pues un sustrato grueso o rocoso les otorga una mayor posibilidad de encontrar un refugio seguro a comparación de fondos arenosos. Los juveniles optan por habitar agujeros entre las formaciones rocosas, mientras que ejemplares más grandes suelen excavar la arena bajo las rocas para posteriormente bloquear la entrada con elementos como restos de sus alimentos (Leite *et al.*, 2009). De igual forma, se ha demostrado que *O. insularis* tiene preferencia por aguas de poca profundidad, usualmente encontrada dentro de los primeros cinco metros y ubicadas preferentemente en arrecifes rocosos y/o coralinos (Leite *et al.*, 2008; Jiménez-Badillo, 2013; Moreno *et al.*, 2014; Basterrechea, 2017).

En el 2003, Norman propuso que *O. vulgaris* era un complejo de especies que incluía cuatro variantes adicionales al *Octopus vulgaris s.s.* del Mediterráneo y Atlántico oriental: *O. vulgaris* tipo I habitando el Golfo de México y Mar Caribe, *O. vulgaris* tipo II encontrado en las costas venezolanas y Brasil, *O. vulgaris* tipo III perteneciente a Sudáfrica y *O. vulgaris* tipo IV encontrado en el noroeste del Océano Pacífico (Norman & Finn, 2014). Este complejo

de especies es morfológicamente muy parecido en sus patrones de color y textura de la piel, pues no existen diferencias aparentes en su morfología a partir de caracteres muy generales. La falta de detalle sobre los caracteres de identificación de especies debido a la ausencia de estructuras duras y su alto grado de polifenismo frecuentemente resulta en identificaciones sesgadas entre especies de pulpos y dificulta la asignación a sus taxa apropiados (Norman & Hochberg, 2005; Lima *et al.*, 2017). Hasta 2017, se consideraba *O. vulgaris* tipo I a lo que hoy es *O. insularis*, sin embargo, ahora existe plena certeza bajo el principio de taxonomía integrativa que la especie *O. insularis* es una especie diferente a *O. vulgaris* (Leite *et al.*, 2008; Lima *et al.*, 2017; Flores-Valle *et al.*, 2018; González-Gómez *et al.*, 2018).

Octopus insularis es la especie más abundante en la pesquería de pulpo del SAV (Flores-Valle *et al.*, 2018; González-Gómez *et al.*, 2018), contribuyendo con casi 60 toneladas anuales de captura (CONAPESCA, 2022) y representa un recurso relevante socioeconómicamente desde hace más de 50 años para pescadores artesanales de las localidades de Veracruz y Antón Lizardo. Se pesca con buceo libre y con gancho pulpero, para su manejo se aplican dos periodos de veda que protegen la reproducción en diciembre y el crecimiento de los juveniles en agosto, así como la prohibición de su captura con equipo de buceo autónomo (Rosas-Luis *et al.*, 2019).

II. Antecedentes

A partir de la descripción de *O. insularis*, se destacaron los caracteres morfológicos finos de la especie, además de una breve descripción acerca de su hábitat, en conjunto con investigaciones acerca de su distribución y las diferencias que presenta con respecto a *O. vulgaris*.

Se han reportado análisis sobre la genética de *O. insularis* (Amor *et al.*, 2017; Leite *et al.*, 2008; Maloney *et al.*, 2023), acompañado de estudios de aspectos ecológicos como su dieta, el comportamiento en sus guaridas, además de las características de su hábitat, distribución y dinámica poblacional, sobre todo en el Atlántico suroccidental tropical, pues es donde fue originalmente descrita (Leite *et al.*, 2009; Leite *et al.*, 2016; O'Brien *et al.*, 2023). Se ha determinado que su distribución depende de la profundidad, temperatura y tipo de sustrato. Los procesos metabólicos y la forma de utilizar la yema durante la incubación

son termosensibles, a temperaturas más cálidas el crecimiento se acelera, lo cual acorta el periodo en el que los juveniles se encuentran más susceptibles a ser depredados, y por consecuente, alcancen más rápido la fase adulta (Pechenik, 1987; Katsanevakis & Verriopoulos, 2004). Se conoce que este pulpo habita preferiblemente en aguas cálidas en zonas tropicales a temperaturas entre 23-30° C en arrecifes a profundidades menores de 30 metros abarcando desde la costa sur de Brasil hasta el Golfo de México incluyendo todo el Caribe y el sur de Florida, Bahamas hasta las islas Bermudas (Leite *et al.*, 2008; Leite *et al.*, 2009; Lima *et al.*, 2017; O'Brien *et al.*, 2021). Algunas razones propuestas por Leite y colaboradores en el 2007 acerca de la preferencia por aguas de poca profundidad son la disponibilidad de alimento, pues existe un mayor número de presas preferidas en zonas menores a 10 metros de profundidad, además, la presión por depredación es menor, pues menciona que los principales depredadores de *O. insularis* no se encuentran en sustratos duros en profundidades someras.

Octopus insularis alcanza su madurez sexual a 90 mm de longitud del manto (LM) en machos y 108 mm LM en hembras. En general, los machos de *O. insularis* son más pequeños que las hembras, además, el hectocótilo de los machos tiene alrededor de 103-146 ventosas con el canal espermatofórico muy bien distinguido (González-Gómez, 2021). *O. insularis* muestra una diferencia notoria entre sexos en sus extremidades, los machos presentan brazos más anchos y ventosas más grandes a comparación de las hembras (Leite *et al.*, 2008; González-Gómez, 2021).

Con respecto a su piel, se nota una diferencia en el dorso y vientre del individuo, pues la parte dorsal tiene una textura más rugosa que en el lado ventral. En la parte ventral de las extremidades muestran parches poligonales de color rojo con líneas blancas, al encontrarse refugiados y dependiendo el entorno su coloración puede variar desde tonalidades amarillas a marrón rojizo, predominando el color crema, de igual forma, posee líneas alternas claras y oscuras alrededor de ambos ojos mientras se encuentran dentro de su oquedad (Fig. 1) (Leite, 2007; González *et al.*, 2018).



Figura 1. Características morfológicas visibles en *Octopus insularis*. Tomada de: González-Gómez (2021).

Octopus insularis presenta una menor longitud y grosor de extremidades que *O. vulgaris*, más robusta y con un menor número de ventosas en el brazo las cuales rondan entre 95 a 142 unidades; en cambio, *O. vulgaris* tiene entre 140 a 170 ventosas. La talla a la madurez de *O. insularis* es menor, 95 mm LM vs 250 mm LM de *O. vulgaris*. *Octopus insularis* presenta un cálamo proporcionalmente más grande, picos más fuertes y espermatóforos de tamaños más reducidos, así como un crecimiento alométrico negativo en la longitud de sus brazos y un crecimiento alométrico positivo sobre la anchura, tendencia que *O. vulgaris* no presenta y que hace más fácil discriminar entre especies (Leite, 2007). La fecundidad de *O. insularis* es menor que lo reportado para *O. vulgaris*, proporcional a las diferencias de tamaño (Lima *et al.*, 2014a).

Otros aspectos básicos de esta especie se han estudiado desde la perspectiva del desarrollo gonadal y la descripción de sus huevos y paralarvas, sin embargo, estas investigaciones se han realizado en condiciones exclusivamente de cultivo (Lima *et al.*, 2014a; Lenz *et al.*, 2015; Maldonado *et al.*, 2019; Rodríguez-Reyes, 2022). Se han realizado descripciones de las paralarvas de *O. insularis*, que miden 2.34 ± 0.16 mm de longitud, y tienen la característica de contar con 3 ventosas en cada extremidad con una capacidad de natación limitada, poseen una musculatura transparente, su manto es ligeramente ovoide con una LM media de 1.68 ± 0.13 mm y tienen alrededor de 90 a 111 cromatóforos (Leite *et al.*, 2008; Villanueva & Norman, 2008; Hernández-Urcera & Guerra, 2014; Lenz *et al.*, 2015).

El sesgo entre especies existente se propagó involuntariamente en las decisiones de manejo de esta especie en el Sistema Arrecifal Veracruzano, pues históricamente se asumió que la especie dominante de pulpo era *O. vulgaris* tipo I y como una especie distinta. González-Gómez *et al* (2018) realizaron la caracterización morfológica de esta especie en el SAV a partir de 52 especímenes en estadios III y IV de maduración, toda vez que ejemplares de tallas menores podrían no estar completamente desarrollados lo que ocasionaría alta variabilidad en el número de ventosas o tamaño de sus extremidades (Leite *et al.*, 2018; Leite & Mather, 2008). Además, se realizaron análisis genéticos y de taxonomía integrativa por medio de la captura y análisis de 17 individuos para después extraer su material genético a partir de tejidos de uno de los brazos de cada espécimen, lo que permitió constatar que *O. insularis* es el pulpo dominante en el SAV (Flores-Valle *et al.*, 2018; González-Gómez *et al.*, 2018).

Hasta antes del 2018, existen diversos estudios en el SAV sobre la edad, el crecimiento, madurez gonádica, las dimensiones de su explotación pesquera y el efecto que tiene sobre este recurso y en los ecosistemas, pero todos ellos asumiendo la identidad taxonómica como *O. vulgaris*, que, a partir de los estudios de Flores-Valle *et al* (2018) y González-Gómez (2018), quedó determinada la identidad taxonómica del pulpo en el SAV como *O. insularis*, por lo cual es importante aclarar que todos los estudios previamente realizados corresponden a la biología y ecología de *O. insularis* (Dávila *et al.*, 2015; Jiménez-Badillo *et al.*, 2008; Díaz-Álvarez, 2011).

González-Gómez *et al.* (2020) determinaron que la mayoría de las hembras maduras ocurren de diciembre a mayo con un pico en marzo, al igual que en el caso de los machos, mientras que los ejemplares inmaduros se presentaron en verano y principios de otoño. De igual forma se demostró que la proporción de sexos se mantiene 1:1 en la pesquería, exceptuando en diciembre en el que los machos dominaron la captura, pues es cuando se da el proceso de segregación espacial de las hembras en busca de zonas de desove. La mayor abundancia de ejemplares inmaduros de tallas menores a 65 mm LM se registró en junio y julio (Lima *et al.*, 2014b).

Uno de los antecedentes metodológicos más directos a este trabajo es el desarrollado por Leite *et al* (2009), quienes realizaron el monitoreo de *O. insularis* por medio de snorkel y buceo con el fin de determinar el hábitat, distribución y abundancia en el archipiélago de

Fernando de Noronha frente al noreste de Brasil, estudio donde además se analizó el tipo de sustrato preferido y el tamaño corporal del individuo. Esta zona tiene condiciones similares a las que tiene el SAV, ya que también es un sistema arrecifal coralino/rocoso bajo la condición de área natural protegida y explotación pesquera sobre esta especie.

Hasta el momento no existen estudios precisos acerca de la preferencia del sustrato que tiene *O. insularis* en el SAV, aspecto clave en cuanto al reclutamiento de esta especie debido a que es un factor determinante en la elección de refugios donde se desarrollarán, y que eventualmente permitirá que sean aprovechados por la comunidad pesquera algunos meses más adelante. A pesar de que existen evidencias previas acerca del hábitat y el asentamiento de juveniles, así como la forma en la que se distribuye esta especie en las costas de Brasil, es necesario hacer lo propio en hábitats del hemisferio norte como el SAV, para elucidar los factores determinantes para el desarrollo de esta especie de pulpos, a partir de una base científica de los procesos.

III. Justificación

El pulpo *O. insularis* es un recurso pesquero relevante socioeconómicamente en el área de influencia del SAV del cual se cuenta con información principalmente de su fase adulta, pues se conoce muy poco acerca del proceso de reclutamiento de juveniles pequeños al sustrato; esto representa un eslabón crítico o “cuello de botella poblacional” donde la mortalidad en el momento del asentamiento puede ser muy alta, lo que determina en última instancia la densidad y abundancia de individuos susceptibles de ser capturados algunos meses después.

Ninguno de los estudios disponibles hasta ahora ha tratado directamente el proceso de reclutamiento biológico de *O. insularis*, a pesar de ser muy bien estudiado en otras especies sujetas a explotación pesquera como el cangrejo azul *Callinectes sapidus*, el ostión de Virginia *Crassostrea virginica* y el camarón café *Penaeus aztecus* (Etherington & Eggleston, 2000; Baqueiro-Cárdenas & Aldana-Aranda, 2007; Cházaro-Olvera *et al.*, 2007; Cervantes-Hernández & Gracia, 2020;). Por lo tanto, la caracterización y cuantificación de este proceso es indispensable para la comprensión de la dinámica poblacional de la especie. Bajo este contexto, es importante contar con mediciones sin sesgo de pesca de la densidad de reclutas de *O. insularis* y su evolución temporal, con la finalidad de desarrollar indicadores robustos acerca de la intensidad y temporalidad del reclutamiento biológico de *O. insularis* en el SAV y sus implicaciones para el manejo del recurso.

IV. Hipótesis

Debido a que el proceso reproductivo del pulpo *Octopus insularis* se concentra en la época de nortes (noviembre a marzo) en el SAV, se espera que el reclutamiento de juveniles al sustrato en aguas someras, como las de la Laguna Arrecifal de Ingenieros del Sistema Arrecifal Veracruzano (LAI-SAV), ocurra en un pulso temporal definido pocos meses después, previsiblemente de junio a septiembre, ya que cuenta con fondos someros heterogéneos con arrecifes rocosos y coralinos próximos a ceibadales como proveedores de refugios potenciales óptimos para los reclutas de pulpo.

V. Objetivos

General:

Determinar la temporalidad e intensidad del reclutamiento biológico del pulpo común *Octopus insularis*, así como su relación con las características del sustrato y las condiciones del refugio en la laguna del Arrecife Ingeniero del Sistema Arrecifal Veracruzano (LAI-SAV).

Específicos:

- Determinar la talla de juveniles de pulpo y su evolución mensual en la LAI-SAV.
- Estimar la densidad de reclutas de pulpo *O. insularis*, así como su evolución temporal en el LAI-SAV.
- Determinar si existe relación entre la somatometría del pulpo y las características del refugio en la LAI-SAV.
- Definir las preferencias hacia el tipo de oquedad y sustrato para los reclutas de *O. insularis*.
- Estimar el área donde se localizan los sitios específicos (praderas) de asentamiento para los ejemplares reclutas y sus características.

VI. Materiales y Métodos

La zona de interés fue el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), el cual cuenta con veintiocho formaciones arrecifales y seis islas distribuidas en una superficie de más de 65 mil hectáreas (CONANP, 2017). El presente estudio tuvo lugar en la Laguna Arrecifal del Arrecife Ingeniero (LAI) frente al municipio de Boca del Río, Veracruz (Fig. 2).

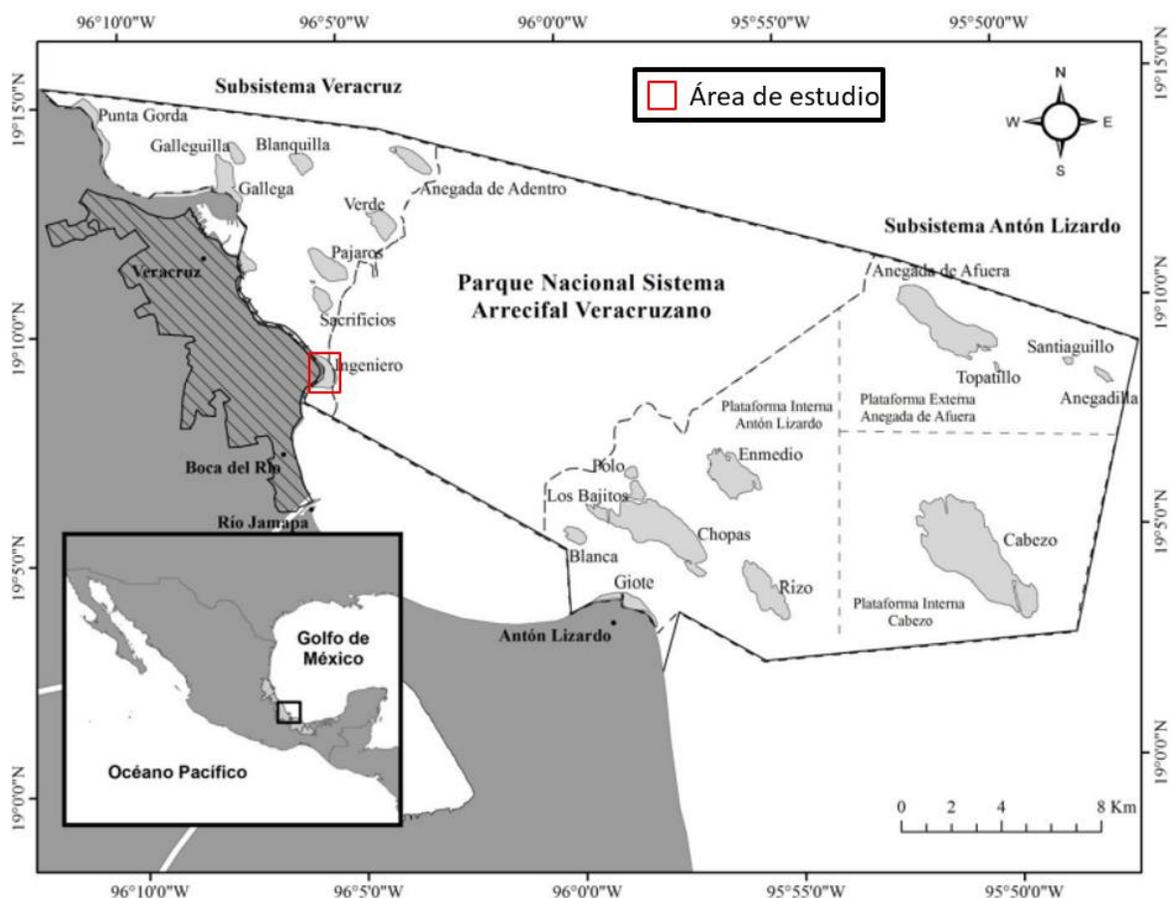


Figura 2. Área de estudio en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Adaptada de: Aguilera-Arias (2012).

El Arrecife Ingeniero (AI) tiene una superficie de 131.07 hectáreas, con una laguna arrecifal somera de 65 hectáreas que tiene una cobertura de pastos marinos relevante; adicionalmente, el área presenta lugares con sustrato arenoso y rocoso, además de formaciones coralinas que permiten el albergue de muchas especies (CONANP, 2017).

Muestreo

Se realizaron un total de 15 muestreos mediante buceo libre errante en pareja para identificar y censar juveniles pequeños de pulpo *O. insularis* de marzo a noviembre de 2023.

Seis de los 15 muestreos realizados fueron prospectivos intensivos (≈ 2.9 horas*muestreo⁻¹) con periodicidad cuasi-quincenales entre marzo y julio de 2023, realizados con el fin de identificar visualmente el momento en el que los primeros juveniles de pulpo aparecieran, pues esto marcó el inicio del reclutamiento. Los nueve muestreos restantes (≈ 3.3 horas*muestreo⁻¹) se realizaron a partir de agosto y hasta noviembre de 2023, pero esta vez utilizando georreferenciación con dispositivos GPS *Garmin GPSMAP 64s* atados a una boya, con la misma pareja de buzos durante todos los muestreos para evitar sesgo por cambio de apreciación. En agosto y octubre, dos muestreos no pudieron ser realizados con éxito debido a las malas condiciones de visibilidad, por lo que se optó por cancelarlos para evitar posibles sesgos a causa de una mala visión (Tabla 1).

Tabla 1. Temporalidad del muestreo de reclutas de pulpo <i>Octopus insularis</i> en el Arrecife Ingeniero del Sistema Arrecifal Veracruzano durante 2023			
Mes	Tipo	Fecha	Días transcurridos entre muestreo
Marzo	Prospectivo	25/03/2023	-
Abril	Prospectivo	15/04/2023	22
Junio	Prospectivo	10/06/2023	57
Julio	Prospectivo	04/07/2023	25
		13/07/2023	10
		19/07/2023	7
Agosto	Georreferenciado	01/08/2023	14
	Cancelado	11/08/2023	-
	Georreferenciado	31/08/2023	31
Septiembre	Georreferenciado	07/09/2023	8
		16/09/2023	10
		21/09/2023	6
		28/09/2023	8
Octubre	Georreferenciado	12/10/2023	15
		20/10/2023	9
	Cancelado	26/10/2023	-
Noviembre	Georreferenciado	09/11/2023	21

Los GPS se configuraron en modo “track” para registrar el derrotero detallado de los buzos y a partir de ello estimar el área barrida efectiva de búsqueda. También se utilizó un reloj digital con la hora sincronizada con el GPS para registrar la hora de los encuentros de pulpo. Además, con ayuda de una cámara deportiva *GoPro Hero 11 Black* se tomaron aleatoriamente fotos y secuencias de video de los ejemplares de pulpos tanto dentro de sus oquedades como en el momento de la toma de mediciones.

Se realizaron capturas no letales de todos los pulpos encontrados con ayuda de peróxido de hidrógeno de 11 volúmenes y una jeringa hipodérmica de 150 ml sin aguja acondicionada con una manguerilla plástica en la boquilla para verter el líquido lo más focalizado posible dentro del refugio y con ello provocar la salida del pulpo sin forcejeos y daños al organismo (Fig. 3).

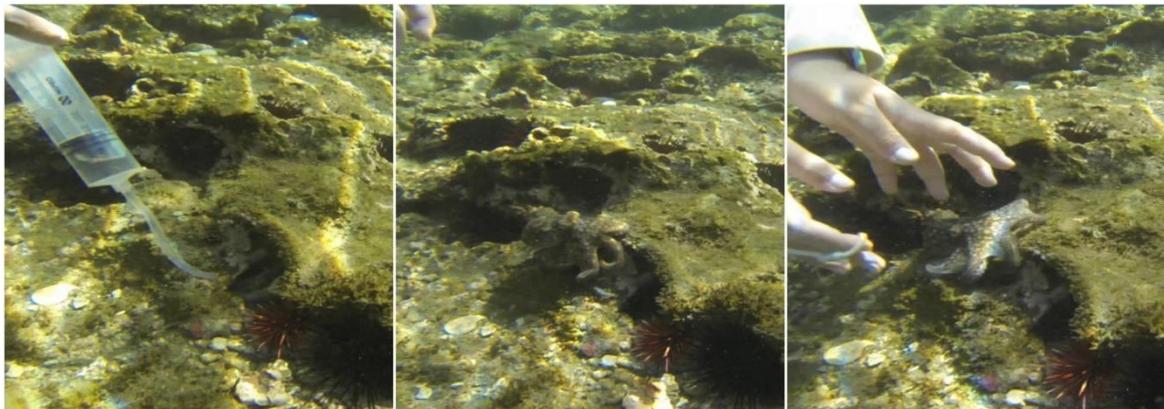


Figura 3. Procedimiento de captura de reclutas de *Octopus insularis* en el SAV. [Fotografía propia].

Una vez que el individuo estuvo fuera de su oquedad, se capturó manualmente, se registró la hora de captura, se confirmó la especie por la presencia de la retícula rojo/blanco en la parte ventral de los brazos (González-Gómez *et al.*, 2018; O'Brien *et al.*, 2021), se midió la longitud del manto (LM) al mm inferior con un vernier plástico (Fig. 4).



Figura 4. Toma de medidas de la LM de *Octopus insularis*. [Fotografía propia].

Se determinó el sexo a partir de la presencia o ausencia del hectocótilo con un tiempo de manipulación aproximado de 3 a 5 minutos, también se midió el ancho y alto en mm de la oquedad donde fue encontrado y se registraron algunas observaciones complementarias acerca del tipo de sustrato de los alrededores de su refugio. Los datos recabados de cada ejemplar se anotaron con lápiz en una tablilla de plástico PVC (Fig. 5).



Figura 5. Registro de datos con una tablilla PVC y lápiz. [Fotografía propia].

Al finalizar el proceso, se limpió la oquedad provocando una corriente entrante con las manos para eliminar rastros del peróxido de hidrógeno y así liberar los pulpos de regreso en la misma oquedad de donde fueron capturados (Fig. 6).



Figura 6. Pulpo común del SAV entrando a su refugio. [Fotografía propia].

Análisis de datos

Se creó una base de datos en una hoja electrónica en Microsoft Excel donde se registraron todos los datos recabados de las capturas de *O. insularis* ordenándolos por fecha de muestreo, anotando la hora de inicio y final del muestreo, la hora de encuentro de cada pulpo, el sexo, la LM en mm, el ancho y alto en mm del refugio donde se encontró el ejemplar y las observaciones correspondientes de cada individuo.

Se descargaron los tracks del dispositivo GPS abriéndolos en la aplicación *Garmin MapSource 4.06* (Fig. 7). Posteriormente se realizó una limpieza del recorrido teniendo como referencia la hora de inicio y salida del muestreo. Así como una limpieza acerca del tiempo muerto en el que la boya se encontró registrando tiempo y distancia mientras se realizaban las mediciones de los individuos de pulpo. De igual manera, en caso de haber recorrido el mismo sitio se eliminaron esos puntos del recorrido.

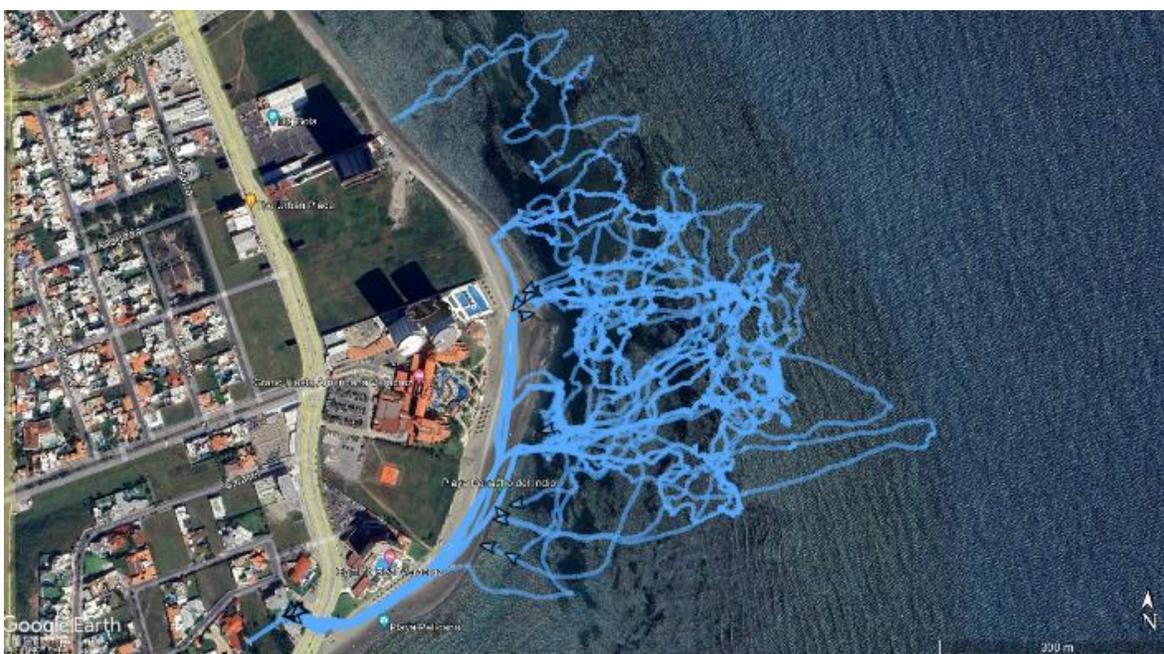


Figura 7. Registro crudo del trayecto recorrido en la LAI-SAV mostrado en Google Earth.

Con ayuda de la hora registrada de cada uno de los encuentros de pulpo se abrió el track ya limpio en la aplicación *Google Earth Pro* con el fin de identificar el punto exacto de encuentro de cada individuo identificado.

Una vez con los datos registrados en la hoja de Excel se cuantificaron el número total de individuos muestreados, el total de horas efectivas muestreadas, además del número de

machos, hembras y el número de individuos que no se les pudo determinar el sexo (reportados como “indeterminados”), así como la LM mínima, máxima y promedio por sexos.

Se cuantificó el número de muestreos totales por mes y los individuos observados por cada muestreo. Con los datos del GPS se obtuvieron los metros lineales recorridos y las horas efectivas de búsqueda.

Se calculó el área barrida en $1000m^2 \cdot mes^{-1}$ y $ha \cdot mes^{-1}$ aplicando la siguiente fórmula:

$$AB \text{ mensual } (1000 \text{ m}^2) = \frac{m \text{ lineales recorridos por mes } * 2 \text{ m}}{1000 \text{ m}}$$

$$AB \text{ mensual } (ha) = \frac{m \text{ lineales recorridos por mes } * 2 \text{ m}}{10000 \text{ m}}$$

Donde:

AB = Área barrida

2 m = Anchura de la visibilidad del buzo a lo largo del recorrido de búsqueda

A partir del área barrida se extrapoló la densidad de pulpos por mes en $ind \cdot 1000m^{-2}$ e $ind \cdot ha^{-1}$.

$$Densidad \text{ mensual} = \frac{Ind \text{ observados por mes}}{AB \text{ mensual}}$$

Donde:

AB = Área barrida

El área de la entrada del refugio se obtuvo aplicando:

$$AO \text{ (mm}^2\text{)} = ancho \text{ del refugio } * alto \text{ del refugio}$$

Donde:

AO: Área de la entrada del refugio

Se determinó el tipo e intensidad de relación de dependencia del tamaño de la entrada del refugio con respecto a la LM del pulpo que lo utilizó por medio de un análisis de regresión lineal simple (Sokal & Rohlf, 1970).

VII. Resultados

El total de tiempo muestreado efectivo fue de 30 horas, 3 minutos y 21 segundos, en los cuales la distancia recorrida se registró de 20.6 km que equivalió a 41,200 m² de área barrida (Fig. 8). El área barrida efectiva de búsqueda acumulada equivalió a ~20% de la superficie total de la Laguna del Arrecife Ingenieros (LAI).



Figura 8. Trayecto recorrido efectivo de búsqueda de reclutas de pulpo en la LAI-SAV.

Se contabilizaron 55 individuos en total durante los meses prospectivos y georreferenciados. A partir del primer indicio del reclutamiento se censaron y midieron 50 de ellos; en la figura 9 se aprecia que 28 individuos fueron machos, 17 hembras y 5 indeterminados, la mayor abundancia de machos ocurrió en agosto con 17 ejemplares.

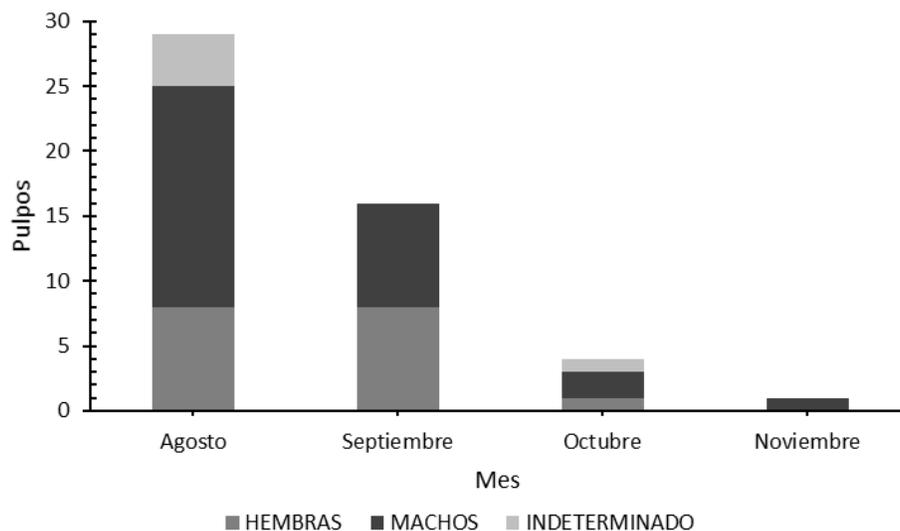


Figura 9. Total de machos, hembras e indeterminados de *Octopus insularis* registrados por mes en la Laguna del Arrecife Ingenieros del Sistema Arrecifal veracruzano en el año 2023.

Todos los pulpos capturados fueron de la especie *O. insularis*, de acuerdo con el patrón reticulado en la zona ventral (Figura 10).

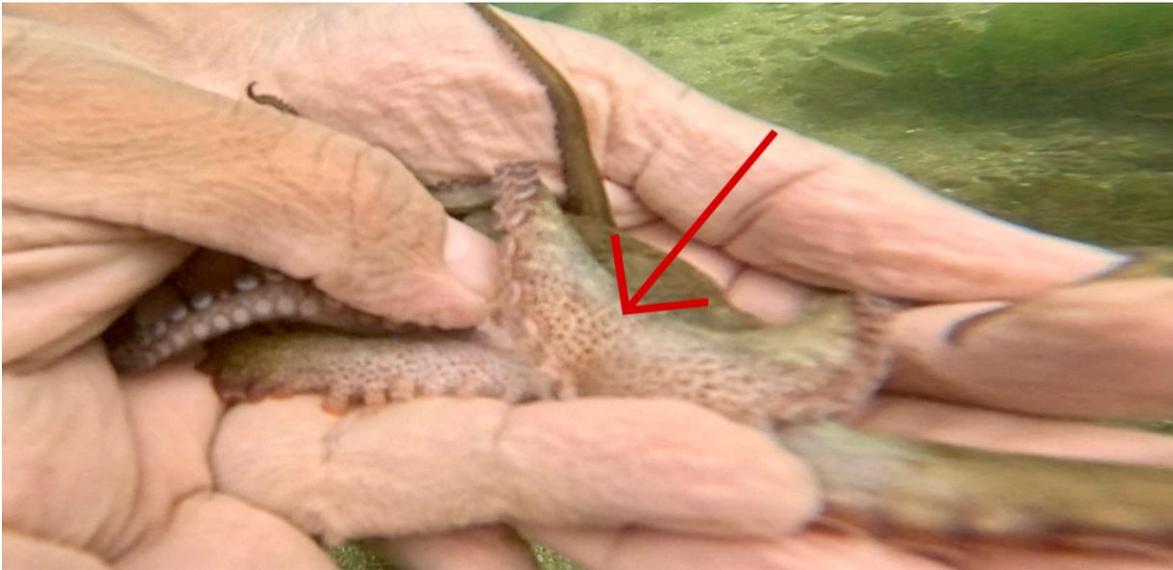


Figura 10. Patrón reticulado ventral en *Octopus insularis* del SAV. [Fotografía propia].

Los especímenes de *O. insularis* fueron encontrados a una profundidad menor a 2 metros, cerca de pastos marinos, bajo rocas o en las grietas encontradas entre el sustrato rocoso de la LAI (Fig. 11).



Figura 11. Hábitat del pulpo común del SAV. [Fotografía propia].

En el exterior de sus oquedades, en la mayoría de los casos se encontraron algunos restos de su dieta, como lo son conchas, el exoesqueleto de crustáceos, rocas pequeñas, entre otros.

Una de las zonas más concurridas por *O. insularis* se dio en un área de aproximadamente 5,744 m², lugar al que se le denominó como “pradera” la cual se encontró a 193 metros de la línea de costa. Esta zona se distinguió de otras de la laguna por tener una buena iluminación, buena visibilidad debido a la ausencia de partículas de arena fina en la columna de agua, además de ser un lugar abundante en pastos marinos en conjunto con una gran cantidad de rocas, sustrato de arena gruesa y una alta abundancia de crustáceos (Fig. 12).



Figura 12. Marcador de los pulpos encontrados en el LAI-SAV. Imagen derecha: la “pradera” de pulpos se encuentra marcada con un polígono rosa. Imagen izquierda: pulpo común del SAV refugiado en su oquedad. [Fotografía propia].

El intervalo de tallas de los reclutas de pulpo fue de 19-87 mm de LM, con un promedio global de 51.88 mm LM \pm 14.14 DE. Se registró un promedio de 49 mm LM \pm 14.19 DE para hembras y 55 mm LM \pm 14.14 DE en el caso de los machos, mientras que la moda fue de 45 mm LM. La talla mensual de *O. insularis* no difirió entre agosto y septiembre, pero mostró un ligero incremento en octubre y aumentó de forma notable para noviembre (Fig. 13).

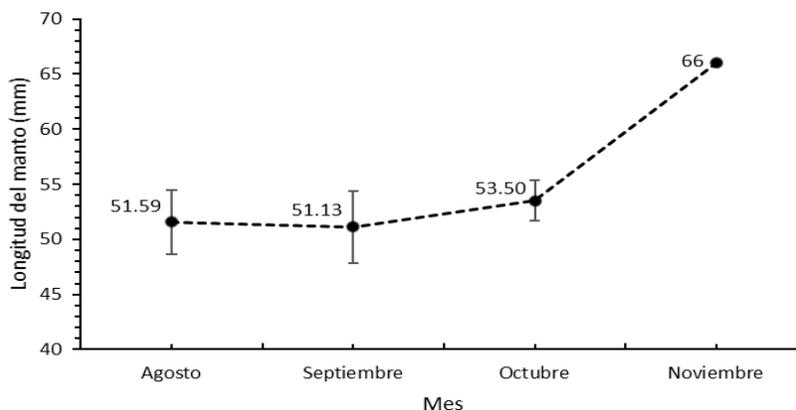


Figura 13. Progresión mensual del promedio de la longitud del manto de los juveniles de *Octopus insularis* en la LAI-SAV.

En la tabla II se muestra el tamaño en LM de cada individuo de *O. insularis*, las medidas de las oquedades donde se encontraron refugiados y el área de entrada del refugio.

Tabla II. Medidas de las oquedades de <i>O. insularis</i> de acuerdo a su LM				
Pulpo	LM (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Área de entrada (mm ²)
1	75	71	71	5041
2	51	24	55	1320
3	64	45	60	2700
4	44	14	32	448
5	19	Bajo roca		
6	50	30	53	1590
7	84	49	92	4508
8	43	58	66	3828
9	54	49	130	6370
10	65	35	45	1575
11	20	Errante		
12	67	55	72	3960
13	44	42	75	3150
14	46	Bajo roca		
15	45	16	57	912
16	72	Bajo roca		
17	55	50	60	3000
18	40	20	35	700
19	68	En una grieta		
20	67	91	110	1001
21	41	48	81	3888
22	45	36	95	3420
23	50	30	35	1050
24	30	46	53	2438
25	60	35	40	1400

26	60	55	100	5500
27	45	20	80	1600
28	30	Bajo roca		
29	62	Bajo roca		
30	45	30	35	1050
31	45	50	62	3100
32	42	Bajo roca		
33	45	35	35	1225
34	44	35	40	1400
35	45	35	40	1400
36	47	30	45	1350
37	58	25	50	1250
38	60	31	45	1395
39	70	50	65	3250
40	45	38	48	1824
41	40	46	53	2438
42	63	42	60	2520
43	87	50	70	3500
44	41	61	60	3660
45	41	30	30	900
46	53	50	63	3150
47	58	Bajo roca		
48	54	45	50	2250
49	49	25	30	750
50	66	77	123	9471

El tamaño de la oquedad se mostró relacionada significativamente ($r = 0.4392$, $p = 0.0041$) con el tamaño del pulpo que la ocupa, pulpos con LM mayores se refugian en oquedades más grandes (Fig. 14).

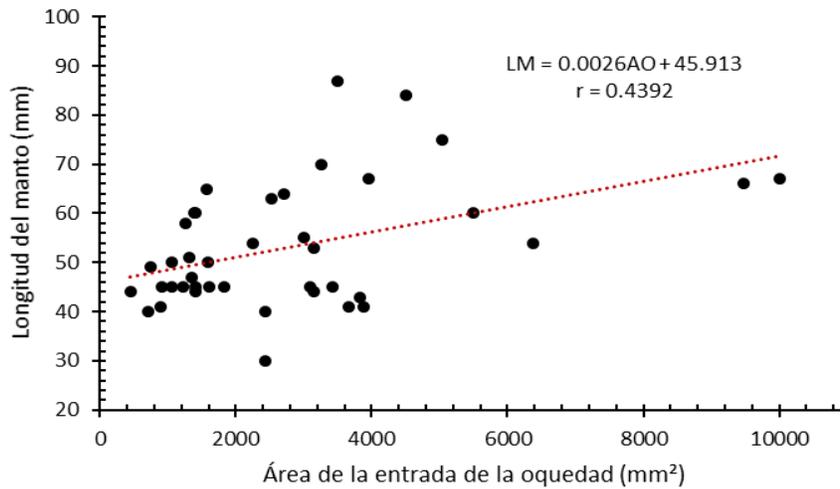


Figura 14. Relación entre la longitud de manto del pulpo y el área de la entrada de la oquedad (AO).

La densidad mensual promedio de pulpos fue de $1.19 \text{ ind} \cdot 1000\text{m}^{-2}$, equivalente a $11.9 \text{ ind} \cdot \text{ha}^{-1}$ y $1.66 \text{ ind} \cdot \text{hr}^{-1}$. La densidad mensual de individuos censados fue heterogénea, en agosto ocurrió la densidad máxima de $3.22 \text{ ind} \cdot 1000\text{m}^{-2}$ ($32.2 \text{ ind} \cdot \text{ha}^{-1}$), seguido de un decremento abrupto durante los meses posteriores hasta alcanzar su punto más bajo en noviembre con una densidad de $0.2 \text{ ind} \cdot 1000\text{m}^{-2}$. La densidad de reclutas de pulpo disminuyó 72.36% en septiembre y 93.79% en noviembre respecto de la máxima de agosto, mientras que el inicio del asentamiento se observó en los muestreos prospectivo de julio, donde se encontraron cinco individuos. La evolución mensual de la talla de *O. insularis* en la LAI fue inversa a la densidad, es decir, la densidad se redujo y los pulpos restantes crecieron aproximadamente un 20% respecto de la talla de agosto (Fig. 15).

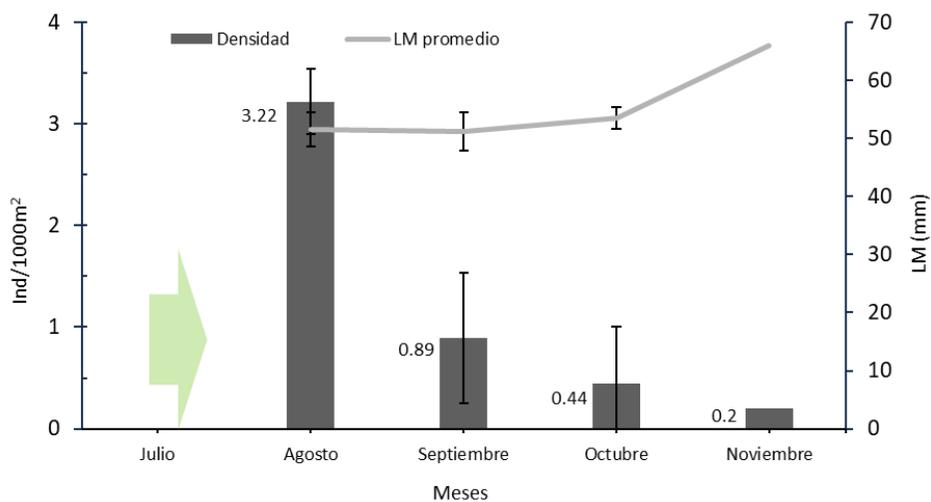


Figura 15. Densidad mensual de reclutas del pulpo común en la LAI-SAV. Se observa la relación entre la densidad de reclutas y longitud de manto (LM) promedio mensual de *Octopus insularis*. La flecha verde indica el inicio del reclutamiento.

VIII. Discusión

Los muestreos realizados representaron un esfuerzo de búsqueda exhaustivo de los pulpos disponibles bajo un criterio azaroso y sin sesgo por pesca. Se redujo considerablemente el sesgo adicional sobre la detección de pulpos al muestrear los días con buenas condiciones climáticas para contar con una buena visibilidad, lo que permitió una buena iluminación y vista del fondo marino, además, se redujo la variabilidad de percepción, utilizando la misma pareja de buzos durante todo el muestreo.

El método de colecta con ayuda de peróxido de hidrógeno para extraer los pulpos fue eficiente y de bajo impacto ya que no representó daño hacia los individuos censados, lo que permitió una supervivencia inmediata del 100%. Al agregar una mínima cantidad de peróxido de hidrógeno en la oquedad del pulpo, el agua en las inmediaciones del individuo refugiado se acidifica, lo que provoca irritación momentánea que dificulta el control de cromatóforos y limita la ventilación, provocando incomodidad en el pulpo, por lo que optan por salir del refugio (Wells & Wells, 1983). El 90% de los individuos muestreados fueron refugiados nuevamente en sus respectivas oquedades después de remover los rastros de peróxido de hidrógeno con una corriente de agua marina entrante para evitar cualquier tipo de incomodidad del individuo hacia el refugio, mientras que el resto de ellos fueron encontrados fuera de su refugio o escaparon antes de poder colocarlos de regreso.

Todos los individuos censados fueron reclutas de acuerdo con la clasificación establecida por Bouth *et al* (2011), donde se menciona que tienen medidas por debajo de los 65 mm LM. Los resultados sobre las condiciones en las que fueron encontrados los especímenes de *O. insularis* muestran que esta especie prefiere sustratos rocosos y/o formaciones arrecifales próximas a pastos marinos y que además tengan buena recepción solar. Estos hallazgos sugieren por tanto, que la distribución de los reclutas de *O. insularis* dentro de la LAI-SAV no es aleatoria sino agrupada o en parches, pero sin compartir refugio. Esto indica que los reclutas que entran a la laguna arrecifal buscan activamente cierto tipo de sustrato, condición que determina la calidad del refugio, les brinda una mayor disponibilidad de alimento, y además, al ser una zona somera con buena recepción solar, promueve el crecimiento individual acelerado debido a temperaturas cálidas, lo que acorta el periodo donde son más susceptibles a ser depredados, tal como ha sido ya descrito en el caso de *O. insularis* de Brasil (Leite *et al.*, 2009).

Se encontró una densidad promedio en la LAI-SAV de $1.19 \text{ ind} \cdot 1000\text{m}^{-2}$, lo que es equivalente a $1.66 \text{ ind} \cdot \text{hr}^{-1}$ y muy similar a la densidad de $1.54 \text{ ind} \cdot \text{hr}^{-1}$ reclutas de *O. insularis* del Archipiélago Fernando de Noronha en el noreste de Brasil (Leite *et al.*, 2009). Es importante destacar que este archipiélago tiene condiciones similares al SAV, pues se trata de un sistema arrecifal sujeto a explotación pesquera y que además pertenece a un área natural protegida; adicionalmente, en esta zona se empleó la misma técnica de búsqueda que el presente trabajo.

La simetría de la densidad de juveniles de pulpo reclutados en áreas someras de dos localidades tan distantes como el suroeste del Golfo de México y el noreste de Brasil, sugiere que probablemente exista una capacidad de carga de reclutas de *O. insularis* en las áreas someras de las lagunas arrecifales, y que además es muy probable que se podrían estar importando, exportando y autoreclutando la misma cantidad de individuos en ambas localidades de hemisferios distintos.

Comprender los aspectos ambientales y ecológicos que están estrechamente relacionados con la importación y exportación de paralarvas de *O. insularis* como la acción de las corrientes marinas es importante debido a que brinda información acerca de la ecología de su población. La distribución conocida de *O. insularis* incluye el Golfo de México y mar Caribe y el noreste de Brasil y sus islas oceánicas (Leite *et al.*, 2009; Lima *et al.*, 2017; Flores-Valle *et al.*, 2018), pero todavía se desconoce la duración de la fase de paralarva en ambiente natural de esta especie y qué distancias puede llegar a recorrer.

Santana-Cisneros *et al.* (2021) realizaron simulaciones de las posibles trayectorias que seguiría la dispersión paralarval de pulpos en el Golfo de México estimadas a partir de un modelo lagrangiano de transporte de ictioplancton, determinaron que la circulación puede advechar a las paralarvas lejos de la costa, siendo las más grandes las más susceptibles a recorrer distancias mayores, aun cuando la tasa de mortalidad aumentaría debido al cambio de hábitat. Propusieron que en el Golfo de México las paralarvas de *O. insularis* originarias del SAV se advechan mayormente por acción del ciclón de la Bahía de Campeche que está presente casi todo el año, lo que tiene como consecuencia que la exportación e importación de paralarvas ocurra sin grandes restricciones hacia los sistemas arrecifales de Veracruz, Lobos-Tuxpan, de los Tuxtlas, al norte y oriente de la plataforma de Yucatán, arrecifes no

emergidos dispersos en el Golfo de México, el mar Caribe, y hasta más allá de la costa de Texas en Estados Unidos.

La posibilidad de la fuerte dispersión paralarvaria y formación de metapoblaciones con fuerte conectividad entre las poblaciones entre lugares muy distantes se sustenta en el hecho de que el haplotipo dominante de las paralarvas de *O. insularis* del Caribe colombiano se comparte con las del norte de Brasil y Golfo de México (Puentes-Sayo, 2021).

Las tallas menores en la LM en la LAI-SAV se registraron de agosto a octubre, periodo que corresponde a la temporada de lluvias en Veracruz (junio-octubre), lo cual es similar a lo descrito por Leite *et al.* (2009), pues determinaron que los especímenes de tallas más pequeñas se presentaron en profundidades someras <5m y durante la temporada de lluvias. Lo anterior respalda la hipótesis de que las lagunas arrecifales someras son hábitats críticos para el asentamiento del reclutamiento biológico de esta especie y son cruciales para la disponibilidad posterior de reclutas a la pesquería en las áreas adyacentes pocos meses después. Adicionalmente, esto explicaría el máximo observado de densidad de reclutas durante agosto, siendo los meses de agosto y septiembre como los meses de intenso reclutamiento, pues es la temporada en la que se presenta una mayor precipitación.

La densidad de individuos decrece notablemente al transcurrir los meses, lo cual puede ser reflejo de la mortalidad total (natural y por pesca) y/o por emigración del área conforme crecen en búsqueda de refugio adecuado a la talla, pues se observó una relación significativa entre el tamaño de la oquedad y el tamaño del pulpo. En la LAI-SAV, así como en cualquier otra laguna arrecifal, no siempre se encontrarán oquedades disponibles de todos los tamaños, lo que provoca que los reclutas de pulpos seleccionen la oquedad más adecuada de acuerdo con su tamaño corporal y eventualmente, la modifiquen de acuerdo a sus necesidades escarbando para hacerla más grande, o colocando restos de su alimentación alrededor y/o rocas pequeñas para reducir la entrada del refugio. Es un hecho que a mayores tallas los pulpos buscan refugios cada vez más grandes, lo que les obliga a moverse a profundidades mayores ya que los refugios grandes en profundidades someras se encuentran limitados debido al tipo de sustrato presente (Anderson, 1997; Katsanevakis & Verriopoulos, 2004); este comportamiento no es exclusivo de los pulpos, pues se ha reportado segregación batimétrica por ontogénica en otras especies de invertebrados, como en el caso de la langosta espinosa *Panulirus argus* (Herrnkind & Butler, 1997).

Los elementos más sobresalientes de este trabajo pueden sintetizarse en que la técnica muestral y el enfoque conceptual empleados permitió caracterizar y cuantificar el reclutamiento biológico de *O. insularis* en la LAI-SAV, ya que fue posible determinar que la ventana de reclutamiento biológico del pulpo común del SAV ocurre entre agosto y septiembre durante la temporada de lluvias, lo que está estrechamente relacionado con el ciclo reproductivo de *O. insularis* que ocurre de diciembre a marzo, seguido de un decremento en el porcentaje de hembras de marzo a abril debido a una posible migración en busca de refugios para desovar (González-Gómez *et al.*, 2020); pasando los 31-37 días de desarrollo embrionario, es probable que el periodo de dispersión paralarvaria de *O. insularis* ocurra en junio y julio, apareciendo los primeros reclutas a finales de julio, alcanzado sus tallas adultas a finales de año, repitiendo el ciclo anual nuevamente.

El pico del reclutamiento ocurrió en agosto presentando una densidad máxima de 3.22 ind*1000m⁻² (32.2 ind*ha⁻¹), muy superior a la densidad media de 1.19 ind*1000m⁻² (12.1 ind*ha⁻¹) durante todo el periodo de muestreo. La talla media de los pulpos es inversa a la densidad de los mismos, pero directamente proporcional al tamaño de la oquedad donde se refugian, es decir, cuanto más grandes son los pulpos son menos abundantes y buscan refugiarse en oquedades de mayor tamaño. Asimismo, se comprobó que los reclutas de *O. insularis* prefieren formaciones rocosas y/o arrecifales cercanas a ceibadales en profundidades someras, lo que proporciona evidencia acerca de que las lagunas arrecifales someras del Sistema Arrecifal Veracruzano son zonas de reclutamiento fundamentales para el ciclo de vida de *O. insularis*.

Considerando la relación talla-peso de *O. insularis* del SAV estimada por González-Gómez (2021) y la extensión de la LAI-SAV (65 hectáreas), se estima que en el mes de agosto podría albergar alrededor de 2,093 reclutas de *O. insularis* equivalentes a 251.2 kg de biomasa, para septiembre descendería a 577 pulpos (69.2 kg de biomasa), en octubre 287 pulpos (43.0 kg de biomasa) y finalmente en noviembre un total de 130 pulpos (32.5 kg de biomasa), lo que representa un decremento entre agosto y noviembre del 95% en número de pulpos y 87% en biomasa. La población de *O. insularis* en el SAV ha sido explotada durante varias décadas sin mostrar colapsos aparentes hasta el momento, lo que proporciona evidencia acerca de que el SAV se encuentra recibiendo anualmente una fracción importante

de paralarvas provenientes de otros sistemas, las cuales al reclutarse permitirían el mantenimiento de una población en los arrecifes del SAV sin colapsos hasta el momento.

Finalmente, es importante destacar que los indicadores resultantes de este trabajo de investigación constituyen la primera estimación exhaustiva de la intensidad y temporalidad en la que ocurre el reclutamiento biológico de *O. insularis* en un sistema arrecifal del Golfo de México, y que esta contribución podría ser un insumo relevante para desarrollar un plan de monitoreo sistemático de bajo costo para cuantificar la variabilidad interanual del reclutamiento de *O. insularis* en el SAV y relacionarlo eventualmente con la variabilidad ambiental del mismo.

IX. Conclusiones

- El reclutamiento de *Octopus insularis* en la LAI-SAV ocurre en una duración aproximada de dos meses, entre agosto y septiembre, con su pico principal en agosto.
- La densidad máxima de reclutas de *Octopus insularis* en la LAI-SAV fue de 3.22 ind*1000m⁻² (32.2 ind*ha⁻¹) en agosto, y la densidad media de 1.19 ind*1000m⁻², equivalente a 12.1 ind*ha⁻¹ y a 1.66 ind*hr⁻¹.
- La densidad media de reclutas de pulpo *Octopus insularis* en la LAI-SAV coincide con la densidad de juveniles de la misma especie estimadas para el noreste de Brasil
- La moda en la talla de juveniles es de 45 mm LM, mientras que el promedio global es de 51.88 mm LM.
- La evolución mensual de la talla y la densidad promedio de los reclutas de pulpo son inversas en la LAI-SAV.
- El tamaño de la oquedad de refugio del pulpo *Octopus insularis* es proporcional al tamaño del individuo que se refugia.
- *Octopus insularis* prefiere formaciones rocosas y/o arrecifales en donde puedan encontrar refugio de acuerdo a su talla.

Referencias

- Aguilar, F. M., Badillo, M. J., & Fuentes, V. A. (2007). Cultivo experimental del pulpo (*Octopus vulgaris*, Cuvier, 1797) en Veracruz y su aplicación al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: investigaciones actuales Unidad de Investigación de Ecología de Pesquerías. Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 262.
- Aguilera-Arias, J. (2012). Caracterización estructural y dinámica del paisaje en lagunas arrecifales: estudio de caso Sistema Arrecifal veracruzano. Tesis de Maestría en Ecología y Pesquerías. Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 10.
- Almansa, E., & Perales-Raya, C. (2022). Pulpos: Una reproducción que les cuesta la vida. Centro Oceanográfico de Canarias. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 3.
- Amor, M., Laptikhovsky, V., Norman, M., Strugnell, J. (2017). Genetic evidence extends the known distribution of *Octopus insularis* to the mid-Atlantic islands Ascension and St Helena. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97(4), 753-758.
- Anderson, T. J. (1997). Habitat selection and shelter use by *Octopus tetricus*. *Marine Ecology Progress Series*, 150, 137-148.
- Baqueiro-Cárdenas, E. R., & Aldana-Aranda, D. (2007). Differences in the exploited oyster (*Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791)) populations from different coastal lagoons of the Gulf of Mexico. *Transitional Waters Bulletin*, 1(2), 21-35
- Basterrechea Chertudi, D. A. (2017). Sistemas de sustratos artificiales para favorecer la puesta de pulpo común (*Octopus vulgaris*), en la costa de Gandía. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia
- Bouth HF, Leite TS, de Lima FD, Oliveira JEL. 2011. Atol das Rocas: an oasis for *Octopus insularis* juveniles (Cephalopoda: Octopodidae. 46.
- Boyle, P., & Rodhouse, P. (2008). *Cephalopods: ecology and fisheries*. John Wiley & Sons. 222-233.
- Cervantes-Hernández, P., & Gracia, A. (2020). Reproductive and recruitment seasons for *Penaeus aztecus* in the Tamaulipas-Veracruz area, Gulf of Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48(4), 578-589.
- Cházaro-Olvera, S., Rocha-Ramírez, A., Ramírez-Rojas, A., Vázquez-López, H., & Chávez-López, R. (2007). Recruitment of *Callinectes sapidus* Rathbun 1896 megalopae from three southwestern Gulf of Mexico lagoon-system inlets. *International Journal of Zoological Research*, 3(3), 145-156.
- CONANP. (2017). Programa de Manejo: Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. México. 11-31.
- CONAPESCA. (2022). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
- Cowen, R.K., Lwiza, K.M.M., Sponaugle, S., Paris, C.B. y Olson, D. 2002. Connectivity of marine populations: Open or Closed?. *Science*, 287: 857-859
- Dávila-Camacho, C. A., Arceo, P., Pérez-España, H., & Bello-Pineda, J. (2015). Las pesquerías del Sistema Arrecifal Veracruzano SAV bajo un enfoque ecosistémico. *E-Bios*, 2(8), 138-150.
- Díaz-Álvarez, A. G. (2011). Edad y crecimiento de pulpo *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797) en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. 35-43.

- Etherington, L. L., & Eggleston, D. B. (2000). Large-scale blue crab recruitment: linking postlarval transport, post-settlement planktonic dispersal, and multiple nursery habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 204, 179-198.
- Flores-Valle, A., Pliego-Cárdenas, R., Jiménez-Badillo, M. D. L., Arredondo-Figueroa, J. L., & Barriga-Sosa, I. D. L. Á. (2018). First record of *Octopus insularis* Leite and Haimovici, 2008 in the octopus fishery of a marine protected area in the Gulf of Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 37(1), 221-227.
- Froesch, D., & Marthy, H. J. (1975). The structure and function of the oviducal gland in octopods (Cephalopoda). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 188(1090), 95-101.
- González-Gómez, R. (2021). Aspectos morfológicos, biológicos y ecológicos del pulpo común del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis Doctoral, Universidad Veracruzana.
- González-Gómez, R., de los Ángeles Barriga-Sosa, I., Pliego-Cárdenas, R., Jiménez-Badillo, L., Markaida, U., Meiners-Mandujano, C., & Morillo-Velarde, P. S. (2018). An integrative taxonomic approach reveals *Octopus insularis* as the dominant species in the Veracruz Reef System (southwestern Gulf of Mexico). *PeerJ*, 6, e6015.
- González-Gómez, R., Meiners-Mandujano, C., Morillo-Velarde, P. S., Jiménez-Badillo, L., & Markaida, U. (2020). Reproductive dynamics and population structure of *Octopus insularis* from the Veracruz reef system marine protected area, Mexico. *Fisheries Research*, 221, 105385.
- Grande, C., & Zardoya, R. (2014). El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos. Cap. 21. Moluscos. 210-221.
- Hernández-Urcera, J., & Guerra, Á. (2014). La reproducción del pulpo. *Investigación y ciencia. Ciencia*. 1-2.
- Herrnkind, W. F., & Butler IV, M. J. (1997). A test of recruitment limitation and the potential for artificial enhancement of spiny lobster (*Panulirus argus*) populations in Florida. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(2), 452-463.
- Hixon, M. A., & Webster, M. S. (2002). Density dependence in marine fishes: coral reefs populations as model systems. *Coral reef fishes: dynamics and diversity in a complex ecosystem*. Elsevier, Burlington, Massachusetts, USA, 303-335
- Jereb, P., & Roper, C. F. (2010). *Cephalopods of the world-an annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date*. Vol 2. Myopsid and oegopsid squids (No. 2). FAO. 51-52.
- Jiménez-Badillo, M. D. L., del Río-Rodríguez, R. E., Gómez-Solano, M. I., Cu-Escamilla, A., & Méndez-Aguilar, D. (2008). Madurez gonádica del pulpo *Octopus vulgaris* en el Golfo de México: análisis macroscópico y microscópico. *CENTRO EPOMEX-UAC*. 35-38.
- Jiménez-Badillo, M. L. (2013). Manejo de la pesquería de pulpo en el estado de Veracruz con énfasis en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Manejo de los recursos pesqueros de la cuenca del Golfo de México y del Mar Caribe. Veracruz: La Ciencia en Veracruz. Universidad Veracruzana, 229-236.
- Katsanevakis, S., & Verriopoulos, G. (2004). Den ecology of *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797, on soft sediment: availability and types of shelter. *Scientia Marina*, 68(1), 147-157.
- Kaufman, L., Ebersole, J., Beets, J., & Mclvor, C. C. (1992). A key phase in the recruitment dynamics of coral reef fishes: post-settlement transition. *Environmental Biology of Fishes*, 34, 109-118.
- Leite, T. S. (2007). Taxonomia, distribuição, ecologia alimentar, pesca e opções de manejo de uma nova espécie de polvo (*Octopus insularis*: Cephalopoda), no Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil, 2007. Tesis Doctoral, Fundação Universidade Federal de Rio.

- Leite, T. S., & Mather, J. A. (2008). A new approach to octopuses' body pattern analysis: a framework for taxonomy and behavioral studies. *American Malacological Bulletin*, 24(1), 31-41.
- Leite, T. S., Batista, A. T., Lima, F. D., Barbosa, J. C., & Mather, J. (2016). Geographic variability of *Octopus insularis* diet: from oceanic island to continental populations. *Aquatic Biology*, 25, 17-27.
- Leite, T. S., Haimovici, M., Mather, J., & Oliveira, J. L. (2009). Habitat, distribution, and abundance of the commercial octopus (*Octopus insularis*) in a tropical oceanic island, Brazil: Information for management of an artisanal fishery inside a marine protected area. *Fisheries Research*, 98(1-3), 85-91.
- Leite, T. S., Haimovici, M., Molina, W., & Warnke, K. (2008). Morphological and genetic description of *Octopus insularis*, a new cryptic species in the *Octopus vulgaris* complex (Cephalopoda: Octopodidae) from the tropical southwestern Atlantic. *Journal of Molluscan Studies*, 74(1), 63-74.
- Lenz, T. M., Elias, N. H., Leite, T. S., & Vidal, E. A. (2015). First description of the eggs and paralarvae of the tropical octopus, *Octopus insularis*, under culture conditions. *American Malacological Bulletin*, 33(1), 101-109.
- Lima FD, Berbel-Filho WM, Leite TS, Rosas C, Lima SM. (2017). Occurrence of *Octopus insularis* Leite and Haimovici, 2008 in the Tropical Northwestern Atlantic and implications of species misidentification to octopus fisheries management. *Marine Biodiversity* 47(3):723-734
- Lima, F. D., Leite, T. S., Haimovici, M., & Lins Oliveira, J. E. (2014a). Gonadal development and reproductive strategies of the tropical octopus (*Octopus insularis*) in northeast Brazil. *Hydrobiologia*, 725, 7-21.
- Lima, F. D., Leite, T. S., Haimovici, M., Nóbrega, M. F., & Oliveira, J. E. L. (2014b). Population structure and reproductive dynamics of *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae) in a coastal reef environment along northeastern Brazil. *Fisheries Research*, 152, 86-92.
- Maldonado, E., Rangel-Huerta, E., González-Gómez, R., Fajardo-Alvarado, G., & Morillo-Velarde, P. S. (2019). *Octopus insularis* as a new marine model for evolutionary developmental biology. *Biology open*, 8(11), bio046086.
- Maloney, B., Ramos, E. A., Bennice, C. O., Young, F., & Magnasco, M. O. (2023). Genetic confirmation of *Octopus insularis* (Leite and Haimovici, 2008) in South Florida, United States using physical features and de novo genome assembly. *Frontiers in Physiology*, 14, 1162807.
- McCormick, M. I., & Makey, L. J. (1997). Post-settlement transition in coral reef fishes: overlooked complexity in niche shifts. *Marine Ecology Progress Series*, 153, 247-257.
- Messenger, J. B. (2001). Cephalopod chromatophores: neurobiology and natural history. *Biological Reviews*, 76(4), 473-528.
- Moreno, A., Lourenço, S., Pereira, J., Gaspar, M. B., Cabral, H. N., Pierce, G. J., & Santos, A. M. P. (2014). Essential habitats for pre-recruit *Octopus vulgaris* along the Portuguese coast. *Fisheries Research*, 152, 74-85.
- Norman M. D., Hochberg, F. G. (2005). The current state of octopus taxonomy. *Phuket Marine Biological Centre Research Bulletin* 66:127-154
- Norman, M. (2003). *Cephalopods of the world: a world guide*. Hakenhein (Germany): ConchBooks. 320.
- Norman, M. D. & Finn, J. K. (2014). *World Octopod fisheries*. *Cephalopods of the World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Cephalopod Species Known to Date. Octopods and Vampire Squids* (pp. 9–21). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- O'Brien, C. E., Bennice, C. O., & Leite, T. (2021). A field guide to distinguishing *Octopus insularis* and *Octopus americanus* (Octopoda: Octopodidae). *Zootaxa*, 5060(4), 589-594.
- O'Brien, C. E., Medeiros, S. L. D. S., & Leite, T. (2023). Octospy: What *Octopus insularis* do in their dens. *Marine Ecology*, 44(5), e12763.
- Pechenik, J. A. 1987. Environmental influences on larval survival and development. In: A. C. Giese, J. S. Pearse, and V. B. Pearse, eds, *Reproduction of Marine Invertebrates*. Blackwell Scientific, Palo Alto, California. Pp. 551–560.
- Puentes-Sayo, P.A. (2021). Patrón filogeográfico del pulpo común *Octopus insularis*. *Octopus insularis en el Caribe de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. 32.
- Rodríguez-Reyes, F. A. (2022). Efecto de la temperatura y salinidad en embriones y paralarvas de pulpo *Octopus insularis*. *Octopus insularis Leite & Haimovici, 2008*. Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. 42-50.
- Rosas-Luis, R., Jimenez Badillo, M. D. L., Montoliu-Elena, L., & Morillo-Velarde, P. S. (2019). Food and feeding habits of *Octopus insularis* in the Veracruz Reef System National Park and confirmation of its presence in the southwest Gulf of Mexico. *Marine Ecology*, 40(1), e12535.
- Santana-Cisneros, M. L., Ardisson, P. L., González, Á. F., Mariño-Tapia, I., Cahuich-López, M., Ángeles-González, L. E., ... & Velázquez-Abunader, I. (2021). Dispersal modeling of octopoda paralarvae in the Gulf of Mexico. *Fisheries Oceanography*, 30(6), 726-739.
- Sokal, R., & Rohlf, J., (1970). *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. Statistical Tables. *Systematic Biology*, Vol. 19. 471–543.
- Sosa, I. D. B., Beckenbach, K., Hartwick, B., & Smith, M. J. (1995). The molecular phylogeny of five eastern North Pacific octopus species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 4(2), 163-174.
- Villanueva, Roger, & Norman, M. D. (2008). Biology of the planktonic stages of benthic octopuses. *Oceanography and Marine Biology*, 46, 105–202.
- Wells, M. J., & Wells, J. (1983). The circulatory response to acute hypoxia in *Octopus*. *Journal of Experimental Biology*, 104(1), 59-71.
- Young, R. E. (1988). 'Larva', 'paralarva' and 'subadult' in cephalopod terminology. *Malacologia*, 29, 201-207.

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”

www.uv.mx

