



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS

**Evaluación de la utilización de refugios artificiales como sitios de
reproducción del pulpo *Octopus maya*.**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIADA EN MANEJO SUSTENTABLE DE ZONAS COSTERAS

PRESENTA
MARIANA ZAMORA RIOS

DIRECTORES DE TESIS
DR. JORGE ALBERTO LÓPEZ ROCHA
DR. CARLOS ROSAS VÁZQUEZ

Unidad Académica Sisal. Yucatán

noviembre 2017.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno

Zamora Rios Mariana

Teléfono 99 91 45 25 99

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Unidad Académica Sisal

Licenciatura en Manejo Sustentable de Zonas Costeras

Número de cuenta 310335104

2. Datos de los tutores

Dr. Jorge Alberto López Rocha

Dr. Carlos Rosas Vázquez

3. Datos del sinodal 1

Dr. Fernando Nuno Dias Marques Simões

4. Datos del sinodal 2

Dra. Laura Elena Vidal Hernández

5. Datos del sinodal 3

M. en C. Claudia Patricia Caamal Monsreal

6. Datos del trabajo escrito

Evaluación de la utilización de refugios artificiales como sitios de reproducción del pulpo *Octopus maya*.

80 p

2017

Agradecimientos

A papá y mamá por siempre estar para mí, por educarme y amarme, por aceptar y apoyar mi decisión. Esta tesis es para ustedes.

A los que desde el inicio me apoyaron para irme a perseguir mi sueño, a mis amigos, Alison, Sebastián, Laura, Ricardo, Jorge, Pedro y Reyna. A los que ahora veo poco, pero agradezco su apoyo que me dio fuerzas para decidirme.

A los que se nos adelantaron, pero siempre estarán en mi corazón a mi tía Manolia por sus lecciones siempre tan acertadas, a Payo por el apoyo y cariño que siempre inculcó en la familia y a mi bebé Popi que por muchos años fue mi mejor amigo, cómplice y ángel de cuatro patas.

A los que me cuidaron, adoptaron y alimentaron cuando no sabía a quién acudir, por cuidarme como a su propia familia; a Doña Gaby, a quién siempre corrí cuando me sentía mal física o emocionalmente; a Doña Pastora, de quién aprendí que, si das amor, lo recibes multiplicado y Beto del comanche, quién me brindo toda la confianza, cariño y apoyo.

A la familia que hice en Yucatán, la cual espero conservar siempre; al dramas de Adrián Chuc que siempre me cuidó; a Yazmín, mo breaga donn, por enseñarme lo que es ser nonnes; a Adanely por su fuerza, cariño y objetividad que espero se me peguen algún día; a Katya, que pese a que tuvimos un mal inicio ahora no imagino mis días sin sus dramas ni sus celos; a Tonalli por apoyarme en mis locuras y reírse conmigo. A ustedes por nunca dejarme sola y darme más cariño del que merezco.

A mis directores; el Doctor Jorge López Rocha y el Doctor Carlos Rosas Vázquez, por su apoyo, preocupación, enseñanzas, tiempo y ayuda en cuestiones intelectuales y personales. Muchas gracias.

A Imre y Marco Ponce por la ayuda, el cuidado, enseñanzas, risas e historias en la embarcación cuando íbamos de muestreo.

A Armando gracias por la paciencia, el amor y tu infinito apoyo. Por ser mi Caraid y la mejor persona que he conocido.

Al proyecto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), Ciencia Básica CB-2010-01 154400 y al proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT: IB202412 – RR282412 por los financiamientos otorgados para la realización de este estudio.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
ANTECEDENTES BIOLÓGICOS	11
TAXONOMÍA	11
DISTRIBUCIÓN	11
CONDICIONES AMBIENTALES	13
COMPORTAMIENTO	14
REPRODUCCIÓN	15
FECUNDIDAD	18
ANTECEDENTES DE LA PESQUERÍA	19
PESQUERÍA Y ARTE DE PESCA	19
CAPTURAS ANUALES	20
REFUGIOS ARTIFICIALES	21
LEGISLACIÓN VIGENTE APLICABLE	25
DESCRIPCIÓN DE PROBLEMÁTICA	27
JUSTIFICACIÓN	28
OBJETIVOS	30
OBJETIVO GENERAL	30
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
METODOLOGÍA	30
ÁREA DE ESTUDIO	30
DISEÑO EXPERIMENTAL	31
MONITOREO	33
EXTRACCIÓN DE DESOVES Y CONTEO DE HUEVOS	34
ANÁLISIS DE DATOS	35
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	35
RESULTADOS	36
REVISIÓN DE REFUGIOS ARTIFICIALES	36
OCUPACIÓN TOTAL	38
<i>Descripción por tipo de fondo</i>	38
<i>Descripción por densidad</i>	39
OCUPACIÓN PARA LA REPRODUCCIÓN	41
<i>Descripción por tipo de fondo</i>	42
<i>Descripción por densidad</i>	43
EVIDENCIA DE OCUPACIÓN	44
<i>Descripción por tipo de fondo</i>	44

<i>Descripción por densidad</i>	45
FECUNDIDAD DE HEMBRAS QUE DESOVARON EN REFUGIOS ARTIFICIALES.....	46
ESTADÍSTICOS	47
PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS	51
DISCUSIÓN	56
HIPÓTESIS 1. LOS REFUGIOS	57
<i>Análisis por fondo</i>	57
<i>Análisis por densidad</i>	59
HIPÓTESIS 2. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	60
HIPÓTESIS 3. DESOVES Y FECUNDIDAD	62
HIPÓTESIS 4. CRÍAS ECLOSIONADAS	63
RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO	64
CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS	67

INTRODUCCIÓN

El manejo tradicional de los recursos pesqueros había sido asumiendo que las poblaciones son elementos ilimitados de la naturaleza, sin embargo, este mito se ha desvanecido en las últimas décadas. Ahora se reconoce que los recursos pesqueros son renovables, con condiciones ambientales limitantes (a veces críticas para su reproducción), y que deben someterse a un ordenamiento adecuado para su mantenimiento a largo plazo. Los indicadores ecológicos de la FAO en torno a la pesca sugieren que la mayoría de las poblaciones explotadas en el mundo están en sus niveles máximos sostenibles, e incluso por encima de ellos; en términos generales se considera que 50% de los recursos pesqueros se explotan al límite y otro 25% se encuentra sobreexplotado. Esto se traduce en que tan sólo una cuarta parte de los recursos pesqueros globales tiene potencial para incrementar su nivel de explotación (FAO, 2011).

Las pesquerías están consideradas como actividades que generan redes de valor, por lo que cada una de ellas es una cadena productiva, con su propia condición económica y social. En el ámbito local, son elementos fundamentales del ingreso de segmentos importantes de la población, y de esa forma impulsan el desarrollo económico regional (INP-CONAPESCA, 2001). Sin embargo, la forma en que se han aprovechado los recursos pesqueros ha propiciado que estos se encuentren, en México y el resto el mundo, en distintos estados de explotación y sobre explotación.

Cada una de las pesquerías posee su propia dinámica, por lo que para su aprovechamiento óptimo se requieren sistemas de pesca (diferentes maneras de capturar a las especies) e infraestructuras particulares, así como estrategias de manejo específicos: un uso correcto de artes de pesca, control de la captura incidental de especies asociadas y el descarte de las

especies sin valor comercial. Un aprovechamiento con estas características reduciría el daño a la biodiversidad de los ecosistemas marinos, costeros y continentales. Todo este conjunto de acciones se encuentra integrado en los conceptos de desarrollo sustentable y pesca responsable (Hernández, 2003).

El concepto de sustentabilidad pesquera involucra la relación entre la explotación o aprovechamiento y la capacidad de renovación biológica de los recursos, modulada por las condiciones del medio ambiente natural y social y con una visión de largo plazo (Sagarpa-INP, 2004). El reto de todas las naciones que hacen uso de estos recursos es aplicar este concepto en acciones prácticas que integren los aspectos económico, social y ambiental en cada una de sus situaciones particulares.

Los refugios para especies marinas son utilizados para brindar un apoyo a los organismos, proporcionándoles un nicho en donde pueden resguardarse, alimentarse y reproducirse; esto teniendo en cuenta las características particulares de cada especie y de esta manera saber el momento y la forma para extraer o proteger a los organismos que ocupen dichos refugios. En cualquiera de los dos casos se supone puede favorecer a la captura (en los refugios o fuera de ellos) de especies de interés comercial, al mismo tiempo que las poblaciones naturales se mantienen estables, creando así una pesquería sustentable.

De esta forma se pueden incluir los refugios artificiales como una herramienta más para el manejo pesquero, de la misma forma que las vedas y los artes de pesca establecidas para cada tipo de pesquería.

Ésta es una tecnología que se ha utilizado en diferentes zonas costeras alrededor del mundo. Por ejemplo, Japón implementó arrecifes artificiales en 2500 zonas para convertir sus costas

en zonas pesqueras en lugar de petroleras después de la crisis de hidrocarburos en 1973. Actualmente se están llevando a cabo programas para mejorar estos hábitats en algunas de esas zonas (Brock, et al, 1986;) (Sheeny, 1986) . Es importante mencionar que es un requisito indispensable tanto conocer las necesidades de las especies a las cuales se les quiera brindar un refugio, como las condiciones oceanográficas locales que determinarán el diseño de los refugios. Sin ese conocimiento se corre el riesgo, no solo de generar pérdidas económicas sino también de provocar impactos en el ecosistema. Por esa razón es preciso entender que no puede existir un diseño único de refugio, que abarque todas las necesidades de los sitios, especies y objetivos (Brock, et al., 1986).

En México los refugios artificiales han servido a la pesquería de langosta en la Península de Yucatán: los pescadores que se encuentran en la costa oriente, específicamente en San Felipe, Rio Lagartos y el Cuyo. Los pescadores se han percatado que las casitas cubanas que se utilizaron como refugios artificiales para langosta sirven como un método de pesca y cada vez es más común escucharlos hablar de la importancia de las casitas como hábitat y una forma de buscar proteger su población (Salas, et al., 2008).

La repoblación se define como la acción de volver a poblar con sus anteriores habitantes un lugar abandonado o disminuido de su población original, esto puede hacerse introduciendo organismos nuevos o mejorando el hábitat para que las poblaciones se regeneren con el paso del tiempo. Cuando los refugios se utilizan para repoblamiento con fines ecológicos, este tendrá el objetivo de mejorar o restaurar la fauna autóctona en cuerpos de agua que han experimentado disminuciones por cambio climático y otros fenómenos naturales adversos. En el caso de que los fines del repoblamiento sean educativos o culturales se intentará crear

conciencia social sobre la importancia de la conservación de la biodiversidad marina (FAO, 2001).

En el presente estudio, el uso de los refugios artificiales para pulpo ha sido establecido con el fin de promover la repoblación pues el objetivo de éstos es que los pulpos (*O. maya*) tengan disponibles más sitios apropiados donde puedan desovar y anidar. Si de la reproducción depende la abundancia de reclutas para la pesca, los refugios artificiales que motiven la reproducción, dando un sitio seguro de desove y anidación, favorecerán la producción de embriones y ayudarán a mantener o aumentar la abundancia de la población en la zona, coadyuvando en la conformación de una pesquería sustentable de *Octopus maya* debido a que no interfieren con el arte de pesca ya que no se tiene pensado que en los refugios sea donde se capture a los pulpos. Al mismo tiempo, se desconoce el efecto que estos refugios puedan ocasionar en la biomasa de pulpos, en su mortalidad y en el ambiente, sin embargo, la colocación de refugios artificiales para los pulpos se espera que impacten en el mejoramiento del hábitat al ofrecer refugio a otros organismos que podrían ocupar esos espacios en ausencia de pulpos.

Sin embargo, es importante mencionar que para que un programa de refugios artificiales pueda ser aplicada es necesario contar con información previa en la que se determine lo adecuado del diseño y su efectividad, así como de los posibles efectos positivos o negativos que éstos pudieran tener en el fondo marino y en las demás especies del lugar. En la información previa para la instalación de arrecifes artificiales se deben contemplar las siguientes variables: el clima marítimo, transporte de sedimentos, geomorfología, calidad del agua, calidad del sedimento, comunidades biológicas, caracterización del paisaje,

implicaciones económicas, infraestructuras, espacios protegidos y el patrimonio histórico (Ministerio-de-Medio-Ambiente, 2008).

Se denomina efectividad a la capacidad o facultad para lograr un objetivo o fin deseado, en este caso la efectividad se medirá con la ocupación y los desoves encontrados. El seguimiento de la efectividad de los refugios artificiales como sitios de protección de reproductores de pulpo a lo largo de un ciclo anual seguramente dará información útil que permita establecer si un programa de esta naturaleza pudiera ser aplicado a lo largo de las costas del Estado de Yucatán. Con este objetivo el presente trabajo analiza la efectividad de refugios artificiales en dos tipos de fondo marino y con diferentes densidades.

En este contexto se ha establecido que para desarrollar un programa de arrecifes artificiales es preciso, en otros factores responder las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Los refugios artificiales diseñados para *O. maya* ofrecen condiciones apropiadas para la protección de adultos y hembras reproductoras de esta especie?
2. ¿La ocupación de los refugios artificiales es independiente de las características del tipo de suelo marino?
3. ¿La ocupación de los refugios artificiales cambia a lo largo del año, siguiendo algún patrón específico de reclutamiento de la población de reproductores de *O. maya* en la plataforma continental adyacente a las costas de Sisal?

La información generada de esta investigación aportará conocimiento sobre la forma en que los pulpos utilizan los refugios artificiales, la magnitud en la ocupación y con qué fin son utilizados en los diferentes periodos del año. Esto servirá para diseñar medidas alternativas de manejo en el sector pesquero de pulpo en la región de Yucatán.

ANTECEDENTES BIOLÓGICOS

Taxonomía

El pulpo rojo de Yucatán como es comúnmente conocido el *Octopus maya* fue descrito por primera vez por Solís-Ramírez y Voss (1966). En ese trabajo se describe a la especie como un pulpo que ocupa aguas someras. Menciona que es una especie de talla grande, con un intervalo de longitud de manto reportado de entre 60 mm a 250 mm (Solís-Ramírez & Chávez, 1986) y huevos grandes (17 mm de longitud y 4.5 mm de ancho). Esta especie se caracteriza por tener cuerpo blando y un cerebro bien desarrollado. Presenta ocho brazos con dos filas de ventosas en cada uno (Voss & Solís-Ramírez, 1966). La especie también se caracteriza por tener un crecimiento rápido y un ciclo de vida corto; la edad máxima que se ha estimado es de entre 12 (Solís-Ramírez & Chávez, 1986) y 18 meses (Arreguín-Sánchez & Chávez, 1992b).

En la plataforma norte de la Península de Yucatán se ha establecido que el mero *Ephinephelus morio* es el principal depredador del pulpo (CONAPESCA, 2008)

Distribución

El pulpo *O. maya* es una especie bentónica cuya distribución se ha establecido desde Isla Mujeres (Quintana Roo) hasta la Isla del Carmen en Campeche (Voss & Solís-Ramírez, 1966) (Solís-Ramírez & Chávez, 1986) (INAPESCA, 2004), a una profundidad máxima de 60 m (Gamboa-Álvarez, et al., 2015), normalmente en praderas de *Thalassia testudinum*, ocupando conchas vacías de moluscos gasterópodos (*Strombus gigas*, *S. costatus* y

Pleuroploca gigantea) y cuevas existentes en la loza de calcita del fondo (CONAPESCA, 2008).

Gamboa-Álvarez, et al. (2015) señalaron que la distribución espacial de esta especie presenta cambios a lo largo del año, la cual esta íntimamente relacionada con los meses en los que se lleva a cabo la pesquería y en los meses de veda. En los meses de pesca (Agosto a Diciembre) los autores encontraron que los valores más elevados de biomasa se encuentran en la región oeste de la Península de Yucatán. En agosto, la mayor abundancia se reportó en la plataforma continental frente a los puertos de Champoton, Seybaplaya y Campeche. En los meses de septiembre, octubre y noviembre el pico de abundancia se localizó en la región noroeste, a lo largo de la costa de Isla Arena y Celestún en el estado de Campeche. En diciembre la mayor abundancia se registró entre los puertos de Campeche e Isla Arena.

En los meses de veda, se registró que el mayor número de capturas se llevó a cabo en el norte y este de la Península de Yucatán. Durante febrero y marzo la mayor abundancia se localizó a lo largo de la costa este de la plataforma, contraria al puerto de San Felipe. En abril y mayo, los valores más altos se presentaron en la región noroeste, a lo largo de la costa de Sisal y Progreso. Durante junio y julio, dos regiones presentaron abundancia alta: la región a lo largo de la parte noreste de la península, entre Celestún y Sisal; y la región a lo largo de la costa este, frente al puerto de El Cuyo (Gamboa-Álvarez, et al., 2015).

Gamboa-Álvarez, et al. (2015) mencionan en ese estudio que los cambios en abundancia pudieron haber sido influenciados por los pulsos de producción primaria inducidos por la exportación de nutrientes de la Laguna de Términos durante el otoño (Arreguín-Sánchez & Chávez, 1995).

Condiciones ambientales

Como parte del Continente Americano, la Península de Yucatán se encuentra localizada en el hemisferio norte. Se ubica en una región que tiene como característica ser un lugar de transición entre el Mar Caribe y el Golfo de México. En esa zona y debido a la forma en que las corrientes sub superficiales circulan por el estrecho de Yucatán, la Península de Yucatán cuenta con la presencia de una surgencia estacional de verano, la cual conduce agua fría a la plataforma continental adyacente a la Península de Yucatán. Según Enríquez et al. (2013), esa surgencia provoca que la temperatura del agua en el suelo marino fluctúe entre 22 y 26° C, regulando, en su zona de influencia las condiciones térmicas de las especies bentónicas que habitan en esa zona. Por el contrario, en las zonas de la plataforma en las que la surgencia no tiene efecto (Costas de Campeche) la temperatura del bentos puede llegar a elevarse hasta los 30°C durante el verano (Angeles-Gonzalez, et al., 2017).

La plataforma continental de Yucatán está sujeta a grandes variaciones climáticas, tanto las de duración corta (Vientos nortes, tormentas tropicales etc.) como a eventos de largo plazo (calentamiento de los océanos) (Juárez, et al., 2015). De acuerdo con el Atlas Climático Digital de México, la temperatura del agua varía a lo largo de la Península de Yucatán entre 21.5 y 30° C, entre los meses de enero y septiembre con oscilaciones mayores de 4°C en un día de verano. En este ambiente, los pulpos no sólo están expuestos a variaciones anuales de temperatura, sino también a fluctuaciones significativas diarias, semanales y estacionales Noyola et al., (2014).

Las corrientes que influyen en el rango de distribución de *O. maya* son la Corriente Canyon de Campeche y las surgencias (Monreal-Gómez, et al., 2004) que ocurren en primavera y verano, cuando la corriente de Yucatán es más fuerte (Enríquez, et al., 2010).

Comportamiento

Los pulpos son exploradores y cazadores solitarios, por lo que son capaces de percibir cualquier objeto novedoso que se presente en su campo visual. Es por eso que han demostrado una gran capacidad de adaptación conductual a las circunstancias y a las condiciones ambientales, lo que debió haber contribuido a su éxito evolutivo (Hochner, et al., 2006). Además es importante mencionar que son depredadores versátiles (Ambrose & Nelson, 1983) con adaptaciones morfológicas y conductuales que les permiten manipular diversos tipos de presas (Rodhouse & Nigmatullin, 1996), las cuales van desde poliquetos hasta bivalvos, gasterópodos y cangrejos o incluso peces (Steer & Semmens, 2003) (Portela-Rodríguez, 2011).

Los estudios de campo sobre el comportamiento de los cefalópodos son escasos, debido a que es muy difícil encontrarlos en el medio natural, a profundidades de difícil acceso, y a que pasan la mayor parte del día ocultos en sus refugios (Portela-Rodríguez, 2011).

A pesar de que ciertas preferencias alimentarias puedan existir de forma innata, o establecerse mediante la exposición a estímulos en los primeros días de vida, entre los cefalópodos se ha demostrado que existe un aprendizaje observacional referido a la capacidad de utilizar información proveniente de los conspecíficos (Fiorito & Scotto, 1992) (Hochner, et al., 2006). Un pulpo recién eclosionado tiene una experiencia individual poca o nula, por lo tanto, la mayor parte de su comportamiento estará definido por patrones seleccionados naturalmente, y que están determinados de forma genética (Boletzky, 2003). Sin embargo, sus conocidas habilidades de aprendizaje sugieren que las preferencias alimentarias, además de estar determinadas por los genes, son el reflejo de la experiencia adquirida durante la vida de los individuos (Avital & Jablonka, 2000).

Reproducción

El ciclo reproductivo de *O. maya* esta aparentemente ligado con las variaciones de la temperatura en la plataforma de Yucatán

El sexo de esta especie no se puede determinar hasta por lo menos, a los 3 meses de edad. Las gónadas de los individuos aparecen entre los 3 y 5 meses de edad (25-450 g). El hectocotilo (tercer brazo derecho especializado y modificado en el macho para depositar los espermatozoides en el manto de la hembra) empieza a desarrollarse a partir de que los animales alcanzan los 8 g de peso corporal (Avila-Poveda, et al., 2009). La puesta suele ocurrir después de los 8 meses de edad (Van-Heukelem, 1983).

Los cefalópodos tienen los sexos claramente separados existiendo un claro dimorfismo sexual entre machos y hembras (Solís-Ramírez, 1967).

Se ha demostrado que en cefalópodos la madurez sexual se encuentra bajo el control endocrino de las glándulas ópticas, modulada por la acción inhibitoria del sistema nervioso central (Wells & Wells, 1959) (Wells & Wells, 1977). La maduración sexual de las hembras aparece asociada al crecimiento somático, por lo que generalmente la ovulación, seguida de la única puesta de huevos, coincide con el momento en que las hembras han alcanzado su máximo tamaño. Por el contrario, los machos maduran precozmente, permaneciendo en esta condición reproductiva durante un tiempo prolongado, por lo tanto, tienen la potencialidad de transferir sus gametos en más de una ocasión antes de que culminen su crecimiento y ciclo vital. Sin embargo, según Olivares, et al. (1996) la función testicular en animales maduros de diferentes tallas, no ha sido descrita.

El estado de madurez de un cefalópodo se puede evaluar empleando escalas de madurez morfológicas o un índice gonadosomático. Muchas veces los índices de madurez sexual, basados en la medición o pesado de las estructuras reproductivas como el gonadosomático, deben de hacerse de forma diferente para machos y hembras de una misma especie (Rocha, et al., 2001) (Otero, et al., 2007). Estudios recientes han demostrado que el índice gonadosomático podría no ser el mejor indicador del estado reproductivo de la población de pulpos, pues éste solo identifica la madurez funcional, una de las dos partes del proceso reproductivo que caracteriza a estos organismos. La otra parte del proceso, ha sido denominada madurez fisiológica la cual ha sido identificada como aquellos procesos que se llevan a cabo en el ovario y que dan paso a la formación de las células (gametogénesis) que darán lugar a la formación de los ovocigotos (ovogénesis) (Avila-Poveda, et al., 2015).

En *O. maya* se estima que el apareamiento tiene lugar a partir de septiembre y se continúa en octubre; durante este periodo es frecuente encontrar ejemplares hembras perfectamente maduras lo cual se puede determinar a simple vista, a través de la porción dorsal del manto. En noviembre se observan huevos o puestas recién depositadas e incluso, hembras incubando. La hembra permanece junto a los huevos, airándolos y dándoles protección (Van-Heukelem, 1983). En diciembre se aprecian dos regiones conspicuas en cada huevo: El embrión y el saco vitelino. En enero es frecuente encontrar huevos recién eclosionados. La hembra se mantiene con vida hasta que nacen las crías, sin embargo no sobrevive a la puesta (Van-Heukelem, 1983). En febrero esta situación se hace más patente, dándose por terminado el periodo normal reproductivo de la especie (Solís-Ramírez, 1967).

El desove ocurre principalmente en invierno cuando la baja temperatura en la plataforma continental de Yucatán (Santos-Valencia & Re-Regis, 2002). Sin embargo, se ha demostrado

que existen dos picos de reproducción o reclutamiento muy marcados en Campeche, el primero entre abril y mayo y el segundo de septiembre a octubre, sin embargo, en Yucatán la reproducción se lleva a cabo todo el año con pequeños picos en estas fechas (Solís-Ramírez, 1967) (Arreguín-Sánchez, et al., 2000) (Santos-Valencia, et al., 2005) (Plan de Manejo Pesquero de pulpo (*O. Maya* y *O. Vulgaris*) del Golfo de México y Mar Caribe, 2014).

Se ha podido observar que en la región donde la surgencia estacional está presente, la reproducción de los pulpos ocurre todo el año, mientras que en la región donde los efectos de la surgencia no tienen efecto, la reproducción únicamente ocurre en el invierno, cuando la temperatura del agua se reduce (Ángeles González et al., 2017; Juárez et al., 2015). Estudios de laboratorio han demostrado que la temperatura óptima para el desove de *O. maya* es de entre 24 y 26°C, intervalo en el cual los embriones se desarrollan adecuadamente (Rosas et al., 2014 a; Caamal-Monsreal, et al., 2016; Sánchez et al., 2017). En esos estudios se ha podido constatar que por arriba de 27°C las hembras no desovan (Juárez et al., 2015) y los embriones se deforman como consecuencia de los efectos que las altas temperaturas tienen sobre la condición fisiológica de éstos. También se ha observado que hembras estresadas con altas temperaturas y luego colocadas en temperaturas adecuadas para el desove producen menos huevos y embriones más pequeños (Juárez et al., 2015), y que los juveniles de esos desoves presentan tasas de crecimiento menores que los observados en animales procedentes de hembras no estresadas (Juárez et al., 2016). Estos y otros resultados de laboratorio han permitido proponer los intervalos óptimos para el desove y el desarrollo embrionario (24 – 26°C) y para el crecimiento de los juveniles (22 a 28°C) (Rosas et al., 2014 a)

Fecundidad

Los ovocitos en el ovario de *O. maya* crecen y ovulan a un mismo tiempo sin que sea posible el reemplazo de los óvulos maduros por otros inmaduros, ya que todos han madurado al mismo tiempo. La fecundidad en *O. maya* ha sido señalada de entre 500 y 1500 huevos/desove (Avila-Poveda, et al., 2015).

La forma en que los cefalópodos realizan las puestas es muy variada (Nesis, 1996). *Octopus maya* deposita sus huevos en el interior de grietas, donde las hembras permanecerán y protegerán a sus huevos durante la incubación. La colocación puede durar entre 5 y 10 días dependiendo del número de huevos, la condición nutricional de la hembra y la temperatura (Caamal-Monsreal, et al., 2015) (Juárez, et al., 2015) (Tercero, et al., 2015).

Octopus maya, presenta huevos grandes (17 mm de largo y 4.5 mm de ancho), son piriformes y de color blanco lechoso, cuando son recién depositados. Por transparencia y a simple vista, de acuerdo con la etapa de desarrollo del huevo, se puede observar el saco vitelino ocupando casi todo el huevo. La porción más estrecha se continua por un pedúnculo filamentosos, que se entrelaza con otros formando un cordón compacto, con un material mucilaginoso y algas verdes macroscópicas (Solís-Ramírez, 1967).

El desarrollo embrionario en *O. maya* varía entre los 50 y los 65 días en el medio natural (Solís-Ramírez, 1967), aunque en condiciones de laboratorio se ha observado que este proceso puede acortarse, dependiendo de la temperatura (Van Heukelem, 1997) (Rosas, et al., 2014a) (Caamal-Monsreal, et al., 2016). Van Heukelem (1997) descubrió que los huevos de *Octopus maya* pueden ser incubados artificialmente con un 100% de éxito en un periodo de 45 días a 25°C.

Estudios previos han demostrado que la eclosión normal de la especie se efectúa por el extremo distal del huevo. La mayoría de los pulpos avivan con el saco vitelino reabsorbido. Los que nacen prematuramente, lo absorben parcialmente y se desprende a los pocos minutos de haber emergido del huevo (Rosas, et al., 2006).

Los recién nacidos de esta especie pesan en promedio 0.1 g (Van-Heukelem, 1983) (Hanlon & Forsythe, 1985). De acuerdo con Pliego (2009) la fecundidad puede ser cuantificada como fecundidad potencial y fecundidad relativa y fecundidad real, la cual se refiere al número de crías que eclosionan a partir de un desove

Estudios recientes han demostrado que la cantidad de huevos, la calidad del vitelo y la viabilidad de los embriones depende del acondicionamiento reproductivo, el cual a su vez guarda una relación directa con la calidad del alimento disponible (Caamal-Monsreal, et al., 2015) (Tercero, et al., 2015).

ANTECEDENTES DE LA PESQUERÍA

Pesquería y arte de pesca

La explotación comercial del pulpo se inició en 1949 con las dos especies de la zona: *Octopus maya* y *O. vulgaris* (Solís-Ramírez, et al., 1997) (Jurado-Molina, 2010). La década pasada de esta pesquería dependían cerca de 15, 000 pescadores (Salas, et al., 2008), y generaba un ingreso anual de casi 1000 millones de pesos mexicanos (INAPESCA, 2007). Actualmente la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) por medio de la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA) otorgó 805 permisos para las 1,600 embarcaciones y más de dos mil alijos que se prevé

zarparán para la pesca de pulpo en el inicio de la temporada oficial del 2017, sin embargo, no se tienen datos de los permisos totales que se han emitido al momento (Crónica de Campeche, 2017).

Existen dos tipos de embarcaciones para pescar pulpo: la flota mayor y la flota menor o artesanal (CONAPESCA, 2008). Ambas operan a base de alijos, las cuales son embarcaciones pequeñas sin motor en las que solo cabe una persona; el método es soltar los alijos con un pescador en cada uno, dejarlos a la deriva y regresar por ellos al final del día. Las flotas artesanales capturan alrededor del 80% de la captura anual de pulpo rojo. El porcentaje de pulpo rojo en la captura de la flota de embarcaciones medianas varía entre el 70% y 80% de la captura total de pulpo (Jurado-Molina, 2010).

El arte de pesca que se utiliza en Yucatán para pescar pulpo es conocido como “gareteo”, para esto se utilizan jimbas, que son palos largos de bambú a los cuales se les amarran varios cordones con una carnada que va rozando el fondo. La carnada normalmente utilizada son las jaibas del género *Callinectes spp*, aunque suelen usarse otros cangrejos como los del género *Callapa spp*, *Menippe mercenaria* o *Libinia dubia*. (Solís-Ramírez, 1967).

Capturas anuales

El pulpo *O. maya* mejor conocido como el pulpo rojo de Yucatán es una especie endémica que es responsable, junto con el *O. vulgaris*, de la pesca más importante de la Península de Yucatán, que al mismo tiempo es la quinta pesquería más importante a nivel nacional, solo precedida por la pesca de la sardina, mojarra, camarón y atún (Carta Nacional Pesquera, 2012). De igual forma esta pesquería está posicionada por su volumen en el lugar número 11 de México y en el séptimo lugar de productos que se exportan al extranjero, en este caso a

Italia, España y Estados Unidos (CONAPESCA, 2015), generando anualmente aproximadamente 36 millones de pesos (Gamboa-Álvarez, et al., 2015).

En 2012 en Campeche y Yucatán se obtuvieron 27,170.29 toneladas de peso desembarcado con un valor de \$711 millones de pesos (CONAPESCA, 2012).

Refugios artificiales

Como se mencionó anteriormente, los refugios artificiales se han aplicado como una medida para asegurar la concentración de biomasa, promover el reclutamiento de especies de valor comercial y favorecer lugares para la reproducción para la fauna alrededor del mundo (Pickering & Whitmarsh, 1997), y en el caso específico de refugios marinos, encontramos en primer lugar a los arrecifes artificiales. Estas estructuras se utilizan para el acondicionamiento de especies marinas, se instalan para incrementar, mantener o conservar los recursos pesqueros en un área local, mitigar el impacto antropogénico sobre la biodiversidad marina (Delgadillo, *et al.*, 2004).

Según una publicación oficial de España los arrecifes artificiales aparecen como herramientas de ordenación y protección desde una perspectiva social y ecológica, pueden tener muchas finalidades y diferentes objetos de protección, por ejemplo, de protección costera, para el turismo y ocio, creación de zonas de fondeo, protección de infraestructuras marinas, destinados a la gestión pesquera y con fines puramente ecológicos (Ministerio-de-Medio-Ambiente, 2008).

Según la Guía Metodológica para la Instalación de Arrecifes Artificiales (2008) solo existen dos tipos de módulos para arrecifes artificiales que se distinguen tanto por diseño, como por disposición y funcionalidad: módulos arrecifales de protección y módulos o elementos

arrecifales alveolares o de producción. El primer tipo se distingue por tener una baja relación entre su volumen y peso. La función de protección puede ser para el medio físico, para el ecosistema o para otros usos. Puede ser un bloque de escollera de hormigón o roca natural y dependiendo de su propósito se colocan de diferente manera. Por ejemplo, puede ser agrupando las estructuras de manera continua para formar una barrera que proteja la costa; o de forma dispersa, para producir la mínima alteración física del sistema y actuar como protección de determinadas biocenosis, un recurso local o el uso de ellos (Ministerio-de-Medio-Ambiente, 2008).

El alveolar o de producción tiene una relación elevada del volumen aparente con respecto a su peso (puede ser de hormigón en un elemento arrecifal artificial de nueva construcción o materiales no contruidos para este fin). Además de esta característica de diseño, los módulos arrecifales alveolares generalmente se distribuyen próximos entre sí (incluso amontonados), tratando de asegurar su funcionalidad biológica individual (Ministerio-de-Medio-Ambiente, 2008).

Los materiales que son utilizados para la construcción de arrecifes artificiales puede ser muy variada, aquí encontramos dos tipos de estructuras, las primeras son específicamente diseñadas y contruidas para servir como arrecife artificial, las cuales tienen materiales como bloques de hormigón, estructuras de hormigón con elementos disuasorios o anti-arrastre, módulos de producción mixta, módulos de hormigón con orificios alveolares, estructuras de cerámica ramificadas, estructuras “matrix” de PVC y hormigón con cavidades y diques exentos. Las segundas estructuras no son diseñadas o contruidas originalmente para servir como arrecife artificial, los materiales que encontramos aquí son: buques, rocas naturales, estructuras en desuso (vagones de tren, aviones, llantas de automóvil, etc.) y módulos

elaborados a partir de cenizas de carbón, cenizas de incineradoras o lodos de dragado fijados con cemento. Es importante mencionar que muchos de estos últimos materiales no son en absoluto recomendables (Ministerio-de-Medio-Ambiente, 2008).

En Italia, Francia y España, entre otros, se estableció dentro de la política pesquera de la Comunidad Económica Europea un programa de instalación de arrecifes artificiales. De esta manera surgen estas estructuras destinadas a proteger o potenciar zonas de interés ecológico y pesquero, con especies de importancia comercial, como por ejemplo las langostas europeas y americanas (*Homarus gammarus* y *H. americanus*) (Pickering & Whitmarsh, 1997). Estos arrecifes normalmente se construyen con neumáticos y carrocerías, entre otros materiales (Sierra & Medina, 1988).

En el caso del Caribe tenemos el ejemplo de Colombia en el cual se observó la colonización de un Arrecife artificial en Cartagena, hecho con llantas de automóvil principalmente, y en el cual se pudieron apreciar individuos juveniles de 32 especies ícticas diferentes (Botero, et al., 1981). Posteriormente, en 1994 se encontraron individuos adultos que colonizaron una avioneta en las Islas del Rosario con 40 especies en total (Muñoz & Obregón, 1994).

Delgadillo et al. (2004) en un estudio realizado a lo largo de la costa de Colombia en el Golfo de Morrosquillo, descubrió que en estas estructuras se encontraron especies que no se habían visto en las zonas aledañas, las cuales son: *Haemulon aurolineatum*, *Halichoeres bivittatus*, *Ctenosciaena gracilicirrhus*, *Canthigaster rostrata*, *Aulostomus maculatus*, *Decapterus punctatus*, *Lutjanus cyanopterus*, *Scarus croicensis* y *Sparisoma rubripinne*; lo cual puede indicar que los arrecifes artificiales incrementan el espacio para el asentamiento de individuos y diversifican su área de influencia.

En el caso de los refugios artificiales, podemos encontrar un ejemplo en la Península de Yucatán que tiene el objetivo de mejorar la pesquería de langosta. En este caso se utilizaron refugios conocidos comúnmente como “casitas cubanas” (Zapata-Araujo, et al., 2008), las cuales han sido consideradas como dispositivos que favorecen la concentración de las langostas y otros organismos al buscar refugio dado que ofrecen espacios habitables que excluyen a depredadores, lo que permite la continua colonización y cohabitación (Arce, et al., 1997). De igual manera se demostró que las casitas incrementan la abundancia y biomasa de las langostas juveniles en ambientes con hábitats limitados proponiendo un efecto combinado de atracción- producción por parte de estas estructuras (Briones-Fourzán & Lozano-Álvarez, 2001). La forma de las casas es cuadrada hecha con un bloque de concreto de un metro para el techo y con paredes de 30 cm de alto (Delgadillo-Garzón, 2009). Se espera que los refugios artificiales para pulpo tengan los mismos resultados ya que se desconoce la cantidad de refugios naturales y si son suficientes.

El Programa de introducción de casitas involucraron la construcción y colocación de 4000 casitas cubanas en las áreas de pesca de langosta de la zona oriente (1000 casitas por cada cooperativa), esto con la finalidad de que los pescadores fueran quienes pusieran las casitas en el mar según sus conocimientos y siguiendo las directrices de colocar las casitas en profundidades entre 5 y 20 m., colocarlas sobre fondos duros cercanos a áreas con vegetación, en fondos planos sin inclinaciones, cerca de ceibadales y zonas con algas rojas, por lo menos a 50 m. de cuevas y refugios naturales, separadas entre sí a una distancia de 30 y 50 m., situar uno de los costados de la casita en dirección de donde procede la corriente dominante (Salas, et al., 2008). Sin embargo, a esta situación se le agrega un factor muy importante el cual es el conocimiento local o tradicional de los pescadores de la zona acerca del recurso langosta.

Es muy interesante debido a que es por iniciativa de ellos en respuesta de una convocatoria del gobierno, a la cual propusieron la construcción de “casitas” para langostas (Zapata-Araujo, et al., 2008).

Salas, et al. (2008) menciona en su trabajo con refugios artificiales para langosta, que se manejaban dos hipótesis: si los dispositivos servían para atraer y concentrar a los organismos (hipótesis de la atracción), o para mejorar la producción de biomasa de las áreas de pesca (hipótesis de mejoramiento del rendimiento). Hay autores que simpatizan con la primera (Sosa-Cordero, et al., 1998) (Wilson, et al., 2001) (Osenberg, et al., 2002), y hay quienes apoyan a la segunda (Powers, et al., 2003) (DeMartini, et al., 1994). También existen quienes enfatizan que ambos pueden tener razón dependiendo de los sitios de los que se trate y de los objetivos que se persigan con su introducción (Sheeny, 1986) (Briones-Fourzán, et al., 2007).

Es necesario desarrollar programas piloto de instalación de arrecifes artificiales, así como de refugios artificiales, que permitan ensayar y evaluar con cierta precisión el impacto real de la instalación de arrecifes (Sierra & Medina, 1988). De no hacer esto, puede suceder lo que explica Mathews (1986) en su revisión a nivel mundial sobre refugios artificiales, que existen aquellos que fueron colocados en sitios inapropiados, lo cual da como resultado estructuras ineficientes para su fin y pérdidas económicas.

Legislación vigente aplicable

Esta pesquería se reglamentó desde 1984 y se ha mantenido en un estatus de “aprovechado al máximo desarrollo sostenible” (Carta Nacional Pesquera, 2012) gracias a los programas que controlan la pesca ilegal en las épocas de reproducción. Sumado a esto, se encuentran las

dos Normas Oficiales Mexicanas en materia pesquera, las cuales regulan la administración de este recurso. Las NOM's antes mencionadas son las siguientes:

- ❖ NOM-008-PESC-1993.
- ❖ NOM-009-PESC-1993.

En la primera se establece la talla mínima de captura en 110 mm de longitud de manto, así como las cuotas de captura por especie y región para cada temporada de pesca (1993). La segunda norma establece un periodo de veda que abarca del 16 de diciembre al 31 de julio que tiene por objetivo proteger el principal periodo de reproducción de *O. maya* (1993).

Asimismo, la Carta Nacional Pesquera (2012) define otros lineamientos para su administración, destacando dos puntos importantes:

1. Mantener el esfuerzo pesquero en el nivel actual
2. Mantener las capturas anuales alrededor de las 14 mil toneladas.

Finalmente, en marzo del 2014 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero del pulpo (*O. Maya* y *O. Vulgaris*) del Golfo de México y Mar Caribe (Plan de Manejo Pesquero de pulpo (*O. Maya* y *O. Vulgaris*) del Golfo de México y Mar Caribe, 2014). El cual está a cargo de CONAPESCA, la cual debe vigilar su cumplimiento con base en las leyes y reglamentos vigentes.

Las acciones necesarias para evaluar las poblaciones de pulpo están establecidas en el anexo del Plan de Manejo Pesquero del pulpo (2014) y como líneas de acción que tienen relevancia con los refugios artificiales se incluye:

- Establecer un programa de seguimiento y manejo de los arrecifes artificiales ya colocados y los que se planea colocar en el futuro enfatizando su efecto sobre las hembras reproductoras de pulpo.
- Desarrollar estudios para evaluar la factibilidad de programas de repoblamiento.
- Fomentar el desarrollo de actividades de cultivo con fines de repoblación.

Dentro del Plan de Manejo Pesquero del pulpo (2014) con el fin de que sean integrados en el Programa Nacional de Investigación Científica y Tecnológica en Pesca y Acuicultura del INAPESCA, se incluye los siguientes puntos como temas prioritarios de investigación.

- Establecer un programa de seguimiento y manejo de los arrecifes artificiales ya colocados y los que se planea colocar en el futuro (tipo “reef ball”), enfatizando su efecto sobre las hembras reproductoras de pulpo.
- Desarrollar estudios para evaluar la factibilidad de programas de repoblamiento

DESCRIPCIÓN DE PROBLEMÁTICA

El Plan de Manejo para la Pesquería de Pulpo (2014) menciona que, en la última década, la producción de pulpo en la Península de Yucatán ha tenido mucha variación, fluctuando entre 9 mil y 24 mil toneladas, con valor económico entre 300 millones y 1,000 millones de pesos.

La actual pesquería de pulpo en la Península de Yucatán se basa en dos especies: *O. vulgaris*, especie que se encuentra en varias partes del mundo, y *O. maya*, especie endémica de esta zona. Año con año estas especies son pescadas en grandes cantidades en los meses de agosto a diciembre, temporada en la que se encuentra abierta esta pesquería.

Debido a que una de las dos especies de pulpo en la Península es endémica es necesario tomar acciones de prevención para que su aprovechamiento no llegue a generar ningún problema a largo plazo y de esta manera apoyar a que sus capturas no disminuyan.

Justificación

La pesquería comercial del pulpo es la más importante en la Península de Yucatán por su volumen, el trabajo que genera, el precio y la contribución alimentaria local que proporciona, entre otros. Por su importancia, está fuertemente sujeta a presiones de pesca de los habitantes de la costa de tres estados quienes mantienen una producción que en promedio rebasa las 10 mil toneladas anuales es decir una captura que podría rebasar los 20 millones de individuos por año (Tomando un peso promedio de 500g por individuo). Uno de los aspectos críticos de la relación entre la biología de los pulpos y la pesca está en el hecho de que las hembras requieren de refugios para el desove.

Teniendo en consideración que durante esa fase del ciclo de vida las hembras no se alimentan y que la pesca de organismos machos o hembras que no se encuentran desovando se hace atrayéndolos con carnadas es posible preguntarse.

1. ¿Los refugios artificiales colocados en zonas desprovistas de refugios naturales y en menores densidades son aprovechados por los juveniles y adultos de *O. maya* en una proporción mayor que los refugios artificiales colocados en zona donde abundan los refugios naturales y la densidad de refugios es mayor?

Hipótesis 1. Si los pulpos dependen de los refugios para su sobrevivencia, entonces es posible proponer que la proporción de refugios artificiales ocupados en zonas desprovistas de refugios naturales y con densidades menores será significativamente más grande a la

ocupación observada de refugios artificiales colocados en zonas donde abundan los refugios naturales con densidades más grandes.

2. ¿Cuál es el factor físico- químico del agua determinante para los desoves de esta especie en el ambiente natural?

Hipótesis 2. Si en el laboratorio se ha demostrado que existe una preferencia de los pulpos por desovar en temperaturas bajas del agua y la temporada de reproducción y desove es en meses fríos, es posible suponer que la temperatura del agua jugar un papel importante en el desove en el medio natural.

3. ¿Cuántos huevos y crías son producidas por hembras que desovan en los refugios artificiales?

Hipótesis 3. Si el número de huevos desovados por hembras silvestres de *O. maya* oscila entre 1500 y 2000 huevos/desove (con máximos reportados de 5000 huevos/desove) y la sobrevivencia de los embriones es cercana al 100% es posible esperar que, si los refugios artificiales ofrecen condiciones similares a las naturales, el número de huevos y crías obtenidos de esta especie sea similar al reportado para la población silvestre.

4. ¿El peso de las crías procedentes de hembras que desovan en los refugios artificiales es estadísticamente diferente de las obtenidas en condiciones de laboratorio?

Hipótesis 4. Si el peso de las crías está directamente relacionado con la calidad del alimento que las hembras obtienen durante el proceso de maduración del ovario y si las condiciones nutricionales de las hembras de laboratorio son similares a los de las hembras silvestres es de esperar que el peso de las crías obtenidas en los refugios artificiales y en laboratorio no presenten diferencias significativas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la utilización de refugios artificiales por *O. maya* como sitios de desove y analizar sus implicaciones en el manejo pesquero.

Objetivos específicos

- ❖ Objetivo 1. Comparar el efecto de la densidad de refugios artificiales en la ocupación para protección y desoves en zonas con y sin refugios naturales.
- ❖ Objetivo 2. Conocer la posible relación entre los factores físico- químicos y la ocurrencia de desoves de hembras de *O. maya* en el medio natural.
- ❖ Objetivo 3. Establecer si el número de huevos desovados por las hembras silvestres y la proporción de crías/desove obtenidos en los refugios artificiales es significativamente diferente de los que se han obtenido en condiciones de laboratorio.
- ❖ Objetivo 4. Establecer si el peso de las crías obtenidas de los desoves procedentes de los refugios artificiales es significativamente diferente de los que se han obtenido en condiciones de laboratorio.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El sitio donde se realizó este estudio fue en la plataforma continental adyacente al puerto de Sisal, Yucatán, con coordenadas geográficas de 21°09'57.34" N y 90°01'49.70" O.

La zona presenta 3 estaciones a lo largo del año: nortes (noviembre – febrero), secas (marzo – mayo) y lluvias (junio – octubre). Cada una de estas temporadas tiene características diferentes las cuales influyeron en las condiciones ambientales de la zona de muestreo.

Se abarcó un área de 100 m² por zona para este estudio, posteriormente se seleccionaron los sitios para la colocación de refugios artificiales. Para elegir los sitios se recurrió a la experiencia de los pescadores. Los refugios fueron colocados en zonas con fondo de arena, en donde los refugios naturales son escasos y en una zona de rocas, en donde los refugios naturales son más abundantes.

Diseño experimental

Durante el desarrollo de esta investigación se utilizaron 120 refugios artificiales, los cuales fueron diseñados tomando en cuenta las características de los refugios artificiales utilizados en el área de maduración de hembras de *O. maya* localizado en la UAS-UNAM Sisal.

Los refugios fueron construidos de fibra de vidrio con una base de concreto como elemento de anclaje. A cada refugio se le asignó un número consecutivo.

El diseño incluyó una tapa removible la cual permitió la obtención de los desoves fácilmente.



Figura 1. Refugios Artificiales de Pulpo

Así, la tapa de los refugios es sustituible y se encuentra fijada a cada refugio con cinchos de

plástico (Figura 1). Una de las esquinas del polígono de distribución de los refugios fue marcada con GPS, para localizarlos durante el estudio.

El área de estudio se dividió en 12 zonas, seis con fondo de arena y seis con fondo de roca, en profundidades que van desde los 6 a los 10 m. Se instalaron los refugios en densidades de 5 y 15 refugios en ambos sitios. Debido a las diferentes profundidades en cada una de las zonas no existen replicas para el diseño experimental (Figuras 2 y 3).



Figura 2. Ubicación de los Refugios Artificiales por tipo de fondo y densidad

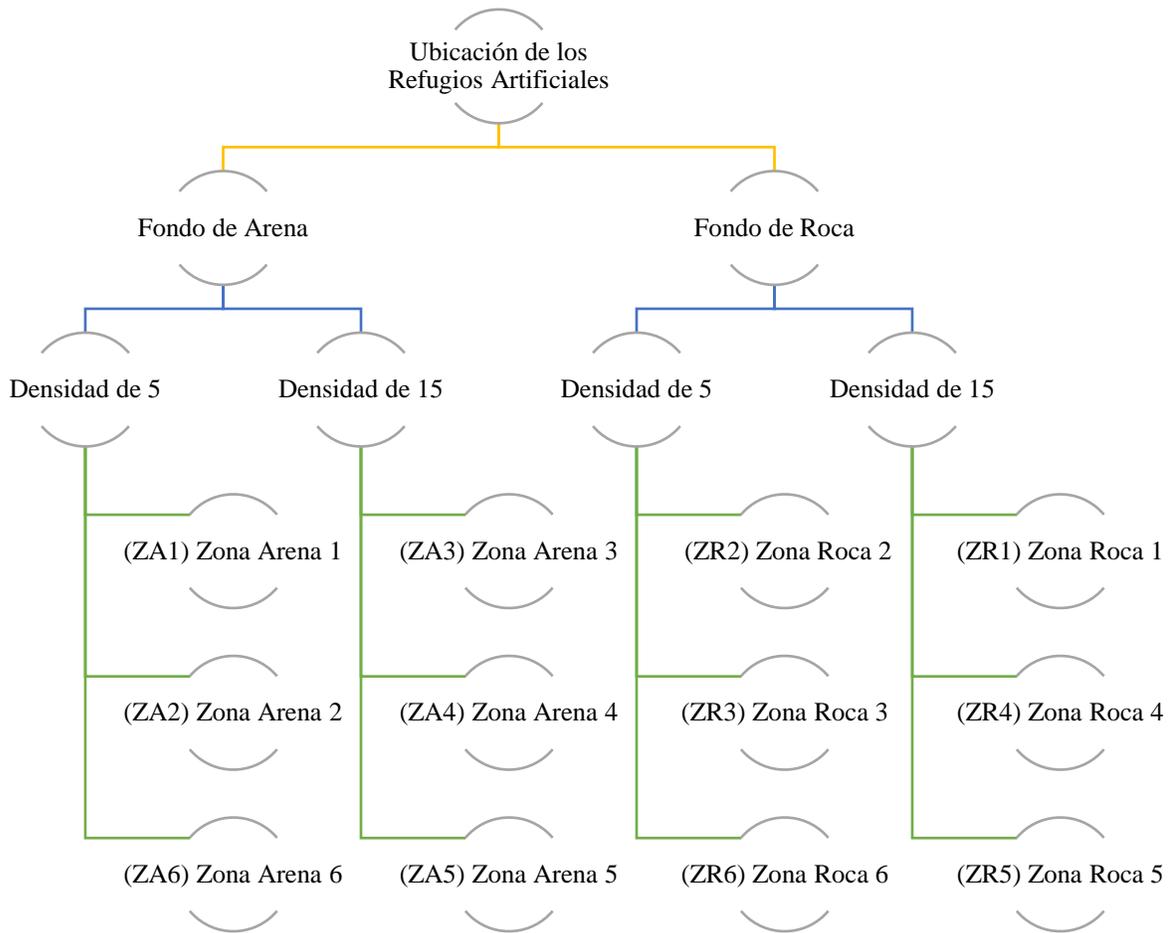


Figura 3. Diseño experimental y Distribución de los Refugios Artificiales

Monitoreo

La ocupación de los refugios se evaluó en los meses de abril, septiembre y noviembre del 2014, y en abril y marzo del 2015. Se observaron las zonas en las que los refugios estuvieron habitados, tanto en zonas de roca como las de arena. Para realizar el monitoreo de los refugios fue necesario que un buzo descendiera y verificara el estado y la ocupación de los refugios. Esta observación se realizó con los siguientes criterios: 1). Refugio con evidencia de ocupación (presente o pasada) que se determinó a partir de la observación de la presencia de

elementos (conchas, piedras, etc.) colocados a la entrada o dentro del refugio. 2). Ocupado, en el caso de encontrar al organismo dentro del refugio sin desove; 3). Ocupado por una hembra con un desove cuando se encontró al pulpo en cuidado parental de los huevos dentro del refugio.

En el caso de que el refugio estuviera ocupado se anotó en la bitácora, y si se encontraba un desove se dejaba una semana, para tener la seguridad de que el desove estaba completo, y a la semana siguiente se extraía para llevarlo al laboratorio y estudiar la fecundidad.

En cada punto de muestreo y en tres puntos de la columna de agua: fondo, media agua y superficie, se midió la salinidad, la temperatura y los sólidos disueltos.

Extracción de desoves y conteo de huevos

Los desoves obtenidos en los refugios artificiales se llevaron al laboratorio ubicado en la Unidad Académica Sisal en donde los huevos fueron colocados en una incubadora que cuenta con un sistema de tratamiento de agua. La incubadora tiene la ventaja de que reduce el espacio requerido para el desarrollo de los embriones de 500 L por hembra a 40/L por desove.

Una vez en el laboratorio, las puestas se dividieron en dos grupos: los desoves recolectados en las zonas de fondo de arena y en las zonas de fondo de roca. Los huevos fueron contados con el fin de obtener la fecundidad por puesta. Posteriormente, 45 días después, cuando los embriones ya se desarrollaron y las crías eclosionaron se cuantificó el número total de crías eclosionadas para obtener la tasa de eclosión de ambos sitios. Se determinó el peso de los pulpos recién nacidos utilizando una balanza semi analítica digital (+ 0.001 g)

Análisis de datos

Para examinar los datos obtenidos de los desoves, la ocupación, la evidencia de ocupación y los sitios, se realizó una recopilación de información en una base de datos de los factores ambientales (salinidad, temperatura y sólidos disueltos) en donde se obtuvo un promedio de cada punto de muestreo y estación en la que se muestreo. Con estos datos se realizaron análisis de la relación entre las preferencias de las condiciones para los desoves de *O. maya* y los factores ambientales.

Análisis estadísticos

Para analizar si había o no diferencias entre los tipos de fondo se realizó una prueba de t de Student para variables independientes. Esta prueba compara las varianzas de ambas series de datos independientes, dando como resultado la aceptación o negación de la hipótesis nula, la cual, indica que ambas muestras son similares y no presentan diferencias significativas a un nivel de $P < 0.05$.

Para analizar las diferencias entre temporadas de muestreo (secas y lluvias) se utilizó un análisis de χ^2 . Una prueba de chi- cuadrado es una prueba de hipótesis que compara la distribución observada con una distribución esperada de los datos (Anon., s.f.). En la práctica se tolera un máximo del 20% de frecuencias inferiores a 5. El modelo estadístico de este análisis se expresa de la siguiente manera:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Si existe concordancia perfecta entre las frecuencias observadas y las esperadas el estadístico tomará un valor igual a 0; por el contrario, si existe una gran discrepancia entre estas

frecuencias el estadístico tomará un valor grande y, en consecuencia, se rechazará la hipótesis nula (Soporte de Minitab17, 2016).

Finalmente se realizó un análisis de componentes principales en el programa de Statistica; éste es un proceso para identificar un número más pequeño de variables no correlacionadas, denominadas "componentes principales", en un conjunto de datos grande. La meta del análisis de componentes principales consiste en explicar la máxima cantidad de varianza con el menor número de componentes principales (Soporte de Minitab17, 2016). Esto para determinar cuál es el parámetro que está afectando más a la ocupación y desove.

RESULTADOS

Revisión de refugios artificiales

Se realizaron cinco muestreos de revisión de los refugios artificiales correspondientes a los meses de abril, septiembre y noviembre de 2014 y de marzo y abril de 2015. Se realizaron 459 revisiones de refugios artificiales en total, lo que correspondió al 77% del total de las posibles revisiones (600). En lo que se refiere al tipo de fondo, se logró el 91% de revisiones de los refugios localizados en la zona de arena y el 62% en la zona de roca (Tabla 1).

Tabla 1. Número y porcentaje de refugios artificiales *revisados por tipo de fondo* en los diferentes muestreos, frente a la costa de Sisal, Yucatán.

Muestreo	Número de refugios en arena	Número de refugios en roca	Refugios revisados arena	Refugios revisados roca	Total Refugios revisados	Porcentaje de revisados en arena	Porcentaje de revisados en roca	Porcentaje de revisados total
abr-14	60	60	56	42	98	93%	70%	82%
sep-14	60	60	57	38	95	95%	63%	79%
nov-14	60	60	45	0	45	75%	0%	38%
mar-15	60	60	58	47	105	97%	78%	88%
abr-15	60	60	57	59	116	95%	98%	97%

Los refugios en roca fueron menos revisados en todos los muestreos debido a que dos conjuntos de refugios en esa zona no pudieron ser localizados, solo hasta en los últimos dos muestreos se pudieron localizar y realizar las revisiones.

En el muestreo de noviembre de 2014 únicamente se revisaron los refugios en arena debido a que las condiciones climatológicas impidieron realizar las revisiones de los refugios localizados en la zona de roca.

Las revisiones efectuadas con el fin de evaluar los efectos de la densidad de refugios en cada zona se cubrieron en un 71% en la zona de densidad baja con 106 revisiones. En lo que se refiere a la zona de alta densidad, se realizaron 353 revisiones, lo que correspondió al 78% del total de posibles revisiones (Tabla 2).

Tabla 2. Número y porcentaje de refugios artificiales *revisados por zona de densidad* en los diferentes muestreos, frente a la costa de Sisal, Yucatán.

Muestreo	Número de refugios en densidad baja	Número de refugios en densidad Alta	Refugios revisados en densidad baja	Refugios revisados en densidad alta	Total Refugios revisados	Porcentaje de revisados en densidad baja	Porcentaje de revisados en densidad alta	Porcentaje de revisados total
abr-14	30	90	18	80	98	60%	89%	82%
sep-14	30	90	25	70	95	83%	78%	79%
nov-14	30	90	13	32	45	43%	36%	38%
mar-15	30	90	20	85	105	67%	94%	88%
abr-15	30	90	30	86	116	100%	96%	97%

Ocupación total

En los cinco muestreos realizados entre 2014 y 2015 se encontraron 52 refugios ocupados por pulpos. El muestreo en el que se presentaron más ocupaciones fue el del mes de marzo del 2015 con 22.

Se encontró un promedio general de ocupación de 12.43%. En los meses de noviembre de 2014 y marzo de 2015 se obtuvieron los porcentajes más altos de ocupación con 23.3 y 18.6% respectivamente. En septiembre de 2014 se obtuvo el menor porcentaje de ocupación con solo el 6.4% (Tabla 3).

Descripción por tipo de fondo

Se observó que los refugios situados en el fondo de arena tuvieron porcentajes mayores de ocupación (13.5%) comparados con los ubicados en el fondo de roca (10.6%). Durante todos los meses muestreados el porcentaje de ocupación fue mayor en los refugios en fondo de arena a excepción del cuarto muestreo (marzo del 2015), donde la ocupación en roca fue mayor (Tabla 3). El mayor porcentaje de ocupación en la zona de arena ocurrió en noviembre

de 2014 (23.3%), mientras que en marzo de 2015 se registró la mayor ocupación (27.5%) en la zona de roca. Se utilizó “ND” en las siguientes tablas para especificar en donde no se pudo obtener información (Tabla 3).

Tabla 3. Número y porcentajes de *ocupación* de refugios artificiales *por tipo de fondo* en los diferentes muestreos.

Muestreo	Número de refugios ocupados en arena	Número de refugios ocupados en roca	Promedio de porcentaje de ocupación en arena	Promedio de Porcentaje de ocupación en roca	Total de refugios ocupados	Promedio de porcentaje total de ocupación
abr-14	5	4	11.8	11.6	9	11.7
sep-14	6	1	9.4	1.9	7	6.4
nov-14	7	ND	23.3	ND	7	23.3
mar-15	9	13	12.6	27.5	22	18.5
abr-15	5	2	10.5	4.4	7	7.5

Descripción por densidad

Un mayor porcentaje de ocupación fue obtenido en las zonas de baja densidad de refugios con el 14.4% de ocupación, mientras que en las zonas de alta densidad de refugios se obtuvo un 10.8% de ocupación. La ocupación más alta para las zonas de baja densidad se presentó en noviembre de 2014 con el 42.2% de ocupación, mientras que, en las zonas de alta densidad, el mayor porcentaje de ocupación se presentó en marzo de 2015 con el 24.2% (Tabla 4).

Tabla 4. Número y porcentajes de *ocupación* de refugios artificiales *por tipo de densidad* en los diferentes muestreos.

Muestreo	Número de refugios ocupados en densidad baja	Número de refugios ocupados en densidad alta	Promedio de porcentaje de ocupación en densidad baja	Promedio de porcentaje de ocupación en densidad alta	Total de refugios ocupados	Promedio de porcentaje total de ocupación
abr-14	3	6	17.5	7.9	9	11.7
sep-14	1	6	4.0	8.9	7	6.4
nov-14	5	2	42.2	4.4	7	23.3
mar-15	2	20	10.0	24.2	22	18.5
abr-15	3	4	10.0	5.0	7	7.5

En el siguiente gráfico se puede apreciar el porcentaje de ocupación junto con el porcentaje de evidencia de ocupación para los diferentes muestreos en los dos tipos de fondo con distinción de las diferentes densidades, en el cual se observa que los refugios en roca se utilizaron menos que los situados en el fondo con arena, y también presentan distinción entre densidades: los sitios con densidad de 5 refugios/10 m² fueron utilizados más que los colocados en una densidad de 15 refugios/10 m² (Figura 4).

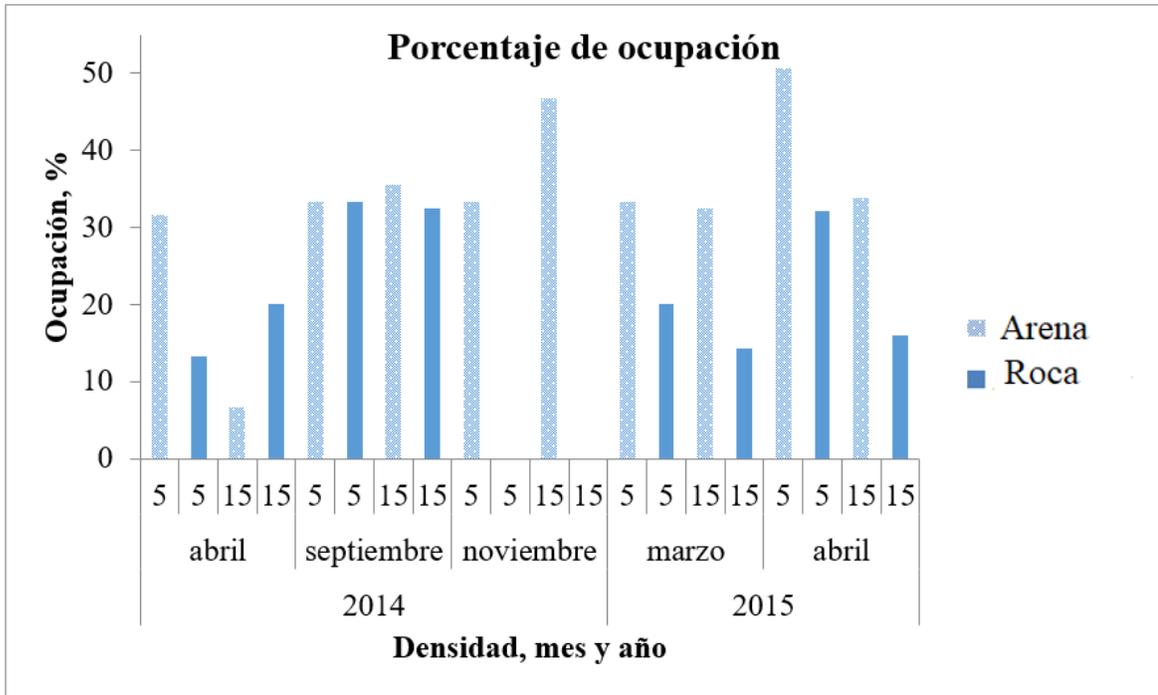


Figura 4. Porcentaje de ocupación por fondo, muestreo y densidad

Ocupación para la reproducción

En el caso de la ocupación de los refugios utilizados exclusivamente para la reproducción, encontramos 15 hembras con desove en todos los muestreos realizados. El promedio general de ocupación con desove fue de 3.7%. En abril y noviembre de 2014 se encontraron los mayores porcentajes de ocupación con desove, con el 6.0% y el 5.6% respectivamente (Tabla 5).

En el siguiente gráfico se muestran los desoves por refugio a lo largo del periodo de estudio, diferenciando el tipo de fondo y las densidades. Podemos ver que las zonas con densidad de 5 refugios/710 m² son las que presentan más desoves por refugio, sin embargo, son las que presentan un mayor error estándar. De igual manera podemos ver la preferencia por desovar en zonas de fondo arena (Figura 5).

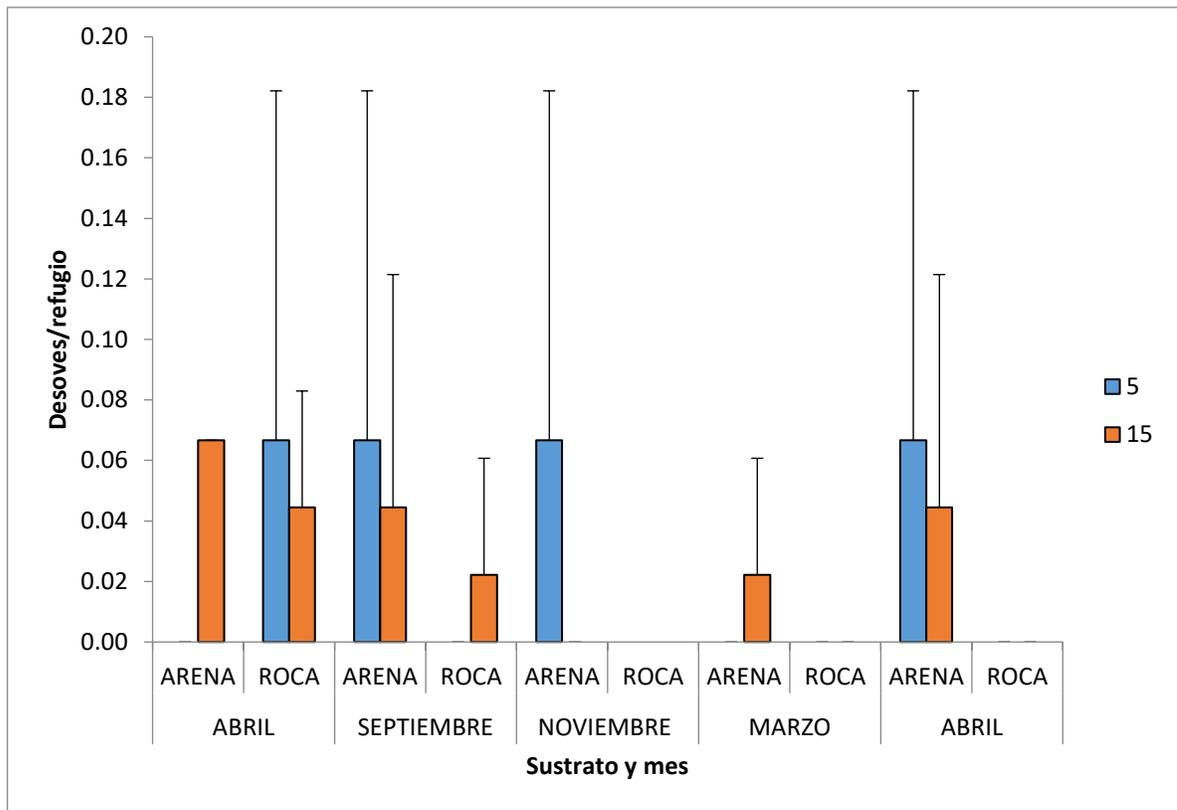


Figura 5. Desoves por refugio diferenciando muestreo, fondo y densidad

Descripción por tipo de fondo

El promedio de ocupación con desove fue mayor en la zona de arena con el 4.3%, mientras que en la zona de roca la ocupación con desove fue de 2.6% (Tabla 5).

Se observó que en todos los meses se encontraron refugios ocupados con desoves en la zona de arena. Sin embargo, en la zona de roca solo se encontraron desoves en los meses de abril y septiembre de 2014, siendo abril de 2014 en la zona de roca el del mayor porcentaje de ocupación con desove (9.8%) para ambos tipos de fondo (Tabla 5).

Tabla 5. Número y porcentajes de *desoves* en refugios artificiales *por tipo de fondo* en los diferentes muestreos.

Muestreo	Número de refugios con desove en arena	Número de refugios con desove en roca	Promedio de porcentaje de desove en arena	Promedio de porcentaje de desove en roca	Total de refugios con desove	Promedio de porcentaje total de desove
abr-14	3	3	3.5	9.8	6	6.0
sep-14	3	1	5.6	1.9	4	4.1
nov-14	1	ND	5.6	ND	1	5.6
mar-15	1	0	1.1	0.0	1	0.7
abr-15	3	0	5.9	0.0	3	2.9

Descripción por densidad

En cuanto a la ocupación con desoves respecto a las diferentes densidades de refugios, observamos una mayor ocupación para desove en las zonas con densidad baja (4.2%), mientras que en las zonas de alta densidad de refugios el promedio de ocupación con desove fue de 3.2%.

En las zonas de baja densidad de refugios se observó que en noviembre de 2014 se obtuvo el mayor porcentaje de ocupación con desove con un 11.1%, mientras que en marzo de 2015 en estas zonas no se encontraron ocupaciones con desove. En las zonas de alta densidad destaca el mes de abril de 2014 con 6.7% de ocupación con desove, mientras que en noviembre de 2014 no se encontraron desoves (Tabla 6).

Tabla 6. Número y porcentajes de *desoves* de refugios artificiales *por tipo de densidad* en los diferentes muestreos.

Muestreo	Número de refugios con desove en densidad baja	Número de refugios con desove en densidad alta	Promedio de porcentaje de desove en densidad baja	Promedio de porcentaje de desove en densidad alta	Total de refugios con desove	Promedio de porcentaje total de desove
abr-14	1	5	5.0	6.7	6	6.0
sep-14	1	3	4.0	4.2	4	4.1
nov-14	1	0	11.1	0.0	1	5.6
mar-15	0	1	0.0	1.1	1	0.7
abr-15	1	2	3.3	2.6	3	2.9

Evidencia de Ocupación

Los resultados obtenidos de la evidencia de ocupación son altos en comparación con la ocupación total y los desoves encontrados. En total, se ubicaron 97 refugios con evidencia de ocupación. El promedio general de refugios con evidencia de ocupación fue de 21.0%. El mes en que se observó el mayor porcentaje de evidencia de ocupación fue septiembre de 2014 con el 45%, mientras que marzo de 2015 se registró el menor porcentaje con el 10.2% (Tabla 7).

Descripción por tipo de fondo

Los refugios revisados en el fondo de arena tuvieron como resultado 67 evidencias de ocupación. Al igual que en el caso de la ocupación, se mostró un mayor número de refugios con evidencia en el tipo de fondo de arena con el 24.4%. El mes que presentó un mayor número de evidencias de ocupación en fondo de arena fue septiembre del 2014 con 55.8% (Tabla 7).

En cuanto a los refugios en el fondo de roca, se observaron 30 refugios con evidencias de ocupación. El promedio de porcentaje de evidencia de ocupación en esta zona fue de 15.4%. Del mismo modo que en la zona de arena, septiembre de 2014 fue el mes con un mayor porcentaje de evidencia de ocupación con el 28.7%, mientras que en abril de 2014 solamente se registró un 1.7% (Tabla 7).

Tabla 7. Número y porcentajes de *evidencias* en refugios artificiales *por tipo de fondo* en los diferentes muestreos.

Muestreo	Número de refugios con evidencia en arena	Número de refugios con evidencia en roca	Promedio de porcentaje con evidencia en arena	Promedio de porcentaje con evidencia en roca	Total de refugios con evidencia	Promedio de porcentaje total con evidencia
abr-14	13	1	20.3	1.7	14	12.8
sep-14	30	16	55.8	28.7	46	45.0
nov-14	5	ND	12.2	ND	5	12.2
mar-15	6	3	11.3	8.5	9	10.2
abr-15	13	10	22.2	20.2	23	21.2

Descripción por densidad

En cuanto a la evidencia de ocupación con respecto a las diferentes densidades de refugios, se encontró un mayor porcentaje de evidencia de ocupación en las zonas de densidades bajas (23%) que en las zonas de densidades altas (19.3%).

En las zonas de densidades bajas se observó que en septiembre de 2014 se encontró el mayor porcentaje de evidencia de ocupación con el 40%, mientras que abril de 2014 solo se registró el 11.3%. En las zonas de alta densidad también en septiembre de 2014 se observó el mayor

porcentaje de evidencia de ocupación con el 50% mientras que noviembre de 2014 solo se registró el 4.4% (Tabla 8).

Tabla 8. Número y porcentajes de *evidencias* de refugios artificiales *por tipo de densidad* en los diferentes muestreos.

Muestreo	Número de refugios con evidencia en densidad baja	Número de refugios con evidencia en densidad alta	Promedio de porcentaje con evidencia en densidad baja	Promedio de porcentaje con evidencia en densidad alta	Total de refugios con evidencia	Promedio de porcentaje total con evidencia
abr-14	2	12	11.3	13.9	14	12.8
sep-14	12	34	40.0	50.0	46	45.0
nov-14	3	2	20.0	4.4	5	12.2
mar-15	3	6	15.0	6.9	9	10.2
abr-15	7	16	23.3	19.1	23	21.2

Fecundidad de hembras que desovaron en refugios artificiales

Se recuperaron los desoves de los últimos dos muestreos realizados en el 2015. En la siguiente tabla se indica en dónde se recolectaron y los datos de la hembra desovante, así como los huevos contados y cuántos eclosionaron (Tabla 9).

Tabla 9. Datos de *hembras y desoves* recolectados en 2015

Mes	Zona	No. Pulpo	Peso (g)	Long manto (cm)	Estado de puesta	Huevos	Eclosionados
Abril	Roca 6	Hembra 1	1,119	16	Recuperada	975	282
		Hembra 2	582	10	Eclosionaron	ND	1575
	Arena 5	Hembra 3	772	15	Desovado	ND	ND
		Hembra 4	898	13	Eclosionaron	ND	1575
	Arena 3	Hembra 5	717	15	Desovado	ND	ND
		Hembra 6	979	14	Recuperada	1764	1187
Marzo	Arena 3	Hembra 1	ND	ND	Desovado	559	ND

De los pulpos recién eclosionados de la Hembra 1 y 6 de abril se realizaron mediciones de peso de 53 organismos de lo cual se obtuvo un promedio de 0.12 g y 0.15 g respectivamente.

En las hembras 2 y 4 se recolectaron los desoves, sin embargo, eclosionaron en la embarcación de camino a la incubadora por lo que se revolvieron ambos desoves, el total de los pulpos eclosionados de estas hembras fueron 1575.

En cuanto a las Hembras 3 y 5, los desoves ya habían eclosionado por lo que no se pudieron recolectar.

De la hembra 1 de marzo lo único que se pudo recolectar fueron los coriones ya que el desove correspondiente había eclosionado antes; por lo tanto, se realizó un conteo de sacos vitelinos.

Estadísticos

Se realizó una prueba de varianza de t de Student para variables independientes. El resultado de la prueba fue de 0.093 lo cual indicó que la hipótesis del modelo era cierta (Tabla 10). El tipo de fondo es significativamente distinto.

Tabla 10. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Arena</i>	<i>Roca</i>
Media	3.3	2.0833
Varianza	7.6655	5.9927
Observaciones	30	24
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	51	
Estadístico t	1.7117	
P(T<=t) dos colas	0.0930	
Valor crítico de t (dos colas)	2.0075	

El análisis de Chi- cuadrado demostró que la ocupación que se pudo observar en los refugios es significativa, tanto en la ocupación total como por tipo de fondo y por densidad.

La primera tabla es de la ocupación total en todos los muestreos, tiene 9 grados de libertad, con un alfa de 0.005. El resultado del análisis mostró que el valor Chi cuadrado calculado (45.9) resultó ser muchísimo mayor al de tablas, pudiendo concluir que el tipo de fondo afectó la ocupación con una $p < 0.0005$ (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de *Chi- cuadrada* de la *ocupación total*.

Frecuencias observadas	Frecuencias esperadas	
5	4	0.4
9	6	1.3
9	8	0.4
3	3	0.0
5	6	0.2
15	12	0.6
29	26	0.2
4	10	3.7
12	17	1.3
14	13	0.1
1	1	0.1
1	2	0.8
3	3	0.0
2	1	0.6
5	2	2.9
5	5	0.0
14	10	1.6
12	4	18.8
16	7	12.0
7	5	0.8
Calculado	Chi2	45.9

Para el tipo de fondo de arena tuvimos 4 grados de libertad y un alfa de 0.005. El resultado de este análisis fue de 146, valor mucho más grande del que se esperaba, por lo que podemos decir que es altamente significativo (Tabla 12).

Tabla 12. Análisis de *Chi- cuadrado* para fondo de *arena*

Frecuencias observadas	Frecuencias esperadas	
5	6	0.2
9	11	0.4
9	4	7.4
3	5	0.5
5	6	0.1
15	4	27.9
29	8	55.6
4	3	0.5
12	3	26.6
14	4	26.7
Calculado	Chi2	146.0

Para el análisis en el fondo de roca se obtuvo un valor de 4 para los grados de libertad, el resultado fue de 213.7, lo cual es un valor altamente significativo, siendo éste el valor más grande que obtuvimos en las pruebas de chi- cuadrado (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis de *Chi- cuadrado* para fondo de *roca*.

Frecuencias observadas	Frecuencias esperadas	
1	1	0.01
1	3	1.11
3	3	0.02
2	3	0.44
5	2	3.54
5	1	18.79
14	2	63.64
12	2	45.23
16	3	64.78
7	2	16.17
Calculado	Chi2	213.7

En los análisis de chi cuadrada que se llevaron a cabo para las diferentes densidades se obtuvo para la densidad de 5 refugios, con 4 grados de libertad se consiguió un valor de alfa de 0.05; por lo que el efecto no es significativo (Tabla 14).

Tabla 14. Análisis de *Chi- cuadrado* para *densidad de 5* refugios.

Frecuencias observadas	Frecuencias esperadas	
5	4.1	0.1
9	7.2	0.4
9	8.9	0.0
3	3.6	0.1
5	7.2	0.7
1	1.6	0.2
1	2.8	1.1
3	3.4	0.1
2	1.4	0.3
5	2.8	1.8
Calculado	Chi2	4.8

El resultado de la prueba de Chi cuadrado para la densidad de 15 refugios tuvo 4 grados de libertad y un alfa de 0.025. Por lo que se rechazó la hipótesis nula y podemos decir que fue significativa (Tabla 15).

Tabla 15. Análisis de *Chi- cuadrado* para *densidad de 15* refugios.

Frecuencias observadas	Frecuencias esperadas	
15	11.3	1.0
29	24.8	0.6
4	9.5	3.2
12	16.2	0.9
14	12.5	0.3
5	8.3	1.3
14	18.2	0.9
12	7.0	4.3
16	11.9	1.2
7	9.2	0.4
Calculado	Chi2	14.1

Parámetros físico- químicos

Para examinar los parámetros físico- químicos de todas las muestras se utilizó un Análisis exploratorio de Componentes Principales en el cual se incluyeron todos los parámetros de los 5 muestreos (Figura 6). Los resultados de ese análisis indican que los parámetros que más influyeron en la ocupación fueron los sólidos superficiales en el eje 1 y el oxígeno de media agua y el superficial como parámetros más influyentes en el eje 2 (Tabla 16).

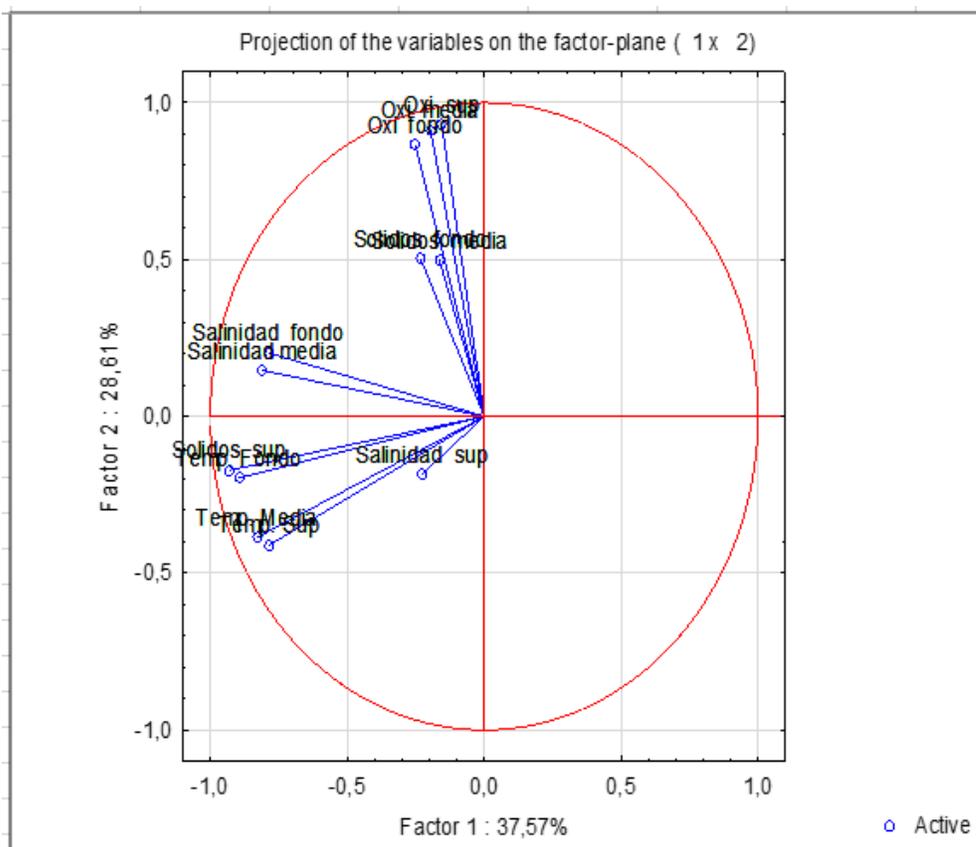


Figura 6. Análisis de Componentes Principales para Parámetros físico- químicos en la ocupación total

Tabla 16. Factores del Análisis de Componentes Principales de todos los muestreos.

Parámetro/profundidad	Factor 1	Factor 2
Temperatura superficial	-0.785813	-0.410759
Temperatura media	-0.830527	-0.386299
Temperatura fondo	-0.896063	-0.195423
Oxígeno superficial	-0.154950	0.932094
Oxígeno media	-0.196754	0.912841
Oxígeno fondo	-0.252942	0.865819
Sólidos superficial	-0.929506	-0.171116
Sólidos media	-0.163748	0.497601
Sólidos fondo	-0.232919	0.502668
Salinidad superficial	-0.226688	-0.183338
Salinidad media	-0.810536	0.146632
Salinidad fondo	-0.786074	0.202131

Como se puede observar en la Figura 7, se pueden formar tres grupos de datos con los parámetros que se recolectaron, estos grupos son: abril del 2015 como el primer grupo, septiembre y abril del 2014 como otro grupo y finalmente marzo del 2015 y noviembre del 2014 como el tercer grupo.

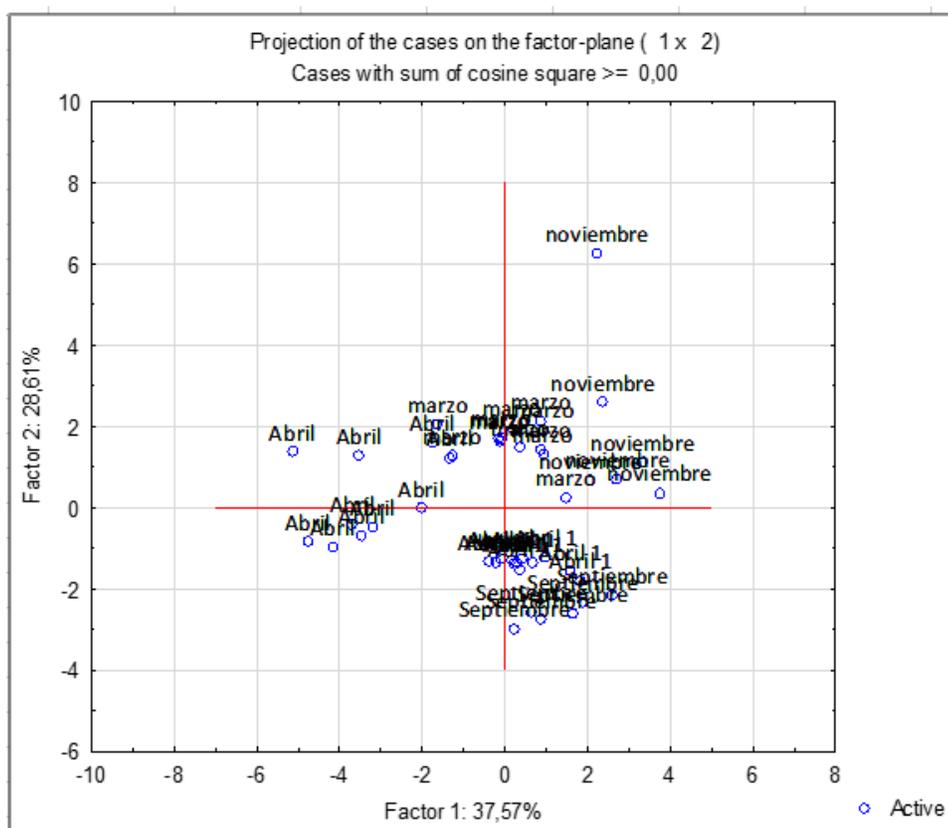


Figura 7. Análisis exploratorio de Componentes Principales para los 5 muestreos

En el siguiente Análisis de Componentes Principales se pueden observar los parámetros físico- químicos que presentaron mayor influencia en los desoves localizados (Figura 8). En este caso encontramos que la temperatura de fondo es el parámetro más importante para el

desove, seguido de los sólidos superficiales, sólidos de media agua y temperaturas de superficie y media agua respectivamente (Tabla 17).

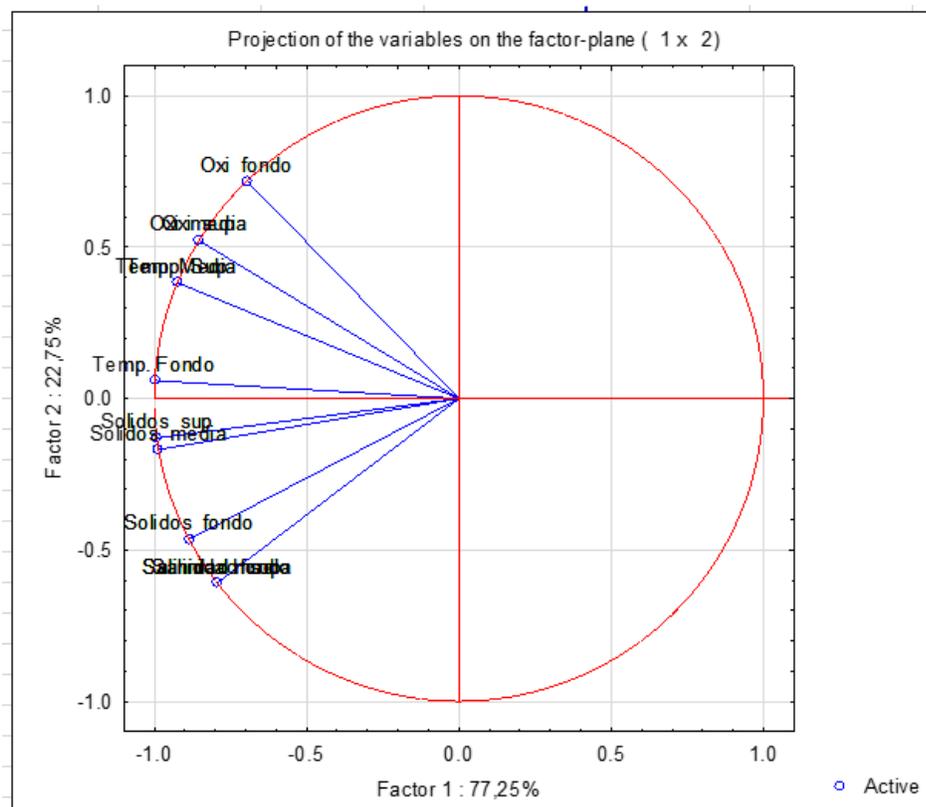


Figura 8. Análisis de Componentes Principales para Parámetros físico- químicos en desoves

Tabla 17. Factores del Análisis de Componentes Principales de desoves.

Parámetro/Profundidad	Factor 1	Factor 2
Temperatura superficial	-0.923901	0.382631
Temperatura media	-0.923901	0.382631
Temperatura fondo	-0.998250	0.059135
Oxígeno superficial	-0.853141	0.521680
Oxígeno media	-0.853141	0.521680
Oxígeno fondo	-0.695788	0.718247
Sólidos superficial	-0.991437	-0.130582
Sólidos media	-0.985681	-0.168618
Sólidos fondo	-0.885582	-0.464484
Salinidad superficial	-0.793319	-0.608806
Salinidad media	-0.793319	-0.608806
Salinidad fondo	-0.793319	-0.608806

En cuanto a los parámetros físico-químicos en desoves encontramos que existen ciertas preferencias térmicas, los datos demostraron que se encontraron desoves en mayor cantidad entre los rangos de temperaturas de 26.4° y 27°C.

En cuanto a la concentración de oxígeno se observó que los desoves se asociaron con concentraciones de oxígeno de entre 4 y 13 mg/L.

Para los sólidos los datos indican que entre 27.4 y 28 es una preferencia para los desoves. (Tabla 18).

Tabla 18. Parámetros físico- químicos de las zonas *donde se encontraron desoves* en los 5 muestreos.

Muestreo	Zona	Desoves	Temperatura. Fondo (°C)	Oxigeno % fondo (%)	Oxigeno fondo (mg/L)	Sólidos fondo	Salinidad fondo (ppm)
1	A3	1	26.9	70	4.6	27.92	33.3
1	A4	1	26.9	65	4.2	27.95	33.4
1	A5	1	26.7	61	4.1	27.9	33.3
1	R4	1	26.7	65	4.3	27.84	33.3
1	R5	1	26.7	66	4.5	27.8	33.2
1	R6	1	26.6	64	4.3	27.81	33.2
2	R4	1	26.5	23	1.5	27.37	32.9
3	A2	1	25.3	140	9.3	27.56	33.1
4	A3	1	26.8	320	21.3	27.65	33
5	A4	2	28.4	21.2	12.2	28.8	33.6
5	A6	1	28.4	18	11.4	28.23	33.5

DISCUSIÓN

La revisión de los refugios tuvo complicaciones, debido a cuestiones climáticas y de ubicación. Los refugios que se encuentran en fondo de roca tuvieron menos revisiones debido a que se perdió la ubicación exacta de dos de las seis zonas en este tipo de fondo, las cuales se pudieron localizar en los últimos muestreos realizados. Una vez ubicados, se cambiaron las coordenadas geográficas que se tenían para éstas, pues se cree que se movieron con el paso de las corrientes marinas y los temporales.

En las zonas con sustrato de arena los refugios se encontraron con la base cubierta, por lo que se tuvieron que desenterrar y volver a acomodar sobre el suelo, esta puede ser la razón por lo que los refugios en este tipo de fondo no sufrieron ningún cambio en su ubicación.

En los resultados se puede observar que las dos temporadas en donde se registró mayor ocupación fue en los meses de noviembre del 2014 y marzo del 2015; en el caso de noviembre corresponde con uno de los periodos de reproducción que se ha registrado en varios estudios

para *O. maya* (Avila-Poveda, 2014) (Solís-Ramírez, 1967) (Arreguín-Sánchez, et al., 2000) (Santos-Valencia, et al., 2005) (Avila-Poveda, et al., 2015), lo cual puede indicar que los refugios están sirviendo para su propósito que es proveer más lugares para el desove.

Los resultados obtenidos en marzo fueron similares a lo reportado por Gamboa-Álvarez, et al. (2015) en los que ubica la mayor abundancia de *O. maya* frente a las costas de Sisal y Puerto Progreso en los meses de febrero a julio.

Hipótesis 1. Los refugios

Análisis por fondo

El tipo de suelo influyó en la ocupación de los refugios pues fue en las zonas de arena donde se localizaron más desoves y el nivel de ocupación fue mayor, lo cual puede indicar que los pulpos recurren a los refugios artificiales para desovar en zonas con arena debido a la falta de refugios naturales lo cual hace que en estas zonas sea más difícil encontrar un lugar para desovar por lo que los refugios son de utilidad para las hembras.

Una razón por la cual los refugios en ambos tipos de fondo obtuvieron mayor ocupación en el mes de marzo puede deberse a la variación espacio- temporal que describen Gamboa-Álvarez, et al. (2015), en la que señala que en los meses de febrero a julio, cuando la temporada de pesca esta cerrada, es cuando este recurso se encuentra en abundancia frente a las costas de Sisal.

En el análisis de Chi-cuadrada las abundancias de ocupación fueron significativas lo cual indica que en ambos sustratos los refugios son utilizados por la especie, ya sea en forma temporal o para el desove.

Estos refugios también pueden servir para ayudar a colonizar por otros organismos las zonas de arena, ya que durante los muestreos se observó que, en las zonas con refugios, la diversidad y abundancia de especies era mayor que en las zonas aledañas, lo cual puede indicar que los refugios están sirviendo como estructura para el hábitat de diferentes animales marinos como peces, cangrejos, erizos de mar, equinodermos, entre otros.

En cuanto a los resultados obtenidos exclusivamente para la reproducción se encontró que los dos meses en los que se obtuvieron más desoves fueron en los meses de abril y noviembre, los dos picos de reclutamiento que mencionan varios autores (Voss & Solis-Ramírez, 1966) (Arreguín-Sánchez, et al., 2000) (Santos-Valencia, et al., 2005) (Avila-Poveda, et al., 2015). Estos desoves fueron observados en su mayoría en zonas de arena lo que sugiere que los refugios artificiales en zonas de roca no son tan necesarios debido a que en estos lugares existen refugios naturales.

Sin embargo, es importante recalcar que se encontraron desoves en los meses de abril, septiembre y marzo, los cuales no corresponden a la temporada de reproducción, por lo que podemos concluir, como ya había sido propuesto anteriormente, estos resultados indican que *O. maya* se reproduce todo el año en las costas de Yucatán, frente al puerto de Sisal, aunque en menor medida (Angeles-Gonzalez, et al., 2017).

La evidencia de ocupación mostró que los refugios colocados en arena fueron utilizados en muchas ocasiones lo cual es otro indicador que demuestra que se ocupan en mayor medida que los refugios en las zonas de roca. Cabe recalcar que esta evidencia puede ser tanto para desove como para ocupación intermitente.

Para finalizar, el análisis de varianza (ANOVA) demostró que el tipo de fondo definitivamente influye en la ocupación ya que las diferencias observadas fueron significativas ($p < 0.093$), pudiéndose deber a todo lo descrito anteriormente.

Análisis por densidad

A diferencia del tipo de sustrato, la densidad tuvo una marcada diferencia en el análisis de Chi-cuadrada. Los resultados indicaron que la ocupación de los refugios que se encontraban en densidad de 5 refugios/10m² no fue significativa lo cual sugiere que pese a ser territoriales, los pulpos prefirieron irse a las zonas en las que los refugios tenían una mayor densidad (15 refugios/10m²). Una posible explicación sería que, al no encontrarse exclusivamente pulpos dentro de estos dispositivos, se creó un lugar con suficiente alimento para que pudieran coexistir varios individuos de *O. maya* dentro de la misma zona.

En este sentido Salas, et al. (2008) menciona que, las casitas cubanas para langosta pueden brindar cobijo a varios individuos al mismo tiempo. La distancia entre casitas fue establecida como mínimo de 30 a 50 m. Aunque los refugios para pulpo solo pueden albergar a un individuo a la vez, cuando hay una mayor densidad de refugios éstos pueden actuar como un arrecife artificial en pequeña escala, dando la oportunidad de que sean colonizadas y utilizadas por diferentes organismos de distintas especies. La agregación de otras especies alrededor de los refugios puede ser la razón por la que hay más organismos de *O. maya* en las zonas con alta densidad, pues esta además de servir de refugio, concentra alimento para los animales. En este contexto, pocos refugios tenderían a agregar pocas presas reduciendo la agregación de pulpo.

Es interesante hacer notar que, mientras la ocupación temporal con fines de refugio o alimento parece privilegiar las zonas con mayor cantidad de refugios, cuando estos resultados se analizan a la luz de los desoves todo parece indicar que las hembras prefieren desovar en zona donde la agregación de pulpos es menor, es decir en zonas donde hay una baja densidad de refugios. Posiblemente esto sea una respuesta a que, durante el cuidado parental las hembras tenderán a preferir zonas en donde no haya otros organismos que, como los peces, pudieran ser depredadores de los embriones.

En el presente estudio se utilizó a la evidencia de ocupación como una medida del uso de los refugios artificiales. Los resultados obtenidos ahora indican un mayor número de evidencias en las zonas con densidades bajas, lo cual, según lo dicho anteriormente, podría indicar que estas evidencias serían en su mayoría de desoves.

Por estos resultados podemos decir que los pulpos prefieren utilizar estos refugios de manera intermitente ya que tenemos un 70% de ocupación o evidencia de que en algún momento se utilizó ese refugio y solo un 30% de hembras con puesta.

Hipótesis 2. Parámetros físico- químicos

Los resultados obtenidos indican que los parámetros que resultaron más importantes en la ocupación fueron los sólidos superficiales, lo que sugiere que la turbidez podría estar jugando un papel importante al reducir la cantidad de luz que llega al fondo, y en consecuencia definir el momento de la ocupación. Se ha demostrado que la luz tiene un efecto directo en la maduración sexual de diferentes especies de pulpo, entre las que están *Octopus vulgaris* (Mangold, 1983) y *Octopus mimus* (Zuñiga, et al., 1995). De esos estudios se desprende que

mientras menos incidencia de luz tienen los pulpos, más rápido alcanzan la madurez sexual (Zuñiga, et al., 1995), lo cual podría indicar que la ocupación estuvo relacionada con la reproducción.

El otro factor importante fue el oxígeno disuelto. Según el estudio realizado por Well, et al. (1983) los pulpos son organismos capaces de regular el consumo de oxígeno dependiendo de la concentración de oxígeno en el ambiente, y siguiendo esta premisa, se ha demostrado que el oxígeno disuelto afecta significativamente la tasa metabólica de los pulpos en cultivo (Bárcenas-Pazos, 2015).

En el análisis exploratorio de los 5 muestreos (Figura 8) podemos ver que se forman grupos de datos, lo cual sugeriría que los parámetros ambientales fueron similares en estos 3 conjuntos: noviembre del 2014 con marzo del 2015, abril con septiembre del 2014 y finalmente abril del 2015. Estos resultados concuerdan con los resultados de la ocupación total, en los que marzo y noviembre fueron los meses en los que se presentó una mayor ocupación de los refugios artificiales.

Se puede apreciar que abril del 2015 quedo como un grupo aparte, lo cual puede ser explicado a partir de considerar que en el 2015 se registró año en que ocurrió el evento de “El Niño” el cual provocó un aumento de la temperatura superficial de 2°C (Services, 2017). Ese efecto quedó en evidencia al haberse registrado una temperatura inusualmente alta en abril la cual resultó muy diferente a lo registrado en los demás muestreos.

En cuanto a los parámetros más importantes para el desove según la prueba de Componentes Principales se ve muy claro como los dos más relevantes son la temperatura del fondo y los sólidos superficiales en primer y segundo lugar respectivamente. Este resultado sugiere que

las temperaturas previamente establecidas en el laboratorio como las adecuadas para el desove de esta especie (22 a 26°C) (Juárez, et al., 2015) (Caamal-Monsreal, et al., 2016) (Juárez, et al., 2016) (Rosas, et al., 2006) (Rosas, et al., 2014), así como los efectos de la luz observados en *O. mimus* (Zuñiga, et al., 1995) (Olivares, et al., 1996) son posiblemente aplicables también a *O. maya* en el medio natural.

Como se mencionaba anteriormente, existen variaciones en la abundancia de *O. maya* a lo largo del año en la Península de Yucatán, las cuales están asociadas con las anomalías termales que resultan de eventos como “El Niño” (Angeles-Gonzalez, et al., 2017). Aunado a esto, existen estudios que indican que la temperatura juega un papel fundamental en la reproducción y el desarrollo embrionario de *O. maya*, (Juárez, et al., 2015) (Juárez, et al., 2016) (Caamal-Monsreal, et al., 2016); pasando los 26°C puede causar la inhibición del desove en cautividad (Juárez, et al., 2015), favorecer el nacimiento de juveniles con bajo peso y altas tasas metabólicas (Juárez, et al., 2016) y finalmente, los embriones pueden presentar malformaciones que los conduce a la muerte (Caamal-Monsreal, et al., 2016).

Hipótesis 3. Desoves y fecundidad

En condiciones de cautiverio Rosas et al. (2006) señalaron que la fecundidad de *O. maya* es de entre 500 y 1500 huevos/desove. Teniendo en cuenta que en el presente estudio se registraron fecundidades de entre 559 y 1769 huevos por desove, es posible pensar que *O. maya* tenga una mayor fecundidad en medio natural que en condiciones controladas.

Para la tasa de eclosión obtuvimos desde 282 hasta 1187 pulpos eclosionados, sin embargo, se observó que algunos de los pulpos recién eclosionados escaparon de la incubadora por lo

tanto fue imposible contabilizarlos en su totalidad. Así, estas cifras de eclosión son un aproximado del número total de organismos.

Se ha observado que la composición química del vitelo de los huevos es la que tiene una mayor influencia sobre la calidad de los huevos y larvas (Caamal-Monsreal, 2014) (Quintana, 2009), por lo tanto, la alimentación de la hembra durante la etapa reproductiva es fundamental para garantizar la viabilidad de las crías (Caamal-Monsreal, 2014). Así, las posibles diferencias encontradas entre el número de huevos por desove en campo y en el laboratorio podrían indicar que las hembras en medio silvestre cuentan con una alimentación diversa, favoreciendo que el número de huevos y juveniles sea mayor cuando se compara con la producción de las hembras en cultivo.

Hipótesis 4. Crías eclosionadas

Se sabe que no existe relación entre las crías producidas por hembra y el peso vivo de las hembras de *O. maya*, lo que sugiere que la producción de huevos depende de otras características independientemente de la edad y/o el peso vivo de éstas (Rosas, et al., 2014).

Se observó que el peso de los pulpos provenientes del medio natural resultó ser mayor al reportado previamente en condiciones de laboratorio (Rosas et al., 2014) sugiriendo que la alimentación de las hembras podría estar influyendo también en el peso de los juveniles. En este sentido, Caamal Monsreal et al., (2016) y Tercero et al (2016) demostraron que el tipo de alimento influye en la característica de los embriones provocando animales más grandes a la eclosión cuando la dieta es más favorable.

En cefalópodos se ha observado que el tamaño de los huevos puede variar según la especie, y que estas diferencias están relacionadas con el hábitat de los recién eclosionados y que al igual estas diferencias influyen en la viabilidad posterior (Quintana, 2009).

RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO

Debido a la importancia económica del aprovechamiento del recurso pulpo en Yucatán es prioritario diseñar medidas de manejo adecuado y con esto lograr que se convierta en una pesquería sustentable.

A continuación, se sugieren algunas recomendaciones para alcanzar el estado sustentable de la pesquería. Para este trabajo “corto” se refiere a meses; “mediano” a aproximadamente un año y “largo” a más de un año y que debe continuar renovándose a futuro.

Debido a la importancia de este recurso es sumamente importante tener un manejo adecuado y con esto lograr que se convierta en una pesquería sustentable.

A continuación, se encuentran las recomendaciones sugeridas con el tiempo que deben llevar para su realización:

Tabla 19. Recomendaciones de manejo con el plazo y responsables correspondientes

Recomendaciones	Responsables	Corto	Mediano	Largo
<i>Capacitar a los pobladores de los puertos en donde esta pesquería se practica para que conozcan este método, entiendan su importancia y apoyen con su vigilancia.</i>	CONAPESCA, Líderes de cooperativas	X		
<i>Realizar un estudio de impacto ambiental. De esta manera saber cuáles serían los efectos en el ambiente en caso de realizarse la implementación de los refugios artificiales.</i>	INAPESCA, Instituciones científicas y de investigación		X	
<i>Realizar un estudio para saber qué otras especies se beneficiarán con la presencia de refugios artificiales. De igual modo, determinar qué especies serían afectadas y cómo.</i>	INAPESCA, Instituciones científicas y de investigación		X	
<i>Proponer los refugios artificiales como una herramienta más para esta pesquería e incluirlos en su Plan de Manejo. Así como mantener la vigilancia y constante monitoreo de estos.</i>	CONAPESCA, SAGARPA, INAPESCA, SEMARNAT, PROFEPA			X
<i>Una vez instalados se debe seguir con el monitoreo y verificar si han tenido un efecto positivo en la pesquería</i>	INAPESCA, Instituciones científicas			X

CONCLUSIONES

Hay una marcada diferencia y muchas posibles explicaciones por las que las zonas de arena con densidad de 15 refugios resultaron las que más se utilizaron por *O. maya*, tanto en la ocupación como en el desove, por lo que podemos concluir que para los pulpos la única diferencia entre estas diferentes circunstancias sea la capacidad de encontrar un refugio.

Los refugios resultan útiles no solo para los pulpos sino también para otros organismos y ayudan a una colonización del espacio por biota y coral, por lo cual el diseño de estos refugios puede servir para aumentar la abundancia y riqueza de fauna y flora en las zonas arenosas.

Gracias a este estudio pudimos corroborar que los refugios artificiales en Yucatán son una buena medida de manejo para la pesquería de pulpo, ya que, si se utilizan en todas las estaciones del año, podrían asegurar la continua reproducción de *O. maya*.

Se considera una buena estrategia para el manejo de la pesquería de pulpo ya que no interfiere con el arte de pesca tradicional empleado en la región y permite la eclosión de los pulpos. En el caso de que se aplicara a gran escala podría ser una herramienta para aumentar el número de organismos de la especie y así promover al aumento en las capturas de la pesquería de *Octopus maya*.

El presente estudio deja la pauta para diferentes preguntas formuladas con los resultados que se obtuvieron, de esta manera promueve generar más información acerca de esta especie y de la manera correcta de utilizar los refugios como recursos para mejorar su pesca.

REFERENCIAS

Ambrose, R. & Nelson, B., 1983. Predation by *Octopus Vulgaris* in the Mediterranean.. *Marine Ecology*, Issue 4, pp. 251-261.

Angeles-Gonzalez, L., Calva, R., Santos-Valencia, J., Avila-Poveda, O., Olivares, A., Diaz, F., & Rosas, C., 2017. Temperature modulates spatio-temporal variability of the functional reproductive maturation of *Octopus maya* (Cephalopoda) on the shelf of the Yucatan Peninsula, Mexico. En: T. m. S. o. London, ed. *Journal of Molluscan Studies*. s.l.:Oxford University Press, pp. 1-9.

Anon., s.f. *Prueba de Chi- cuadrado*. [En línea]

Available at: http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap5-2.htm

Arce, M., Aguilar-Dávila, W. & Sosa-Cordero, E., 1997. Artificial shelters as habitats for juvenile spiny lobsters *Panulirus argus* in the Mexican Caribbean. *Marine Ecology Progress Series*, Issue 158, pp. 217-224.

Arreguín-Sánchez, F. & Chávez, E., 1995. How marine shelf fisheries are depending of mangrove ecosystems: the Campeche Bank, Mexico, an example.. En: A. Yáñez-ancibia & A. Lara-Domínguez, edits. *Valoración económica de los manglares* . s.l.:Univ. Autónoma. Campeche EPOMEX Serie Científica, p. No. 6.

Arreguín-Sánchez, F. & Chávez, E. A., 1992b. Consideraciones sobre el manejo de la pesquería de pulpo *Octopus maya* en el Banco de Campeche, Jaina. México: s.n.

Arreguín-Sánchez, F., Solís-Ramírez, M. & González-de-la-Rosa, M., 2000. Population dynamics and stock assessment for *Octopus maya* (Cephalopoda: Octopodidae) fishery of the Campeche Bank, Gulf of Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 2/3(48), pp. 323-331.

Avila-Poveda, O., 2014. Desarrollo gonádico, ciclo reproductivo y perfiles de progesterona y testosterona gonadal de *Octopus maya* Voss y Solís-Ramírez, 1996, a lo largo de su historia de vida: neonato, juvenil, subadulto, y adulto, División de estudios de postgrado, Universidad del Mar. Puerto Ángel, Oaxaca: Ph. D. Dissertation.

Avila-Poveda, O., Colin-Flores, R. & Rosas, C., 2009. Gonad Development During the Early Life of *Octopus Maya* (Mollusca: Cephalopoda). *The Biological Bulletin* , pp. 94-102.

Avila-Poveda, O. Montes-Pérez, R. C., Koueta, N., Benítez-Villalobos, F., Ramírez-Pérez, J., Jimenez-Gutierrez, L., & Rosas, C., 2015. Seasonal changes of progesterone and testosterone concentrations throughout gonad maturation stages of the Mexican octopus, *Octopus maya* (Octopodidae: Octopus). *Molluscan Research*, pp. 161-172.

Avital, E. & Jablonka, E., 2000. Animal Traditions: Behavioural Inheritance in Evolution, s.l.: Cambridge University Press.

Bárcenas-Pazos, G., 2015. Efecto del oxígeno disuelto y la temperatura en el metabolismo respiratorio de juveniles tempranos de *Octopus maya*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Boletzky, S., 2003. Biology of early life stages in cephalopod molluscs.. *Advances in Marine Biology*, Issue 44, pp. 143-204.

Botero, J., Garzón, J. & Gutiérrez, G., 1981. Establecimiento y desarrollo de la comunidad íctica en un arrecife artificial construido con llantas de desecho. *Bull. Mus. Mar.*, pp. 63-81.

Briones-Fourzán, P. & Lozano-Álvarez, E., 2001. Effects of artificial shelters (casitas) on the abundance and biomass of juvenile spiny lobsters *Panulirus argus* in a habitat-limited tropical reef lagoon. En: *Marine Ecology Progress Series*. s.l.:s.n., pp. 221-232.

Briones-Fourzán, P., Lozano-Álvarez, E., Negrete-Soto, F. & Barradas-Ortiz, C., 2007. Enhancement of juvenile caribbean spiny lobsters: an evaluation of changes in multiple response variables with addition of large artificial shelters. *Population Ecology*, Issue 151, pp. 401-416.

Brock, R., Bruckley, R. & Grace, R., 1986. An artificial reef enhancement program for near shore Hawaiian waters. En: *Artificial Reef: Marine and Freshwater Applications* . Chelsea, Michigan USA : Lewis Publishing , pp. 317-336.

Caamal-Monsreal, C., 2014. Efecto del tipo de alimento en el desempeño reproductivo de hembras de *Octopus maya* y sus consecuencias en la calidad de la progenie. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México .

Caamal-Monsreal, C., Mascaró, M., Gallardo, P., Rodríguez, S., Noreña-Barroso, E., Domingues, P., & Rosas, C., 2015. Effects of maternal diet on reproductive performance of *O. maya* and its consequences on biochemical characteristics of the yolk, Morphology of embryos and hatchling quality. *Aquaculture* , pp. 84-94.

Caamal-Monsreal, C., Uriarte, I., Farias, A., Díaz, F., Sánchez, A., Re, D., & Rosas, C., 2016. Effects of temperature on embryo development and metabolism of *O. maya*. *Aquaculture*, pp. 156-162.

Carta Nacional Pesquera (2012).

Cazares, R., 2006. Caracterización fisiológica y morfológica del desarrollo embrionario y los primeros días de vida de *Octopus maya*. En: México: Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, p. 51.

CONAPESCA, 2008. *Programa Rector Nacional de Pesca y Acuicultura*, México: s.n.

CONAPESCA, 2012. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2012*. [En línea]

Available at: <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario>

CONAPESCA, 2015. *COMISIÓN NACIONAL DE ACUACULTURA Y PESCA*. [En línea]

Available at: http://conapesca.gob.mx/wb/cona/16_de_marzo_de_2015_progreso_yuc

Crónica de Campeche, 2017. Otorgan 805 permisos para pesca de pulpo. [En línea]

Available at: <http://www.cronicacampeche.com/?p=37237>

[Último acceso: 23 octubre 2017].

Delgadillo-Garzón, O., 2009. Peces y macroinvertebrados móviles de hábitats artificiales en la Bahía de Taganga, Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marina Costera*, I(38), pp. 197-204.

Delgadillo, O., García, C. & Correa, J., 2004. Dinámica Temporal de la Asociación de Peces en Dos Arrecifes Artificiales del Golfo de Morrosquillo, Caribe Colombiano. *Actual Biol.* , pp. 219-230.

DeMartini, E., Barnett, A., Johnson, T. & Ambrose, R., 1994. Growth and production estimates for biomass dominant fishes on a southern California artificial reef.. *Bulletin of Marine Science*, 2-3(55), pp. 484-500.

- Enríquez, C., Mariño-Tapia, I. & Herrera-Silveira, J., 2010. Dispersión in the Yucatán coastal zone: implications for red tide events.. *Continental Shelf Research* , Issue 30, pp. 127-137.
- Enríquez, C., Mariño-Tapia, I., Jerónimo, G. & Capurro-Filigrasso, L., 2013. Thermohaline processes in a tropical coastal zone.. *Continental Shelf Research* , Issue 69, pp. 101-109.
- FAO, 2001. *Información sobre la Pesca Responsable en el Ecosistema Marino*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/fishery/facp/ISL/es>
- FAO, 2011. Informe del Taller sobre repoblamiento de cuerpos de agua continentales en América Latina y el Caribe.. *Serie de Acuicultura y Pesca en América Latina*, Issue 5, p. 20.
- Fiorito, G. & Scotto, P., 1992. Observational learning in *Octopus Vulgaris*.. *Science*, Issue 256, pp. 545-547.
- Gamboa-Álvarez, M., López-Rocha, J. & Poot-López, G., 2015. Spatial analysis of the abundance and catchability of the red octopus *Octopus maya* (Voss and Solís-Ramírez, 1966) on the continental shelf of the Yucatan Peninsula, México.. *Journal of Shellfish Research*, 34(2), pp. 481,492.
- Hanlon, R. & Forsythe, J., 1985. *Advances in the laboratory culture of octopuses for biomedical research*, s.l.: Laboratory Animal Science.
- Hernández, A. y. K. W., 2003. Changes in Fisheries management in Mexico: Effects of increasing scientific input and public participation.. *Ocean & Coastal Management* 46, pp. 507- 526.

Hochner, B., Shomrat, T. & Fiorito, G., 2006. The octopus: a model for a comparative analysis of the evolution of learning and memory mechanisms. *The Biological Bulletin*, Issue 210, pp. 308-317.

INAPESCA, 2004. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación*, p. 10.

INAPESCA, 2007. Evaluación de la población de pulpo (*Octopus maya*) en la Península de Yucatán 2007. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*, p. 11.

INP-CONAPESCA, 2001. Plan de manejo para la pesquería del camarón en el litoral del Océano Pacífico mexicano.. p. 70.

Juárez, O., Galindo-Sánchez, C., Díaz, F., Re, D., Sánchez-García, A., Camaal-Monsreal, C., & Rosas, C., 2015. Is temperature conditioning *Octopus maya* fitness?. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, pp. 71-76.

Juárez, O., Hau, V., Galindo, C., Díaz, F., Re, A., Camaal-Monsreal, C., & Rosas, C., 2016. Effect of maternal temperature stress before spawning over the energetic balance of *Octopus maya* juveniles exposed to a gradual temperature changes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Issue 474, pp. 39-45.

Jurado-Molina, J., 2010. Bayesian framework with implementation error to improve the management of the red octopus (*Octopus maya*) fishery off the Yucatán Peninsula.. *Ciencias Marinas*, 36(1), pp. 1-14.

- Mangold, K., 1983. *Octopus vulgaris*. En: P. R. Boyle, ed. *Cephalopod Life Cycles Vol. I Species Accounts*. London: Academic Press Inc., pp. 335-365.
- Mathews, H., 1986. Physical and geological aspects of artificial reef site selection. . En: *Artificial Reefs: Marine and Freshwater Applications*. Chelsea, Michigan USA: Lewis Publishing, pp. 141-149.
- Ministerio-del-Medio-Ambiente, 2008. Información ambiental. En: Guía Metodológica para la Instalación de Arrecifes Artificiales. Parte II. Orientación para el Desarrollo de Proyectos de Arrecifes Artificiales. España: s.n., pp. 35-42.
- Ministerio-del-Medio-Ambiente, 2008. Tipología y clasificación de arrecifes artificiales según su uso. En: Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales. Parte I. Marco general. s.l.: Gobierno de España, pp. 21-42.
- Monreal-Gómez, M., Salas-de-León, D. & Velasco-Mendoza, H., 2004. Hidrodinámica del Golfo de México . En: M. P. I. E. E. Caso, ed. *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México vol. I*. México D.F. : Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), pp. 47-67.
- Muñoz, B. & Obregón, C., 1994. Estructura y proceso de colonización de la comunidad de peces en un arrecife artificial en Isla Naval (P.N.N.C.R.) Caribe Colombiano. Universidad Jorge Tadeo Lozano: Trabajo de grado de Biólogo Marino.
- Nesis, K., 1996. Mating, spawning, and death in oceanic cephalopods: a review. *Ruthenica*, Volumen 6, pp. 23-64.
- NORMA Oficial Mexicana 009-PESC-1993, para odenar el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de juristicción federal del Golfo de México y Mar Caribe (1993).*

NORMA Oficial Mexicana NOM-009-PESC-1993, que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.

(1993).

Noyola, J., Caamal-Monsreal, C., Díaz, F., Re, D., Sánchez, A., & Rosas, C. y otros, 2013.

Thermopreference, tolerance and metabolic rate of early stages juvenile *Octopus maya* acclimated to different temperatures. *Therm. Biol.*, pp. 14-19.

Olivares, A., Zuñiga, O., Castro, G., Segura, C., & Sánchez, J., 1996. Bases biológicas para el manejo de *Octopus mimus*: Reproducción y crecimiento. *Estudios Oceanológicos*, Volumen 15, pp. 61-74.

Osenberg, C., Mary, S., Wilson, J. & Lindberg, W., 2002. A quantitative framework to evaluate the attraction-production issue. *Journal of Marine Science*, Issue 59, pp. 222-229.

Otero, J., González, A., Sieiro, M. & Guerra, A., 2007. Reproductive cycle and energy allocation of *Octopus Vulgaris* in Galician waters. *Fish Res.*, pp. 122-129.

Pickering, H. & Whitmarsh, D., 1997. Artificial reefs and fisheries exploitation: a review of the 'attraction versus production' debate, the influence of design and its significance for policy. *Fisheries Research*, Issue 31, pp. 39-59.

Plan de Manejo Pesquero de pulpo (*O. Maya* y *O. Vulgaris*) del Golfo de México y Mar Caribe (2014).

Pliego, R., 2009. Biología Reproductiva del pulpo *Octopus Hubbsorum*. En: *Cephalopoda Octopodidae*. Isla del Espíritu Santo, Golfo de California, México: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. IPN, p. 67.

Portela-Rodriguez, E., 2011. Caracterización de la conducta selectiva de alimentación en juveniles del pulpo rojo *Octopus maya*. , Yucatán, México.: Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Powers, S., Grabowski, J., Peterson, C. & Lindberg, W., 2003. Estimating enhancement of fish production by offshore artificial reefs: uncertainty exhibited by divergent scenarios. *Marine Ecology Progress Series*, Issue 264, pp. 265-277.

Quintana, C., 2009. Valoración de los requerimientos nutricionales de reproductores de pulpo común (*Octopus vulgaris*). En: T. d. g. Doctoral, ed. Canarias, España: Universidad de la Laguna. Departamento de biología animal, pp. 19-27.

Rocha, F., 2003. Biología, Ecología, Cultivo y Pesquerías de Cefalopodos. . En: *Curso de Postgrado*. España: Universidad Austral de Chile, Instituto de Investigaciones Marinas , pp. 22-34.

Rocha, F., Guerra, A. & González, A., 2001. A review of reproductive strategies in cephalopods. *Biol. Rev.* , pp. 291-301.

Rodhouse, P. & Nigmatullin, C., 1996. Role as consumers. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Issue 351, pp. 1003-1022.

Rosa, R., Costa, P. & Bandarra, N. & N. A., 2005. Changes in tissue biochemical composition an energy reserves associated with sexual maturation in the ommastrephid squids *Illex coindetti* and *Todaropsis eblanae*. *Biology Bulletin*, Issue 208, pp. 100-113.

Rosas, C., Caamal, C., Cázares, R., Rodriguez, D., Romero, M., Chay, D., 2006. Manual preliminar para el cultivo de *Octopus maya*. *CONAPESCA*, p. 36.

Rosas, C., Cooper, E., Pascual, C., Brito, R., Gelabert, R., Moreno, T., Miranda, G., Sánchez, A., 2004. La condición reproductiva del camarón blanco *Litopenaeus setiferus* (crustacea; penaeidae): evidencias de deterioro ambiental en el sur del Golfo de México.. En: M. P. I. E. E. Caso, ed. *Diagnóstico ambiental del Golfo de México vol. 2* . s.l.:Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales , pp. 791-822.

Rosas, C., Gallardo, P., Mascaró, M., Caamal-Monsreal, C., Pascual, C., 2014a. *Octopus maya* . En: *Cephalopod Culture* . s.l.:Springer , pp. 383-396.

Rosas, C., Gallardo, P., Mascaró, M., Caamal-Monsreal, C., Pascual, C., 2014. *Octopus maya*. En: *Cephalopod Culture* . Dordrecht: Springer Science+Business Media.

Sagarpa-INP, 2004. *Sustentabilidad y pesca responsable en México*. [En línea]

Available at:

http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/05_aprovechamiento/cap5.html

Salas, S., Cabrera, M.A., Zapata-Araujo, C., Euan-Avila, J.I., Maldonado-Repetto, A., 2008. ¿Son Los Refugios Artificiales Una Opción Para Mejorar La Pesquería De Langosta? El Caso De La Pesquería De Yucatán.. En: *60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. Punta Cana, Dominican Republic: Proceedings of the 60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute, pp. 197-208.

Salas, S., Cabrera-Vázquez, M.A., Palomo-Cortés, L.E., Bobadilla-Trigos, F., Herón Ortega, P., Torres Irineo, E., 2008. Pesquería de Pulpo y Aspectos Socio-Económicos. Plan de manejo y operación del comité de administración pesquera de escama y pulpo. Informe final.. En: *60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. Mérida: Desarrollo Rural y Pesca del Gobierno del Estado de Yucatán. CONAPESCA- SAGARPA. IPN, pp. 209-220.

Santos-Valencia, J., Del Rio-Rodríguez, R. & Gómez-Solano, M., 2005. Aspectos de la biología reproductiva de hembras de *Octopus maya* en la zona Norte de Campeche, México.. Mérida 12-14 de septiembre de 2005, Res Aquamar Internacional Yucatán 2005.

Santos-Valencia, J. & Re-Regis, M., 2002. Aspectos reproductivos del pulpo de costa *Octopus Maya* (Voss y Solís, 1966) en el litoral de Campeche. , INP CRIP-Lerma, Campeche : Informe de Investigación.

Services, G. G. W., 2017. *El Niño and La Niña Years and Intensities*. [En línea]

Available at: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

[Último acceso: 17 mayo 2017].

Sheeny, D., 1986. New approaches in artificial reef design and application.. En: *Artificial Reefs: Marine and Freshwater Applications* . Chelsea, Michigan USA : Lewis Publishing, pp. 252- 263.

Sierra, J. & Medina, J., 1988. Arrecifes Artificiales (II). Arrecifes Artificiales en el litoral español. Experiencia Valenciana. *Revista de Obras Publicas* , pp. 211-220.

Solís-Ramírez, M., 1967. Aspectos biológicos del pulpo *Octopus maya*. *I.N.I.B.P.*, Volumen 18, pp. 1-90.

Solís-Ramírez, M., 1988. El recurso del pulpo del Golfo de México y el Caribe Mexicano. En: *Los recursos pesqueros del país. XXV Aniversario*. México: IPN SEPESCA (ed). , pp. 463-478.

Solís-Ramírez, M., Arreguín-Sánchez, F. & Sejio, J., 1997. Pesquería de pulpo de la plataforma continental de Yucatán. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil & J. Sejio,

edits. *Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México*.

Universidad Autónoma de Campeche: EPOMEX Serie Científica 7, pp. 61-80.

Solis-Ramírez, M. J. & Chávez, E. A., 1986. Evaluación y régimen óptimo de pesca de pulpo de la Península de Yucatán, México. *Ann. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Aut. México*, pp. 1-18.

Soporte de Minitab17, 2016. *¿Qué es análisis de componentes principales?*. [En línea]

Available at: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/multivariate/principal-components-and-factor-analysis/what-is-pca/>

Soporte de Minitab17, 2016. *¿Qué es una prueba de chi- cuadrado?*. [En línea]

Available at: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/tables/chi-square/what-is-a-chi-square-test/>

Sosa-Cordero, E., Arce, A., Aguilar-Dávila, W. & Ramírez-González, A., 1998. Artificial shelters for spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille): an evaluation of occupancy in different benthic habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Issue 229, pp. 1-8.

Steer, M. & Semmens, J., 2003. Pulling or drilling, does size or species matter? An experimental study of prey handling in *Octopus dierythaeus* (Norman, 1992). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Issue 290, pp. 165-178.

Tercero, J., Rosas, C., Mascaró, M., Poot, G., Domingues, P., Noreña, E., Caamal-Monsreal, C., Pascual, C., Estefanell, J., Gallardo, P., 2015. Effects of parental diets supplemented with different lipid sources on *Octopus maya* embryo and hatching quality. *Aquaculture*, pp. 234-242.

- Van Heukelem, W., 1997. Laboratory maintenance, breeding, rearing and biomedical research potential of the Yucatan octopus (*Octopus maya*). En: s.l.:Lab Anim Sci, pp. 852-859.
- Van-Heukelem, W., 1983. *Octopus maya* in: Boyle, P.R.. En: *Cephalopod Life* . London: Academic Press, pp. 311-323.
- Voss, G. & Solis-Ramírez, M., 1966. *Octopus maya*, a new species from the bay of Campeche, México. *Bulletin Marine Science*, 16(3), pp. 615-616.
- Watanabe, T. & Vasallo-Argius, R., 2003. Broodstock nutrition research on marine finfish in Japan.. *Aquaculture*, 1-4(227), pp. 35-61.
- Wells, M., O'Dor, R., Mangold, K. & Wells, J., 1983. Oxygen consumption in movement by Octopus. *Marine Behaviour and Physiology*, Issue 9, pp. 289-303.
- Wells, M. & Wells, J., 1959. Hormonal control of sexual maturity in Octopus. *Journal of Experimental Biology*, Volumen 36, pp. 1-33.
- Wells, M. & Wells, J., 1977. Optic glands and the endocrinology of reproduction. *Symp. Zool. Soc. Lond.*, Volumen 38, pp. 525-540.
- Wilson, J., Osenberg, C.W., Mary, St., Watson, C.A., Lindberg, W.J., 2001. Artificial reefs, the attraction-production issue, and density dependence in marine ornamental fishes.. *Aquatic Science Conservation*, Issue 3, pp. 95-105.
- Zapata-Araujo, C., Salas, S. & Cabrera, M., 2008. Conocimiento Local A La Colocación De Refugios Artificiales En Un Programa De Mejoramiento De La Pesquería De Langosta

En Yucatán, México. En: *60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute* . Punta Cana, Dominican Republic: s.n., pp. 209-220.

Zuñiga, O., Olivares, A. & Ossandón, L., 1995. Influence of light in female sexual maturation of *Octopus mimus*. *Estudios Oceanologicos*, Issue 14, pp. 75-76.