



SUBSECRETARIA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL



Instituto Tecnológico de Chetumal

Dinámica poblacional de la cacerolita de mar *Limulus polyphemus* (Xiphosura: Limulidae) en la zona costera de Champotón, Campeche, México

Tesis para obtener el Grado de:

Maestro en Manejo de Zona Costera

Presenta:

Biól. Romeo Alejandro Sánchez Zavalegui

Director:

M. en C. Héctor Javier Ortiz León

Codirectora:

M. en C. Carmen Olivia Rosas Correa

Chetumal, Quintana Roo, México. Enero de 2019

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a dios y la virgen de Guadalupe, pues en mi fervor católico he sentido su cálido impulso en momentos de duda y dificultad.

En segundo lugar quiero agradecer a la persona que se convirtió en mi amor y mi familia, alguien que sin duda ha sido un pilar en mis decisiones, una persona por la cual vale la pena luchar, porque la lucha la hace junto a mí, mi amada esposa Marcela Cime Ruiz, mi biologuita, mi inspiración y motor para levantarme de un bache diciendo que no hay obstáculo que no pueda superar.

En tercer lugar agradezco a mis padres quiénes siempre me han apoyado moral y espiritualmente, siendo unas personas que amo y siempre llevare en el alma, a mi madre le debo ser siempre inquebrantable y aspirar a lo más alto, a mi padre la perseverancia y auto superación académica y espiritual.

Quiero agradecer de manera muy especial al M en C. Héctor Javier Ortiz León alguien que no me alcanzan las palabras para describir la admiración que género en mí, que con su firmeza y aplomo me condujo durante esta tesis. Sin duda cada regaño, cada mal rato y cada reflexión de vida, forjo en mí una mayor ética, responsabilidad, constancia, dedicación, auto-reflexión y sobretodo paciencia ante la vida. Le agradezco me haya permitido conocer y trabajar con esta especie tan maravillosa e interesante.

Le agradezco a mi comité de tesis a la M. en C. Carmen Olivia Rosas Correa, por haberme orientado en mis múltiples dudas y haber realizado los muestreos junto a mi persona. Al Dr. José Manuel Castro Pérez, porque desde seminario II me apoyo constantemente en la investigación. Al M en C. Alejandro Medina Quej, quién siempre estuvo dispuesto a escuchar mis comentarios y tuvo disposición de resolver múltiples problemas que tuve, que siempre fue un profesor y amigo.

Agradezco al CONACyT por haber proporcionado el recurso financiero para la realización de la presente investigación.

Por ultimo quiero agradecer a mis buenos amigos que me apoyaron en esta maestría Dariel Correa, Chloe Rosas, José Cohuo Colli, Oscar Angulo Oliva, María J. Góngora Galera, y a mi colega en esta investigación Irene Sánchez López.

Resumen

Se efectuó una investigación concerniente a la población de *Limulus polyphemus* de la costa de Champotón, Campeche, durante las temporadas de secas (mayo) y nortes (noviembre) del año 2018, se identificaron tres playas con un alto potencial para la anidación de esta especie así como también una con alto potencial para el desarrollo de juveniles dato que fue corroborado por la basta presencia de exuvias. Resulta interesante haber identificado la temporada de nortes como la de mayor abundancia de individuos, aunado a que la observación se realizó de forma nocturna en luna llena.

Los organismos mejor representados fueron los machos con una proporción general de 0.37:1 (H:M), además se encontró, que la temporada con mayor mortalidad de hembras fue la temporada de secas registrando un 83.33 % de las hembras en calidad de muertas.

Mediante la prueba estadística no paramétrica *kruskal-wallis* se determinó que existe diferencia significativa entre la talla del ancho de prosoma tanto de machos como hembras en los diferentes sitios de muestreo, cabe destacar que esta prueba se realizó únicamente con los organismos encontrados en la temporada de nortes debido a que en secas el número de datos resulto insipiente para el análisis. Por otra parte mediante el estadístico Wilcoxon (U de Mann-Whitney) se corroboró que no existe diferencia estadística entre las tallas del ancho de prosoma de machos entre temporadas.

Se determinó mediante modelación de mínimos cuadrados la relación peso-talla tanto de machos como hembras, obteniendo que el tipo de crecimiento que presentó la especie es de tipo alométrico negativo, por lo que la especie aumenta en talla para posteriormente aumentar en peso, característica habitual en organismos que presentan mudas hasta alcanzar la madures sexual. Por último se identificó que las playas con granos de arena gruesos (<2 mm) tienden a albergar gran número de especímenes concordando con estudios de otras latitudes.

Índice de contenido

Agradecimientos	i
Resumen	ii
Índice de contenido	iii
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vii
1.- Introducción	1
2.- Antecedentes	3
3.1.- Ecología de la especie	5
3.2.- Rol en la red trófica	7
3.2.1.- Presas	7
3.2.2.- Depredadores	7
3.3.- Morfología	8
4.- Justificación	9
4.- Objetivos	10
4.1.- Objetivo general	10
4.2.- Objetivos particulares	10
5.- Área de estudio	11
5.1.- Descripción de la zona de estudio	11
5.1.1.- Clima predominante de Champotón	11
5.1.2.- Orografía del municipio de Champotón	12
5.1.3.- Edafología	13
5.1.4.- Hidrografía	13
5.1.5.- Vegetación	13
6.- Materiales y métodos	15
6.1.- Análisis de sedimento de los sitios de estudio	20
6.1.1.- Técnica para determinación de granulometría	20
6.1.2.- Técnica para la determinación de materia orgánica de suelo	22
6.2.- Análisis estadístico de los datos	24
7.- Resultados	26
7.1.- composición demográfica	26

7.1.1.- Densidad de individuos por unidad de tiempo (hora).....	27
7.1.2.- Porcentaje de organismos vivos y muertos.....	29
7.2.- Proporción por sexos.....	30
7.3.- Tallas máximas y mínimas de los individuos por temporada	31
7.3.1 Tallas máximas y mínimas para la temporada de secas.....	31
7.3.2.- Tallas maximas y minimas para la temporada de nortes	33
7.3.3.- Tallas y pesos en general	34
7.4.- Comparación de tallas entre playas de la temporada de nortes.....	35
7.4.1.- Comparación de tallas ancho del prosoma (machos) entre playas	35
7.4.2.- Comparación de tallas ancho del prosoma (hembras) entre playas.....	36
7.5.- Comparación de tallas del ancho de prosoma para machos vivos entre temporada (secas y nortes).....	37
7.6.- Relación peso-talla.....	38
7.7.- Granulometría de los sitios de muestreo.....	40
7.7.1.- Granulometría de las playas evaluadas durante el muestreo en la temporada de secas.....	40
7.7.2.- Granulometría de las playas evaluadas durante el muestreo en la temporada de nortes.....	41
7.8.- Características de las playas muestreadas y cantidad de organismos encontrados	42
8.- Discusión	51
8.1.- Composición demográfica.....	51
8.1.1.- Porcentaje de organismos vivos y muertos.....	53
8.2.- Proporción por sexos	54
8.3.- Tallas máximas y mínimas de los individuos por temporada	54
8.4.- Relación peso-talla.....	55
8.5.- Granulometría de las playas evaluadas	56
8.6.- Características de las playas muestreadas y cantidad de organismos encontrados	57
9.- Conclusiones	59
10.- Bibliografía	60
11.- Anexos 1 Obtención de datos abióticos	64
12.- Anexo 2 Obtención de datos biológicos.....	66

Índice de figuras

Fig. 1-Distribución costera de <i>Limulus polyphemus</i> en diferentes zonas de la costa, nido enterrado en la arena, En el mar, los machos recorren la orilla buscando hembras desatadas o desembarcan y se agrupan alrededor de parejas anidadas.	6
Fig. 2- Morfología de la cacerolita de mar (<i>Limulus polyphemus</i>) vista dorsal parte superior, vista ventral parte inferior. Fuente: Berkson y Shuster, 1999.	8
Fig. 3-Mapa del área de estudio “Costera de Campeche,” se denota sitios con nombres como forma de orientación. Estrellas rojas señalan los sitios propuestos para las estaciones de muestreo.....	11
Fig. 4- Esquema de muestreo en la zona de costa, transecto paralelo a la línea de costa, denota punto de toma de muestras abióticas con las equis rojas, en marca anchura del transecto en 6 metros perpendiculares a la línea de playa.....	16
Fig. 5- Esquema ilustrativo de las estructuras que se medirán de cada ejemplar de <i>Limulus polyphemus</i>	17
Fig. 6- Pedipalpos de <i>Limulus polyphemus</i> . A) Pedipalpo hembra, B) pedipalpo macho. Fuente: Shuter, 1985.	18
Fig. 7- Proceso para la obtención de la granulometría, (A-F) pesaje de las muestras, (G) colocación en los tamices, (H) tamizado de la muestra.....	21
Fig. 8.- Ejemplo de calcinación de la muestra de sedimento.....	23
Fig. 9- Gráfico de cajas y bigotes del ancho de prosoma entre sitios. Machos.....	35
Fig. 10- Gráfico de cajas y bigotes del ancho de prosoma de hembras entre sitios	36
Fig. 11- Gráfico del modelo obtenido a partir de mínimos cuadrados y transformación Log_{10}	Error! Bookmark not defined.
Fig. 12- Gráfico del modelo obtenido a partir de mínimos cuadrados y transformación Log_{10}	Error! Bookmark not defined.
Fig. 13- Gráfico del modelo obtenido a partir de mínimos cuadrados y transformación Log_{10}	Error! Bookmark not defined.
Fig. 14- Concentraciones de granulometría en los sitios: playa flamenco (P1), playa Icahao (P2) y playa tres (P3).	40
Fig. 15- Concentraciones de granulometría en los sitios: playa flamenco (P1), playa Icahao (P2), playa tres (P3) y playa anidación (P4).	41
Fig. 16- Comparación de parámetros ambientales.....	43
Fig. 17- Comparación de parámetros ambientales.....	45

Fig. 18- Comparación de parámetros ambientales.....	47
Fig. 19- Comparación de parámetros ambientales.....	49
Fig. 20- Calibración de sonda de pH A), B), C) buffers empleados, D) detalle de a pantalla de la sonda	64
Fig. 21- Tamizado de las muestras para granulometría. A) Vibradora, B) detalle muestra tamizada, C) aspecto general del análisis.....	64
Fig. 22- Proceso para la obtención de materia organica de Dean, 1974. A) pesado de 10 gr de muestra, B) calcinación de la muestra, C) pesaje despues de la ignición, D) comparación de las muestras antes y despues de la calcinación.....	65
Fig. 23- A) Pareja en amplexo en el agua, B) machos solitarios, C y D) contención de los especímenes, E) toma de datos merísticos, F) pesado de los individuos.....	66
Fig. 24- A)Exuvias en playa rocosa, B) perfil de la playa, C) hembra muerta atrapada en neumatóforos, D) espécimen muerto en playa flamenco, E) detalle de huevecillos desplazados por gases de descomposición, F) organismo vivo detalle de epibiontes en opistosoma.	67

Índice de tablas

Tabla 1- Ubicación geográfica de las playas muestreadas.....	15
Tabla 2- Esfuerzo de muestreo por sitio y características observadas <i>in situ</i>	Error!
Bookmark not defined.	
Tabla 3- Valores medibles para cada grupo de <i>L. polyphemus</i> , tanto para adultos como juveniles.....	17
Tabla 4- Tabla de cantidad mínima a ensayar según tamaño de partículas. Fuente: Geotecnia, 1993.	21
Tabla 5- Densidad de individuos por unidad de tiempo en la temporada de secas. ...	Error!
Bookmark not defined.	
Tabla 6 Densidad de individuos por unidad de tiempo en la temporada de nortes.	Error!
Bookmark not defined.	
Tabla 7- Numero de hembras y machos en las temporadas de secas y nortes.....	30
Tabla 8- Proporción por sexos para las temporadas secas y nortes.	30
Tabla 9 - Tallas máximas para hembras en la temporada de secas.....	31
Tabla 10- Tallas mínimas para hembras en la temporada de secas.	31
Tabla 11- Tallas máximas para machos en la temporada de secas.	32
Tabla 12- Tallas mínimas para machos en la temporada de secas.....	31
Tabla 13- Tallas máximas para juveniles en la temporada de secas.....	32
Tabla 14- Tallas mínimas para juveniles en la temporada de secas.	32
Tabla 15- Tallas máximas para hembras en la temporada de nortes.	33
Tabla 16- Tallas mínimas para hembras en la temporada de nortes.....	33
Tabla 17- Tallas máximas para machos en la temporada de nortes.....	33
Tabla 18- Tallas mínimas para machos en la temporada de nortes.	34
Tabla 19- Tallas y pesos promedio para machos durante las temporadas de secas y nortes	34
Tabla 20- Tallas y pesos promedio para hembras durante las temporadas de secas y nortes	34
Tabla 21- Tallas y pesos promedio para juveniles durante las temporadas de secas y nortes.....	Error! Bookmark not defined.
Tabla 22- Resultados de la prueba estadística Kruskal-Wallis.	35
Tabla 23- Resultados de la prueba estadística Kruskal-Wallis.	36
Tabla 24- Resultado de la prueba estadística Wilcoxon (Mann-Whitney U).	37

Tabla 25- Valores estadísticos para comprobación de isometría.**Error! Bookmark not defined.**

Tabla 26- Valores estadísticos de t student para comprobación de isometría. **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 27- Valores estadísticos para comprobación de isometría.**Error! Bookmark not defined.**

Tabla 28- Valores estadísticos de t student para comprobación de isometría. **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 29-Valores estadísticos para comprobación de isometría.**Error! Bookmark not defined.**

Tabla 30- Valores estadísticos de t student para comprobación de isometría. **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 31- Porcentaje del tamaño de grano en las playas en la temporada de secas: playa flamenco (P1), playa Icahao (P2), playa tres (P3) y playa anidación (P4). 40

Tabla 32- Porcentaje del tamaño de grano en las playas en la temporada de secas: playa flamenco (P1), playa Icahao (P2), playa tres (P3) y playa anidación (P4). 41

Tabla 33- Valores de parámetros físico-químicos y materia orgánica. 43

Tabla 34- Valores de parámetros físico-químicos y materia orgánica. 46

Tabla 35- Valores de parámetros físico-químicos y materia orgánica. 48

Tabla 36- Valores de parámetros físico-químicos y materia orgánica. 49

1.- Introducción

La especie *Limulus polyphemus*, conocido como cacerolita de mar, cangrejo herradura o *mex* (maya: araña), es un artrópodo quelicerado perteneciente a la Clase Merostomata y al Orden Xiphosura de hábitos bentónicos en estadio juvenil como en maduro. Los biólogos evolucionistas consideran este particular organismo como "fósil viviente" por conservar características similares a la especie fósil *Mesolimulus walchii* que existió hace aproximadamente 200 millones de años en el período Jurásico, en las costas de Alemania (Stfmer, 1954).

L. polyphemus habita ecosistemas costeros específicos a lo largo de su ciclo de vida como lo son; zona intermareal, que emplean para su reproducción y anidación; los bosques de manglar de *Rhizophora mangle* son utilizados como refugio durante su crecimiento en los primeros instares; bahías, estuarios y lagunas costeras, les sirven en su ámbito ambulatorio y como refugios (Gómez-Aguirre, 1983), presenta un ciclo de vida condicionado por diversos factores ambientales como; las mareas y los ciclos lunares y anuales, de manera tal que las anomalías de estos fenómenos se reflejan en los comportamientos de la especie (Mejía y Ortiz, 2006).

Entre los impactos que más afectan a esta especie se encuentra el deterioro de los ecosistemas costeros ya sea por el creciente desarrollo portuario, industrial, urbano, agrario y turístico, que reduce los espacio para el establecimiento de esta especie (Gómez-Aguirre, 1985; Zaldívar-Rae *et al.*, 2009).

Otra problemática es su captura clandestina de tal forma que el destino final de los animales capturados es el sacrificio con fines pesqueros mayoritariamente empleados como carnada para la pesquería de pulpo (Zaldívar-Rae *et al.*, 2009).

Lo anterior resulta alarmante debido a que genera una disminución en la población de estos organismos, conduciendo a las poblaciones a la extinción, pese a estar protegidas por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT), que ha categorizado a la cacerolita de mar, en peligro de extinción, según la NOM-059-SEMARNAT- 2010 (SEMARNAT, 2010).

Partiendo de lo mencionado anteriormente resulta relevante la exploración de los hábitats críticos que son playas que presentan un conjunto de condiciones ambientales que propician el establecimiento, permanencia y anidación de *L. polyphemus* (Brockman, 2003; Zaldivar-Rae *et al.*, 2009; Burton *et al.*, 2009) mencionan que la mayor cantidad de organismos se aprecian en aquellas playas cuya pendiente se encuentre entre 15 a 20 ° de inclinación, granos de arena gruesos y con mareas pronunciadas, características que presentan las playas de Champotón, Campeche (SEMARNAT, 2008; INEGI 2010, CONABIO, 2014). Otra característica que presenta Champotón, es la dualidad de sus playas pues a lo largo de su franja costera podemos encontrar playas con diversos grados de perturbación desde playas prístinas hasta playas altamente impactadas (PDU Champotón, 2010).

Por lo que resulta importante evaluar el impacto que presentan los asentamientos urbanos sobre las poblaciones de esta especie. Otro aspecto que hace resaltar a este municipio de Campeche es la desembocadura de agua dulce al sistema marino por parte de dos ríos, el río "Champotón e Icahao", dichos ríos arrastran sedimentos y nutrientes que podrían generar condiciones únicas que podrían tanto favorecer como perjudicar las poblaciones del *mex*, por lo que las playas que se albergan en esta localidad son puntos clave para enfocar estudios integrales referentes a la biología y ecología de esta especie.

2.- Antecedentes

La cacerolita de mar constituye uno de los recursos biológicos más bellos e importantes desde el punto de vista evolutivo y ecológico, que posee el hombre.

(Rudloe, 1980), registra que la anidación alcanzó su punto máximo en los momentos de luna llena y nueva a la hora de la marea alta. Por otra parte menciona que la actividad reproductora fue más intensa en las mareas nocturnas. (Gómez-Aguirre, 1983), plasma en una sesión plenaria la declaración sobre la importancia de *L. polyphemus*, postulando se le considere como una especie reliquia que debe protegerse para evitar su extinción.

(Rudloe, 1985), señala como los ciclos lunares intervienen en las actividades de ciertos animales marinos entre ellos *L. polyphemus* sugiere que los ritmos lunares y de marea producen una serie de cambios en algunos parámetros ambientales físicos importantes que varían con la marea, incluyendo la salinidad, la turbidez, la visibilidad y la presión hidrostática.

(Botton *et al.*, 1988), investigó la importancia de los factores geoquímicos y erosivos en la selección de las playas reproductoras y de anidación de *L. polyphemus*. (Gómez-Aguirre, 1993), destaca la influencia del embate del huracán Gilberto sobre las costas de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, señalando el efecto sobre las poblaciones del *mex*, encontrando una disminución considerable de sus poblaciones.

(Gómez-Aguirre, 1994), Contribuye al estudio demográfico de *L. polyphemus*, con una investigación donde se muestreó en los meses de Junio y Octubre el litoral de la península de Yucatán, confirma la presencia de *L. polyphemus* de diferentes estados de desarrollo en diferentes zonas.

(Gómez-Aguirre y Yáñez-Martínez, 1995) en la península de Yucatán realizaron reconocimientos durante diferentes meses entre los años de 1994 y 1995, obteniendo un total de 2,832 registros de los cuales su composición relativa fue: 1.5 % organismos vivos, 31.4% muertos y 66.2 % exuvias, lo cual señala que se encontró una gran cantidad de organismos muertos.

(Rosales-Raya, 1999), Caracterizó los ambientes de anidación de *L. polyphemus*, mencionando que uno de los patrones ambientales recurrentes en las playas de anidación es el grosor de la arena (0.5 a 2 mm), colocando al sitio Icahao como una de las playas con mejor características ambiental para la anidación.

(Rosas-Correa y Ortiz León, 2000), Obtienen un registro de 695 ejemplares de los cuales 30.50% se encontraron vivos, 34.53 % muertos y 34.96% fueron exuvias, por otra parte la mayor densidad tanto de individuos vivos, muertos y exuvias fue de 22.09Ind/100m²) obtenida en la temporada de secas.

(Zaldivar-Rae *et al.*, 2009), Trazan la distribución más actualizada de *L. polyphemus* mencionando que pueden encontrarse desde la parte media de Quintana Roo (Bahía de la Asunción) hasta Isla Aguada en Campeche; siendo este estado donde se encuentran los ejemplares de mayor talla, mencionan que la anidación en hábitats críticos es continua durante todo el año pero el pico de esta se encuentra en los meses de noviembre a diciembre.

Entre los trabajos más actuales referentes al estudio de *L. polyphemus* destacan; (Zaldivar-Rae *et al.*, 2017), Obtienen un calendario mensual referente a la anidación de *L. polyphemus* acorde a la luna llena y nueva de cada mes en costas de Chuburna Puerto, Yucatán, mencionando que el pico en la densidad de organismos en amplexo y solitarios, se encuentra en la temporada de nortes durante los meses de noviembre, diciembre y enero.

(Sandoval-Gio *et al.*, 2018), reportaron por primera vez un sitio de desove de *L. polyphemus* en la reserva de Ria Lagartos, Yucatán. Mencionan obtener un número de huevos menor a comparación de lo reportado en EUA, atribuyendo esto a la degradación del hábitat de esta especie. Por otra parte no encuentran diferencias significativas en los parámetros físico-químicos del agua de las diferentes zonas muestreadas, los granos de arena donde se encontró los huevecillos presento una talla de grosor medio propiciando buena oxigenación a los nidos.

3.- Marco teórico

3.1.- Ecología de la especie

Las cacerolitas de mar maduras sexualmente se resguardan en aguas profundas (6 a 19 m de profundidad) y en la plataforma continental (Fig.1) (Shuster, 1982). El aumento de la temperatura del agua, la cantidad de luz del día y los ciclos lunares estimulan la migración de los adultos hacia las playas de arena para propósitos de desove (Shuster, 1982). El tiempo de desove varía latitudinalmente entre las poblaciones que usualmente desovan a fines de la primavera de marzo a julio (Shuster, 1982). Un ejemplo de lo anterior ocurre en la bahía de Delaware donde ocurre generalmente durante las mareas, en luna nueva y llena de mayo y junio (Shuster y Bottom, 1985).

Las cacerolitas de mar machos suelen superar en número a las hembras en las playas de desove (Shuster, 1958), creando una competencia entre machos para obtener el mayor número de hembras (Brockmann, 1990). Los machos usan sus pedipalpos modificados (en forma de gancho) para agarrar las espinas terminales de las hembras (Brockmann y Penn, 1992) mientras se dirigen desde el agua hasta las playas de desove (Shuster, 1982). Cada adulto puede producir al menos 88.000 huevos maduros, aunque este número es muy variable (Shuster, 1982). Las hembras cavan debajo de su cuerpo y depositan sus huevos dentro de la zona intermareal a profundidades que van de 5 a 30 cm (Rudloe, 1979; Brockmann, 1990).

Después de que los huevos se incuban durante 2 a 4 semanas, las larvas comienzan a emerger (Jegla y Costlow, 1982; Sekiguchi *et al.*, 1982; Botton, 1995), aunque algunas larvas pueden no eclosionar hasta la primavera siguiente, pasando su invierno enterrado bajo la arena (Botton *et al.*, 1992). Las larvas entran en el agua a medida que se liberan del huevo mediante una combinación de acción de las olas y de su propia excavación (Shuster, 1982).

Las cacerolitas de mar pasan por un variado número de instares o etapas de muda, desprendiendo su exoesqueleto, alimentación, calidad de su entorno pueden pasar al menos por 16 o 17 instares antes de alcanzar la madurez sexual (Shuster, 1950). Los limulidos requieren de 9 a 10 años para alcanzar la madurez sexual (Shuster, 1958), y en este momento, aparentemente cesan de muda y crecen (Shuster, 1982). Debido al largo tiempo que pasan como organismos inmaduros son bastante longevos desde el punto de vista de un artrópodo puesto que algunos pueden alcanzar una edad máxima de 20 años (Shuster, 1958).

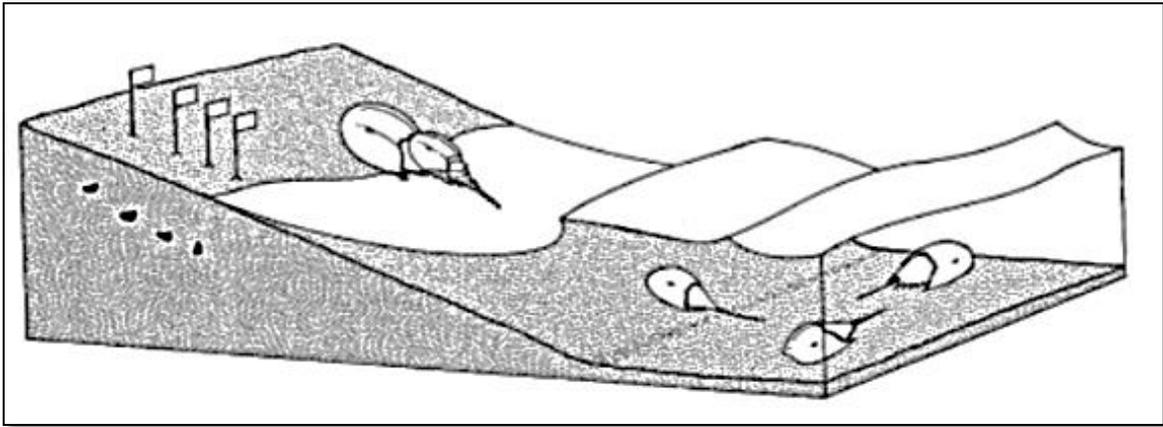


Fig. 1-Distribución costera de *Limulus polyphemus* en diferentes zonas de la costa, nido enterrado en la arena, En el mar, los machos recorren la orilla buscando hembras solitarias o desembarcan y se agrupan alrededor de parejas anidadas.

3.2.- Rol en la red trófica

3.2.1.- Presas

En cuanto a su alimentación se basa en varias especies de moluscos bivalvos (*Ensis sp.*), Almeja macoma (*Macoma sp.*), Almeja (*Spisula solidissima*), mejillón azul (*Mytilus edulis*), almeja (*Tellina sp.*) y gusanos (*Polychee sp. Nereis sp.*) (Shuster, 1982, Botton y Haskin, 1984). Para alimentarse, *L. polyphemus* cava en la arena en busca de su presa, agarrándola con sus patas con puntas de pinza (Shuster, 1982).

3.2.2.- Depredadores

Las cacerolitas de mar se enfrentan a varios peligros a través de su ciclo de vida. Estos incluyen moluscos, crustáceos, peces, tiburones, anguilas, aves, tortugas marinas, mapaches y el hombre. (Shuster, 1982, Keinath *et al.*, 1987, Zaldivar-Rae *et al.*, 2009) dan una lista parcial de organismos conocidos como presa de la cacerolita de mar durante diversas etapas de sus vidas. Representan un recurso tan importante que por lo menos 11 especies de aves migratorias (Charadriiformes: Charadriidae y Scolopacidae) se alimentan de huevos depositados por las cacerolitas de mar a lo largo de las costas de esta zona, tanto en Delaware como en Nueva Jersey (Shuster, 1982)

3.3.- Morfología

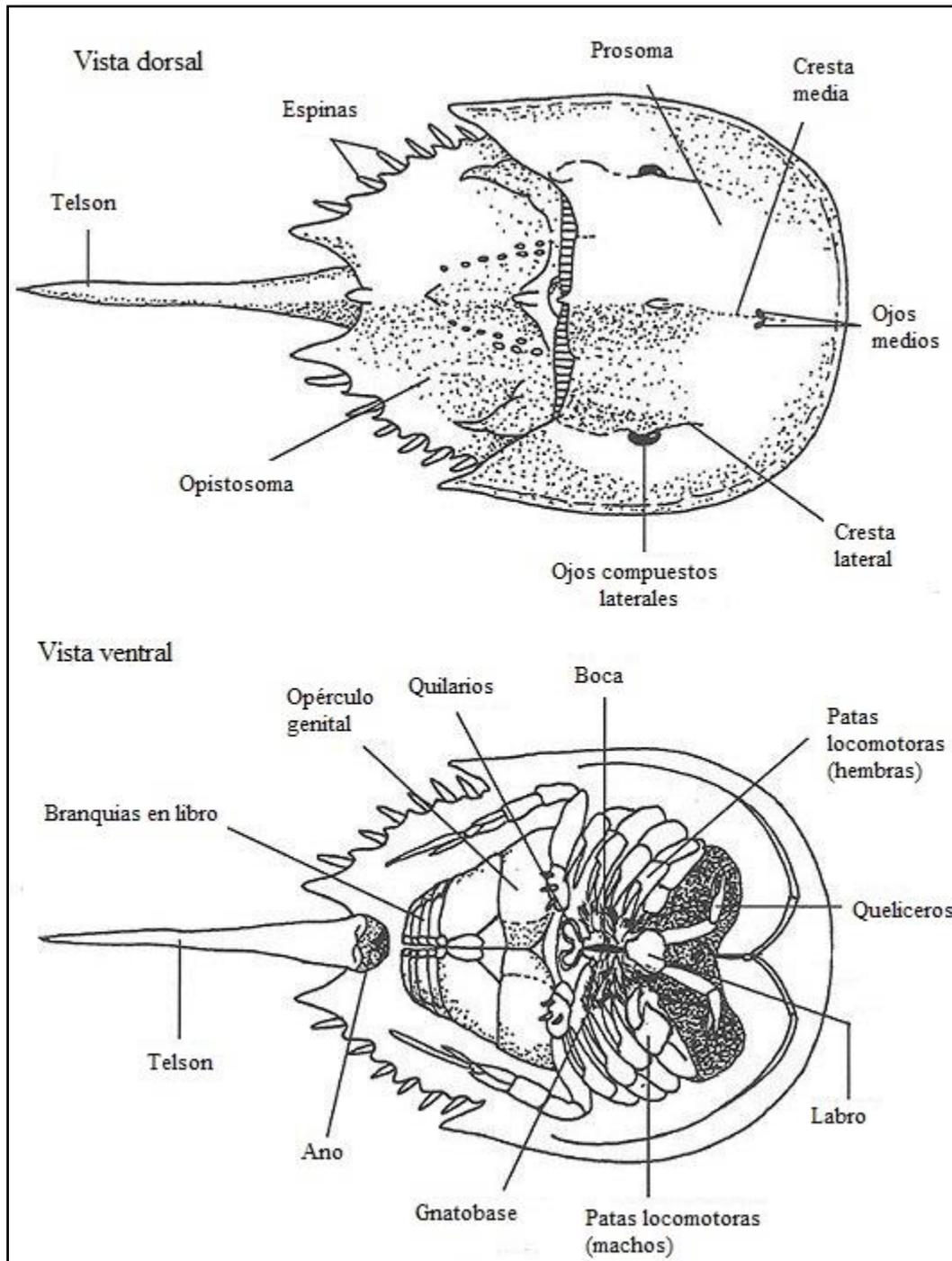


Fig. 2- Morfología de la cacerolita de mar (*Limulus polyphemus*) vista dorsal parte superior, vista ventral parte inferior. Fuente: Berkson y Shuster, 1999.

4.- Justificación

La cacerolita de mar *L. polyphemus* es un organismo endémico de las costas mexicanas de la península de Yucatán, no obstante, existen poblaciones en la costa atlántica de los Estados Unidos de Norteamérica que va desde la península de Florida hasta Maine. Son organismos con un importante papel ecológico en el ecosistema marino y costero, puesto que forman parte esencial de la red trófica ya sea como depredadores menores o como presa de depredadores mayores, además de participar en el reciclaje de nutrientes del suelo.

Por otra parte, las poblaciones de *L. polyphemus* actualmente se encuentran severamente amenazadas, por diversos motivos de índole antropogénico entre los que se pueden señalar: extracción clandestina para carnada de pulpo, deterioro de los hábitats críticos por contaminación e infraestructura urbana, dichos problemas no solo reducen las poblaciones sino que desplazan a los organismos hacia otros entornos donde son obligados a anidar aun sin contar con un hábitat crítico idóneo para la proliferación de los huevecillos, todo este impacto negativo ha conducido a la especie a ser considerada actualmente una especie en peligro de extinción (NOM-059-SEMARNAT-2010) así mismo está incluida en la Lista Roja de la Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES por sus siglas en ingles), en la categoría de vulnerable (vu).

Champotón, Campeche posee amplias zonas costeras, que resultan interesantes para el estudio del *mex*, dado a los contrastes que presenta en su extensión pues se pueden encontrar tanto playas prístinas como deterioradas, desembocaduras de ríos, además de poseer poblaciones de *mex* poco estudiadas, por lo que resulta factible efectuar estudios poblacionales del *mex* que integren componentes tanto bióticos como abióticos con la finalidad de determinar zonas de hábitats críticos para la anidación óptima del *mex*, de tal forma que dichos entornos puedan ser conservados y protegidos.

4.- Objetivos

4.1.- Objetivo general

Determinar la dinámica espacio-temporal de la población de la cacerolita de mar (*Limulus polyphemus*) en playas de Champotón, Campeche.

4.2.- Objetivos particulares

- ✚ Identificar playas de anidación de cacerolita de mar *Limulus polyphemus* en la zona costera de Champotón, Campeche.
- ✚ Determinar la densidad de *L. polyphemus* en la zona intermareal y sublitoral por temporadas climáticas.
- ✚ Comparar las tallas de los organismos encontrados entre playas de anidación y temporadas.
- ✚ Obtener la relación peso-talla de los especímenes de *L. polyphemus* encontrados en los hábitats críticos de Champotón, Campeche.
- ✚ Obtener y analizar la proporción de sexos (macho-hembra) de la población de *L. polyphemus*.
- ✚ Relacionar cualitativamente las características abióticas (sedimento y físico-química del agua) del hábitat de la especie con la cantidad de organismos observados.

5.- Área de estudio

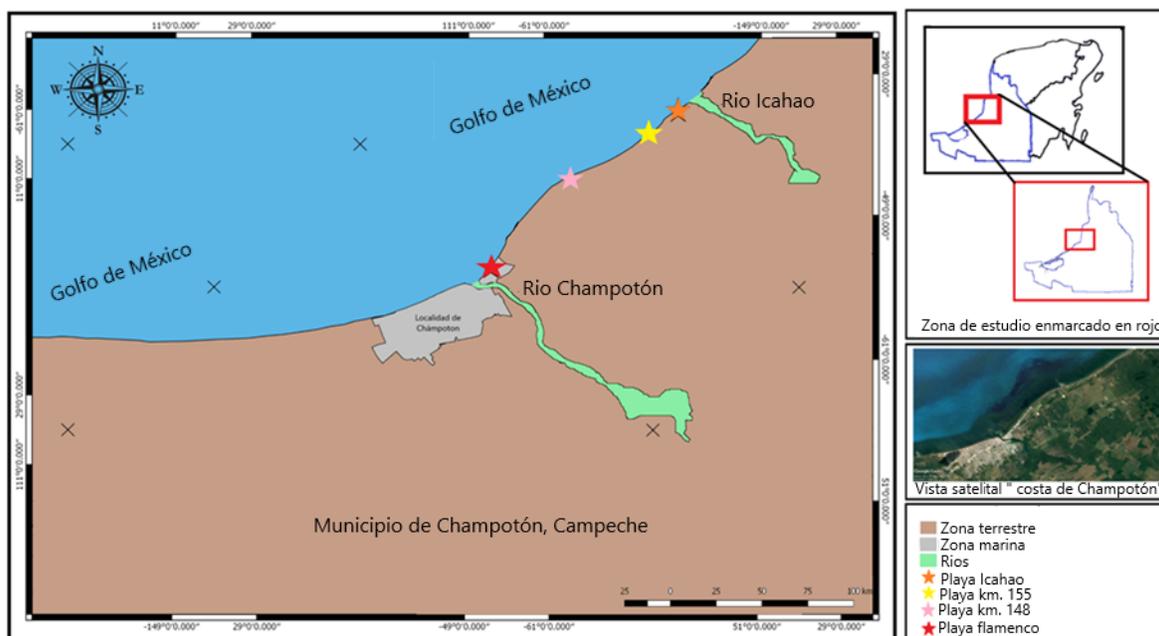


Fig. 3-Mapa del área de estudio “Costera de Campeche,” se denota sitios con nombres como forma de orientación. Estrellas señalan los sitios de las estaciones de muestreo.

5.1.- Descripción de la zona de estudio

El municipio de Champotón se encuentra situado en la zona centro del estado de Campeche, entre los meridianos 89° 32' y 91° 08" W y 17° 49' y 19° 41" N.

Limita al norte con los municipios de Campeche y Hopelchén, al sur con el municipio de Escárcega, al este con el municipio de Calakmul y al oeste con el municipio de Carmen y el Golfo de México. Presenta una extensión territorial de 6,856.04 km², lo que representa el 10.7% del total del estado de Campeche (Velázquez *et al.*, 2002).

5.1.1.- Clima predominante de Champotón

De acuerdo con García (1987), en una franja de 30 kilómetros que parte del litoral del municipio de Champotón, hacia el norte (parte de Campeche y el centro norte de Calakmul), el clima es cálido subhúmedo con una temperatura media anual de 26° C.

En la zona sur, este y sureste del municipio, se encuentra la variante más húmeda de los climas subhúmedos, con un régimen de lluvia en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Predominan los vientos cálidos provenientes del este y sureste.

Las temperaturas máximas son las de mayo de alrededor de 40° C y las mínimas son las de enero con 10 a 14° C (García-Oliva *et al.*, 2002).

5.1.2.- Orografía del municipio de Champotón

El relieve topográfico es plano con pequeñas ondulaciones, que propician la formación de una parte de los valles como el de Yohaltum y Edzna, este último extendiéndose hasta el municipio de Campeche. La altitud media es de 27 metros sobre el nivel del mar; de la localidad de Seybaplaya parte la sierra alta, que en su recorrido por la costa forma un gran acantilado con una punta conocida como el "Morro."

De Seybaplaya también se desprende una cordillera llamada Sierra Seybaplaya, en dirección a la región de los Chenes, donde se encuentra una pronunciación llana denominada Meseta de Zoh Laguna. De norte a sur el municipio presenta pequeños lomeríos no mayores de 300 metros de altura. En la parte central se encuentra la planicie del valle de Edzna (INEGI y CONABIO, 2014).

5.1.3.- Edafología

El municipio está constituido por los siguientes tipos de suelo: siguiendo la costa se encuentran los litosoles y regosoles eútricos, y un poco al este hay suelos del tipo gleysoles sálicos, formados por arena, arcilla y humíferos (materia orgánica en descomposición, como hojas y ramas), dando origen a los llamados akalches en maya (INIFAP, 1995). Del total de la superficie del municipio se destina el 3.62% al uso agrícola, el 35.67% a la actividad ganadera, el 59.62 al forestal y el 1.09% a otras actividades (Pérez y Quijano, 2010).

5.1.4.- Hidrografía

En este municipio se localiza el Río Champotón, que es navegable con embarcaciones de hasta 15 toneladas, desde Canasayab hasta Champotón, en una extensión de 35 kilómetros; es decir, la mayor parte de los 47 kilómetros que mide su longitud. Su cuenca es de 6,080 kilómetros cuadrados y su escarmiento anual asciende a unos 885 millones de metro cúbicos. Encontramos también lagunas como la de Nayarit de Castellot y Noch. Además de poseer aguadas permanentes como las de Xbacab, Chuina y Hool (Balvanera *et al.*, 2008; Mapas temáticos de CONABIO, 2014).

5.1.5.- Vegetación

Vegetación y flora, de acuerdo con Rzedowski (1983), la costa pertenece a la provincia florística península de Yucatán, región caribeña del reino neotropical; la flora de esta región es de influencia antillana y de la península de Florida (Rzedowski, 1983; Espejel, 1984). La fisiografía del área de la reserva permite la existencia de varios tipos de hábitat caracterizados por su proximidad al mar, a la laguna o a tierra firme; con base en esta característica, la vegetación se agrupa de la siguiente manera: vegetación sumergida, duna costera, manglar, selva baja caducifolia, tular-carrizal-pastizal y petenes (INE, 1993; Valdez-Casillas, 1993; INE, 1994).

Vegetación marina

Sirve de refugio a pequeños invertebrados útiles en la alimentación de cangrejos y aves playeras. Los géneros presentes son *Thalassia*, *Euchema*, *Halimeda* y *Dictyota*. Este tipo de vegetación se encuentra en los esteros hasta donde la transparencia del agua lo permite (Ocaña y Lot, 1996).

Dunas costeras

Integradas por plantas xerófitas tropicales, pequeñas palmas y suculentas grandes. Las especies características son: sisal (*Agave sisalana*), bab-ki (*Agave angustifolia*), uva de mar (*Coccoloba uvifera*), nakax (*Coccothrinax readii*), palma chit (*Thrinax radiata*), kuká (*Pseudophoenix sargentii*), nopal (*Opuntia dillenii*), cactus (*Cereus pentagonus*) y sikil-ha'xiu (*Lantana involucrata*) (Espejel, 1984).

Manglares

Esta vegetación es abundante y presenta una zonificación específica desde sitios más húmedos dominados por mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), hasta menos húmedos con el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) (Agraz-Hernández *et al.*, 2010)

Tular-carrizal-pastizal

Representada por la asociación de *Phragmites australes*, *Cladium jamaicensis* y *Thypha spp.*, que cubre grandes extensiones de pantanos, aguadas y cursos de agua de poca corriente. Las especies características son: *Typha domingensis*, *Scirpus lacustris*, *Eleocharis cellulosa*, *P. australis* y *C. jamaicensis*. Esta asociación cambia en su composición con las variaciones de humedad y junto con ella cambia la avifauna (Agraz-Hernández *et al.*, 2010).

6.- Materiales y métodos

Se realizó una investigación referente a la dinámica espacio-temporal de la población de la cacerolita de mar (*L. polyphemus*) en la zona costera de Champotón, Campeche, durante las temporadas climáticas de secas y nortes de 2018.

La selección de las playas a muestrear se llevó a cabo mediante la evaluación de las características ambientales y biológicas que presentaban como: una playa arenosa y/o concholar con una talla granular $\geq 2\text{mm}$, una pendiente entre la línea supramareal e inframareal y la presencia de caparazones de *L. polyphemus*, en la zona supralitoral de temporadas de anidación de años anteriores, con la finalidad de tener mayor certeza de la presencia de estos organismos en las playas, optimizando de esta manera tiempo y esfuerzo de muestreo. Con las playas de muestreo ya identificadas se procedió a tomar su ubicación geográfica en unidades UTM (Universal Transversal de Mercator) (tabla 1), mediante un GPS marca *etrex* (Tabla. 1).

Tabla 1- Ubicación geográfica de las playas muestreadas.

Sitio	Coordenada UTM (X)	Coordenada UTM (Y)
Playa flamenco	739239.79	2143121.51
Playa km. 148	738892.21	2144793.57
Playa Icahao	740780.09	2153360.54
Playa km. 155	740672.67	2152945.44

Los transectos se ubicaron paralelo a línea de costa, comenzando en el límite de la pleamar, abarcando tanto la zona supramareal e inframareal. Cada transecto tuvo una longitud de 10 a 300 m aproximadamente dependiendo de la extensión de la playa y la accesibilidad de la misma (Fig. 4), con un ancho estandarizado de 6 m (3 m sobre arena y 3 m en el agua).

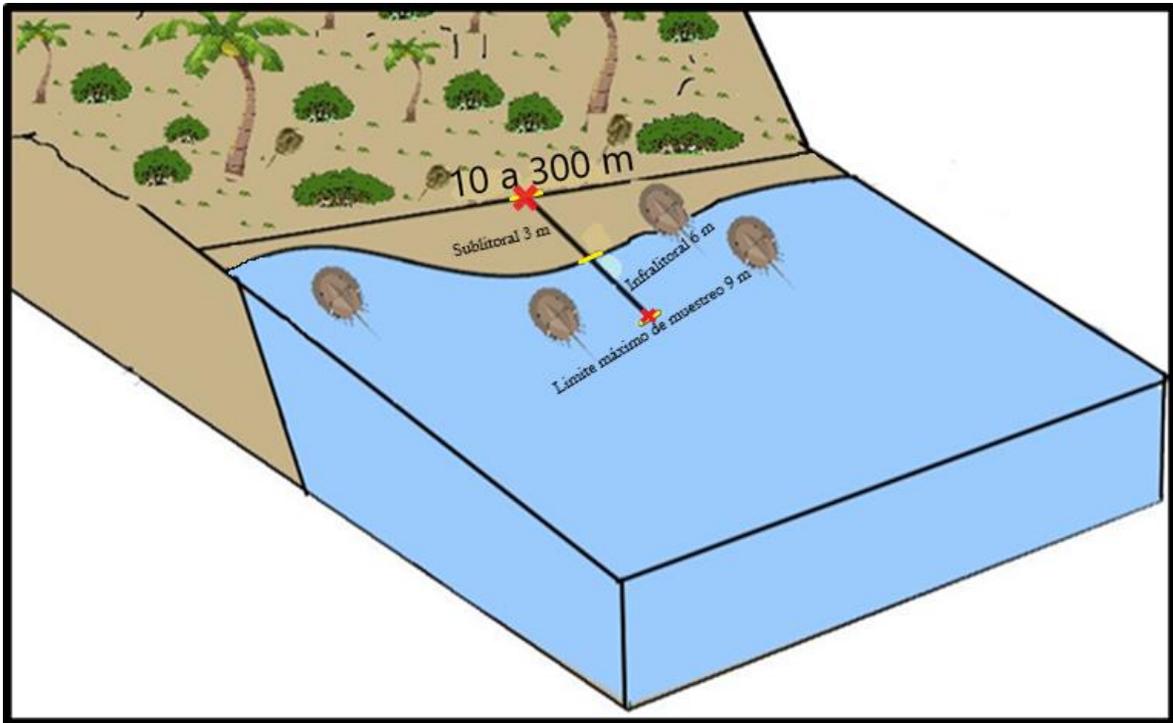


Fig. 4- Esquema de muestreo en la zona de costa, transecto paralelo a la línea de costa, denota punto de toma de muestras abióticas (x), en marca anchura del transecto en 6 metros perpendiculares a la línea de playa.

Los muestreos se efectuaron únicamente de forma nocturna, puesto que de forma diurna solo se incursiono en las playas para hacer una prospección del sitio.

Se identificó en cada transecto a los adultos solitarios (machos y hembras), parejas en amplexo solitarias o con machos satélite, hembras anidando solitarias o con machos satélites.

Los organismos colectados se colocaron en tinas plásticas de pared alta para su contención y manipulación. Posteriormente se procedió a evaluar diversos aspectos de los organismos dependiendo del estatus que presentaban (Tabla. 2).

Tabla 2- Valores medibles para cada grupo de *L. polyphemus*, tanto para adultos como juveniles.

Estatus del ejemplar	Aspectos a evaluar
Vivo	Talla-Peso-Sexo-Epibiontes
Muerto	Talla-Sexo-Epibiontes
Exuvias	Número

Se registraron datos merísticos tales como: longitud de prosoma (LP), longitud del opistosoma (LO), longitud interocular (LIO), longitud de telson (LT), longitud de las puntas genales (LPG), ancho del prosoma (AP) y ancho del opistosoma (AO), (Fig.5), dichos datos fueron medidos mediante el uso de un vernier con presión milimétrica, y para los fines estadísticos la medida de comparación que se empleó fue la del ancho del prosoma.

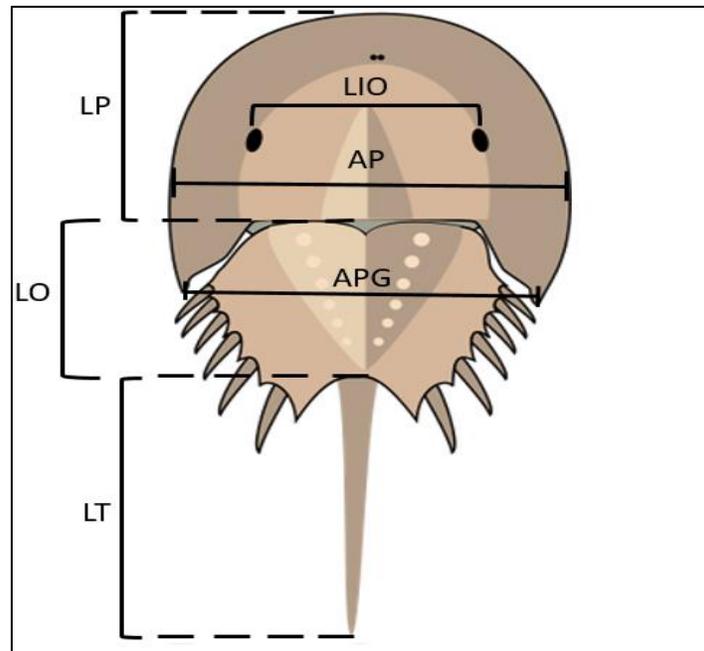


Fig. 5- Esquema ilustrativo de las estructuras que se medirán de cada ejemplar de *Limulus polyphemus*.

El pesaje de los organismos vivos se llevó a cabo mediante el uso de una balanza analítica con precisión de 5 mg para los organismos grandes y una balanza de joyero con precisión de 0.01 mg para los organismos pequeños.

El sexado se realizó tanto en organismos vivos como muertos, se efectuó mediante la observación del opérculo genital y por el segundo par de apéndices (pedipalpos) (Fig.6), que en el caso de los machos adultos se encuentra modificado en forma de ganchos, a diferencia de las hembras que los presentan en forma de pinza.

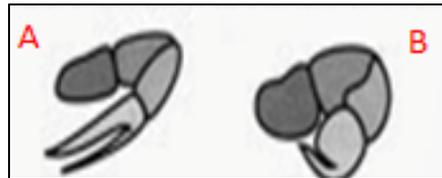


Fig. 6- Pedipalpos de *Limulus polyphemus*. A) Pedipalpo hembra, B) pedipalpo macho. Fuente: Shuter, 1985.

Además se observó y anotó si los organismos presentaban características de haber realizado el amplexo, en el caso de las hembras un marcado desgaste en el opistosoma y en los machos la fragmentación de una parte de su clasper. Por otra parte se observó de forma dorsal y ventral a los organismos con la finalidad de observar presencia de epibiontes, deformidades en el exoesqueleto o apéndices incompletos.

Cabe destacar que en la localidad Champotón, Campeche no se requirió un muestreo en laguna costera o en manglar, debido a que posee una extensa playa óptima para la reproducción, reclutamiento y anidación de estos organismos.

La medición de los parámetros físico-químicos del agua (temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto y conductividad), se llevó a cabo en dos puntos del transecto de forma perpendicular a la línea de costa mediante una sonda multiparamétrica HACH.

El agua de filtración (agua de origen marino que logra filtrarse a través de los granos de arena) se evaluó a un metro de la línea de costa a una profundidad de 30 cm (James-Pirri *et al.*, 2005; Zaldívar-Rae *et al.*, 2009) y la columna de agua a 3 metros de la costa, siguiendo la misma línea donde se tomó la primera. Cabe destacar que no resultó necesario efectuar réplicas de estos parámetros a lo largo del transecto, puesto que se corroboró en el sitio que no existió variación entre los valores a lo largo del transecto (Fig.4)

El estudio de los factores abióticos se complementó con un análisis del sedimento presente a lo largo del transecto, las muestras se colectaron de forma perpendicular a la línea de costa, de tal forma que la primera muestra se tomó a un metro de la línea de marea y la segunda muestra a cuatro metros de la primera, teniendo en total dos muestras por transecto. Las muestras de sedimento fueron tomadas con ayuda de una pala de jardín y posteriormente colocadas en bolsas plásticas de 2 kg para su contención y transporte. Con dichas muestras se evaluó el tamaño de los granos de arena (granulometría) y la cantidad de materia orgánica en dichos sedimentos mediante la técnica de calcinación modificada para arenas de playa.

6.1.- Análisis de sedimento de los sitios de estudio

6.1.1.- Técnica para determinación de granulometría

Para el análisis de la granulometría del suelo se empleó el protocolo de Wentworth, 1979, cuya finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo.

Procedimiento

Se comenzó con la homogenización y secado al aire libre del total de la muestra en estado natural (cuarteándola si fue necesario), tratando de evitar romper sus partículas individuales, especialmente por tratarse de un material blando (arena). Posteriormente se llevó a cabo una reducción o cuarteo de la cantidad total de la muestra en este caso para el estudio se empleó un total de muestra para analizar de 100 g por bolsa.

Inmediatamente obtenido el tamaño de muestra a ensayar, se dispuso la muestra en el tamiz N°14 para posteriormente colocar debajo de este los demás tal como se muestra en la (Fig.7) (Tabla. 3), posteriormente se colocaron todos los tamices en la maquina tamizadora vibratoria marca Cole-Parmer por un tiempo de 15 min, tiempo elegido de acuerdo a la metodología de Edward 2005, quién menciona que el tiempo máximo para la separación de muestras de sedimento de arena para fines granulométricos es de 15 minutos debido a la fragilidad de sus componentes.

La fracción retenida en cada tamiz fue pesada, mediante una balanza analítica, cabe señalar que el pesaje se efectuó de forma meticulosa de tal forma que no se perdieran granos de arena durante el pesaje, cabe mencionar que se tiene un intervalo de confianza de 0.5 gramos para el total de peso de cada una de las muestras después del tamizado.

Tabla 3- Tabla de cantidad mínima a ensayar según tamaño de partículas. Fuente: Geotecnia, 1993.

Talla de amplitud de la malla (mm)	Número de tamiz
1.4	N° 14
0.85	N°20
0.60	N°30
0.425	N°40
0.355	N°45
0.150	N°100
0.075	N°200
0.063	N°230
0.038	N°400

Para el cálculo se empleó la siguiente fórmula:

Porcentaje retenido en criba: $(Pt - PcC) \times 100$.

Dónde:

Pt = peso total de la muestra

PcC = peso en cada criba



Fig. 7- Proceso para la obtención de la granulometría, (A-F) pesaje de las muestras, (G) colocación en los tamices, (H) tamizado de la muestra.

6.1.2.- Técnica para la determinación de materia orgánica de suelo

Para la determinación de la materia orgánica del suelo, se procedió a aplicar la técnica de calcinación propuesta por Dean, 1974. La cual se fundamenta en la pérdida de Carbono por temperaturas extremas 600 °C.

Cabe destacar que se efectuó una variación en la cantidad de temperatura a la que se sometieron las muestras, pues para arena es recomendable calcinar las muestras a 550 C° debido al alto contenido de carbonato de calcio en las conchas de los organismos que componen la arena. Se procedió a colectar en el campo una muestra de sedimento de un kilogramo, mediante el uso de una pala jardinera posteriormente se colocó en bolsas plásticas y se trasladó al laboratorio de zoología del Instituto Tecnológico de Chetumal para su procesamiento.

Se colocó la muestra en una charola para su desecación al aire libre hasta que no presente humedad aparente, posteriormente se pesó en una balanza analítica de alta sensibilidad una muestra por cada bolsa de sedimento (seis bolsas) de suelo de 10 gr, dicha muestra seguidamente fue colocada en un crisol de porcelana, para después colocarla en una mufla y someterla a una temperatura de 550 °C por 30 minutos. Al terminar el proceso de calcinación se colocaron los crisoles a un desecador con la finalidad de evitar que el material calcinado gane humedad.

Vale la pena mencionar que la verificación de la calcinación correcta se efectuó con la observación del cambio de color de la muestra, cambiando del color natural beige a blanco calizo en cada una de las muestras. Posterior a la calcinación las muestras se colocaron en una balanza analítica de alta sensibilidad para volver a pesar cada una de las muestras, con la finalidad de registrar si hubo una pérdida de materia y a su vez de peso (Fig. 8).

Determinación de la materia orgánica cálculo matemático

$$\text{Porcentaje de materia orgánica (M.O.)} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de carbono orgánico} = \% \text{ M.O.} \times 1.724$$

Datos:

A= Peso muestra

B= Peso muestra calcinado a 700°C

1.724= Valor equivalente a carbono

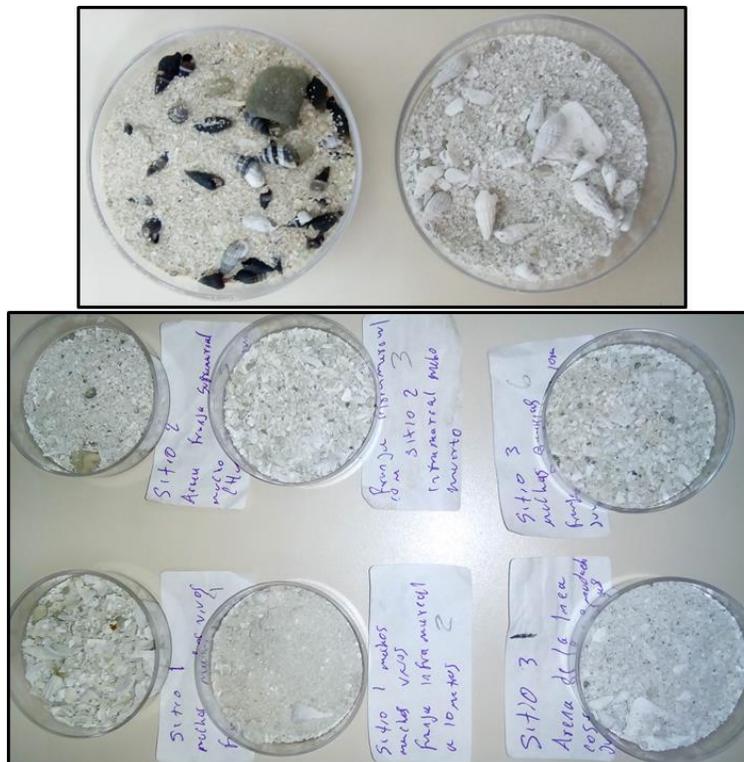


Fig. 8.- Ejemplo de calcinación de la muestra de sedimento.

6.2.- Análisis estadístico de los datos

1) **Determinar la densidad de *L. polyphemus*.**

Para calcular la densidad de organismos durante el muestreo se empleó como referencia la unidad de tiempo en horas, es decir la cantidad de organismos se dividió entre las horas de muestreo en cada sitio.

2) **Obtener y analizar la proporción de sexos (macho-hembra) de la población de *L. polyphemus*.**

Para obtener y analizar la proporción de sexos (hembras:machos) de la población se empleó el estadístico chi cuadrada (χ^2) con corrección de *yates* debido a que la cantidad de datos analizados resulto ser menor a 200 datos, el programa empleado para el análisis fue Microsoft Excel, obteniendo la proporción por temporada climática y en general.

Hipótesis de la proporción de sexos

H_0 = La proporción de sexos (hembra: macho) de las muestras de la población de cacerolitas de mar *L. polyphemus* es igual.

$H_a \neq$ La proporción de sexos (hembra: macho) de las muestras de la población de cacerolitas de mar *L. polyphemus* difieren.

3) **Comparar las tallas de los organismos encontrados por localidad.**

Para comparar las tallas del ancho de prosoma de hembras y machos por localidad, se empleó estadística no paramétrica, puesto que no se cumplieron los supuestos de parametricidad en los datos (independencia de datos, normalidad, homocedasticidad) además que la distribución de datos correspondió a la distribución de Poisson, dado que los datos fueron obtenidos mediante conteo. Cabe destacar que la comparación se llevó a cabo únicamente durante la temporada de nortes, debido al bajo número de hembras y machos encontrados en las playas durante esta temporada.

El estadístico empleado para la comparación fue la prueba estadística de *Kruskal-Wallis*, y dado que se encontró diferencias significativas entre la mediana del ancho de prosoma en los diferentes sitios, se realizó la esquematización de las diferencias mediante el gráfico de cajas y bigotes. Siendo estos análisis efectuados en el programa *Statgraphics 18* con crack.

4) Evaluar diferencias entre tallas (ancho de prosoma) entre temporadas climáticas.

Para analizar si existe diferencia entre el ancho de prosoma de los especímenes entre las dos temporadas muestreadas (secas y nortes), se efectuó posterior a las pruebas de parametricidad, la prueba estadística Wilcoxon (Mann-Whitney U), debido a que los datos resultaron ser no paramétricos, además tan solo se pudo efectuar la comparación entre machos de secas y nortes, debido a que tanto el número de hembras como juveniles resulto ser muy poco, dado que no se encontró diferencia significativa en el análisis realizado, no se requirió efectuar alguna prueba *a posteriori*.

5) Obtener la relación peso-talla de los especímenes de *L. polyphemus*.

Para obtener la relación peso-talla se sometieron los datos a diversos modelos predictivos mediante el programa *Statgraphics 18* con crack, con la finalidad de obtener un coeficiente de determinación cercano a 0.095, siendo el modelo exponencial el que más se ajustó a los datos, cabe destacar que se eliminaron ciertos datos atípicos pues estos causaban sesgos en la modelación.

7.- Resultados

7.1.- composición demográfica

Composición demográfica (número total de individuos y porcentajes del sexo) de la población de *L. polyphemus* en la zona costera de Champotón, Campeche.

En el presente trabajo realizado en la temporada de secas y nortes del año 2018 se logró muestrear un total de 188 especímenes de los cuales 147 fueron vivos y 41 muertos, además se registró la presencia de 276 exuvias en las playas. La composición demográfica de *L. polyphemus* estuvo constituida en total abarcando ambas temporadas (nortes y secas) por 132 machos, 50 hembras y seis juveniles, resultando evidente la mayor abundancia de machos respecto a las hembras.

De forma puntual de acuerdo con los datos recabados en el muestreo durante la temporada de secas en el mes de mayo se tuvo el registro de un total de 83 individuos de los cuales 65 fueron machos (34 vivos y 31 muertos), 12 hembras (2 vivas y 10 muertas) y 6 juveniles; por otra parte el número de individuos en la temporada de nortes en el mes de noviembre difieren cuantitativamente con los de la temporada de secas debido a que los valores demográficos obtenidos fueron más altos, puesto que se registró un total de 105 individuos todos vivos de los cuales 67 fueron machos y 38 hembras, cabe destacar que durante esta temporada se tuvo ausencia total de avistamientos directos de organismos en etapa juvenil siendo únicamente registrados para la temporada de secas.

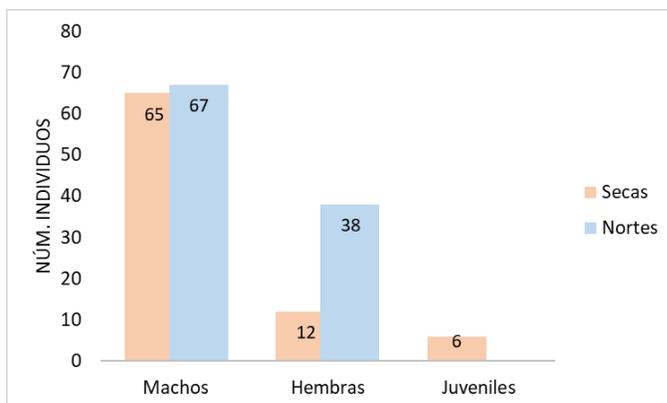


Fig. 9- Comparación del núm. de individuos vivos en temporada de secas y nortes.

7.1.1.- Densidad de individuos por unidad de tiempo (hora)

Para calcular la densidad de organismos durante el muestreo se empleó el concepto “individuos por unidad de área, cabe destacar que la longitud de los transectos vario en longitud pero en ancho fue constante de 9 m. Las áreas que fueron muestreadas en cada playa se observan en la tabla 2.

Tabla 2- Esfuerzo de muestreo y características representativas de las playas muestreadas.

Sitio de muestreo	Longitud del transecto	Esfuerzo de muestreo	Características del sitio
Playa flamenco	170 m	1530 m ²	Con contaminantes solidos
Playa km. 148	270 m	2430 m ²	Con nula vegetación
Playa Icahao	107 m	963 m ²	Con manglares y desembocadura de rio
Playa km. 155	25 m	225 m ²	Con poco manglar

Tabla 3- Densidad de organismos en temporada de secas.

Temporada de secas						
Sitio	Machos	Ind./m ²	Hembras	Ind./m ²	Juveniles	Ind./m ²
Playa flamenco	23	0.015	1	0.0007	0	0
Playa Icahao	7	0.007	1	0.0010	0	
Playa km. 148	4	0.0016	0	0	6	0.002

Tabla 4- Densidad de organismos en temporada de nortes.

Temporada de nortes				
Sitio	Machos	Ind./m ²	Hembras	Ind./m ²
Playa flamenco	14	0.009	8	0.005
Playa Icahao	29	0.030	18	0.19
Playa km. 148	7	0.003	2	0.0008
Playa km. 155	17	0.075	10	0.044

Durante la temporada de secas se tuvo que la mayor densidad fue la reflejada por los machos de playa flamenco debido a que en ella durante el muestreo se encontraron 23 machos vivos lo que de acuerdo al área muestreada sería 0.015 individuos por m^2 , en cuanto a las hembras la mayor densidad se encontró en playa Icahao puesto que el número de hembras fue el mismo en playa flamenco que en playa Icahao, el esfuerzo de muestreo fue menor en playa Icahao por ello esta playa presentó mayor densidad de hembras, dado que únicamente se encontraron juveniles en la playa km. 148 esta playa presentó la mayor densidad (tabla 2), además se encontró en dicha playa gran cantidad de exuvias 256 por lo que de acuerdo con (Gómez-Aguirre, 1993; Brockmann, 1990; Rosales-Raya, 1999), es posible que en dicha playa exista presencia de más juveniles pero debido a que solo estarían deambulando o alimentándose dentro de la franja inframareal no pudieron ser observados

En cuanto a la temporada de nortes la mayor densidad tanto de machos como hembras se registró en playa km. 155, puesto que la densidad para machos fue de 0.075 individuos por m^2 pues a pesar de encontrar un menor número de ejemplares que en playa Icahao el esfuerzo de muestreo fue menor al de la playa mencionada anteriormente. Lo mismo ocurre con la densidad de hembras puesto la densidad encontrada en playa km.155 resultó ser la mayor a la encontrada en playa Icahao pero en esfuerzo de muestreo resultó ser menor.

Se tiene que la mayor densidad encontrada en general (machos y hembras) durante el presente muestreo corresponde a la temporada de nortes con 0.020 individuos por m^2 , puesto que la densidad general de secas fue de 0.009 individuos por m^2 . Por lo que a diferencia de Rosas-Correa y Ortiz-León, 2000 el presente estudio reporta mayor densidad en nortes asemejando los resultados del presente trabajo con los de Zaldivar-Rae *et al.*, 2009; 2017.

7.1.2.- Porcentaje de organismos vivos y muertos

El porcentaje general de “vivos-muertos” de un total de 464 organismos incluyendo vivos, muertos y las exuvias encontradas para ambas temporadas secas y nortes fue el siguiente: el 31.68% (147) fueron vivos, el 8.83% (41) muertos y el 59.48% (276) exuvias.

La composición en el sentido de “vivos-muertos” para los 188 individuos (147 vivos y 41 muertos) entre ambas temporadas excluyendo las 276 exuvias fue el siguiente: el 78.19% fueron organismos vivos, en contraste con el porcentaje de organismos muertos fue de 21.80%.

Respecto al porcentaje de machos y hembras para ambas temporadas, de un total de 132 machos el 23.48% (31) fueron muertos y el 76.52% (101) fueron vivos, pese a ser menor del 50% los machos muertos, resulta crítico puesto que demuestra que una gran parte de la población de machos está muerto. Para la composición de “vivos-muertos” en hembras se encontraron 10 muertas y 40 vivas de un total de 50, lo que en valor porcentual se traduce en un 20% de hembras muertas.

En cuanto a la comparación de “vivos-muertos” en cada temporada se observó una notoria diferencia ya que en la temporada de secas se presentó una gran mortandad de individuos tanto machos como hembras, en cuanto a números para la temporada de secas de 65 machos corresponden al 47.69% (31) muertos y de las 12 hembras el 83.33% (10) muertas.

Por su parte en la temporada de nortes no se encontraron individuos muertos de machos como de hembras, además no se registró presencia de juveniles, solo se encontraron 20 exuvias, razón por la cual se puede deducir que evidentemente la temporada con mayor número de muertos fue la temporada de secas. El porcentaje de organismos juveniles muertos fue de 0%, esto refleja que pese a tener una mortandad alta de hembras los individuos que logran ovopositar dejan una descendencia biológica con gran posibilidad de tener éxito en su supervivencia.

7.2.- Proporción por sexos

En la tabla 7 se puede observar que en general la cantidad de machos respecto a las hembras.

Tabla 5- Numero de hembras y machos en las temporadas de secas y nortes.

	Secas	Nortes	Total
Hembras	12	38	50
Machos	65	67	132
Total	77	105	182

Se realizó una prueba de ji cuadrada con corrección de Yates para probar la hipótesis de que no existe igualdad en la proporción de sexos entre hembras y machos (tabla 8).

Tabla 6- Proporción por sexos para las temporadas secas y nortes.

	Secas	Nortes	General (secas y nortes)
Número total de individuos	77	105	182
H/M	0.18461	0.56716	0.37878
H:M	0.18 : 1	0.56 : 1	0.37 : 1
χ^2 Yates calculado	7.46667	35.11831	36.04945
χ^2 de tabla	3.8415	3.8415	3.8415

Se obtuvo una Ji cuadrada calculada de 36.04945 la cual fue mayor que la ji de tablas 3.8415, razón por la cual se descartó la hipótesis nula en favor de la alternativa, por lo que se concluyó que no existe igualdad en la proporción de sexos entre hembras y machos de la especie *L. polyphemus* en la costa de Champotón.

7.3.- Tallas máximas y mínimas de los individuos por temporada

7.3.1 Tallas máximas y mínimas para la temporada de secas

Las tallas máximas registradas para las hembras durante el muestreo en la temporada de secas se presentan en la tabla.

Tabla 7 - Tallas máximas para hembras en la temporada de secas.

Tallas máximas hembra	
AP (mm)	Peso (gr)
253	785

Cabe destacar que los valores anteriormente plasmados se obtuvieron de una hembra viva pero no presentaba huevos, registrandose un peso de 785 g

Las medidas mínimas que se registraron para una hembra se presentan en la tabla 11.

Tabla 8- Tallas mínimas para hembras en la temporada de secas.

Tallas mínima hembra	
AP (mm)	Peso (gr)
195	S/R

La talla más pequeña para los machos durante la temporada de secas tabla 12.

Tabla 12- Tallas mínimas para machos en la temporada de secas.

Tallas mínimas de macho	
AP (mm)	Peso (gr)
112	145

Los valores más altos en las medidas morfométricas de los machos durante la temporada de secas se encuentran en la tabla 13:

Tabla 13- Tallas máximas para machos en la temporada de secas.

Tallas máximas de macho	
AP (mm)	Peso (gr)
189	525

Cabe destacar que pese a ser un macho pequeño se encontró claramente en un estado de adulto, puesto que sus pedipalpos se encontraban ya modificados en forma de ganchos, por lo que posee el potencial para procrear descendencia a pesar de su pequeño tamaño.

Los valores más altos en las medidas morfométricas de los juveniles en secas se presentan en la tabla 14.

Tabla 14- Tallas máximas para juveniles en la temporada de secas.

Tallas máximas de juvenil	
AP (mm)	Peso (gr)
168	51.6

Por otra parte las tallas más pequeñas que fueron registradas en un organismo juvenil en secas tabla 15.

Tabla 15- Tallas mínimas para juveniles en la temporada de secas.

Tallas mínimas de juvenil	
AP (mm)	Peso (gr)
79	45.3

7.3.2.- Tallas maximas y minimas para la temporada de nortes

Las tallas máximas registradas para las hembras durante el muestreo en la temporada se encuentran plasmadas en la tabla 16.

Tabla 9- Tallas máximas para hembras en la temporada de nortes.

Tallas máximas hembra	
AP (mm)	Peso (gr)
236	2097

El espécimen valorado presentó gran cantidad de epibiontes inclusive con una talla de 45 mm de ancho en el caso de un balano, además por el color y las algas que presento el prosoma aunado al desgaste del opistosoma se puede inferir que es una hembra longeva y que se ha reproducido múltiples veces.

Por otra parte las tallas más pequeñas para las hembras durante la temporada de nortes tabla 17.

Tabla 10- Tallas mínimas para hembras en la temporada de nortes.

Tallas mínimas hembra	
AP (mm)	Peso (gr)
170	551

Cabe destacar que algunos ejemplares se encontraban dañados, características que resultan comunes en ejemplares relativamente viejos, cuestión que concuerda con características externas observables que permiten determinar la condición del exoesqueleto de la especie (Burse, 1977; Nolan y Smith., 2009).

Las tallas máximas registradas para los machos durante el muestreo en la temporada de nortes se presentan en la tabla 18.

Tabla 11- Tallas máximas para machos en la temporada de nortes.

Tallas máximas macho	
AP (mm)	Peso (gr)
189	762

El limulo macho más grande encontrado resulto ser, de igual manera más pesado que la hembra más pequeña, peculiaridad extraordinaria debido a que usualmente el dimorfismo sexual que presentan estos organismos, le confiere a las hembras usualmente ser encontradas tanto más grandes como pesadas.

Por otra parte las tallas más pequeñas para los machos durante la temporada de nortes (tabla 19).

Tabla 12- Tallas mínimas para machos en la temporada de nortes.

Tallas mínimas macho	
AP (mm)	Peso (gr)
179	287

7.3.3.- Tallas y pesos en general

Para las tallas se incluyeron los ejemplares muertos puesto que se midió en ellos las mismas estructuras por otra parte cuando el organismo no poseía una de las estructuras usualmente telson se le asigno un valor de 0, como lo menciona el trabajo de (Gómez-Aguirre, 1993; Brockmann, 1990) por otra parte el peso promedio se calculo utilizando los valores obtenidos unicamente de ejemplares vivos, amornizando la toma de datos con los trabajos de Gómez 1994; Rosas-Correa y Ortiz León, 2000; Rosales *et al.*, 2001.

Tabla 13- Tallas y pesos promedio para machos durante las temporadas de secas y nortes

Tallas promedio de machos	
AP (mm)	Peso (gr)
159.05	470.96

Tabla 14- Tallas y pesos promedio para hembras durante las temporadas de secas y nortes

Tallas promedio de hembras	
AP (mm)	Peso (gr)
212.45	1375.25

7.4.- Comparación de tallas entre playas de la temporada de nortes

7.4.1.- Comparación de tallas ancho del prosoma (machos) entre playas

Se efectuó una exploración estadística de los datos con la finalidad de identificar la parametricidad, las pruebas empleadas para determinar lo anterior fueron: histograma de frecuencias, prueba de normalidad de *Shapiro-Wilks* modificado y la prueba de homocedasticidad mediante igualdad de varianzas.

Posteriormente al comprobar que los datos no fueron paramétricos se decidió efectuar la prueba estadística de *Kruskal-Wallis* para comparar el ancho de prosoma entre playas. Se obtuvieron los siguientes resultados tabla.

Tabla 15- Resultados de la prueba estadística Kruskal-Wallis.

Playas	Tamaño muestra	Rango promedio	Valor de P
Playa km. 155	17	32.2941	0.169096
Playa flamenco	14	44.2143	
Playa Icahao	29	30.3276	
Playa km. 148	7	32.9286	

La prueba de *Kruskal-Wallis*, que considera las medianas de las muestras, arrojó una valor de $P= 0.169096$, siendo este valor mayor que 0.05, se concluye que no existe una diferencia significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza, por lo tanto se infiere que la población de machos de *L. polyphemus*, en las costas de Champotón presentan un ancho de prosoma estadísticamente igual en todas las playas evaluadas.

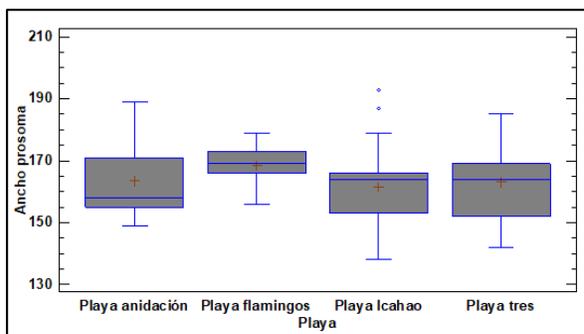


Fig. 10- Gráfico de cajas y bigotes del ancho de prosoma entre sitios. Machos.

7.4.2.- Comparación de tallas ancho del prosoma (hembras) entre playas

Al igual que los datos de los machos, el de las hembras resulto ser no pamétrico, por lo que el estadístico que se eligió para comparar las tallas del ancho de prosoma entre hembras de diferentes playas fue el mismo con la prueba de *Kruskal-Wallis*, tabla 19.

Tabla 16- Resultados de la prueba estadística *Kruskal-Wallis*.

Playas	Tamaño muestra	Rango promedio	Valor de P
Playa de anidación	8	13.625	0.0967768
Playa flamingo	6	14.3333	
Playa Icahao	19	23.8158	
Playa tres	6	22.0833	

La prueba de *Kruskal-Wallis*, que considera las medianas de las muestras, arrojó un valor de $P = 0.0967768$, siendo este valor mayor que 0.05, se concluye que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza, por lo tanto se infiere que la población de hembras de *L. polyphemus*, en las costas de Champotón presentan un ancho de prosoma estadísticamente igual en todas las playas evaluadas.

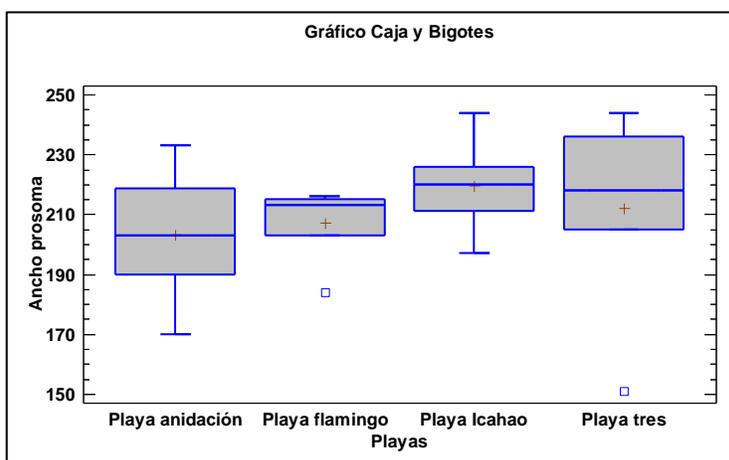


Fig. 11- Gráfico de cajas y bigotes del ancho de prosoma de hembras entre sitios

7.5.- Comparación de tallas del ancho de prosoma para machos vivos entre temporada (secas y nortes)

Se efectuó una exploración estadística de los datos con la finalidad de identificar la parametricidad, las pruebas empleadas para determinar lo anterior fueron: histograma de frecuencias, prueba de normalidad de *Shapiro-Wilks* modificado y la prueba de homocedasticidad mediante igualdad de varianzas.

Posteriormente a comprobar que los datos no fueron paramétricos se efectuó la prueba estadística de *Wilcoxon (Mann-Whitney U)*. Los resultados se presentan en la tabla.

Tabla 17- Resultado de la prueba estadística Wilcoxon (Mann-Whitney U).

	Grupo 1 nortes	Grupo 2 secas
Numero de muestra (n)	67	34
Mediana	163.66	154.18

Con una P= **0.0043**

A partir del estadístico efectuado se obtuvo un valor de $p=0.0043$, que resulta menor a 0.05, por lo que se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los grupos evaluados, con un nivel de confianza del 95.0%, se descarta la hipótesis nula en favor de la alternativa, por lo tanto se infiere que la población de machos de *L. polyphemus*, en las costas de Champotón presentan diferencias significativas en cuanto a las talla del ancho de prosoma entre la temporada de secas y nortes.

7.6.- Relación peso-talla

Relación peso-talla de machos en temporada de secas

La evaluación de la relación peso-talla, se realizó en general (machos y hembras) y abarcando ambas temporadas de muestreo, los datos atípicos fueron eliminados realizando el modelo con una $n= 132$ individuos. Se efectuó la exploración de diversos modelos predictivos mediante el software *Statgraphics 18*, el modelo exponencial fue el que más se ajustó con un coeficiente de determinación (r^2) de 94.3487, posteriormente se efectuó el resumen estadístico (tabla 12).

Tabla 18. Resumen estadístico de correlación lineal simple, modelo exponencial

Valores obtenidos mediante correlación lineal simple				
Tamaño de muestra (n)	Coefficiente de Correlación (r)	R-cuadrada (r^2) coeficiente de determinación	α	β
132	0.971333	94.3487	0.0192342	3.09015

Formula del modelo

$$Y = \exp (a + b \cdot X)$$

Donde:

a = constante de la regresión

b = constante de la regresión

X = Talla del ancho de prosoma

Hipótesis:

- ✓ H0: no existe diferencias, la relación es isométrica.
- ✓ Ha: existen diferencias, la relación es alométrico.

Con los valores anteriormente mencionados se sustentó la conclusión estadística siguiente: Se obtiene una $p= 0.000012$, por lo tanto se rechaza la existencia de isometría entre las variables (longitud) ancho de prosoma (peso) gramos. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula en favor de la alternativa, es decir existe una relación alométrica.

El valor de b puede variar dependiendo del número de muestras disponibles (n), la disponibilidad de alimento, el grado de perturbación de las playas y el estado reproductivo de los ejemplares, puesto que el desarrollo gonadal en las hembras influye entre un 50 a 73 % en el peso de estas (James-Pirri *et al.*, 2005).

Dado que el modelo se ajusta a un exponente $\beta = 3$ se puede determinar que el crecimiento alométrico es negativo, lo que se traduce en que el organismo primero crece en talla y posteriormente aumenta en peso (masa), concordando con (Gómez 1994; Rosas-Correa y Ortiz León, 2000; Rosales *et al.*, 2001).

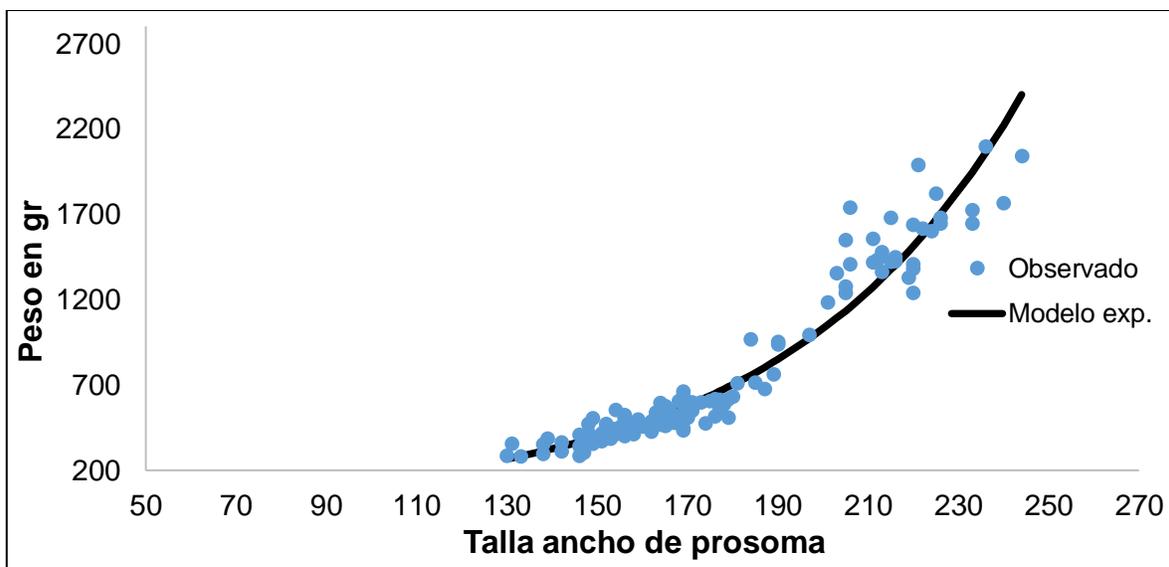


Fig. 12- Gráfico modelo exponencial (línea continua negra), valores observados (puntos azules).

7.7.- Granulometría de los sitios de muestreo

7.7.1.- Granulometría de las playas evaluadas durante el muestreo en la temporada de secas

Se observa que tanto la zona supramareal e inframareal de la playa flamenco (P1) y playa Icahao (P2) presentaron mayor cantidad de granos de arena gruesos (1 a 0.05 mm) (Fig.14 y tabla 31).

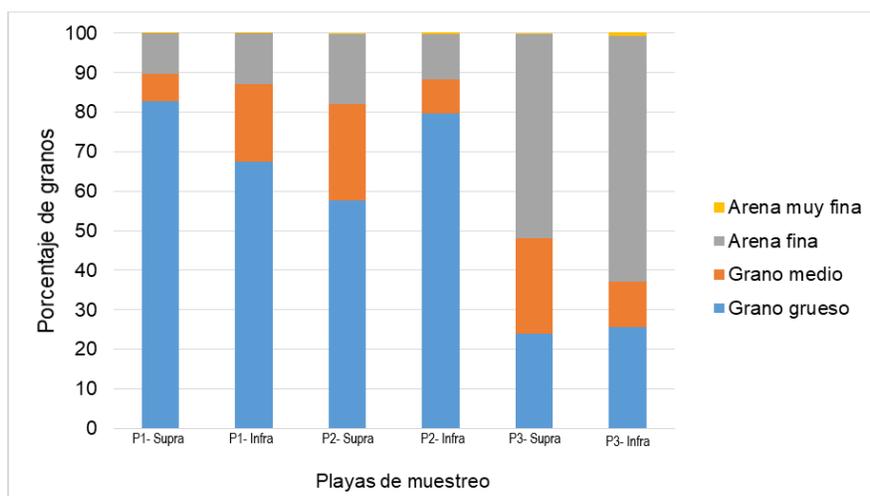


Fig. 13- Concentraciones de granulometría en los sitios: playa flamenco (P1), playa Icahao (P2) y playa km. 148 (P3).

Tabla 19- Porcentaje del tamaño de grano en las playas en la temporada de secas: playa flamenco (P1), playa Icahao (P2), playa km. 148 (P3) y playa km. 155 (P4).

Porcentajes del tamaño de grano en las playas muestreadas					
P1- Supra	P1- Infra	P2-Supra	P2-Infra	P3-Supra	P3-Infra
82.74	67.46	57.58	79.71	24.08	25.64
6.91	19.65	24.52	8.51	24.14	11.39
10.28	12.83	17.64	11.61	51.45	62.23
0.05	0.03	0.27	0.61	0.3	1.71

7.7.2.- Granulometría de las playas evaluadas durante el muestreo en la temporada de nortes

De acuerdo con los valores granulométricos obtenidos durante la temporada de nortes se tiene que las playas flamenco (P1), Icahao (P2) y playa km. 148 (P3) no han presentado un cambio sustancial en la granulometría de sus arenas, puesto que tal como fue registrado en secas para las playas P1 y P2 el porcentaje de granos gruesos fue superior a los demás, cabe destacar que la playa P3 mantuvo la talla de arena de tipo grano fino como dominante al igual que en la temporada de secas (Fig. 15 y tabla 32).

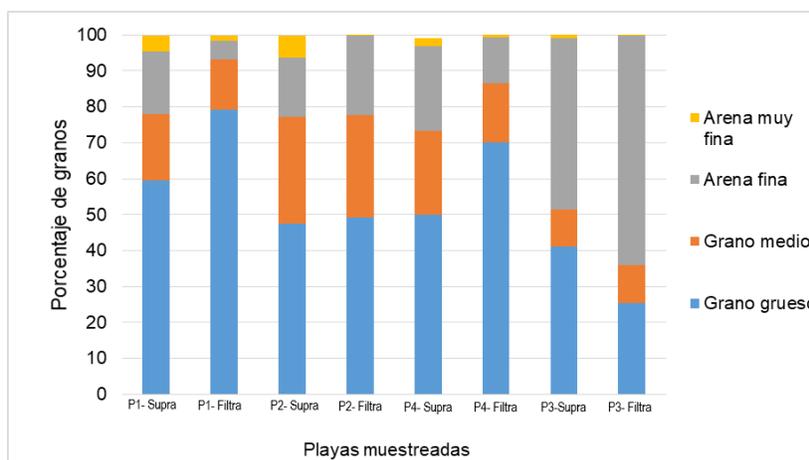


Fig. 14- Concentraciones de granulometría en los sitios: playa flamenco (P1), playa Icahao (P2), playa km. 148 (P3) y playa km. 155 (P4).

Tabla 20- Porcentaje del tamaño de grano en las playas en la temporada de secas: playa flamenco (P1), playa Icahao (P2), playa km. 148 (P3) y playa km. 155 (P4).

Porcentajes del tamaño de grano en las playas muestreadas							
P1- Infra	P1- Filtra	P2- Infra	P2-Filtra	P3-Infra	P3-Filtra	P4-Infra	P4- Filtra
59.41	79.1	47.57	49.3	49.85	70	41.1	25.47
18.66	14.1	29.58	28.5	23.5	16.6	10.26	10.4
17.28	5.03	16.5	22.03	23.54	12.8	47.75	63.89
4.55	1.68	6.27	0.071	2.142	0.58	0.87	0.233

7.8.- Características de las playas muestreadas y cantidad de organismos encontrados

El sitio uno de muestreo (playa flamencos) estuvo comprendido por una franja de playa de 250 m paralelos a la línea de costa, dicho sitio presento a lo largo de toda su extensión una playa con escasa de vegetación tipo manglar, pues tan solo se encontraron entre cinco a nueve arboles de la especie *Avicennia germinans*, la determinación de esta especie resulto evidente dado que suele presentar neumatóforos, dichas estructuras resultaron desfavorables para la especie dado que por la acción de la mareas algunos de estos individuos se quedan atrapados en estas estructuras vegetales imposibilitando su retorno al agua, teniendo como resultado una muerte inminente (anexo 2).

Entre otras características de la playa se puede destacar la ausencia absoluta de una costa con piedras grandes, y un alto contenido de material de vidrio y PET, la visibilidad resultaba posible hasta los nueve metros mar adentro. Las conductas que lograron apreciar de estos individuos a lo largo de la playa fueron; machos solitarios, juveniles solitarios en su gran mayoría encontrados dentro del agua en secas. Durante la temporada de nortes múltiples parejas en amplexo, machos y hembras solitarias. Cabe destacar que no se encontraron organismos juveniles o machos satélites.

En cuanto a las características abióticas del sitio se destaca una evidente diferencia entre los parámetros físico-químicos en la columna de agua y el agua de filtración, se encontró que los valores de salinidad, conductividad, temperatura y pH en la columna de agua son mayores que en el agua de filtración, por otra parte el oxígeno disuelto en agua de filtración es mayor al de la columna de agua, por lo que se puede inferir que los nidos pueden presentar un entorno con características propias ajenas al ambiente circundante (Figura 16 y Tabla 33).

La playa presenta tanto de forma superficial como subterránea (30 cm) un tipo de granulometría en su mayoría gruesa, propia de hábitats críticos de esta especie, además se encontró que la materia orgánica presente en la oquedad donde se tomó los parámetros físico-químicos, resultó ser más baja que la materia orgánica de la superficie, cuestión que resulta beneficiosa para los nidos de esta especie.

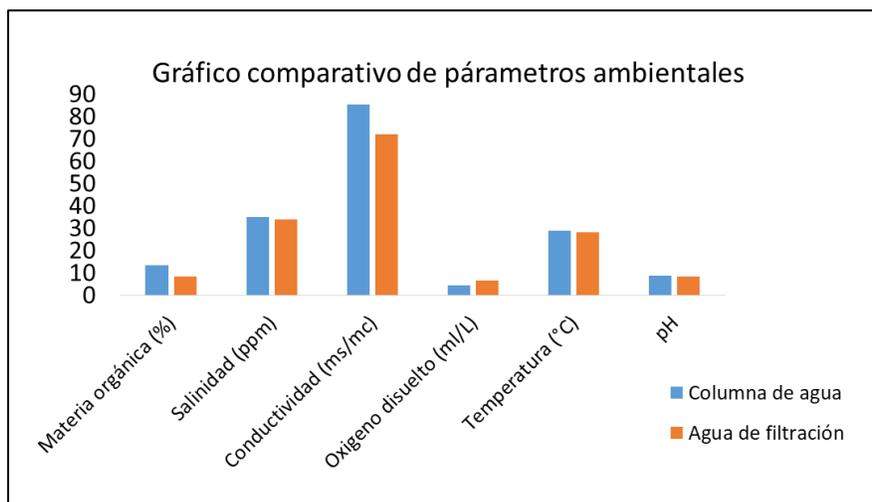


Fig. 15- Comparación de parámetros ambientales.

Tabla 21- Valores de parámetros físico-químicos y materia orgánica.

	Columna de agua	Agua de filtración
Pendiente de inclinación	18°	
Materia orgánica (%)	13.25	8.38
Salinidad (ppm)	35	34
Conductividad (ms/mc)	85.4	72
Oxígeno disuelto (ml/L)	4.29	6.7
Temperatura (°C)	29	28.6
pH	8.7	8.2

El sitio dos de muestreo (playa Icahao) estuvo comprendido por una franja de playa de 230 m paralelos a la línea de costa, dicho sitio presenta a lo largo de toda su extensión abundante vegetación tipo manglar, dominada por árboles de la especie *Avicennia germinans* ubicados sobre la línea de costa; es decir sobre la arena, por otra parte se tuvo una escasa presencia de *Rhizophora mangle* localizada exclusivamente en la zona inframaral.

Esta playa se caracterizó por presentar un número elevado de limulus muertos, lo anterior podría atribuirse a la abundancia de raíces tipo neumatóforos, que aprisionan a estos organismos durante la baja mar colocándolos en una posición de vulnerabilidad ante el desecamiento solar o la asfixia debido a la poca movilidad que pueden tener estos individuos en este entorno.

Otro punto que podría destacar en esta playa es la robusta cresta de arena que se levantaba a unos metros de la línea de costa, puesto que esta arena podría adherirse a los organismos que se encuentran en posición dorsal sobre la arena y varados en la playa, ya sea por la acción de las mareas o por la acción eólica, dando como resultado una capa de arena que imposibilita el captar oxígeno puesto que las branquias en forma de libro tienen a secarse con mayor rapidez cuando se encuentran cubiertas de arena y expuestas al sol.

Las conductas que se lograron apreciar de estos individuos a lo largo de la playa en secas fueron; machos solitarios en su mayoría muertos, un solo juvenil vivo encontrado en neumatóforo, hembras muertas, cabe destacar que no se encontró ninguna en amplexo y resalta una abundante presencia de exuvias. Se contabilizó para este sitio un total de 50 exuvias encontradas a orillas del mar, atoradas en la vegetación y algunas enterradas en la arena, cabe señalar que algunas no se contabilizaron debido a su deterioro. Por otro lado en la temporada de secas se encontró gran presencia de parejas en amplexo, una pareja con macho satélite, hembras y machos solitarios.

Cabe señalar que se observó la presencia de tres nidos, que presentaron huevos viables, lo anterior podría definir a esta playa como una playa de anidamiento ya que cumple con algunas características relevantes para que se lleve a cabo esta acción por parte de esta especie, entre estas características se encontraron granos de arena de talla gruesa, pendiente de playa de 16° de inclinación, además considerando la presencia de caparzones de temporadas anteriores. Se tiene evidencia que es una playa frecuentada por organismos adultos aunado a los nidos, resultaría en evidencia de una playa de anidamiento.

En cuanto a las características físico-químicas que presento esta playa fueron similares a las encontradas en otras playas. La columna de agua presento mayor valor en los siguientes parámetros: salinidad, conductividad, temperatura y pH, resulta interesante el haber encontrado en el agua de filtración valores evidentemente superiores de oxígeno disuelto que en la columna de agua, lo anterior suele ser plausible pues estos animales, constantemente están en busca de playas aptas para la anidación (fig 17, tabla 34).

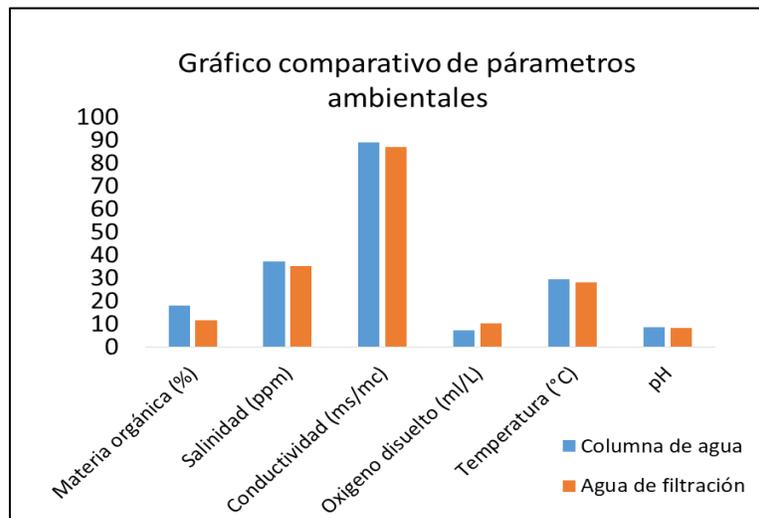


Fig. 16- Comparación de parámetros ambientales.

Tabla 22- Valores de parámetros físico-químicos y materia orgánica.

	Columna de agua	Agua de filtración
Pendiente de inclinación	16°	
Materia orgánica (%)	17.77	11.38
Salinidad (ppm)	37	35
Conductividad (ms/mc)	88.9	87
Oxígeno disuelto (ml/L)	7.26	10.13
Temperatura (°C)	29.4	28
pH	8.6	8.2

Por otra parte el haber obtenido valores de materia orgánica más bajos en la zona del agua de filtración, indica que existe una baja concentración de materia orgánica en el subsuelo costero de esa playa, cuestión que favorece los nidos, disminuyendo la posibilidad anoxia en el sedimento.

El sitio tres de muestreo (playa km.148) estuvo comprendido por una franja de playa de 243 m paralelos a la línea de costa, dicho sitio fue el único con ausencia total de vegetación a lo largo de toda su extensión, pese a lo anterior se encontró a lo largo de la playa cúmulos de basura orgánica marina compuesta por pasto marino y *Syringodium*.

Dicha playa presentó gran cantidad de exuvias en total se contabilizaron 95 de diferentes tallas, cabe mencionar que todas las exuvias que se registraron se encontraron en buenas condiciones sin embargo no fueron consideradas por presentar un marcado deterioro.

Esta playa se caracterizó por presentar un número muy bajo de organismos, en total se registraron 6 individuos, lo anterior podría atribuirse a la ausencia de vegetación y rocas, lo que posibilita el desplazamiento de estos organismos sin el inconveniente de quedar atrapados en neumatóforos.

Las conductas que se lograron apreciar de estos individuos a lo largo de la playa fueron para secas: 3 machos solitarios, 4 juveniles, cabe destacar que no se encontró ningún amplexo, macho satélite o hembra. Algo que resulto característico de este sitio fue haber avistado un individuo que recién había efectuado una muda con una consistencia corporal sumamente blanda y de color, por otra parte durante la temporada de nortes se encontró poca cantidad de organismos siendo encontrados: machos y hembras solitarias, y algunos amplexos, cabe destacar que no se encontró ningún organismo juvenil.

Algo en lo que difirió esta playa con las otras fue en la talla de los granos de arena encontrados puesto que el mayor porcentaje de granos de arena correspondió a arena fina tanto en la zona inframareal como en la zona supramareal.

En cuanto a los parámetros físico-químicos de la playa km. 148, se encontraron características similares a las otras playas muestreadas, los parámetros tales como; salinidad, conductividad, temperatura y pH, resultaron ser más altos en las lecturas tomadas en la columna de agua y bajos en el agua de filtración siendo únicamente el oxígeno disuelto el que fue encontrado con una ligera mayor concentración en este sitio de la playa.

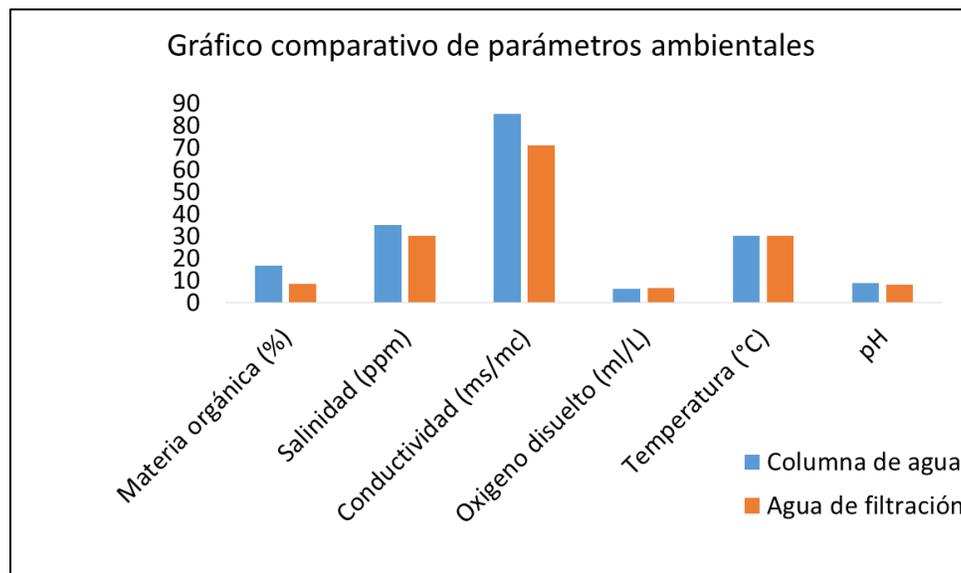


Fig. 17- Comparación de parámetros ambientales.

Tabla 23- Valores de parámetros físico-químicos y materia orgánica.

	Columna de agua	Agua de filtración
Pendiente de inclinación	14°	
Materia orgánica (%)	16.73	8.32
Salinidad (ppm)	35	30
Conductividad (ms/mc)	85.2	71
Oxígeno disuelto (ml/L)	6.2	12.9
Temperatura (°C)	30	30.3
pH	8.7	7.9

Playa cuatro (playa km. 155), durante el muestreo realizado en la temporada de nortes, se inspeccionaron diferentes sitios, como resultado de lo anterior se logró divisar una playa donde se congregaban muchas parejas en amplexo, sus características fueron similares a las playas Icahao y flamenco sitios donde se registró gran cantidad de organismos. Entre las características que vale la pena resaltar debido a la estrecha relación que tienen con la selección de playas para la anidación por parte de esta especie se destacan: pendiente que oscila entre los 15 a 20 ° de inclinación, granos de arena grandes mayores a 2 mm.

Se observaron pequeñas variaciones ambientales que presentan las playas incluyendo parámetros físico-químicos a una profundidad de 30 cm, en la cual estos organismos depositan sus huevecillos, en lo que se conoce como agua de filtración aquella agua que se encuentra a los 30 cm se encontró que los parámetros tales como: salinidad, conductividad, temperatura y pH, resultaron ser mayores a los que se encuentran en el agua de filtración, en contraste el oxígeno disuelto en dicha ubicación resulta ser mayor al de la columna de agua (fig 19 y tabla 36).

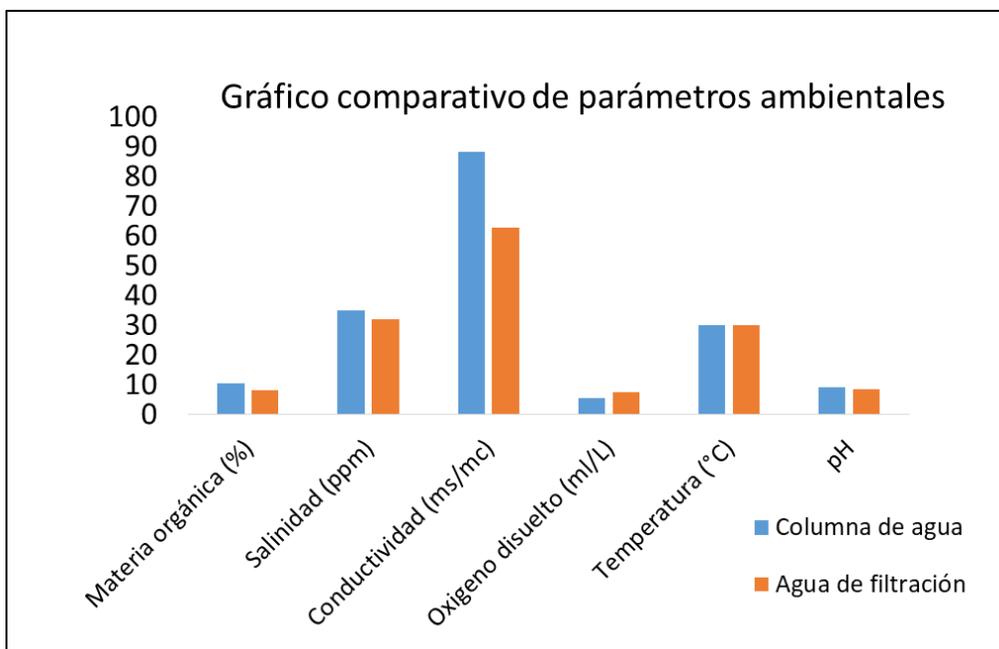


Fig. 18- Comparación de parámetros ambientales.

Por otra parte la cantidad de materia orgánica encontrada dentro de la oquedad donde se tomó los parámetros físico-químicos, resulto ser menor a la encontrada en el sedimento superficial, estas características presentes en la playa, aunado al haber observado parejas en amplexo en la playa podría indicar que es una playa de anidación puesto que las características para ser considerada un hábitat crítico para esta especie se cumplen (tabla 36).

Tabla 24- Valores de parámetros físico-químicos y materia orgánica.

	Columna de agua	Agua de filtración
Pendiente de inclinación	18°	
Materia orgánica (%)	10.43	7.91
Salinidad (ppm)	35	32
Conductividad (ms/mc)	88.1	62.7
Oxígeno disuelto (ml/L)	5.41	7.54
Temperatura (°C)	30	29.8
pH	9.21	8.34

La inclinación de esta playa resulta óptima para la anidación de esta especie, puesto que las pleamares pueden llevar agua a los nidos durante unas horas al día, y durante la bajamar permitir a los huevecillos desprenderse de la alta humedad que tienen durante la pleamar, de tal forma que la pendiente favorece un equilibrio entre la humedad y la oxigenación de los huevos.

Las conductas que se observaron en los organismos fueron las de parejas en amplexo, machos solitarios, hembras solitarias y una pareja con machos satélite, cabe destacar la ausencia total de juveniles. En cuanto al estado de conservación de la playa se puede argumentar que se encontró sin alteración antropogénica puesto que no se observó basura o escombros, además que se ubica en un sitio sin edificaciones en su alrededor, y posee pequeñas zonas con vegetación de tipo manglar (*Rhizophora mangle* y *Languncaria racemosa*)

8.- Discusión

8.1.- Composición demográfica

El total de 188 individuos obtenido de ambas temporadas nortes y secas fue menor al reportado por otros autores como Gómez-Aguirre quién en 1994 reporta un total de avistamientos de *L. polyphemus* en las playas de Campeche de 235 ejemplares y Rosas-Correa y Ortiz-León en el 2000 quienes reportan 634 ejemplares en las playas de Holbox a pesar de ser una isla distanciada de Champotón. Respecto a la composición demográfica en general de *L. polyphemus* se concuerda con resultados reportados por autores como Carmichael *et al.*, 2003, Botton *et al.*, 2003 y King *et al.*, 2015, quienes obtienen una mayor abundancia de machos respecto a las hembras como el presentado en este trabajo de investigación.

Los resultados obtenidos de forma puntual para la temporada de secas en el mes de mayo discrepan con lo reportado por Rosas- Correa y Ortiz-León en el 2000 en la isla de Holbox encontrando ellos la mayor cantidad de organismos en temporada de secas, por otra parte en estudios realizados en las costas de los Estados Unidos se tiene como la temporada de mayor avistamiento la estación de primavera (Botton y Loveland, 1989; James y Pirri, 2012).

Respecto a la temporada de nortes en el mes de noviembre a diferencia de la temporada de secas se registró un mayor número de individuos, resultado similar al reportado por Zaldivar-Rae *et al.*, 2017 en las costas de Chuburna Puerto, ya que en un trabajo anual que realizó en lunas llenas y lunas nuevas la mayor cantidad de registros se obtuvo en la temporada de nortes desde el mes de noviembre hasta enero, dicho autor indica que los resultados obtenidos son debido a las condiciones especiales que se dan en la playa por acción de los frentes fríos que se juntan con la acción lunar, por lo que las pleamares y bajamares son más pronunciadas.

En cuanto a los juveniles, comúnmente la cantidad de estos aparentemente reflejan el potencial de una especie biológica para ser representada en un sitio a lo largo de los años, pero esto no suele aplicarse a la especie *L. polyphemus*, pues trabajos como el de Shuter 1989, Mujimoto 1990 y Button, 1994 mencionan que el observar pocos individuos en estado juvenil puede deberse a que estos no se localizan en la zona supramareal, debido a que estos animales solo salen del agua durante el proceso de apareamiento y desove, por lo que los juveniles al ser inmaduros sexualmente se mantienen ocultos bajo la arena o solo realizan actividades en la zona inframareal, razón por la cual no suelen ser observados en la franja supramareal.

Pese a no haber obtenido una gran cantidad de observaciones directas de organismos juveniles en la temporada de secas, durante el muestreo en la misma temporada se encontró un total de 256 exuvias en buen estado (con todos los tagmas), valor que de acuerdo con lo mencionado por (Botton *et al.*, 2003; James-Pirri *et al.*, 2005) refleja la presencia de un gran número de juveniles dentro de las inmediaciones de los sitios de estudio. Por otra parte en la temporada de nortes aunque no se observó directamente organismos juveniles se contabilizo un total de 20 exuvias en buen estado, lo que indica que existe presencia de juveniles en la zona pero como se mencionó anteriormente se localizan en el bentos de la zona inframareal.

8.1.1.- Porcentaje de organismos vivos y muertos

El porcentaje general de “vivos-muertos” obtenidos de un total de 464 organismos incluyendo vivos, muertos y las exuvias encontradas para ambas temporadas secas y nortes difieren de los obtenidos por Rosas-Correa y Ortiz-León en el 2000, ya que reportaron para la zona costera de Holbox el 30.50% de organismos vivos, 34.53% de muertos y 34.96% de exuvias. Lo anterior se puede atribuir a las diferencias ambientales que presentaron los sitios de muestreo y al esfuerzo de muestreo, puesto que los sitios difieren sustancialmente en cuanto a la extensión de las playas y la accesibilidad de estas, además en el presente estudio se muestrearon menos playas. Cabe destacar que en la zona costera de Champotón no se encontraron trabajos de corte científico con el cual se pueda cotejar los resultados obtenidos.

Respecto al porcentaje de hembras muertas pese a tener un menor número de individuos, el 20% de estas se encontraron muertas, resultado alarmante que refleja la situación crítica en la que se encuentra la población de esta especie, puesto que las hembras son las responsables de mantener las poblaciones de organismos por el rol que desempeñan en la procreación (Leschen *et al.*, 2006; Leschen y Correia, 2010; Kurz y James-Pirri, 2012), cabe destacar que las hembras muertas presentaban una gran cantidad de huevos por lo que se infiere que no lograron depositarlos en la arena para el desarrollo de una futura generación de individuos.

Por último el número de organismos jóvenes tuvo el porcentaje más alto de supervivencia en comparación con la de machos y hembras, además debido a la abundante presencia de exuvias con un total de 276 de ambas temporadas, según autores como (Berkson y Shuster, 1999; Zaldívar-Rae, et al., 2009) sugieren que pueden servir como un indicador de la presencia de organismos jóvenes, por lo que infiere que existe un gran número de estos individuos en la zona.

8.2.- Proporción por sexos

Respecto a los resultados obtenidos de una mayor proporción de machos respecto a las hembras se concuerda con resultados reportados por autores como Carmichael *et al.*, 2003, Botton *et al.*, 2003 y King *et al.*, 2015, quienes obtuvieron unas proporciones similares. Puesto que en dichos trabajos el número de hembras resulta ser mucho menor al de machos atribuyendo esto al periodo de muestreo pues se menciona que se realizó la colecta de datos durante lunas menguantes donde la agregación de esta especie es mínima y por ende las parejas en amplexo

Por otra parte se encontró diferencia con Rosas-Correa y Ortiz-León 2000 y Gómez-Aguirre y Yañez-Martínez 1995, ya que su proporción en secas fue de 1:1.2 y 1:1 respectivamente en temporada de secas. Lo anterior se atribuye a que durante los recorridos efectuados durante la temporada de secas no se encontraron parejas en amplexo sino únicamente machos solitarios.

8.3.- Tallas máximas y mínimas de los individuos por temporada

Durante la temporada de secas se identificó una hembra con un peso inferior a la media, esta carencia de peso se atribuye a que dicha hembra no presentó huevecillos, dicho peso resulta incipiente para una hembra de estos organismos, concordando con lo mencionado por (James-Pirri *et al.*, 2005) quienes mencionan que entre el 50 al 73% del peso de las hembras es producto de los huevos que estas contienen. Por otra parte Brockmann, 1990, menciona que los organismos pueden ser encontrados en estado adulto aun sin presentar maduración de las gónadas, pues se ha observado que algunos alcanza la madurez gonadal hasta después de nueve meses a partir de la última muda.

Registrar una hembra con tallas tan pequeñas que incluso fue superada por las tallas del macho más grande, la talla tan pequeña de esta hembra puede ser atribuible a una mala alimentación y deficiencias en el desarrollo cuando aún efectuaba mudas, de tal forma que se estaría presentando una deficiencia en el

crecimiento por cuestiones ambientales como es mencionado por Riska, 1981 y Botton, 1984, quienes señalan como principal causante de tallas menores en la especie *L. polyphemus* la presión ambiental, falta de alimento o playas con alto impacto antropogénico, como fue el caso de playa flamencos, la cual contenía gran cantidad de basura como vidrios, PET entre otros contaminantes.

Pese a no cuantificar el peso de esta hembra nos pudimos percatar al sostenerla que no pesaba mucho y que en la parte del prosoma no presentaba una carga de huevos visible que comúnmente se puede observar. Shuster y Botton, 1985 y Leschen *et al.*, 2006, mencionan que las gónadas de estos organismos tardan en madurar entre seis a nueve meses después de la última muda, por lo que se puede inferir mediante el desgaste, coloración y número de epibiontes que presentó el caparazón que la hembra acababa de pasar por su última muda.

8.4.- Relación peso-talla

Se encontró que tanto los machos y hembras de nortes y secas presentaron un crecimiento de alométrico negativo dado que $\beta < 3$, por lo que el “*mex*” crece en talla y posteriormente aumenta en peso (masa) concordando con (Gómez 1994; Rosas-Correa y Ortiz León, 2000; Saldívar-Rae, 2009; 2017). Por otra parte algunos autores como (Brockmann, 1990; Leschen *et al.*, 2006) han mencionado que el crecimiento podría ser isométrico en juveniles o en machos con escaso desarrollo, puesto que en estos organismos las tallas pueden fluctuar derivado de las mudas del exoesqueleto (en el caso de juveniles), el nivel de desarrollo, la disponibilidad de alimento y la presión ambiental, creando múltiples datos sesgados y con altos picos entre el peso de los organismos.

Por otra parte el valor de β en los tres modelos efectuados se ajustó con un valor menor a tres por lo que para este estudio se puede inferir que la alometría es negativa por lo que las poblaciones de *L. polyphemus*, tenderán a crecer en talla para posteriormente aumentar en peso, dicho valor resulta concordante con los obtenidos en otros trabajos (Gómez 1994; Rosas-Correa y Ortiz León, 2000; Zaldívar-Rae, 2009).

8.5.- Granulometría de las playas evaluadas

Algo que resulta interesante de observar y contrastar es que en estas dos playas se encontró una gran cantidad de organismos adultos, en particular en la playa flamencos se encontró por la noche gran cantidad de machos solitarios y la presencia parejas en amplexo, durante la inspección matutina se avistó gran cantidad de ejemplares muertos tanto hembras como machos, la presencia de individuos adultos en la zona costera supramareal, según cuestiones biológicas mencionadas por Button, 1988; Shuter, 1989; Brockmann, 1991, estos animales únicamente salen a tierra firme durante eventos de reproducción y anidación. La playa Icahao presentó gran cantidad de muertos y pocos vivos, lo que de acuerdo con lo mencionado por (Rosales-Raya, 1999; Sandoval-Gio *et al.*, 2018) resultaría un indicador de una playa de anidación puesto que los organismos muertos son reflejo de la agregación que tuvo lugar en la playa, tal como dichos autores plasmaron en sus resultados.

Por otra parte una condición ambiental que es sumamente importante en las playas de anidación es la talla de grano de la arena, mencionado en otros trabajos entre los que resaltan Button *et al.*, 1988, los especímenes de *L. polyphemus* tienen cierta predilección por realizar el apareamiento y anidación en playas con arena que presente una talla de granos de entre 1 mm a 0.05 mm, lo anterior debido a que esta talla de grano aunado a una playa con pendiente entre los 15 a 25 ° de inclinación permite que las condiciones físico-químicas de los nidos sean únicas e idóneas para el óptimo desarrollo de los huevos (Penn y Brockmann 1994; Rosales-Raya *et al.*, 1997; Weber y Carter 2009).

De acuerdo con el análisis granulométrico (tabla 31), se determinó que para playa flamencos el 82.74 % de la arena en la zona supramareal es consistente para la categoría de grano grueso, en cuanto a la zona inframareal el 67.46% es de igual forma grano grueso. Por otra parte para la playa Icahao en la zona supramareal el 57.58 % de la arena corresponde a grano grueso al igual que la zona inframareal con un 79.71 %, aunado a otras condiciones ambientales evaluadas. Se pudo corroborar que la especie *L. polyphemus*, tiende a estar presente en playas con

granos de arena grueso y con características físico-químicas particulares de la playa (tabla 31), por lo que se concuerda con lo mencionado por (Brockman, 2003) quien estipulan que las playas de anidación presentan las condiciones ambientales anteriormente mencionadas, por lo que se puede inferir que son playas de anidación.

8.6.- Características de las playas muestreadas y cantidad de organismos encontrados

Las playas muestreadas presentaron valores similares en cuanto a los parámetros físico-químicos, encontrados en la columna de agua y en el agua de filtración, donde se observó diferencias en los valores fue entre los valores encontrados en la columna de agua y el agua de filtración, (Mary-Jane y James-Pirri, 2012; Zaldivar-Rae, 2016) mencionan que el agua de filtración juega un papel fundamental en el desarrollo óptimo de los huevos por el microambiente que en esta zona se desarrolla, se concuerda con lo mencionado por dichos autores puesto que se observó en todas las playas diferencias entre los valores de la columna de agua y el agua de filtración. El agua de filtración presenta características particulares derivadas de la filtración de los granos de arena, por lo que tienden a suavizar el agua (Sekiguchi *et al.*, 1988; Brockman, 2003), lo anterior concuerda con lo encontrado en los sitios puesto que todos los valores exceptuando el de oxígeno disuelto fueron encontrados en menor grado de concentración en el agua de filtración.

De acuerdo con autores como (Rosales-Raya, 1999; Zaldivar-Rae *et al.*, 2009; Sandoval-Gio *et al.*, 2018) mencionan que la granulometría juega un papel fundamental en la selección del sitio de anidación por parte de la especie *L. polyphemus*, se considera que este organismo tiende a anidar en playas con arena gruesa debido a que estos granos permiten un mejor flujo de agua y por ende una mejor oxigenación de los huevos al igual que un mejor equilibrio hídrico. El presente estudio concordó con lo mencionado puesto que en las playas con granos de arena grueso se observó que la concentración de oxígeno disuelto en el agua de filtración

era mucho más elevada que en la columna de agua, además en la playa tres donde los granos de arena resultaron ser finos la concentración de oxígeno disuelto resulto ser ligeramente mayor a la de la columna de agua.

Las características encontradas en playa km.155, Icahao y flamenco, concuerdan con lo mencionado por (Brockman, 2003; Zaldivar-Rae *et al.*, 2009; Burton *et al.*, 2009; Sandoval-Gio *et al.*, 2018) puesto que los hábitats críticos donde se encuentra la mayor cantidad de organismos son aquellos con pendientes entre 15 a 20 ° de inclinación, granos de arena gruesos y con mareas pronunciadas.

9.- Conclusiones

- Se registraron 188 individuos, correspondiendo el 31.68% a ejemplares vivos, 8.83% a muertos y 59.48% a exuvias.
- La mayor densidad de individuos de observo en la temporada de nortes con una densidad de 7.15 machos por hora, (7.15 ind/1 hr).
- Para la población de *L. polyphemus* en la costera de Champotón, Campeche, la temporada donde se registra más cantidad de organismos resulto ser la temporada de nortes.
- Los machos se encontraron mejor representados con una proporción de sexos (donde M es machos y H hembras) 0.37 H: 1 M.
- Los individuos juveniles no suelen encontrarse en la zona supramareal pero mediante el número de exuvias se puede estimar su presencia, teniendo en Champotón una buena presencia de juveniles en la temporada de secas.
- El crecimiento tanto de machos como hebras en ambas temporadas resulto ser alométrico negativo $\beta > 3$, por lo que el “*mex*” crece en talla y posteriormente aumenta en peso (masa).
- Los valores de parámetros físico-químicos como; pH, salinidad, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto, presentan variación evidente entre los obtenidos en el agua de la columna de agua y el agua de filtración.
- Las playas con granos de arena gruesos de entre 2 mm y 0.5 mm, resultan ser las que poseen mayor cantidad de especímenes en este estudio.
- La metodología que resulta ser mejor aplicada en la zona de Champotón, consiste en transectos paralelos a la línea de costa de un ancho con respecto a la zona terrestre de cuatro metros y una extensión de entre 200 a 700 metros.
- Resulta prioritario para futuras investigaciones y planes de conservación del hábitat de la especie *L. polyphemus*, el tomar en consideración las características propias de las playas de anidación puesto que, esta especie es altamente selectiva en cuanto al sitio donde realiza la anidación.

10.- Bibliografía

- Agraz-Hernández, C., Ostin-Sáenz, J., García-Zaragoza, C., Chan-Canul, E., & Chan-Keb, C. de los ecosistemas de manglar. La Biodiversidad en Campeche: estudio de estado, 620.
- Balvanera, P., F. Castellarini, C. Pacheco, U. Carrillo, (2008). 'Concesiones de agua subterránea por región administrativa', escala: 1:1000000. Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), Universidad Nacional Autónoma de México Campus Morelia.. Proyecto: FQ003, Extraído del proyecto FQ003: Servicios Ecosistémicos de México: patrones, tendencias y prioridades de investigación. Financiado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) México.. Michoacán, México.
- Berkson, J., & Shuster Jr, C. N. 1999. The horseshoe crab: the battle for a true multiple-use resource. *Fisheries*, 24 (11), 6-10.
- Botton, M. L. 1984. Diet and food preferences of the adult horseshoe crab *Limulus polyphemus* in Delaware Bay, New Jersey, USA. *Marine Biology*, 81(2), 199-207.
- Botton, M. L., Loveland, R. E., & Tiwari, A. 2003. Distribution, abundance, and survivorship of young-of-the-year in a commercially exploited population of horseshoe crabs *Limulus polyphemus*. *Marine Ecology Progress Series*, 265, 175-184.
- Botton, M. L., R. E. Loveland & T. R. Jacobsen. 1988. Beach erosion and geochemical factors influence on spawning success of horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) in Delaware Bay. *Mar. Bull.*, 99 (3): 325-332.
- Brockmann, H. J. 1990. Mating behavior of horseshoe crabs, *Limulus polyphemus*. *Behaviour*, 114 (1), 206-220.
- Burse, C. R. (1977). Histological response to injury in the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. *Canadian Journal of Zoology*, 55(7), 1158-1165.
- Cohen, J. A., & Brockmann, J. H. 1983. Breeding activity and mate selection in the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. *Bulletin of Marine Science*, 33 (2), 274-281.
- Davies, B. E. (1974). Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter 1. *Soil Science Society of America Journal*, 38(1), 150-151.
- Espejel, I. 1984. "Dunas costeras en Yucatán". *Biótica* 19(2). Xalapa, Ver., México.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Talleres de Offset Larios, 4a. ed., 217 pp.

- García-Oliva, F., Camou, A., & Maass, J. M. (2002). El clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano. *Historia natural de Chamela*, 3-10.
- Gomez-Aguirre, S. 1980. Ensayo demográfico de *Limulus polyphemus* L. del sureste del Golfo de México (ARTROPHODA-MEROSTOMATA). Mem. IV Congr. Nal. de Zool. Univ. Autón. de B. California., 7-12 de Dic. p. 89.
- Gómez-Aguirre, S. 1993, Cacerola de Mar (*Limulus polyphemus* L.) en la Península de Yucatán, In Biodiversidad Marina y Costera de México, México, 885pp.
- INE. 1993. Programa de manejo de la Reserva Especial de la Biosfera de Ría Lagartos, Yucatán. SEDESOL. México.
- INEGI y CONABIO, (2014). 'Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional)', escala: 1:250000. edición: 2. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.. Aguascalientes, Ags., México.
- Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995). 'Edafología'. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México.
- ITESM. 1992a. Carta topográfica de la Reserva Especial de la Biosfera Ría Lagartos. ITESM. Campus Guaymas. Unidad de Información Biogeográfica. México, escala 1:50,000.
- James-Pirri, M. J., Tuxbury, K., Marino, S., & Koch, S. (2005). Spawning densities, egg densities, size structure, and movement patterns of spawning horseshoe crabs, *Limulus polyphemus*, within four coastal embayments on Cape Cod, Massachusetts. *Estuaries*, 28(2), 296-313.
- King, T. L., Eackles, M. S., Spidle, A. P., & Brockmann, H. J. 2005. Regional differentiation and sex-biased dispersal among populations of the horseshoe crab *Limulus polyphemus*. *Transactions of the American Fisheries Society*, 134(2), 441-465.
- Kurz, W., & James-Pirri, M. J. 2002. The impact of biomedical bleeding on horseshoe crab, *Limulus polyphemus*, movement patterns on Cape Cod, Massachusetts. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 35(4), 261-268.
- Leschen, A. S., Grady, S. P., & Valiela, I. (2006). Fecundity and spawning of the Atlantic horseshoe crab, *Limulus polyphemus*, in Pleasant Bay, Cape Cod, Massachusetts, USA. *Marine Ecology*, 27(1), 54-65.
- Leschen, A. S., y Correia, S. J. 2010. Mortality in female horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) from biomedical bleeding and handling: implications for fisheries management. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 43(2), 135-147.

- Mejía-Ortíz, L. M. 2006. Ficha técnica de *Limulus polyphemus*. En: (compilador). Fichas de especies de crustáceos enlistadas en la Norma Oficial Mexicana -059-SEMARNAT-2001. Universidad de Quintana Roo -Cozumel, Lab. de Bioespeleología y Carcinología Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. México, D.F.
- Nolan, M. W., & Smith, S. A. (2009). Clinical evaluation, common diseases, and veterinary care of the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. In *Biology and conservation of horseshoe crabs* (pp. 479-499). Springer, Boston, MA.
- Ocaña, D., & Lot, A. (1996). Estudio de la vegetación acuática vascular del sistema fluvio-lagunar-deltaico del Río Palizada en Campeche, México. *Anales del Instituto de Biología serie Botánica*, 67(002).
- Pérez, C., y Quijano, R. (2010). La competitividad territorial de los municipios del estado de Campeche". *Ciencias Administrativas. Teoría y Praxis*, (1), 7.
- Riska, B. (1981). Morphological variation in the horseshoe crab *Limulus polyphemus*. *Evolution*, 35(4), 647-658.
- Rosales-Raya M (1999) Caracterización ambiental de sitios de anidación de *Limulus polyphemus* L. Estudio en Isla Aguada, Isla Pájaros, Cabrera e Icahao, Campeche, México. (1990–1992). Unpublished Master's Thesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rosas-Correa, C, O,. & Ortiz-León, H, J. 2000. Cacerolita de mar, *Limulus polyphemus* en Holbox, Quintana Roo, México. U.S.A: Académica española.
- Rudloe A. 1980. The breeding behavior and patterns of movement of horseshoe crab *Limulus polyphemus*, in the vicinity of breeding in Apalaches Bay, Florida. *Estuaries*, 3(3):177-183.
- Rudloe, A. 1985. Variation in the expression of lunar and tidal behavioral rhythms in the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. *Bulletin of Marine Science*, 36(2), 388-395.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México, 432 pp.
- Sandoval-Gío, J. J., Ortiz-León, H. J., Rosas-Correa, C, O. & Correa-Valdez, T, de J. 2016. Disminución de poblaciones de cacerolita de mar *Limulus polyphemus* en la reserva ría lagartos, Yucatán: una perspectiva socio-económica. In: *El desarrollo regional frente al cambio ambiental global y la transición hacia la sustentabilidad*. Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional, A. C, México.
- Secretaría de Gobernación (SEGOB).1988Centro Nacional de Estudios Municipales, Gobierno del Estado de Yucatán, Los Municipios de Yucatán,

Enciclopedia de los Municipios de México. Talleres Gráficos de la Nación, México, D.

SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM 059 SEMARNAT 2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Visto el 23 de enero de 2017 en la página web:http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf.

Shuster, C. N., & Botton, M. L. 1985. A contribution to the population biology of horseshoe crabs, *Limulus polyphemus* (L.), in Delaware Bay. *Estuaries and Coasts*, 8(4), 363-372.

Smith, D. R., Millard, M. J., & Carmichael, R. H. 2009. Comparative status and assessment of *Limulus polyphemus* with emphasis on the New England and Delaware Bay populations. In *Biology and conservation of horseshoe crabs*, pp. 361-386.

Steubing, L., Godoy, R., & Alberdi, M. (2002). Métodos de ecología vegetal Editorial Universitaria. Santiago, Chile, 345.

Tamayo, J.L. 1990. Geografía moderna de México. Editorial Trillas, 10a. ed. México, 400 pp.

Valdez-Casillas, C. 1993. "Ría Lagartos. Estudio de caso". En A. Gómez-Pompa, R. Dirzo et al. (comps.). Proyecto de evaluación de áreas naturales protegidas de México. SEDESOL, México.

Velázquez, A., J. F. Mas, G. J. Díaz, S.R. Mayorga, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio, 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62: 21-37

Zaldívar-Rae, J., R. E. Sapién-Silva, M. Rosales-Raya & H. J. Brockmann. 2009. American Horseshoe Crabs, *Limulus polyphemus*, in Mexico: Open Possibilities. In: *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs*. J.T. Tanacredi et al. (eds.). Springer. USA. 97-113 pp.

11.- Anexos 1 Obtención de datos abióticos



Fig. 19- Calibración de sonda de pH A), B), C) buffers empleados, D) detalle de a pantalla de la sonda



Fig. 20- Tamizado de las muestras para granulometría. A) Vibradora, B) detalle muestra tamizada, C) aspecto general del análisis.

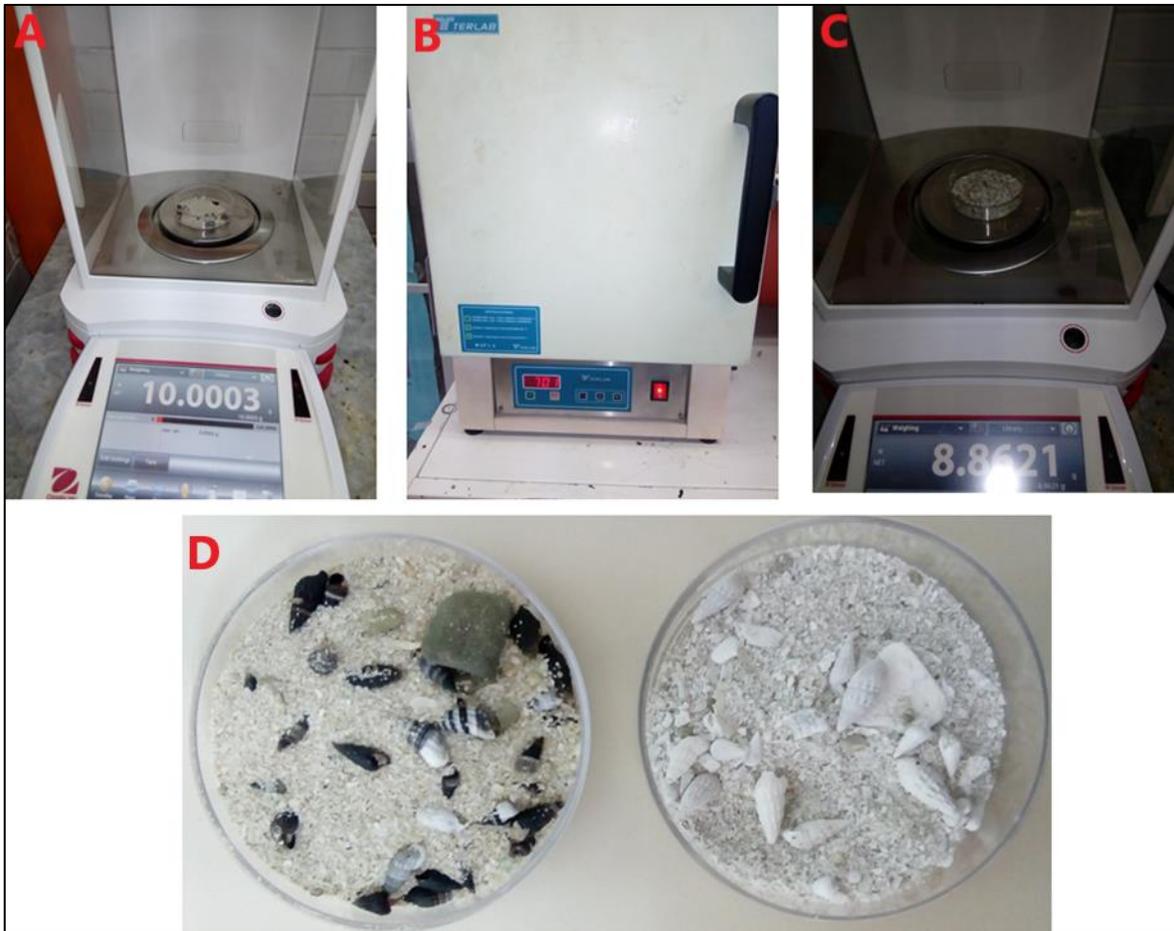


Fig. 21- Proceso para la obtención de materia orgánica de Dean, 1974. A) pesado de 10 gr de muestra, B) calcinación de la muestra, C) pesaje despues de la ignición, D) comparación de las muestras antes y despues de la calcinación.

12.- Anexo 2 Obtención de datos biológicos

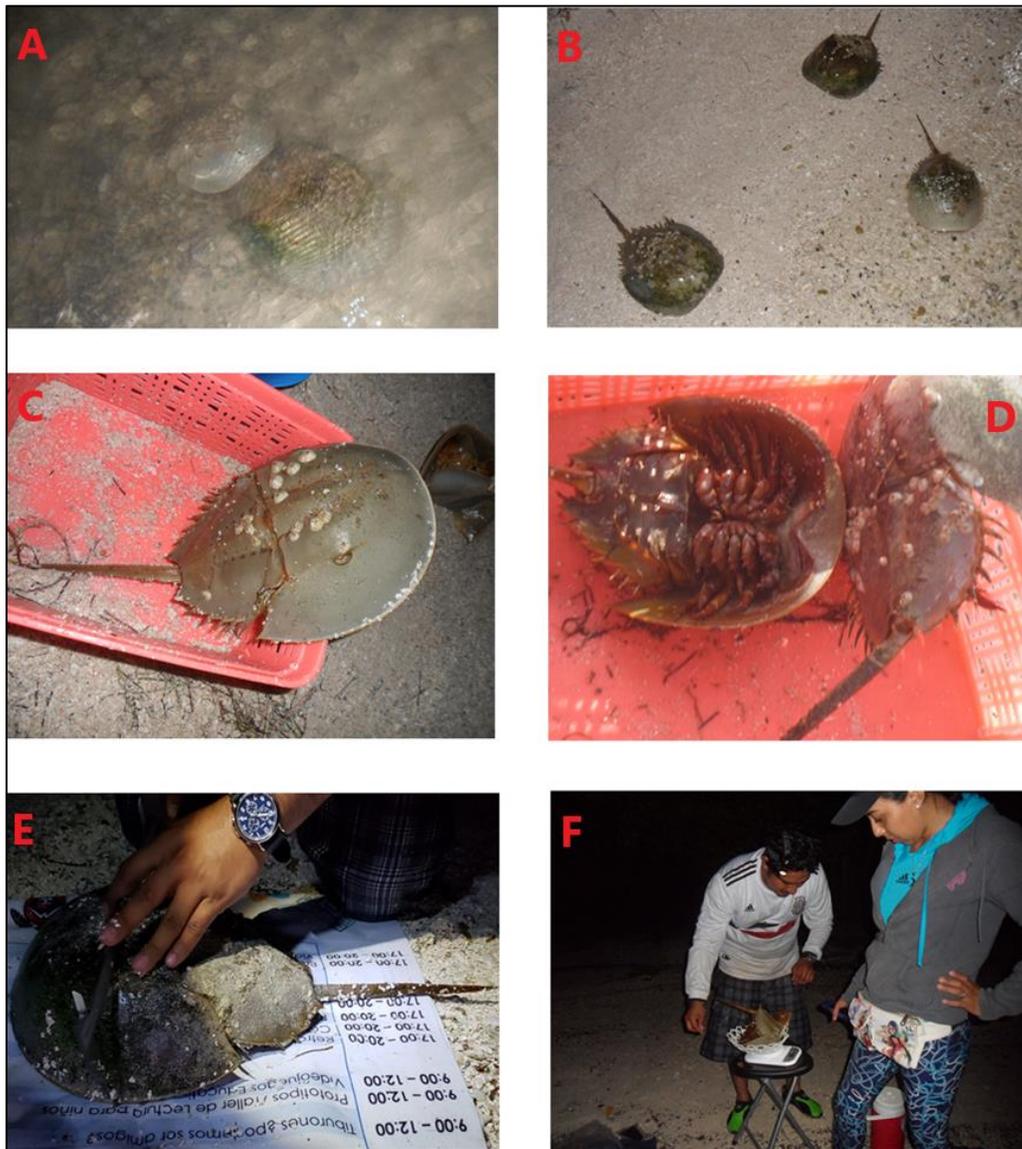


Fig. 22- A) Pareja en amplexo en el agua, B) machos solitarios, C y D) contención de los especímenes, E) toma de datos merísticos, F) pesado de los individuos

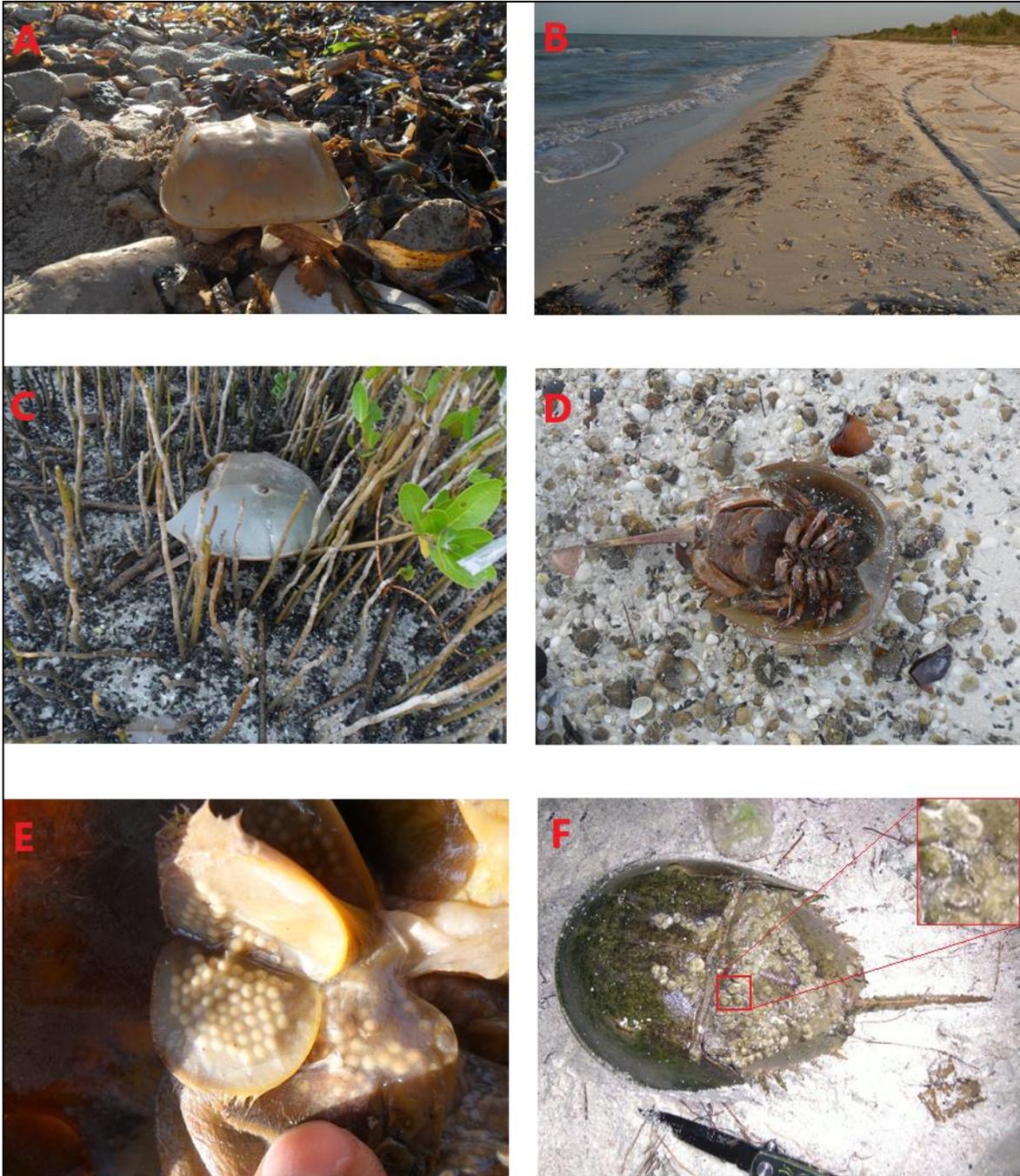


Fig. 23- A)Exuvias en playa rocosa, B) perfil de la playa, C) hembra muerta atrapada en neumatóforos, D) espécimen muerto en playa flamenco, E) detalle de huevecillos desplazados por gases de descomposición, F) organismo vivo detalle de epibiontes en opistosoma.