



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Tecnológico de Chiná

T E S I S

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

PRESENTA: MANUEL ALEJANDRO QUIMÉ RÍOS

**ASESOR INTERNO:
GERARDO ALFONSO AVILÉS RAMÍREZ**

TÍTULO

**“RELACIÓN DEL SEDIMENTO COSTERO EN LA PRESENCIA Y
ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus*”**

FEBRERO 2020





EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Chiná

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

DIRECCIÓN
Subdirección Académica
División de Estudios Profesionales
Chiná, Campeche, 06/Febrero/2020
OFICIO No. D/SA/DEP/007/2020

ASUNTO: Aprobación

C. MANUEL ALEJANDRO QUIMÉ RÍOS
PRESENTE

El que suscribe, manifiesta que el Dictamen emitido por el Comité de Revisión que integra el sínodo de la Titulación Integral (Tesis) denominada "Relación del sedimento costero en la presencia y anidación de *Limulus polyphemus*.", es aprobado como requisito parcial para obtener el Título de LICENCIATURA EN BIOLOGÍA.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
Aprender Produciendo

MC. JOSÉ JAVIER PERALTA COSGAYA
DIRECTOR

JJPC/MGRA/ZAPL



S.E.P.
T.N.M.
INSTITUTO
TECNOLÓGICO
DE CHINÁ
CLAVE:
04DIT0002W



CALLE 1E S/N CHILAS 22 y 16, Chiná, Cam, México, C. P. 24000
Tel. 01 (981) 8272082, Ext. 103 e-mail: dir01_china@tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.itchina.edu.mx



SISTEMA DE GESTIÓN
ISO 9001:2015
Certificado No. 0000000000

COMITÉ REVISOR

"Este trabajo fue revisado y aprobado por este comité y presentado por el C. Manuel Alejandro Quimé Ríos como requisito parcial para obtener el título de: Licenciado en Biología el día 06 del mes febrero del año 2020 en Chiná, Campeche.

MC. GERARDO ALFONSO AVILÉS RAMÍREZ
Presidente



DRA. NORMA LAURA RODRÍGUEZ ÁVILA
Secretario



MC. DELFINA MARGARITA CHAN UC
Vocal



MC. HÉCTOR OCTAVIO GUERRERO TURRIZA
Vocal Suplente



AGRADECIMIENTOS Y/O DEDICATORIA

A Dios... Señor gracias por las bendiciones del día a día.

A toda mi familia, en especial a mis padres, María Rosalía Ríos Pacheco y Manuel Armando Quimé Molina, por su ayuda incondicional desde el inicio de la carrera, así como la motivación personal, muchas gracias por otorgarme la oportunidad de estudiar y culminar esta hermosa carrera.

De igual forma quiero agradecer a mis hermanos por su motivación y apoyo incondicional día a día para poder culminar la licenciatura.

Deseo expresar mi gratitud más sincera al M. en C. Gerardo Alfonso Avilés Ramírez, al Dr. Juan José Sandoval Gío por el apoyo, la amabilidad, el tiempo brindado, los consejos y las facilidades para la realización de este proyecto final, muchas gracias.

De igual forma a mis revisores de tesis, a la Dra. Norma Laura Rodríguez Ávila y a la M. en C. Delfina Margarita Chan Uc por su correcciones, opiniones y consejos para culminar el trabajo elaborado, así como agradecerles por su disposición del tiempo, muchas gracias.

Igual deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis compañeros del Laboratorio de Modelos de Desarrollo Sustentable, al Laboratorio de Biotecnología Vegetal, al Laboratorio de Agua y Suelo, así como amigos de la Licenciatura en Biología y maestría del Instituto Tecnológico de Tizimín por su valiosa ayuda y colaboración en salidas de campo. En especial a la Br. María José Victoria Mora por todo el apoyo brindado, por sus recomendaciones y por brindarme cada día sus motivaciones, muchas gracias.

A la familia Victoria Mora por su apoyo constante. Mi eterno y grato agradecimiento para ustedes.

RESUMEN

Los ambientes litorales permiten la subsistencia de organismos bentónicos y constituye parte del ciclo de vida de diversas especies; tal es el caso de *L. polyphemus*. Principalmente, las hembras desovan en zonas intermareales de playas depositando huevecillos debajo de la superficie del sedimento, con la finalidad de favorecer la eclosión de larvas y brindarles protección contra fuertes oleajes. Por lo tanto, ciertas características del ambiente permiten el asentamiento de organismos. El objetivo del estudio fue evidenciar la existencia de relación entre el tamaño del sedimento en la presencia y anidación de *L. polyphemus*, evaluando la granulometría de sitios, calculando la biodiversidad de la meiofauna y relacionando el tamaño de grano con la meiofauna y los sitios muestreados. Se realizaron colectas de sedimentos costeros en franjas intermareales de playas de la Península de Yucatán; se realizaron análisis granulométricos por medio del tamizado de Folk (1974), además del análisis de meiofauna por medio del método de flotación con azúcar e identificación a grandes grupos. Los resultados indican que los sedimentos están conformados por arenas gruesas y medias, pobremente clasificado, casi simétrico con una mayor tendencia a gruesos y una curva platicúrtica. El análisis de varianza (ANOVA), tomando como factor la media ($\bar{x}$), demostró diferencias significativas en los datos obtenidos de los sitios de colecta. Para la meiofauna, el grupo dominante comprendieron los nemátodos; los datos obtenidos de los estados, se presentaron diferencias significativas en los ostrácodos así como en los índices de Shannon-Wiener y riqueza de taxones. El análisis canónico no presentó relación alguna, por lo tanto, se puede inferir que los sitios de anidación de *L. polyphemus* se caracterizan por poseer arenas gruesas y medias en conjunto con la presencia de organismos del meiobentos permitiendo la diversidad filética, estableciendo áreas favorables para arribazones y conductas reproductivas.

Palabras claves: abundancia, ambiente costero, anidación, artrópodo marino, distribución.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS Y/O DEDICATORIA	i
RESUMEN	ii
CONTENIDO	iii
ÍNDICES DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Sedimento	6
4.1.1. Definición y composición de los sedimentos	6
4.1.2. Clasificación de los sedimentos	7
4.1.3. Estudios de sedimento de playas en México	8
4.1.4. Estudios de sedimentos de playas en la Península de Yucatán ..	10
4.2. Meiofauna	11
4.2.1. Definición y clasificación	11
4.2.2. Importancia del estudio de la meiofauna	13
4.3. <i>Limulus polyphemus</i>	16
4.3.1. Generalidades	16
4.3.2. Taxonomía	19
4.3.3. Reproducción	20
4.3.4. Hábitat y distribución	22
4.3.5. Factores que influyen en la anidación de <i>Limulus polyphemus</i> ..	25
4.3.6. Estudios de <i>Limulus polyphemus</i> y otros organismos y su relación con los sedimentos.	26

4.3.6.1. Estudios de sedimentos y su relación con organismos marinos.....	26
4.3.6.2. Estudio de sedimento y su relación con <i>Limulus polyphemus</i> ...	28
5. MATERIALES Y MÉTODOS	29
5.1. Descripción del área de estudio	29
5.1.1. Campeche	29
5.1.2. Yucatán	30
5.1.3. Quintana Roo.....	30
5.2. Trabajo de campo	31
5.3. Recolección de muestras de sedimento	31
5.4. Trabajo de laboratorio	32
5.4.1. Preparación y tamizado muestras de sedimento costero	32
5.4.2. Preparación y análisis de muestras de meiofauna	35
5.4.3. Análisis estadístico de los datos	37
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
6.1. Análisis granulométrico de los sedimentos	40
6.1.1. Caracterización granulométrica para los sitios de muestreo del Estado de Campeche	41
6.1.2. Caracterización granulométrica para los sitios de muestreo del Estado de Yucatán	42
6.1.3. Caracterización granulométrica para los sitios de muestro del Estado de Quintana Roo	43
6.1.4. Parámetros de asimetría y cúrtosis para los tres estados	44
6.2. Análisis de cluster (dendrograma con distancia euclidiana y ligamiento aritmético UPGMA)	48
6.3. Análisis de varianza.....	49
6.3.1. ANOVA de un solo factor para el tamaño medio del grano ($\bar{x}$) vs. estado.....	49
6.3.2. ANOVA de un solo factor para el tamaño medio del grano ($\bar{x}$) vs. sitios de anidación	52
6.3.3. Prueba de Tukey.....	55

6.3.4. Intervalo de tolerancia del 95% respecto con el tamaño medio de los sedimentos del total de sitios muestreados	56
6.4. Análisis de Meiofauna	57
6.4.1. Abundancia por grupo	57
6.4.2. Análisis de ANOVA	61
6.5. Análisis de Diversidad.....	63
6.6. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)	63
7. CONCLUSIONES.....	66
8. RECOMENDACIONES	68
9. BIBLIOGRAFÍA	69
10. ANEXOS.....	79

ÍNDICES DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía de <i>Limulus polyphemus</i> . Fuente: Modificado de Banerjee y Mitra, 2017.....	19
Cuadro 2. Escala granulométrica Udden-Wentworth (1922) basado con unidades phi para tamaños de grano de rocas y sedimentos clásticos.....	38
Cuadro 3. Parámetros granulométricos. Fuente: Márquez-García <i>et al.</i> , (2010) modificado de Folk y Ward (1974).	38
Cuadro 4. Parámetros texturales del sedimento de la Península de Yucatán. AG=arena gruesa; AM=arena media; AF=arena fina; AMG=arena muy gruesa; Pob Clas=pobremente clasificado; Mod Clas=moderadamente clasificado; CS=casi simétrico; FAG=fuertemente asimétrico hacia gruesos; AF=asimétrico hacia finos; FAF=fuertemente asimétricos hacia finos; AG=asimétricos hacia gruesos; MP=muy platicúrtico; P=platicúrtico; L=leptocúrtico; M=mesocúrtico; ML=muy leptocúrtico.....	46
Cuadro 5. Análisis de variancia de una sola vía con un 95% de confianza, donde p es mayor a 0.05, no existiendo diferencias entre el tamaño de grano en los sedimentos de la Península de Yucatán.....	49
Cuadro 6. Análisis de variancia de una sola vía a un 95% de confianza, donde p es menor a 0.05, existiendo diferencias entre el tamaño de grano en los sedimentos de la Península de Yucatán.....	52
Cuadro 7. Comparaciones de medias de sitios muestreados mediante el método de Tukey con un intervalo de confianza del 95%.....	56
Cuadro 8. Síntesis de grupos de meiofauna reportados en áreas de anidación de <i>L. polyphemus</i> en la Península de Yucatán.....	59
Cuadro 9. Resultados de las pruebas ANOVA de una sola vía para la abundancia de meiofauna con un intervalo del 95% de confianza. Factor Estados respecto a los grupos de meiofauna.....	62
Cuadro 10. Síntesis del análisis de diversidad. Factor Estados con respecto a los grupos de meiofauna.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de una muestra de sedimento. Fuente: Fütterer, 2006.	7
Figura 2. Grupos representantes de la meiofauna. Fuente: Modificado de Lagos Tobías <i>et al.</i> , 2013.	13
Figura 3. Morfología de <i>Limulus polyphemus</i> : A) vista dorsal, B) vista ventral. Fuente: Vasquez, 1987.	17
Figura 4. Reproducción de <i>Limulus polyphemus</i> . Fuente: Bakker <i>et al.</i> , 2017.	21
Figura 5. Proceso de crecimiento de <i>Limulus polyphemus</i> desde su fase larvaria a fase adulta. Fuente: Gerhart, 2007.	22
Figura 6. Distribución geográfica de <i>Limulus polyphemus</i> . Fuente: Smith <i>et al.</i> , 2017.	23
Figura 7. Mapa de rango de distribución de <i>Limulus polyphemus</i> en la Península de Yucatán. Fuente: Mejía-Ortiz, 2006.	24
Figura 8. Ejemplo de hábitat de <i>Limulus polyphemus</i> (Isla de Holbox). Fuente: Mejía-Ortiz, 2006.	24
Figura 9. Localización de las áreas de estudio de la Península de Yucatán.	31
Figura 10. A) Ejemplo de sitio de colecta de muestra de sedimento costero; B) Etiquetado de frascos de muestras de sedimento.	32
Figura 11. A) Preparación de muestras de sedimentos en contenedores de aluminio; B) Secado de muestras de sedimentos.	33
Figura 12. A) Preparación de tamices de mayor a menor número de luz de malla con muestra previamente secado; B) Muestras de sedimento tamizado durante 15 minutos.	34
Figura 13. Pesaje de muestras de sedimento costero tamizadas.	35
Figura 14. Ejemplo de tabulación de datos obtenidos del pesaje de cada muestra, colocando el peso del papel vacío y el peso de la muestra con el papel.	35
Figura 15. Muestra de meiofauna en solución de agua y azúcar.	36
Figura 16. Observación e identificación a nivel de grandes grupos de la meiofauna.	37
Figura 17. Dendrograma del análisis de Cluster (distancia euclidiana y ligamiento aritmético UPGMA) para relación entre los sedimentos en cada sitio basado en el tamaño medio ($\bar{x}$), los nombres de cada sitio están representado por las iniciales y el número de sitio.	48
Figura 18. Gráfica de intervalos con un 95% de nivel de confianza con valores promedios y desviación estándar para los tres estados pertenecientes de la Península de Yucatán en relación con el tamaño medio del grano ($\bar{x}$) en áreas de anidación de <i>L. polyphemus</i>	50

Figura 19. Gráfica de cajas y bigotes valores promedios, máximos y mínimos de distribuciones de los sedimentos presentes en áreas de anidación de <i>L. polyphemus</i> en los 3 estados pertenecientes a la Península de Yucatán.	51
Figura 20. Histograma de tamaño medio del grano en los tres estados de la Península de Yucatán.	52
Figura 21. Gráfica de intervalos con un 95% de nivel de confianza con valores promedios y desviación estándar para los sitios pertenecientes a la Península de Yucatán en relación con el tamaño medio del grano ($\bar{x}$) en áreas de anidación de <i>L. polyphemus</i>	53
Figura 22. Gráfica de cajas y bigotes valores promedios, máximos y mínimos de distribuciones de los sedimentos presentes en los sitios de anidación de <i>L. polyphemus</i> pertenecientes a la Península de Yucatán.	54
Figura 23. Histograma de tamaño medio del grano en los sitios de muestreo pertenecientes a la Península de Yucatán.....	55
Figura 24. Gráfica de intervalos de tolerancia con intervalo del 95% respecto con el tamaño medio del grano de los sitios muestreados de la Península de Yucatán.	57
Figura 25. Relación entre promedios del análisis granulométrico ($\bar{x}_\phi$, σ_ϕ , Sk_ϕ y K_ϕ), valor promedio de grupos de la meiofauna (nemátodos, anfípodos, copépodos, foraminíferos, rotíferos y ostrácodos) con los sitios de muestreo. Las flechas indican los cuatro parámetros granulométricos, las figuras azules indican los sitios de muestreos y las figuras verdes los grupos reportados de la meiofauna.	65

1. INTRODUCCIÓN

Las costas mexicanas poseen una extensión amplia de 11,592.77 kilómetros (Km), y se encuentran divididos en dos regiones fundamentales; por un lado, el océano Pacífico y el océano Atlántico, cuya extensión comprenden 8,475.06 y 3,117.71 kilómetros (Km) de litorales respectivamente, en el océano Atlántico se encuentra el Golfo de México y Mar Caribe; lo que origina una amplia variedad de ecosistemas y especies, así como las interacciones entre los mismos (De La Lanza-Espino *et al.*, 2013).

En particular las zonas costeras, albergan diversos ecosistemas como el de manglar, lagunas, humedales, plataformas carbonatadas, playas, dunas estuarios, esteros, cuerpos de agua, pastos marinos y arrecifes de corales, en conjunto de estos ambientes desempeñan un rol de importancia para las diversas formas de vida, terrestres y marinas, como por ejemplo, fuente de alimentación, desarrollo, reproducción y anidación, así como la función de protección y resguardo ante los depredadores, por otro lado, estas comunidades de organismos cumple su función en las cadenas alimentarias de otras especies y la productividad de nutrientes para el propio ambiente costero (Toledo-Ocampo, 2005).

A su vez, las zonas costeras son consideradas sistemas complejos, ya que en él intervienen procesos como los ciclos biogeoquímicos, el sustento de una amplia gama de formas de vida que existen y factores de deposición (oleajes y vientos) que propician diferenciación de las franjas terrestres y marinas del ambiente costero (Cuevas-Jiménez y Euán-Ávila, 2009).

Particularmente en la diversidad de especies, los organismos marinos se encuentran asociados en gran parte a ciertos factores tales como la materia orgánica, salinidad, temperatura, composición y tipo del sedimento, cuyos factores establecen la relación entre organismos con el medio donde se encuentra (Calva-Benítez y Torres-Alvarado, 2011).

Haciendo énfasis en los sedimentos, la gran mayoría de los organismos bentónicos marinos dependen de ello, ya sea como áreas de fijación (en las superficies del sustrato), obtención de nutrientes, o en su caso en la protección a lo largo de su estadio del ciclo de vida e incluso fungen como áreas de anidación (Sebens, 1994). Al mismo tiempo, tienden a tener una relación determinante con las cantidades de partículas de sedimento (Alongi, 1990; Peterson, 1998).

Un claro ejemplo es el caso particular de *Limulus polyphemus*, cuya distribución es localizada entre los límites costeros de la costa Atlántica occidental del norte (EUA), desde Maine y hasta los límites de las costas ubicadas en el sur de la Península de Yucatán (Botton *et al.*, 2003).

Este artrópodo, exclusivamente marino posee un tipo de vida bentónico y se asocia a los sedimentos dada su habilidad para enterrarse y depositar sus huevecillos (Kraeuter y Fegley, 1994), por lo tanto, el sedimento proporciona condiciones favorables en conjunto con la temperatura, además de la oxigenación correcta para favorecer la eclosión en áreas medias de la línea de costas con relación a las mareas (Vasquez *et al.*, 2015).

Por lo tanto, la comprensión del estudio de los ecosistemas costeros, particularmente de los sedimentos, permite establecer la relación ecosistema-organismos y las funciones del propio ecosistema (Gómez Criollo *et al.*, 2007). Tal es el caso del conocimiento de la distribución del tamaño de grano y las características texturales que, a grandes rasgos, explica de forma general la diferencia de diversas fuentes de transporte y el depósito de sedimentos, lo que permite la caracterización de áreas costeras y su diferenciación ante diversos tamaños de granos existentes con respecto a especies marinas (Dey y Shukla, 2019).

Debido a la escases de literatura en México, en particular de la Península de Yucatán relacionada con las características granulométricas de sedimentos en áreas de anidación de *L. polyphemus*, el presente trabajo tiene como objetivo

evaluar y describir el papel de la granulometría de los tipos de sedimentos costeros en sitios de anidación de *L. polyphemus* y sobre la biodiversidad de meiofauna presente, así mismo, relacionar el diámetro del tamaño de los sedimentos y organismos de la meiofauna con la presencia y anidación de *L. polyphemus* en la Península de Yucatán.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar la posible relación entre la presencia y la ovoposición de *Limulus polyphemus* con el tipo y tamaño del sedimento costero.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la granulometría de los tipos de sedimentos costeros en la Península de Yucatán, México.
- Calcular la biodiversidad de la meiofauna presente en los sedimentos costeros de la Península de Yucatán, México.
- Relacionar la presencia y anidación de *Limulus polyphemus* con el diámetro del tamaño del grano de los sedimentos costeros (ϕ) y la meiofauna presente en los sedimentos costeros de la Península de Yucatán, México.

3. JUSTIFICACIÓN

Las zonas costeras proveen importantes recursos para las diversas formas de vida existentes en ella. La gran mayoría de estos organismos están asociados a factores físico-químicos del ambiente; por lo tanto, el estudio de estos factores permite establecer la relación organismo-ambiente donde converge su existencia.

L. polyphemus es un claro ejemplo de organismo que se encuentra en las áreas costeras. El ambiente costero, en especial los sedimentos, le provee áreas de alimentación, desarrollo, resguardo, reproducción y anidación, favoreciendo el resguardo necesario para el desarrollo embrionario y la supervivencia en los estadios de vida del organismo.

En la actualidad existe poca literatura específica para la Península de Yucatán que describa el actual estado de la especie. Además, el estudio de los sedimentos es necesario para la caracterización de las zonas o áreas de anidación de la especie.

Por lo tanto, es necesario seguir generando información que contribuya a un mejor conocimiento sobre el tema. Por otro lado, se desconoce cómo ciertos parámetros condicionan a las poblaciones a distribuirse en ciertas áreas de líneas de costas.

El contar con este conocimiento contribuirá a conocer la conformación de las partículas de sedimento de la Península de Yucatán que favorecen la reproducción y supervivencia de *L. polyphemus*, además de ser de utilidad para la realización de estudios demográficos necesarios para el desarrollo de estrategias de conservación del hábitat de dicha especie.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Sedimento

4.1.1. Definición y composición de los sedimentos

Los ambientes litorales de costas y playas son reconocidos al ser altamente dinámicos por lo que se encuentran en constante movimiento, es decir, no se encuentran de manera estable, principalmente se debe a la interferencia de las acciones y movimiento de los oleajes permitiendo el transporte y aporte de sedimentos, al mismo tiempo, determina ciertas características de cada ambiente costero (Petzall, 1967).

Existen agentes externos que participan en el transporte de los sedimentos. Entre éstos se encuentran el transporte de fragmentos de rocas por acciones eólicas, material lavado por medio de acciones fluviales así como la erosión de playas por eventos meteorológicos (Chester, 1990; Fütterer, 2006). Como resultado, permiten la depositación de los sedimentos hacia áreas costeras y plataformas continentales (Fütterer, 2006).

Por consiguiente, el término sedimento es definido como todo aquel material particulado proveniente de rocas o suelos originados a partir de escurrimiento por eventos fluviales o por acciones eólicas, permitiendo su depósito y diferenciación a lo largo de líneas de costas y en plataformas continentales, generando diferentes composiciones y estructuras en las partículas, que finalmente determinan las características del entorno del ambiente (García Flores y Maza Álvarez, 1998).

En efecto, solo ciertos tamaños de partículas de sedimentos son depositados en zonas profundas de los océanos (Fütterer, 2006). Por lo tanto, las composiciones de las plataformas continentales abarcan un 50 a 70% de arenas e incluyen gravas, limos y arcillas en cantidades muy variables (Chester, 1990).

Los sedimentos están constituidos por cuatro componentes esenciales, el primer componente es el agua de poro intersticial (espacios vacíos entre las partículas del sedimento sólido) que contienen materia orgánica, el segundo componente

son aquellos fragmentos de materiales inorgánicos (minerales y rocas), debido a las acciones de erosión terrestre, el tercer componente son algunos fragmentos (diversos tamaños) de sedimento; el cuarto componente son aquellas sustancias químicas contaminantes provocados por el ser humano, este último se considera peligroso y pueden ocasionar efectos irreversibles en el ambiente marino (Fütterer, 2006) (Figura 1).

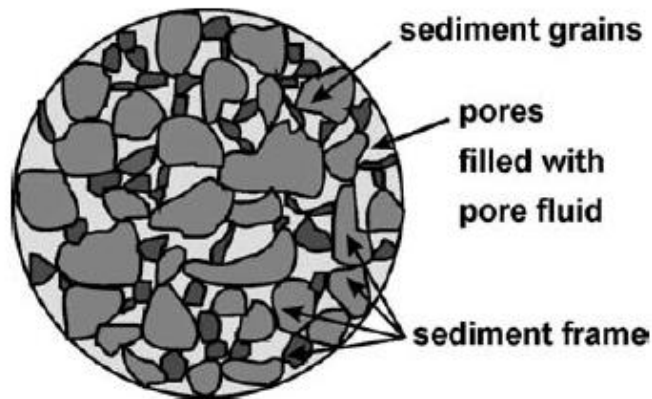


Figura 1. Composición de una muestra de sedimento. Fuente: Fütterer, 2006.

4.1.2. Clasificación de los sedimentos

La clasificación general de los sedimentos se divide con base a su topografía, así como los ambientes de depósito final; en primer lugar, se encuentran los denominados sedimentos costeros y por último los sedimentos de mar (localizados a profundidades); en el caso de los sedimentos costeros se localizan en regiones cercanas a las costas con condiciones físicas, químicas y biológicas variables que en aguas profundas, cuyas partículas de sedimento poseen orígenes biogénicos, terrígenos y autógenos, para las regiones cercanas a las costas poseen tamaños desde gravas, arenas, limos y arcillas, en el caso de los sedimentos de mar, se localizan a profundidades de < 500 metros, el tamaño de las partículas de grano es muy diferentes (partículas de arcillas griseaseas hasta rojizos y limos con un 60 a 70% de dominancia), la tasa de acumulación y sedimentación derivan de composiciones terrígenas principalmente (Chester, 1990).

De igual forma, se puede clasificar el tamaño del grano dependiendo de la resistencia que poseen estos con el oleaje del mar, por lo que se pueden dividir en sedimentos cohesivos y no cohesivos; los sedimentos cohesivos son todas las partículas que se conforman en un solo material y unidos entre sí por una fuerza de cohesión, se logran mantener pero al ser vencidas por el refluo de las mareas, estos tienden a fragmentarse en partículas con un peso mínimo, lo que permite una resuspensión y permite su transporte y su deposición final; abarcan partículas de grano muy finos como sedimentos arcillosos y en menor composiciones limo, arena y materia orgánica; en cambio, los sedimentos no cohesivos, son todas las partículas constituidas por material suelto que por el peso de las partículas se oponen a las fuerzas de las mareas, al disminuir las acciones del oleaje las partículas se detienen y se depositan en los ambientes costeros, en este grupo abarcan partículas sueltas de grano grueso como las arenas y gravas (García Flores y Maza Álvarez, 1998).

4.1.3. Estudios de sedimento de playas en México

Bajo un enfoque sedimentológico de playas, existe una amplia gama de trabajos realizados para las playas mexicanas. Self (1977) estudió las variaciones del litoral de la playa Nautla, en Veracruz, considerando los parámetros texturales de media, clasificación, asimetría y córtosis. Su estudio demostró que el tamaño del grano, la clasificación y asimetría, se relacionaron con el transporte de partículas e influyeron en las estaciones del año.

Rosales-Hoz y Lozano-Santa Cruz (1987) estudiaron los sedimentos de 37 playas pertenecientes al Estado de Oaxaca, tomaron en cuenta los parámetros texturales, curvas granulométricas, la composición mineralógica, el contenido de metales. Como resultado obtuvieron la predominancia de arenas medias, moderadamente bien clasificadas, simetrías y mesocórticos, la caracterización mineralógica determinó aquellas partículas laminados y felsearenitas con valores altos de fierro, titanio y plata.

Carranza-Edwards *et al.* (1996) realizaron un estudio para el reconocimiento de los carbonatos en arenas de 274 playas mexicanas. Se obtuvo que la concentración más alta de carbonato fue el Golfo de México (40.52%) a comparación del pacífico (8.86%), la cantidad de carbonatos situados en el Golfo de México reportados por los autores se relacionaron a restos de corales, algas, conchas de gasterópodos y por las características de las costas al poseer climas estables, fuentes fluviales muy bajas y situadas en un margen tectónico muy inactivo.

Kasper-Zubillaga *et al.* (1999) realizaron un estudio para comprender la geoquímica y petrografía de arenas del Holoceno en el Golfo occidental de México, basándose principalmente en playas, dunas y sedimentos fluviales. Concluyeron que las dunas debido a las acciones del viento concentraron menos granos de cuarzo en comparación de las playas y ambientes fluviales que concentraron granos más pesados (rocas) provocado por la energía de transporte.

Pedrín-Avilés y Padilla-Arredondo (1999) estudiaron la sedimentología y morfología de la plataforma continental del suroeste de la Península de Baja California. Los autores determinaron la presencia de arenas en las subregiones norte, mientras que la porción central fueron limos, la parte suroeste arenosos-limosos; además, establecieron que existe una relación proporcional con respecto al tamaño del grano. Por otra parte, indicaron la presencia de mayores concentraciones de materia orgánica en sedimentos finos (arena-limoso y limo-arenosa), mientras que concentraciones bajas de materia orgánica en sedimentos gruesos, por lo tanto, presentaron características distintas a pesar de estar en la misma plataforma continental y región fisiográfica.

Calva-Benítez *et al.* (2006) realizaron un estudio en el sistema costero lagunar en Chiapas, donde analizaron el contenido de carbono orgánico y las características texturales de sedimentos. Reportaron que en los sedimentos finos (limo y arcillas) se presentó una mayor acumulación de materia orgánica, mientras que en

sedimentos gruesos la tendencia es menor, en el caso del carbono orgánico dependió correlativamente con los sedimentos finos que gruesos.

Kasper-Zubillaga *et al.* (2007) realizaron la caracterización textural de playas situadas al oeste y este de California. Determinaron que la costa oeste se conformaron de arenas gruesas, moderadamente clasificada, simétricas y curvas leptocúrticos a muy leptocúrticos, a su vez, la costa este comprendieron composiciones de arenas medianas, moderadamente bien clasificadas, casi simétricas y mesocúrticos a leptocúrticos, lo cual, propusieron que las diferencias texturales dependen de las características del ambiente costero principalmente la morfología, topografía de las planicies costeras así como la dinámica en el ambiente.

Carranza-Edwards *et al.* (2015) estudiaron 23 estaciones ubicados entre las regiones de playas del sur del Golfo de México y del Caribe noreste, los autores obtuvieron que la mayoría de las playas estudiadas fue presente la influencia de acciones meteorológicas y antrópicas lo que origina tasas de erosión; se encontraron sedimentos más pobremente clasificados en sedimentos recientes (sedimentos que se acumulan en las primeras capas del estrato) que antiguos (sedimentos que yacen durante millones de años en las primeras capas del estrato), a su vez, determinaron presencia de granos de origen biogénicos.

4.1.4. Estudios de sedimentos de playas en la Península de Yucatán

Yáñez-Correa (1969) realizó un estudio para reconocer los procesos costeros y sedimentos recientes de la Plataforma Continental al sur de la Bahía de Campeche. Como resultado se obtuvo que presentaron dos tipos de sedimentos; los sedimentos terrígenos de origen aluvial, rico en limo-arcillosa a arcillas-limosas, con granos de arenas finos a medio con composiciones, por otro lado, los sedimentos biógenos, derivados de fauna bentónica (conchas de moluscos de distintos tamaños).

Jiménez-Salas (1979) realizó un análisis basándose en los sedimentos superficiales ubicados en Boca de Puerto Real, en la Laguna de Términos, Campeche. Determinó que gran parte del sedimento estuvo conformado por sedimentos mixtos, de arenas gruesas (conformado por fragmentos de conchas) y de arenas finas con variaciones desde gravas hasta arcillas. Lo anterior, indicaron que los granos finos correspondieron a ciertas áreas de baja energía mientras que granos gruesos se asociaron a áreas de alta energía.

Gutiérrez-Estrada *et al.* (1981) se enfocaron al estudio sobre la geomorfología y sedimentos recientes del sistema lagunar Atasta, Pom en Campeche, México. Se obtuvo que los sedimentos hallados comprendieron gravas finas, mal clasificadas, arenas finas bien clasificadas y en gran cantidad arenas-limosas entre moderadamente bien clasificadas a muy mal clasificadas.

Cuevas-Jiménez y Euán-Ávila (2009) realizaron un estudio sobre la morfodinámica del perfil de playa en la Península de Yucatán. En cuanto a los resultados se observó que los sedimentos presentaron arenas gruesas, mal clasificadas, casi asimétricas y curvas mesocúrticos. Por tanto, afirmaron que el material particulado ubicado en la zona de “*swash*” se debe a fragmentos de conchas de moluscos y de igual forma la pendiente en la zona “*swash*” cambia conforme a las temporadas climáticas, durante tormentas tropicales suelen encontrarse en pendiente altamente pronunciadas mientras que temporadas de norte suelen estar suavizadas. La cantidad de materia orgánica y carbono orgánico destacan primeramente por tener áreas superficiales y por la vegetación del ambiente.

4.2. Meiofauna

4.2.1. Definición y clasificación

El bentos es definido como el conjunto de organismos de origen marino que se encuentran asociados a los fondos de cuerpos de agua, y pueden ser móviles o sésiles dependiendo del lugar donde se encuentren, y también, cumplen un papel importante en los procesos llevados a cabo entre el agua-sedimento como el

reciclamiento de nutrientes y procesos de los ciclos biogeoquímicos (Pech Pool y Ardisson Herrera, 2010; Rivas *et al.*, 2016).

Dependiendo del tipo de vida, los bentos se clasifican en hiperbentos, epibentos y endobentos, por consiguiente, estas comunidades también se clasifican según dependiendo en función de su tamaño, se clasifican en macrobentos ($>500\ \mu\text{m}$), meiobentos o meiofauna (<500 y $>63\ \mu\text{m}$) y microbentos ($<63\ \mu\text{m}$) (Pech Pool y Ardisson Herrera, 2010).

En el caso particular de los meiobentos o también denominado meiofauna, son organismos endo-bentónicos, móviles, que se distribuyen en todos los ambientes y hábitats marinos, a una profundidad entre los 2 a 10 cm del sedimento, por lo general, estos organismos se suelen encontrar entre los espacios de las partículas de sedimentos que comúnmente se le denominan espacios intersticiales (Armenteros *et al.*, 2003). Por otro lado, empleando un término metodológico Warwick *et al.* (1988) refiere al término meiofauna como todos aquellos organismos que pasan por un tamiz de 0,5 mm y retenidos en un tamiz de $63\ \mu\text{m}$.

Actualmente, el grupo de la meiofauna es diverso a comparación de la macrofauna (Figura 2), por lo que existen cinco grupos propios; los cuales comprenden los gnastostomulidos, quinorrincos, gastrotricos, loricíferos y tardígrados (Lagos Tobías *et al.*, 2013).

Los grupos restante de nemátodos, poliquetos, ácaros, bivalvos, gasterópodos, ostrácodos, hidrozooos, nemertinos, braquiópodos, gasterópodos, tunicados, priapúlidos, turbelarios, artrópodos, sipuncúlidos, oligoquetos, holoturoideos, aplacóforos, foraminíferos, cumáceos y entre otros grupos, están conformados dependiendo de su ciclo de vida en aquellos organismos permanentes y temporales de la meiofauna (Vincx, 1996).

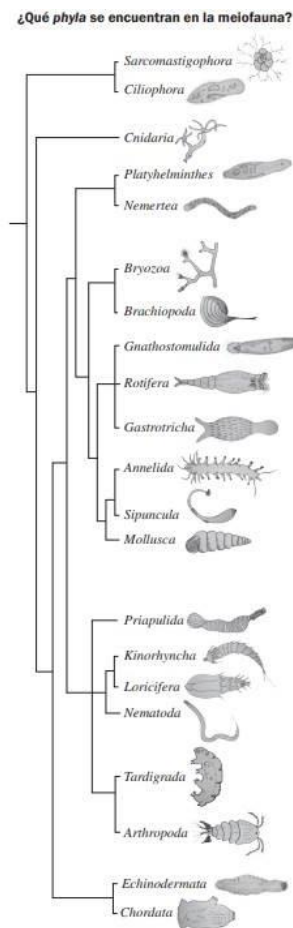


Figura 2. Grupos representantes de la meiofauna. Fuente: Modificado de Lagos Tobías *et al.*, 2013.

4.2.2. Importancia del estudio de la meiofauna

El meiofauna es considerado como bioindicador en ambientes marinos, ya que tienen la capacidad de percibir cambios de agentes externos, intervienen en el flujo de energía y materia, así como en la función en la disgregación de partículas biogénicas, liberación de carbono orgánico y producción de nutrientes para comunidades macrobentónicas e ictiofauna (Warwick, 1988; Sellanes *et al.*, 2003).

Segura y Wong-Chang (1978) estudiaron las poblaciones de foraminíferos recientes en el estero Pargo, Laguna de Términos, Campeche. Este autor determinó los géneros más abundantes que fueron *Ammonia*, *Cribrononion*, *Cellanthus*, *Palmerinella*, *Ammobaculites*, *Elphidium*.

Palacios-Fest *et al.* (1983) estudiaron los ostrácodos situados en el caribe mexicano; de esta forma se determinaron 89 especies situados entre Isla Mujeres e Isla Cozumel, Quintana Roo, de igual manera, se reportó que el 60% de los organismos fueron reportadas en provincia del caribe, el 89.23% correspondieron a la zona de transición y 38.40% en la provincia del Golfo, por tanto, concluyeron que debido a la homogeneidad de especies de ostrácodos, dichas comunidades se ubican en regiones de la Florida, Bahamas hasta la Península de Yucatán.

De Jesús-Navarrete (1993) estudió la distribución, abundancia y diversidad de los nemátodos bénticos de la sonda de Campeche, México. Como resultado de este estudio, los organismos identificados fueron separados en 4 órdenes, 39 familias, 86 géneros y 96 especies, el mayor contenido de sedimento donde se ubicaron mayor abundancia de nemátodos comprendieron limos ricos en materia orgánica en comparación de los sedimentos arenosos.

Ardisson Herrera y Castillo Fernández (1997) determinaron la composición, distribución y abundancia de macrobentos y meiobentos en la laguna costera de Celestún. Los resultados obtenidos en el caso de los meiobentos, reportan que el grupo taxonómico con mayor presencia y abundancia fue el grupo de nemátodos.

Escobar *et al.* (1997) compararon la densidad y biomasa de la meiofauna en dos regiones de costa, Tamaulipas y Yucatán; como resultado se obtuvo que el grupo dominante taxonómicamente fueron los foraminíferos, seguido de nemátodos en ambientes biogénicos, en el caso de los copépodos se reportaron en ambientes terrígenos, por lo que ambas costas presentaron diferencias en condiciones hidrográficas y sedimentarias, en el caso del sur del Golfo de México existieron variaciones en la densidad y biomasa y patrones espacial y estacionales por factores como la temperatura, disponibilidad de oxígeno y la textura de los sedimentos de los sitios de muestreo.

De Jesús Navarrete y Herrera Gómez (1999) estudiaron la fauna de nemátodos en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. Como resultado se obtuvieron siete

géneros; *Neotonchoides*, *Desmodora*, *Bathylaimus*, *Pseudochromadora*, *Desmolaimus*, *Chromadorina* y *Steineria* lo que comprendieron como los más abundantes para la bahía, de igual forma, los resultados del estudio del sedimento estableció que la distribución de los géneros de nemátodos se situaron en arenas mediana, arena fina, muy fina y clasificados como moderadamente y mal clasificados, por lo que la diversidad de nemátodos fue representativo en sustratos muy homogenizados. Por otro lado, destacan que los géneros descritos poseen la capacidad de adaptarse en zonas de aguas salobres.

De Jesús-Navarrete (2007) estudio los nemátodos en los arrecifes de Isla Mujeres y Banco Chinchorro situados en Quintana Roo, México. El autor menciona que en los sitios de Isla Mujeres y Banco Chinchorro el orden Chromadorida fue el mayor en familias y géneros (9 y 34 respectivamente), seguido de la familia Desmodoridae con 11 géneros. De igual forma, menciona que los nemátodos son típicos de ambientes arenosos por sus pequeños cuerpos anillados.

Machain-Castillo *et al.* (2014) determinaron la distribución de los foraminíferos y ostrácodos del sur del Golfo de México. Los autores demostraron que la distribución de foraminíferos y ostrácodos muestran una relación con los ambientes de sedimento del fondo. Así mismo, se reconoció que los foraminíferos situados en ambientes quimiosintéticos, tienden a ser abundantes en comparación con los ostrácodos; de igual manera, reconocen que la asociación de estos grupos bentónicos poseen importancia como especies indicadores ecológicos.

De igual modo, existen estudios relacionando la diversidad de meiofauna presente en arrecifes artificiales. Como por ejemplo Avilés-Ramírez *et al.* (2016) relacionaron la meiofauna en relación con arrecifes artificiales reef ball en la región costera llamada Xpicob, Campeche. Dicho estudio reportó a los nemátodos como los más abundantes, seguido de los foraminíferos y como menor grupo destacaron los nauplios de crustáceos y otros no identificados. Por el contrario, el análisis de sedimentos demostró que en promedio fueron arenas muy gruesas y arenas

medias y se relacionaron grupos de meiofauna con el tipo de promedio de los sedimentos.

4.3. *Limulus polyphemus*

4.3.1. Generalidades

La especie *L. polyphemus* es reconocida en los Estados Unidos como cangrejo herradura del Atlántico (Smith y Berkson, 2005), mientras que en la Península de Yucatán es conocido como cacerolita de mar o “mex”, en lengua maya (González-Uribe *et al.*, 1994; Zaldívar-Rae *et al.*, 2009).

L. polyphemus es un artrópodo marino, cuya coloración de su caparazón en su mayoría tiene una tonalidad de marrón a marrón oscuro y pueden alcanzar en estado adulto una longitud de 60 centímetros aproximadamente (Mejía-Ortiz, 2006).

En rasgos generales, morfológicamente el caparazón o también llamado exoesqueleto de la cacerolita de mar, se encuentra dividido de la siguiente forma: prosoma (cefalotórax), opistosoma (abdomen) y telson (Figura 3). El prosoma está formado de quitina; en la parte dorsal, está cubierto por un caparazón liso y por su forma brinda protección a los apéndices situados ventralmente. En la parte posterior, se sitúa una cresta dorsal y dos crestas laterales del caparazón. En los laterales del caparazón se localizan un par de ojos compuestos, mientras que en el lado anterior del caparazón se sitúan dos ocelos o también llamados ojos simples. En la parte ventral, se localizan seis pares de patas o apéndices que cumplen la función en cuanto a la alimentación y la locomoción, el primer par de apéndices son denominados quelíceros o quelados pequeños. Seguidamente, se encuentran un par de pedipalpos y las últimas cuatro pares de apéndices son llamadas patas marchadoras. Cada par de patas posee características morfológicas que finalmente efectúan la función del proceso de captura de alimento. El opistosoma, localizado en su cara dorsal, se diferencia por tener una forma triangular en los extremos. En cada extremo se sitúan una serie de

prolongaciones en forma de espinas y ventralmente posee seis apéndices; el primer par se llama opérculo genital y es donde se localizan y protegen los orificios genitales. Los cinco apéndices restantes son llamados láminas branquiales y en conjunto cada apéndice es llamado branquias en forma de libro (lamelas) que realizan el intercambio gaseoso y favorecen la circulación constante del flujo de agua y movilidad del organismo. El telson es una estructura en forma de espina. La función de esta estructura se presenta en casos donde el organismo, por algún motivo, se encuentre boca arriba y el movimiento del telson le permite impulsarse y estabilizarse a su forma normal. Cabe mencionar que la estructura del telson no es utilizada por el organismo como mecanismo de defensa, por lo que no son peligrosos (Mejía-Ortiz, 2006).

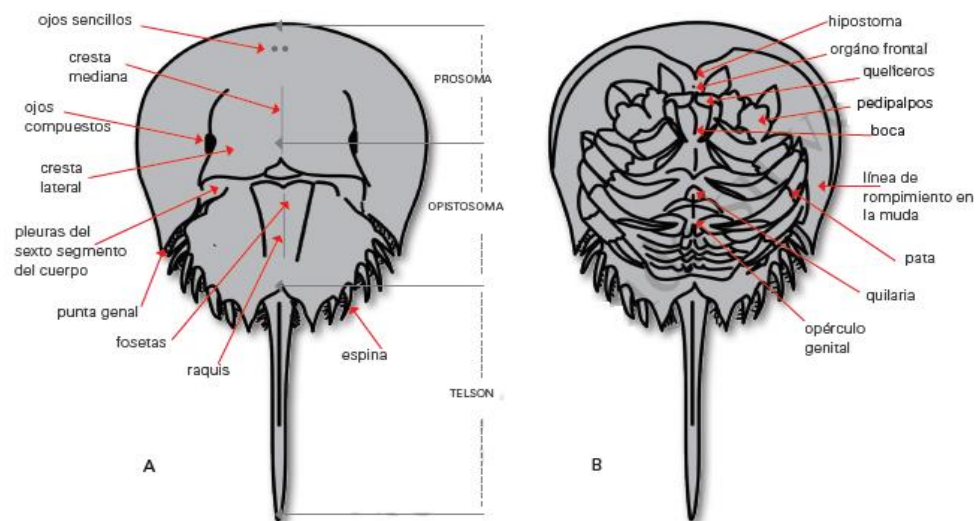


Figura 3. Morfología de *Limulus polyphemus*: A) vista dorsal, B) vista ventral. Fuente: Vasquez, 1987.

En los Estados Unidos de América, desde el siglo XX hasta la fecha, la cacerolita de mar es considerada como una especie de gran importancia económica, comercial, ecológica y de uso biomédico. Este último gracias a su uso en la prueba conocido como LAL (Prueba de lisado de amebocitos de *Limulus*) que consiste en un método *in vitro* que tiene la finalidad de detectar la presencia de endotoxinas bacterianas (Sekiguchi *et al.*, 1988).

Sus amplios usos han concluido que en los Estados Unidos se hayan establecido una legislación enfocada a implementar estrategias de educación ambiental orientadas a la conservación y uso sustentable del organismo (Sandoval Gío *et al.*, 2016).

En el caso particular de México, desde el año 1991, se encuentra a protección especial y catalogada como especie en peligro de extinción por legislaciones ambientales, esta categoría engloban a especies donde el tamaño de las poblaciones se encuentran en declive, lo anterior, debido a acciones antropogénicas o en su caso, a agentes externos que pueden afectar severamente a las poblaciones. En el caso de la cacerolita de mar, factores como la sobreexplotación para el uso comercial, destrucción del hábitat, modificación del hábitat con fines de creaciones turísticas o por la depredación por otras especies ha conllevado a que las poblaciones disminuyan a través del tiempo (Zaldívar-Rae *et al.*, 2009), como lo destaca Sandoval Gío *et al.* (2016) quienes mediante levantamiento de encuestas en dos localidades pertenecientes a la Reserva de la Biosfera de Ría Lagartos, determinaron que las poblaciones de cacerolita de mar están disminuyendo; principalmente la causa es pesca ilegal del organismo que posteriormente es utilizado para carnada de pulpo.

Las cacerolitas de mar constituyen un importante recurso en el ambiente costero de tipo calcáreo en conjunto con cuerpos de aguas salobres y tropicales, ya que especies de aves playeras migratorias, crustáceos, gaviotas, larvas y juveniles de peces son consumidores de los huevecillos y larvas que se encuentran en el sedimento. Durante la etapa adulta son depredados por tortugas y tiburones; sin embargo, son depredadores de especies de bivalvos, poliquetos y especies de vida bentónicas en los sedimentos del propio ambiente costero y cumplen su función como fuente de hospedadores para organismos epibióticos (Carmichael *et al.*, 2003).

4.3.2. Taxonomía

L. polyphemus se encuentra dentro del Phylum Artrópoda, Sub-phylum Chelicerata; Clase Merostomata; Orden Xiphosura; Familia Limulidae (Cuadro 1), que habita únicamente en el continente americano (Banerjee y Mitra, 2017).

Mientras que en la región de costa del pacifico occidental se distribuyen las especies *Tachypleus tridentatus*, *Tachypleus gigas* y *Carcinoscorpius rotundicauda* (Smith et al., 2017).

Cuadro 1. Taxonomía de *Limulus polyphemus*. Fuente: Modificado de Banerjee y Mitra, 2017.

Phylum	Arthropoda
Sub-phylum	Chelicerata
Class	Merostomata
Order	Xiphosurida
Species	a) <i>Limulus polyphemus</i> b) <i>Tachypleus tridentatus</i> c) <i>Tachypleus gigas</i> d) <i>Carcinoscorpius rotundicauda</i>

L. polyphemus es considerado como un fósil viviente por poseer las mismas características a nivel morfológico y dado que la relación del organismo con el medio natural permanece sin ningún cambio con respecto a su linaje original; por lo que se ha adaptado ante los cambios ambientales a lo largo de los años desde hace aproximadamente 350 millones de años a partir del periodo Paleozoico (Banerjee y Mitra, 2017).

Estudios demuestran que existe variabilidad genética entre las poblaciones, es decir, no son idénticas las poblaciones con respecto a sus regiones geográficas de distribución (por ejemplo grupos de poblaciones y tamaño de organismos) (Riska, 1981; Saunders et al., 1986; King et al., 2005).

En cuanto a su linaje, este organismo se encuentra más ligado con las arañas que con los cangrejos, lo anterior, se debe principalmente a que no poseen dos pares de órganos sensoriales llamados antenas, un par de mandíbulas y cinco pares de

patas como presentan los cangrejos. Por el contrario, presentan siete pares de patas y un par de quelíceros (apéndice de escorpiones y arañas) que utilizan como medio para tomar su alimento (Walls *et al.*, 2002).

4.3.3. Reproducción

La reproducción de la cacerolita de mar está influenciada por las mareas y los ciclos lunares de luna llena y nueva (Ortiz-León y Rosas Correa, 2011). La época reproductiva de estos organismos en la Península de Yucatán se da en diferentes épocas; en el caso del Estado de Yucatán, la época correspondiente es en Otoño-Invierno. En el caso del Estado de Campeche se registra durante todo el año (Sandoval-Gío *et al.*, 2018).

Las poblaciones de machos y hembras emigran a las playas en busca de sustrato con la finalidad de reproducirse y depositar huevecillos. El proceso consiste en que el macho se adhiere a la hembra por medio de sus pedipalpos modificados denominados “claspers”. Dicha acción permite a la hembra llegar a la línea de las costas donde existe arena. Mediante reproducción externa, el macho fertiliza los huevecillos depositados en un nido elaborado por la hembra (Ortiz-León y Rosas Correa, 2011) y lo deposita a una profundidad entre los 15 a 20 cm o entre 10 a 25 cm debajo de la superficie del sedimento, proporcionando un ambiente favorable para la eclosión de huevecillos (Rudloe, 1980; Penn y Brockmann, 1994; Weber y Carter, 2009).

Así mismo, permite brindar protección para los huevecillos ante la actividad del oleaje y la depredación por otras especies (Botton *et al.*, 2017). Se estima que la hembra deposita entre 3,650 a 4,000 huevecillos en forma muy agrupada dentro de la arena (Figura 4) (Shuster, 1982; Carmichael *et al.*, 2003).

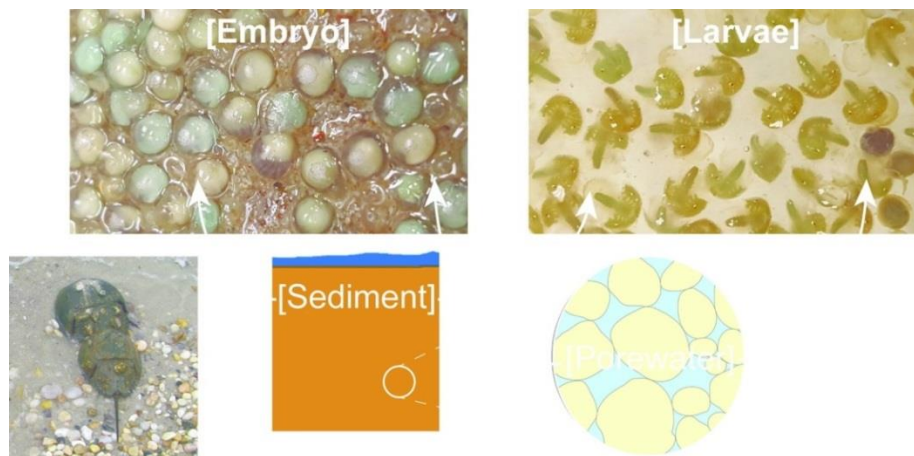


Figura 4. Reproducción de *Limulus polyphemus*. Fuente: Bakker *et al.*, 2017.

Dependiendo de la temperatura, el desarrollo de los huevecillos puede comprender en un lapso de 28 días o semanas e incluso varios meses hasta la eclosión de la larva (Figura 5) (Penn y Brockmann, 1994).

La primera fase de vida de las larvas es conocido como trilobita (por poseer similar segmentos del cuerpo de los extintos trilobitas) al tener un tipo de vida libre (desplazándose por acción natatoria por medio de apéndices abdominales) y comprende al finalizar un ciclo lunar durante mareas altas, dichas larvas poseen tamaños de aproximadamente 0.5 cm y viviendo a nivel de la superficie del sustrato, o en su caso, atrapadas bajo las partículas del sedimento (Rudloe, 1981; Gerhart, 2007).

Posteriormente, después de que la larva trilobita muda aproximadamente una semana después de su eclosión, pasa al primer estadio denominado limulito, por lo que genera cambios morfológicos en la aparición del telson y cesa la actividad natatoria originando un tipo de vida bentónico, por lo que se sitúan en la superficie del sustrato o situados entre los arenales y pastos marinos cercanas de las costas (Penn y Brockmann, 1994; Carmichael *et al.*, 2003; Gerhart, 2007).

A medida que van creciendo las larvas y pasando de juveniles a la etapa de adulto por medio de estadios llamados mudas o instares, alcanzan a tener un ciclo de

vida de 20 años. En cuanto a la madurez sexual de los organismos, los machos mudan alrededor de 16 veces en 9 años, mientras que las hembras mudan 17 veces en 10 años (Sekiguchi *et al.*, 1988).

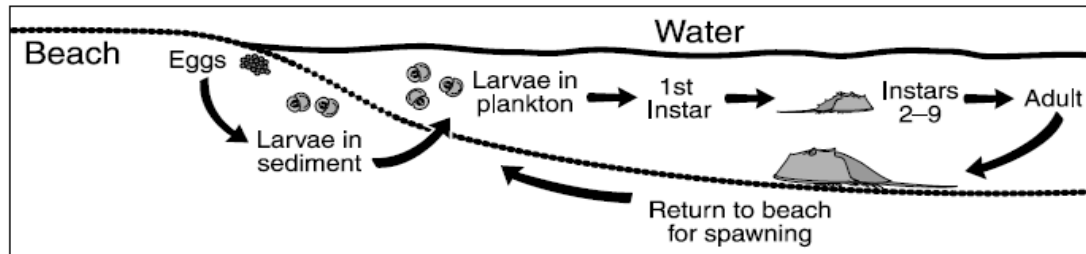


Figura 5. Proceso de crecimiento de *Limulus polyphemus* desde su fase larvaria a fase adulta. Fuente: Gerhart, 2007.

4.3.4. Hábitat y distribución

La distribución de *L. polyphemus* se encuentra limitada a la costa Atlántica de América del norte y en el sur de costas de la Península de Yucatán (Figura 6), las tres especies restantes; *Tachypleus tridentatus*, *Tachypleus gigas* y *Carcinoscorpius rotundicauda* se localizan en el océano indico y parte del pacífico, principalmente en las regiones de costas de Malasia, Singapur, Indonesia, Vietnam, Tailandia, Mar de China, Golfo de Bengala, Isla Filipinas y sur del Japón (Sekiguchi *et al.*, 1988; Banerjee y Mitra, 2017; Smith *et al.*, 2017).



Figura 6. Distribución geográfica de *Limulus polyphemus*. Fuente: Smith *et al.*, 2017.

En el caso de *L. polyphemus* en México, su distribución comprende en la Península de Yucatán, el Estado de Campeche, Quintana Roo y Yucatán (Figura 7), particularmente en áreas de las costas, generalmente dichas poblaciones se localizan en sistemas lagunares, estuarios y desembocaduras de ríos tales como las desembocaduras de la Laguna de Términos (Punta Cabrera, Isla Aguada e Isla Pájaros) en sistemas estuarino de Celestún, Isla Arena, Rio Lagartos, Holbox y la desembocadura del Rio Champotón donde existen vegetación de manglar cuyas especies son mangle rojo (*Rhizophora mangle*), blanco (*Laguncularia racemosa*) negro (*Avicennia germinans*) y botoncillo (*Conocarpus erectus*) al igual que los pastos marinos (*Thalassia testudinum*) (Zaldívar-Rae *et al.*, 2009).

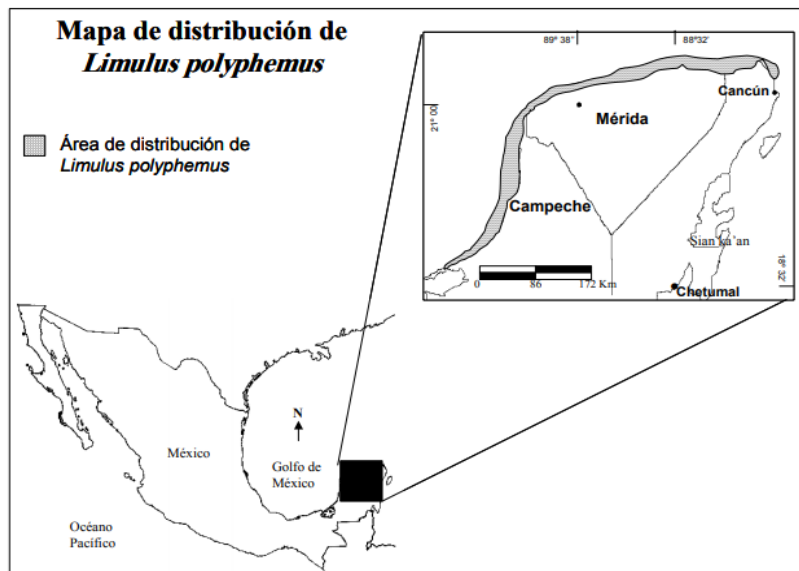


Figura 7. Mapa de rango de distribución de *Limulus polyphemus* en la Península de Yucatán. Fuente: Mejía-Ortiz, 2006.

Gran parte de su distribución y el hábitat de la cacerolita de mar, en la Península de Yucatán, depende de las condiciones ambientales (cálido), presencia de las mareas adecuadas sin exposiciones fuertes (Figura 8) (Mejía-Ortíz, 2006).



Figura 8. Ejemplo de hábitat de *Limulus polyphemus* (Isla de Holbox). Fuente: Mejía-Ortíz, 2006.

En cuanto a su presencia en el ambiente costero, las poblaciones de juveniles suelen encontrarse en zonas intermareales de las costas, mientras que

poblaciones adultas se suelen situarse en las profundidades de las plataformas continentales (Gerhart, 2007).

4.3.5. Factores que influyen en la anidación de *Limulus polyphemus*

Durante la anidación, intervienen factores que permiten el desarrollo y eclosión de larvas; éstos comprenden las condiciones ambientales de mareas altas durante las lunas nuevas y llenas, nivel del agua (cantidad situada en sitios de playas donde existen áreas de anidación), hidratación (cantidad de agua dentro de nidos), agitación (choques de acciones de oleajes con el sedimento), shock osmótico (concentración osmótica-liquido perivitelino y agua del mar), hipoxia (baja concentración de oxígeno en periodos y supervivencia), temperatura y salinidad (Ehlinger y Tankersley, 2003).

Durante las primeras etapas de desarrollo embrionario de *L. polyphemus* toleran amplias variaciones de temperaturas (20 a 35 °C) y salinidades (10 a 35 ‰) dentro de los rangos normales del ambiente (Laughlin, 1983), aunque también sufren condiciones extremas durante el desarrollo embrionario con temperaturas entre 30 a 33 °C y salinidades de 30 a 60 ‰, en el caso de larvas pueden soportar temperaturas menores de 35 °C pero salinidades entre 10 a 70 ‰, en el caso de adultos se ubican entre temperaturas de 35 °C y salinidades de 5 a 43 ‰, por lo tanto, en el estado embrionario, larvario y madurez (adulto) presentan más sensibilidad a temperaturas que a salinidades, sin embargo, a condiciones extremas de salinidad presenta efectos en la supervivencia (Ehlinger y Tankersley, 2004).

De igual forma, la pendiente o perfil de las playas, tal como lo afirma Penn y Brockmann (1994), impactan en la anidación de la especie, lográndose en las líneas intermareales medias de las playas debido a que disminuye la desecación y pérdida de huevecillos. Por consiguiente, aquellos nidos situados en un perfil más bajo de la playa, ocasiona condiciones anóxicas, escaso oxígeno intersticial y presencia de sulfuro de hidrogeno, lo que impide el desarrollo embrionario,

mientras que los nidos situados en un perfil alto presentan las condiciones extremas por lo que se produce una tasa mayor de desecación y muerte. Por otro lado, causa que los organismos se queden varados, o en su caso, entren en un estado de estrés fisiológico ocasionado muertes.

4.3.6. Estudios de *Limulus polyphemus* y otros organismos y su relación con los sedimentos.

4.3.6.1. Estudios de sedimentos y su relación con organismos marinos.

Méndez Ubach *et al.* (1985) realizaron un estudio para la comprensión de la importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos situados en las playas del Estado de Veracruz, México. Ellos concluyeron que las zonas con mayor riqueza de especies radicó en la zona infralitoral, al poseer condiciones fisicoquímicas estables, mientras que la mayor abundancia de organismos se observó en la zona mesolitoral ya que mantiene la materia orgánica en grandes cantidades para la alimentación de especies que radican en ella. La zona supralitoral resultó ser la menos poblada, debido a la inestabilidad que la caracteriza, presentándose solamente crustáceos de hábitos terrestres y marinos, en los que la mayoría presentaron una asociación con sustrato de tipo en arenas finas, arenas gruesas bien clasificadas y muy bien clasificadas.

Hernández-Alcántara y Solís-Weiss (1995) se enfocaron al estudio de comunidades macrobénticas asociadas al manglar en Laguna de Términos, Campeche. Identificaron 3,757 organismos agrupados en 3 filos; annelida: polychaeta (22 familias, 43 especies), mollusca (11 familias, 17 especies) y arthropoda: crustácea (20 familias, 27 especies). El grupo de los poliquetos fue dominante; mientras que los moluscos y crustáceos tuvieron tendencias variables a lo largo de las distintas épocas del año. Dichos organismos estuvieron asociados a sedimentos limo-arcillosos representando un 60% en las áreas estudiadas.

Márquez-García *et al.* (2010) estudiaron la morfología y sedimentología de áreas anidación de tortugas marinas en las playas situadas en El Carrizal, Coyuca de Benítez en Guerrero. Demostraron que en la infraplaya se encontraron arenas gruesas, moderadamente clasificadas, asimétricas hacia finos y platicúrticos, por su parte, la mesoplaya y supraplaya comprendieron arenas medias, bien clasificadas asimétricas hacia gruesos y leptocúrticos. En el caso de la supraplaya, se situaron procesos eólicos y acciones antropogénicas lo que conllevaron a una variación en las características de los sedimentos.

González-Solis y Torruco (2015) estudiaron la fauna y flora intermareal de las costas rocosas de Quintana Roo, México. Determinaron que la fauna comprendió a grupos de equinodermos, moluscos, anélidos, crustáceos, sipuncúlidos, peces y algas pertenecientes. Además, determinaron que el grupo más abundante fueron los moluscos, que se distribuyeron en playas muy amplias. En el caso de los crustáceos, algas, nemertinos, sipuncúlidos y anélidos se distribuyeron en áreas de baja energía con partículas de sedimento finos. Los equinodermos presentaron una distribución en playas de energía alta con sedimentos gruesos.

González *et al.* (2017) se enfocaron en la identificación de la diversidad de fauna intermareal en playas arenosas ubicadas en Quintana Roo, México. Las áreas de muestreo comprendieron parte de la Riviera Maya y de la Gran Costa Maya. Se obtuvo que la composición de los sedimentos se conformó de arenas medias a finas, principalmente compuestas por restos de organismos como corales, algas, foraminíferos, equinodermos, crustáceos, poríferos, moluscos y anélidos. Por su parte, la fauna fue representada por los moluscos, crustáceos, anélidos, sipuncúlidos, nemertinos, foraminíferos e insectos. Los grupos de moluscos y foraminíferos se encontraron en la región de la Riviera Maya, por tener características de playas amplias con un tamaño de grano entre arenas medias y finas, mientras que la región de Gran Costa Maya estuvo caracterizada por playas muy estrechas y con presencia de tamaños de grano correspondientes a arenas medias, gruesas a escasas de arena fina.

4.3.6.2. Estudio de sedimento y su relación con *Limulus polyphemus*

Rosales Raya (1999) llevó a cabo un estudio durante el periodo de 1990 a 1992, en donde se realizó una caracterización ambiental en sitios de anidación de *L. polyphemus* en Isla Aguada, Isla Pájaros, Isla Cabrera e Icahao, Campeche. La autora obtuvo que en Isla Pájaros se conformaron de sedimentos con 40% de limo-arcilla; en Icahao un 46% de arena media y cantos rodados y 20% limo arcilla, en Isla Aguada un 45% de arena media y 20% limo-arcilla e Isla Cabrera un 38% arena gruesa y muy gruesa con más de 20% de limo-arcilla. Por tanto, se estableció que en los sedimentos arenosos con valores de entre 20 y 40% de limo-arcilla se presentó una mayor estabilidad del organismo para ovopositar, con valores de salinidad entre los 24 y 33 UPS (unidades prácticas de salinidad).

Un estudio reciente de Sandoval-Gío *et al.* (2018) realizado en la Reserva de la Biosfera de Ría Lagartos, Yucatán, describió el sitio de anidación de *L. polyphemus*. Los autores se enfocaron en dos sitios de anidación, con base a factores como los parámetros fisicoquímicos del agua y el análisis por tamizado mecánico del sedimento. Como resultado obtuvieron que no existieron diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos en los sitios de estudio. En cuanto al análisis del sedimento, se reportó la presencia de arenas medias, bajo una clasificación de pobremente clasificado y platicúrticos, en las áreas de anidación de dicha especie.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción del área de estudio

La Península de Yucatán se encuentra conformada por los estados mexicanos de Campeche, Quintana Roo y Yucatán ubicado en la región sureste de México con una superficie de 139,896 kilómetros cuadrados, el litoral abarca desde cercanías de Isla Aguada hasta Chetumal, Quintana Roo, en toda la región se encuentra conformada por rocas calizas de origen marino con elevaciones menores de 250 metros, la temperatura anual oscila entre 25 y 28 °C con precipitaciones por debajo de los 1,500 mm y máximos de 2,200 mm al año, ocasionando un gradiente de precipitación muy marcada que disminuye desde el sureste hacia el noroeste y es marcada en los tipos de vegetación entre sabanas, petenes, vegetación hidrófilas, vegetación secundaria, manglar, vegetación costera, selva mediana subperennifolia, selva mediana subcaducifolia, selva baja caducifolia, selva baja inundable (Carnevali Fernández-Concha *et al.*, 2012).

Las localidades de estudio se ubicaron en áreas tomando en cuenta las características de presencia y actividad reproductiva de *Limulus polyphemus*, en playas con presencia de vegetación de manglar en el margen de la Península de Yucatán (Figura 9), cabe mencionar que las áreas establecidas son características de playas con presencia de vegetación de manglar, pastos marinos, restos de conchas que conforma el sustrato e incluso algunas áreas de muestro son utilizados como balnearios públicos, la presencia de lanchas derivado de presencia de áreas de pesca y saqueos de sedimentos, las localidades fueron establecidas de la siguiente manera:

5.1.1. Campeche

Se muestrearon sitios localizados en Las Minas, Puente Icahao y Los Álamos ubicados en la localidad de Ciudad del Sol (Champotón). Estas playas se caracterizan por ser de tipo marino costero con presencia de vegetación de manglar y pastos marino, se ha observado que funcionan como área de pesca, además de presentarse saqueo incontrolable de arena por parte de empresas.

De igual forma se muestrearon en sitios pertenecientes a Isla Aguada, perteneciente a la localidad del Carmen. Los sitios de playas se caracterizan por presencia de vegetación de manglar, pastos marinos y presencia de sedimentos con restos de conchas.

5.1.2. Yucatán

De esta zona se seleccionaron las localidades de Sisal, San Felipe, el puerto del El Cuyo y Río Lagartos. En éste último se ubicó dos áreas con presencia de actividad reproductiva dentro de la Industria Salinera, mientras que en el otro estuvo situado en un balneario popular denominado “Chiquilá” en Río Lagartos. Las áreas anteriormente descritas son características por presentar vegetación de manglar, pastos marinos y visitados por parte de turistas y pobladores de los alrededores de las comunidades.

5.1.3. Quintana Roo

El sitio de muestreo fue establecido en la playa situada en Isla Blanca, que se encuentra dividido, por el mar Caribe y parte de la Laguna Chacmucuc; ésta playa se caracteriza por poseer área vírgenes y parte de la playa es actualmente como un balneario popular recurrido por turistas.

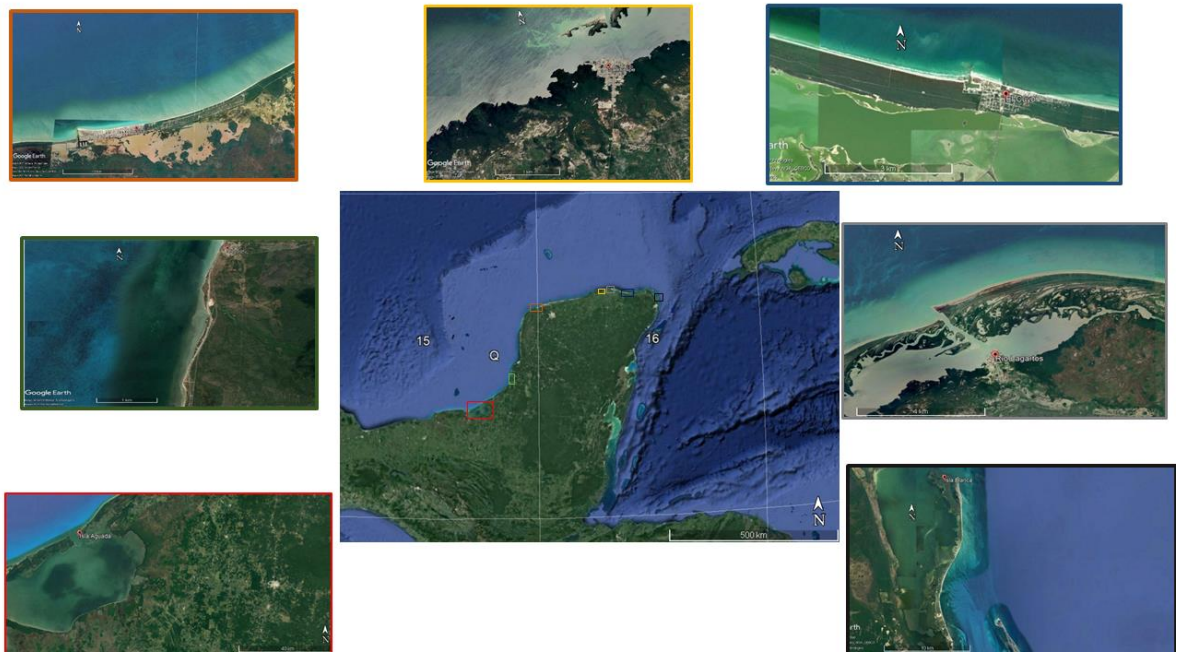


Figura 9. Localización de las áreas de estudio de la Península de Yucatán.

5.2. Trabajo de campo

Se recolectaron muestras de sedimento comprendiendo los siguientes meses: para el Estado de Campeche, los meses de Octubre del 2017 y Marzo del 2018. En el Estado de Yucatán y Quintana Roo, los meses de Julio-Agosto del 2018.

5.3. Recolecta de muestras de sedimento

Se recolectaron por cada sitio dos muestras. Por un lado, sedimentos (tamizado mecánico) y el otro muestras de meiofauna en los límites de las zonas intermareales de forma aleatoria. Estos muestreos fueron llevados a cabo mediante recorridos, para esto fue necesario emplear frascos de plástico previamente etiquetados. La etiqueta contenía datos del tipo de muestra, nombre de sitio, número del sitio muestreado y fecha. En el caso de las muestras de meiofauna se aplicó formol al 4% para la fijación de organismos dentro de los sedimentos.

Las muestras recolectadas fueron depositadas en una nevera a bajas temperaturas para su traslado y posterior análisis en el laboratorio del Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche (Figura 10).



Figura 10. A) Ejemplo de sitio de colecta de muestra de sedimento costero; B) Etiquetado de frascos de muestras de sedimento.

5.4. Trabajo de laboratorio

5.4.1. Preparación y tamizado muestras de sedimento costero

Las muestras de sedimento fueron depositadas en pequeños recipientes desechables de aluminio. Posteriormente, fueron secados por medio de una estufa de secado a una temperatura constante de 60 °C.

Se monitoreó y homogenizó cuidadosamente cada 2 horas, con la finalidad de que dichas muestras no presentaran partes duras al momento del secado. Cada muestra secada fue depositada en pequeñas bolsas de plásticos (Figura 11).



Figura 11. A) Preparación de muestras de sedimentos en contenedores de aluminio; B) Secado de muestras de sedimentos.

Las muestras secas de sedimento fueron analizadas a través de tamizado mecánico (Folk, 1974), con el objetivo de conocer los principales valores granulométricos. Para ello, se empleó un Ro-tap y seis tamices de diferentes luz de malla (2 mm, 1mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 63 μ m), con un recolector de fondo, en el cual se retuvieron las partículas de sedimentos muy finas.

El tiempo de tamizado fue de 15 minutos, el tiempo requerido es fundamental durante el tamizado pues si el límite establecido es superado existe un riesgo de que se genere una fragmentación excesiva de los granos y por consiguiente, una distorsión de los resultados (Figura 12).



Figura 12. A) Preparación de tamices de mayor a menor número de luz de malla con muestra previamente secado; B) Muestras de sedimento tamizado durante 15 minutos.

Cada muestra contenida en cada tamiz fue recuperada y depositada en pequeños empaques de papel. Cada empaque de papel fue pesado sin y con la muestra tamizada, usando una balanza digital de precisión 0, 001 g portátil Highland: HCB 1002 (Figura 13).

Para tener el peso real de cada muestra, se restó el peso del papel con muestra menos el peso del papel vacío (Figura 14). Cada vez que se realizaba la recuperación por tamiz de la cantidad retenida, se eliminaba el exceso de partículas con ayuda de una brocha.



Figura 13. Pesaje de muestras de sedimento costero tamizadas.

	# de tamiz	mm	phi	peso papel	peso Mta. + papel	peso mta - papel	%	% acum	
PEDRUZCOS MUY FINOS	10	2	-1			0.000	0.000	0.000	MATERIAL GRUESO
ARENA MUY GRUESA	18	1	0			0.000	0.000	0.000	0.000
ARENA GRUESA	35	500 mi	1			0.000	0.000	0.000	
ARENA MEDIA	60	250 mi	2			0.000	0.000	0.000	MATERIAL FINO
ARENA FINA	120	125 mi	3			0.000	0.000	0.000	100.000
ARENA MUY FINA	230	63 mi	4			0.000	0.000	0.000	
LIMO GRUESO	400	38 mi	5			0.000	0.000	0.000	
PAN						50.000	100.000	100.000	
				0.000	50.000	50.000			
Sisal S1									
	# de tamiz	mm	phi	peso papel	peso Mta. + papel	peso mta - papel	%	% acum	
PEDRUZCOS MUY FINOS	10	2	-1	2.35	6.92	4.570	9.140	9.140	MATERIAL GRUESO
ARENA MUY GRUESA	18	1	0	2.25	6.53	4.280	8.560	17.700	110.060
ARENA GRUESA	35	500 mi	1	2.26	10.77	8.510	17.020	34.720	
ARENA MEDIA	60	250 mi	2	2.22	21.76	19.540	39.080	73.800	MATERIAL FINO
ARENA FINA	120	125 mi	3	2.32	19.03	16.710	33.420	107.220	-10.060
ARENA MUY FINA	230	63 mi	4	2.2	3.62	1.420	2.840	110.060	
LIMO GRUESO	400	38 mi	5	2.22	2.4	0.180	0.360	110.420	
PAN						-5.210	-10.420	100.000	
				55.210	50.000	50.000			

Figura 14. Ejemplo de tabulación de datos obtenidos del pesaje de cada muestra, colocando el peso del papel vacío y el peso de la muestra con el papel.

5.4.2. Preparación y análisis de muestras de meiofauna

Las muestras de sedimento fueron lavadas con agua corriente usando los tamices de 125 μ m y 63 μ m (acomodando de mayor a menor número de luz de malla) por lo que permitió la separación de las partículas gruesas y finas del sedimento, en

particular el material particulado en el tamiz de 63 μm ya que en ese tamaño se ubican los grupos de organismos denominados meiobentos.

Seguidamente, se empleó el método de agua con azúcar, el cual consiste en depositar la muestra retenida en el tamiz de 63 μm en un vaso precipitado de un litro con la solución al 2:1 de agua con azúcar, agitando la muestra cuidadosamente para resuspender el material y dejándolo sedimentar durante aproximadamente 30 minutos por cada muestra. La finalidad de este método fue la separación de grupos de meiofauna del sedimento a través de la flotación y ubicándolos en la parte superior de la solución (Figura 15).



Figura 15. Muestra de meiofauna en solución de agua y azúcar.

Posteriormente, los organismos se recuperaron por decantación en el de tamiz de 63 μm cuidando que no se vertiera parte del azúcar del fondo del vaso de precipitado. Los organismos retenidos fueron depositados en frascos conservándolos en alcohol etílico al 70% mezclando con colorante amarillo para un mejor contraste e identificación.

La determinación de los principales organismos pertenecientes a la meiofauna fue a nivel de grupos taxonómicos del meiobento y la contabilización fue de forma

manual mediante observación con el objetivo 2X por medio de un microscopio estereoscópico Quasar Qm15 (Figura 16).



Figura 16. Observación e identificación a nivel de grandes grupos de la meiofauna.

5.4.3. Análisis estadístico de los datos

El análisis granulométrico fue realizado mediante el programa GRADISTAT propuesto por Blott y Pye (2001) en donde se obtuvo la media ($\bar{X}_\phi$), clasificación (σ_ϕ), asimetría (SK_ϕ) y cúrtosis (K_ϕ) mediante los parámetros estadísticos descritos por Folk y Ward (1957) (Cuadro 2), así como la nomenclatura sedimentológica propuesto por Udden-Wentworth (1922) (Cuadro 3).

Cuadro 2. Escala granulométrica Udden-Wentworth (1922) basado con unidades phi para tamaños de grano de rocas y sedimentos clásticos.

Milímetros	µm	Phi (φ)	Tamaño de clase Wentworth
4096		-20	Roca (-8 to -12φ)
1024		-12	
256		-10	
64		-8	
16		-6	Guijarro (-6 to -8φ)
4		-4	
		-2	Guijarro (-2 to -6φ)
3.36		-1.75	
2.83		-1.50	Grava
2.38		-1.25	
2.00		-1.00	
1.68		-0.75	
1.41		-0.50	Arena muy gruesa
1.19		-0.25	
1.00		0.00	
0.84		0.25	
0.71		0.50	Arena gruesa
0.59		0.75	
1/2	500	1.00	
0.42	420	1.25	
0.35	350	1.50	Arena media
0.30	300	1.75	
1/4	250	2.00	
0.210	210	2.25	
0.177	177	2.50	Arena fina
0.149	149	2.75	
1/8	125	3.00	
0.105	105	3.25	
0.088	88	3.50	Arena muy fina
0.074	74	3.75	
1/16	63	4.00	
0.0530	53	4.25	
0.0440	44	4.50	Limo grueso
0.0370	37	4.75	
1/32	31	5	
0.0156	15.6	6	
1/64	7.8	7	Limo medio Limo fino Limo muy fino
1/128	3.9	8	
1/256	2.0	9	
0.0020	0.98	10	
0.00098	0.49	11	Arcilla
0.00049	0.24	12	
0.00024	0.12	13	
0.00012	0.06	14	

Cuadro 3. Parámetros granulométricos. Fuente: Márquez-García *et al.*, (2010) modificado de Folk y Ward (1974).

Índice de clasificación	Índice de asimetría	Índice de cúrtosis
Muy bien clasificado: < de 0.35 φ	Fuertemente asimétrico hacia finos: +1.00 a +0.30	Muy platicúrtica: < de 0.67
Bien clasificado: 0.35 φ a 0.50 φ	Asimétrico hacia finos: +0.30 a +0.10	Platicúrtica: 0.67 a 0.90
Moderadamente bien clasificado: 0.50 φ a 0.71 φ	Casi simétrico: +0.10 a -0.10	Mesocúrtico: 0.90 a 1.11
Moderadamente clasificado: 0.71 φ a 1.00 φ	Asimétrico hacia gruesos: -0.10 a -0.30	Leptocúrtico: 1.11 a 1.50
Pobremente o Mal clasificado: 1.00 φ a 2.0 φ	Fuertemente asimétricos hacia gruesos: -0.30 a -1.00	Muy leptocúrtico: 1.50 a 3.0
Muy mal clasificado: 2.00 φ a 4.00 φ		Extremadamente leptocúrtico: > de 3
Extremadamente mal clasificado: > de 4.0 φ		

Mediante el software PAST se realizó un dendrograma de cluster con distancia euclidiana y ligamento UPGMA con grupos pareados para reconocer la relación por grupos entre los sedimentos y los sitios de anidación de *L. polyphemus* de la Península de Yucatán.

Se realizaron pruebas de Análisis de Varianza (ANOVA) de una sola vía con un intervalo de confianza del 95% conformados por los datos correspondientes a los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo y sitios de playas muestreados, para identificar si existe diferencias significativas ($p=0.05$) entre el tamaño medio del grano (ϕ), generando histogramas con curva normal y gráficas de intervalo de tolerancia con un 95% de confianza para los datos media del grano.

Así mismo, se realizó una prueba de Tukey para la comparar los sitios e identificar posibles sitios diferentes, para este análisis fue empleado el software MiniTab Statistical V.18.1.

En el caso de la meiofauna, se emplearon pruebas de Análisis de Varianza (ANOVA) de una sola vía con un intervalo de confianza al 95% para encontrar diferencias significativas con los datos generales obtenidos de cada estado. Con respecto a los grandes grupos de meiofauna reportados, se realizó un análisis de diversidad de Shannon-Wiener, riqueza de taxones, individuos e índice de uniformidad de Simpson, con un intervalo de confianza del 95% para identificar diferencias significativas con los Estados de la Península de Yucatán respecto a los grupos de la meiofauna empleando los software MiniTab Statistical V.18.1 y PAST.

Se empleó el software MVSP (MultiVariate Statistical Package) para realizar el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) para identificar la existencia de alguna relación entre los sitios de anidación de *L. polyphemus*, la granulometría de sedimentos y los grupos de la meiofauna.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se colectaron 86 muestras de sedimentos provenientes de la Península de Yucatán, de los cuales, 43 muestras se destinaron al análisis granulométrico y el resto se emplearon en el análisis de la meiofauna.

Las muestras fueron colectadas en las zonas intermareales, donde las poblaciones de *L. polyphemus* arriban para la elaboración de nidos y depositación de huevecillos como lo plantean Rudloe (1980); Penn y Brockmann (1994) y Weber y Carter (2009) quienes afirman que las áreas intermareales de playas desempeñan una fuente primordial en conjunto con las condiciones óptimas para la anidación y la tasa de éxito de larvas.

Las áreas muestreadas presentaron un ambiente costero-marino dominado por la presencia de períodos de seca y humedad por ubicarse en la zona intermareal, en algunos sitios se contó con la presencia de manglar y líneas de costa con poca dinámica litoral y la presencia de pastos y algas marinas; de acuerdo a Mejía-Ortiz (2006) este ambiente es el más característico para la presencia de las poblaciones de *L. polyphemus* ayudando en la presencia de sus conductas reproductivas.

6.1. Análisis granulométrico de los sedimentos

Las características de los sitios de anidación de *L. polyphemus* se caracterizó por la presencia de sedimentos biogénicos, con restos de conchas, residuos de moluscos esqueléticos, fragmentos de coral, algas calcáreas, depósitos de foraminíferos, entre otros.

Ante lo mencionado anteriormente, dichas características del ambiente sedimentario, se atribuye a la región atlántica del margen litoral de la Península de Yucatán y parte del Caribe por el contenido en grandes cantidades de carbonato de calcio, aportados por los ríos hacia el mar originando materia prima donde los organismos marinos aprovechan y construyen sus testas y esqueletos calcáreos, de igual manera, la Península de Yucatán posee regiones estables con áreas con menor relieve lo que origina tasas bajas de sedimentación y la poca existencia de

descarga de sedimentos hacia al océano; así como poseer un margen tectónico muy inactivo (Carranza-Edwards *et al.*, 1996). Por otra parte, la presencia de sedimentos carbonatados no influye en los diferentes tipos de grano de sedimento (grueso, medio y fino).

En los resultados obtenidos se observaron estas características, sedimentos con alta presencia de restos orgánicos en áreas con presencia de vegetación en todos los sitios de muestreo, con líneas de costa con dinámicas oceánicas que permite la depositación de sedimentos de tamaños gruesos, medios y finos.

Por lo tanto, de manera general y de acuerdo con la escala granulométrica de Udden-Wentworth (1922), los sedimentos de las áreas intermareales muestreadas y analizadas pertenecen a composiciones de arenas en su totalidad.

De acuerdo al estudio granulométrico de los sedimentos, la mayoría de los sitios de anidación presentaron composiciones de arenas gruesas y arenas medias, con una clasificación pobremente/mal clasificada, casi simétrica con asimetría a gruesos, con tendencia hacia gruesos y con una curva platicúrtica.

Los resultados de dicho análisis para cada estado, correspondiente a la media, la desviación estándar (selección), asimetría (sesgo) y córtosis se indican en el Cuadro 4 y se describen a continuación.

6.1.1. Caracterización granulométrica para los sitios de muestreo del Estado de Campeche

Para el caso del Estado de Campeche, la mayoría de los sitios presentaron arenas gruesas con tendencias a arenas medias, pobremente clasificados, casi simétricos hacia los gruesos, con una mayor tendencia hacia los gruesos y una curva platicúrtica.

En los sitios de Los Álamos y Las Minas se presentaron granos medios y gruesos a comparación del Puente Icahao, donde se conformaron de tamaños de granos gruesos, sin embargo, en Isla Aguada los tamaños de grano fueron composiciones

mayormente de arenas medias y finas. Estos resultados son similares al estudio realizado por Rosales Raya (1999) donde argumenta que los sitios de Isla Aguada presentaron un gradiente de grano a arena fina a limo-arcilla, en comparación con Puente Icahao, donde se ubicaron arenas muy gruesas a arenas medias al caracterizar el ambiente costero de zonas de anidación de *L. polyphemus*.

El estudio de Bolongaro Crevenna Recaséns *et al.* (2010) indicaron que para el área de Isla Aguada, los sedimentos fueron clasificados como arena media en su mayoría y menores composiciones de arena muy gruesa a fina respecto a sitios de anidación de tortugas. Se pudo determinar que, posiblemente las variaciones en el caso de Isla Aguada como área de anidación de *L. polyphemus* y de tortugas ante las fluctuaciones de cambios de tipo de arena, puede tener una relación con las corrientes marinas, las acciones eólicas y las pendientes de la línea de costa ya que poseen tierras emergidas como sumergidas en su totalidad.

En el caso de Puente Icahao, se debe a que el área se encuentra cerca del río y es una área muy estrecha por lo que la presencia de granos gruesos se deba a que el material fino es lavado y depositado lejos de las líneas de costa por las acciones fuertes de mareas, originando tamaños gruesos en solamente esos sitios de anidación.

En comparación con los sitios de Las Minas y Los Álamos donde existió una pendiente menos pronunciada y una extensa plataforma por lo que el paso de mareas ocasiona una mezcla de diferentes tamaños de grano de arena (gruesos y medios).

6.1.2. Caracterización granulométrica para los sitios de muestreo del Estado de Yucatán

En Yucatán, las predominancias del tipo de grano en los sitios de anidación fueron composiciones de arenas gruesas y arenas medias con pocas conformaciones de arenas finas, pobremente clasificados, con asimetrías fuertemente hacia los finos (positivo) y gruesos, con una mayor tendencia hacia gruesos y con curvas de

distribuciones platicúrtica, mesocúrticas y leptocúrtica, estos parámetros texturales obtenidos son muy similares a los datos reportados por Nolasco-Montero y Carranza-Edwards (1988) quienes reportan que las playas de Yucatán están representadas por sedimento con tipo de grano de arenas gruesas, pobremente clasificados, simétricos hacia gruesos y una curva platicúrtica, al igual que un estudio reciente de Sandoval Gío *et al.* (2018) dónde afirma que el tamaño de grano se relaciona con la actividad biológica y reproductiva de *L. polyphemus* en la región de Rio Lagartos perteneciente a la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos (RBRL) Yucatán, este organismos prefiere en las líneas intermareales con sedimentos de arena media, pobremente clasificados, casi simétricos con una curva muy platicúrtica.

Lo cual, deriva que estas composiciones del tipo de grano se deba a la existencia del sistema arrecifal localizado al norte del banco de Campeche y algunos sitios de muestreo se localicen al margen cercano de zonas costero-marino (Sisal, San Felipe, El Cuyo, Industria Salinera y Chiquilá (Balneario) cuyas pendientes de perfil de playa en su mayoría son planos, así como los cambios en las actividades de flujo de mareas ya que prácticamente la Plataforma Yucateca presenta una llanura con relieve moderado, en comparación con la parte oriental donde existen relieves erosionados por fuertes corrientes marinas derivado por el Canal de Yucatán, originando áreas profundas con algunas partes inestables propiciando diferentes ambientes de depósitos de sedimentos (Wilhelm y Ewing, 1972).

6.1.3. Caracterización granulométrica para los sitios de muestro del Estado de Quintana Roo

En Quintana Roo, las características texturales de los sitios de muestreo abarcaron como abundantes los tamaños de granos de arenas finas y baja conformaciones de arenas medias, moderadamente clasificados, casi simétricos con tendencias hacia finos (positivo) y con una curva leptocúrtica.

Tomando en referencia los datos reportados por Nolasco-Montero y Carranza-Edwards (1988) se puede observar una similaridad con los datos obtenidos, ya que destaca que para las playas de Quintana Roo, poseen granos de arenas finas, mejor clasificados, simétricos y con curvas leptocúrticos.

De igual forma, Ward (1975) argumenta que Isla Blanca comprende una extensión de 9 kilómetros de largo y casi 1 kilómetro de ancho, conformado por conjuntos de crestas de sedimentos de origen Holoceno, las dunas que conforman dicha isla comprenden sedimentos con selección muy bien ordenada/mal ordenados y tamaños de granos finos y medianos, a su vez, afirma que las dunas costeras están conformadas del 90% de granos finos. Por tanto las áreas de anidación de *L. polyhemus* se encuentran ante un ecosistema costero-marino con lagunas muy angostas que origina que las energías del oleaje se reduzcan al entrar por algunas venas del sistema costero y lagunar ocasionando menores oleajes, propiciando la existencia de material fino en conjunto con el sistema de arrecifes protegiendo parte del litoral de Quintana Roo.

6.1.4. Parámetros de asimetría y cúrtosis para los tres estados

Tomando en cuenta los valores obtenidos de los parámetros de asimetrías y cúrtosis para los sitios de muestreo, se obtuvo en el caso de asimetrías; en su mayoría casi simétricos, con asimetrías hacia gruesos y una mayor tendencia de los resultados negativos (gruesos).

Dichos resultados obtenidos son semejantes como lo señalan Mason y Folk (1958) quienes afirman que en el caso particular de playas arenosas, poseen una asimetrías sesgadas negativamente (gruesos) y muy raros en sesgados positivos (finos) y muy mal ordenadas.

La atribución de material con asimetrías negativas hace mención a la eliminación del material fino y la existencia y presencia de material grueso o en su caso existiendo mezclas con fragmentos de conchas de acuerdo con Martins (1965).

En el caso del parámetro granulométrico de cúrtosis; se obtuvieron mayormente curvas platicúrticas, estos datos obtenidos son similares como lo señalan los autores Cronan (1972) y Barusseau y Braud (2014), quienes manifiestan que se relacionan a mezclas de diversas proporciones de poblaciones del tamaño de grano en los sedimentos (polimodales).

Cuadro 4. Parámetros texturales del sedimento de la Península de Yucatán. AG=arena gruesa; AM=arena media; AF=arena fina; AMG=arena muy gruesa; Pob Clas=pobrememente clasificado; Mod Clas=moderadamente clasificado; CS=casi simétrico; FAG=fuertemente asimétrico hacia gruesos; AF=asimétrico hacia finos; FAF=fuertemente asimétricos hacia finos; AG=asimétricos hacia gruesos; MP=muy platicúrtico; P=platicúrtico; L=leptocúrtico; M=mesocúrtico; ML=muy leptocúrtico.

Estado	Sitio	Repetición	$\bar{x}\phi$	Media	$\sigma\phi$	Clasificación	$Sk\phi$	Asimetría	$K\phi$	Cúrtosis
Campeche										
	Los Álamos	I	0.839	AG	1.580	Pob Clas	-0.035	CS	0.631	MP
	Los Álamos	II	1.005	AM	1.433	Pob Clas	0.073	CS	0.767	P
	Los Álamos	III	0.804	AG	1.576	Pob Clas	0.013	CS	0.758	P
	Los Álamos	IV	1.323	AM	1.373	Pob Clas	-0.312	FAG	1.195	L
	Los Álamos	V	1.332	AM	1.406	Pob Clas	-0.307	FAG	0.887	P
	Los Álamos	VI	0.809	AG	1.567	Pob Clas	-0.084	CS	0.791	P
	Puente Icahao	I	0.156	AG	1.335	Pob Clas	0.238	AF	0.820	P
	Puente Icahao	II	0.731	AG	1.045	Pob Clas	0.244	AF	0.757	P
	Puente Icahao	III	0.076	AG	1.368	Pob Clas	0.327	FAF	0.821	P
	Puente Icahao	IV	0.864	AG	1.194	Pob Clas	-0.144	AG	0.896	P
	Puente Icahao	V	0.675	AG	1.174	Pob Clas	-0.019	CS	0.872	P
	Puente Icahao	VI	0.496	AG	1.381	Pob Clas	-0.144	AG	0.782	P
	Las Minas	I	1.771	AM	0.986	Mod Clas	-0.178	AG	1.165	L
	Las Minas	II	1.650	AM	1.041	Pob Clas	-0.156	AG	0.780	P
	Las Minas	III	0.995	AG	1.537	Pob Clas	-0.407	FAG	0.886	P
	Las Minas	IV	0.786	AG	1.232	Pob Clas	0.012	CS	0.880	P
	Las Minas	V	1.083	AM	1.577	Pob Clas	-0.393	FAG	0.691	P
	Isla Aguada	I	1.721	AM	1.021	Pob Clas	-0.143	AG	0.738	P
	Isla Aguada	II	2.616	AF	1.010	Pob Clas	-0.046	CS	0.723	P
	Isla Aguada	III	2.164	AF	0.845	Mod Clas	0.270	AF	1.101	M
	Isla Aguada	IV	0.938	AG	1.011	Pob Clas	0.092	CS	1.116	M
	Isla Aguada	V	1.419	AM	1.307	Pob Clas	-0.102	AG	1.183	L

Yucatán	Isla Aguada	VI	1.009	AM	1.401	Pob Clas	0.455	FAF	0.789	P
	Chiquilá (Balneario) S1	I	0.408	AG	1.683	Pob Clas	0.424	FAF	0.760	P
	Chiquilá (Balneario) S2	II	0.478	AG	1.394	Pob Clas	0.005	CS	0.890	P
	Chiquilá (Balneario) S3	III	1.763	AM	1.717	Pob Clas	-0.203	AG	1.063	M
	Chiquilá (Balneario) S4	IV	0.874	AG	1.759	Pob Clas	-0.014	CS	0.714	P
	Chiquilá (Balneario) S5	V	0.196	AG	1.468	Pob Clas	0.345	FAF	0.658	MP
	Chiquilá (Balneario) S6	VI	0.015	AG	1.445	Pob Clas	0.478	FAF	0.886	P
	Industria salinera S1	I	2.732	AF	1.419	Pob Clas	-0.286	AG	1.244	L
	Industria salinera S2	II	1.559	AM	1.535	Pob Clas	-0.183	AG	1.004	M
	El Cuyo S1	I	2.332	AF	0.973	Mod Clas	-0.661	FAG	1.567	ML
	El Cuyo S2	II	1.783	AM	1.158	Pob Clas	-0.283	AG	1.484	L
	El Cuyo S3	III	2.408	AF	0.812	Mod Clas	-0.359	FAG	1.230	L
	San Felipe S1	I	0.057	AG	1.402	Pob Clas	0.377	FAF	0.894	P
	San Felipe S2	II	1.376	AM	1.395	Pob Clas	-0.361	FAG	0.904	M
	San Felipe S3	III	-0.490	AMG	1.191	Pob Clas	0.796	FAF	0.900	M
	Sisal S1	I	1.510	AM	1.323	Pob Clas	-0.345	FAG	0.932	M
	Sisal S2	II	1.802	AM	1.133	Pob Clas	-0.258	AG	1.447	L
	Sisal S3	III	2.084	AF	0.782	Mod Clas	0.059	CS	1.127	L
Quintana Roo	Isla Blanca S1	I	1.825	AM	0.920	Mod Clas	-0.131	AG	1.164	L
	Isla Blanca S2	II	2.054	AF	0.777	Mod Clas	0.070	CS	1.150	L
	Isla Blanca S3	III	2.084	AF	0.782	Mod Clas	0.059	CS	1.127	L

6.2. Análisis de cluster (dendrograma con distancia euclidiana y ligamiento aritmético UPGMA)

Para reconocer si existe alguna relación entre los sitios y sedimentos se empleó el análisis de algoritmo UPGMA (grupos pareados) con distancia Euclidiana (Figura 17). Se pudo observar, a un 50% de similaridad, la presencia de 5 conjuntos separados. El primer y segundo grupo estuvieron caracterizados en su mayoría por la presencia de arenas medias y arenas finas, respectivamente.

El tercer grupo estuvo conformado por sitios con presencia específicas de arenas muy gruesas, mientras que el cuarto y quinto grupo, conformados por arenas medias y gruesas. Sin embargo, a pesar que el cuarto grupo engloban sitios con conformaciones de arenas medias, es relevante la abundancia total de arenas gruesas en los últimos dos grupos.

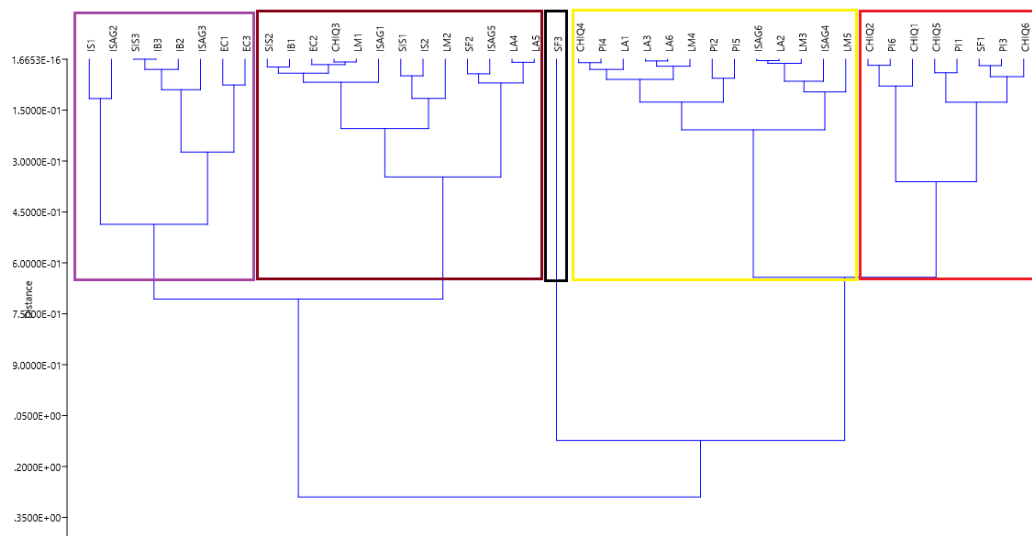


Figura 17. Dendrograma del análisis de Cluster (distancia euclidiana y ligamiento aritmético UPGMA) para relación entre los sedimentos en cada sitio basado en el tamaño medio ($\bar{x}$), los nombres de cada sitio están representado por las iniciales y el número de sitio.

6.3. Análisis de varianza

6.3.1. ANOVA de un solo factor para el tamaño medio del grano ($\bar{x}$) vs. estado

De acuerdo al análisis de varianza obtenido de los resultados de manera general para los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo para identificar si existen diferencias significativas de acuerdo al tamaño medio del grano ($\bar{x}$) están representados en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Análisis de variancia de una sola vía con un 95% de confianza, donde p es mayor a 0.05, no existiendo diferencias entre el tamaño de grano en los sedimentos de la Península de Yucatán.

INFORMACIÓN DEL FACTOR					
Factor	Niveles	Valores			
ESTADO	3	CAMPECHE, QUINTANA ROO, YUCATAN			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESTADO	2	2.107	1.0534	1.84	0.171
Error	40	22.845	0.5711		
Total	42	24.952			

Dichos resultados, se pueden observar que no presentaron diferencias significativas ($p=0.05$) de manera general para los tres estados de la Península de Yucatán.

Para comprobar esta información, se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) generando una gráfica de intervalos con un 95% de nivel de confianza (Figura 18). Se comprueba que los intervalos de los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo no presentaron diferencias significativas entre sí.

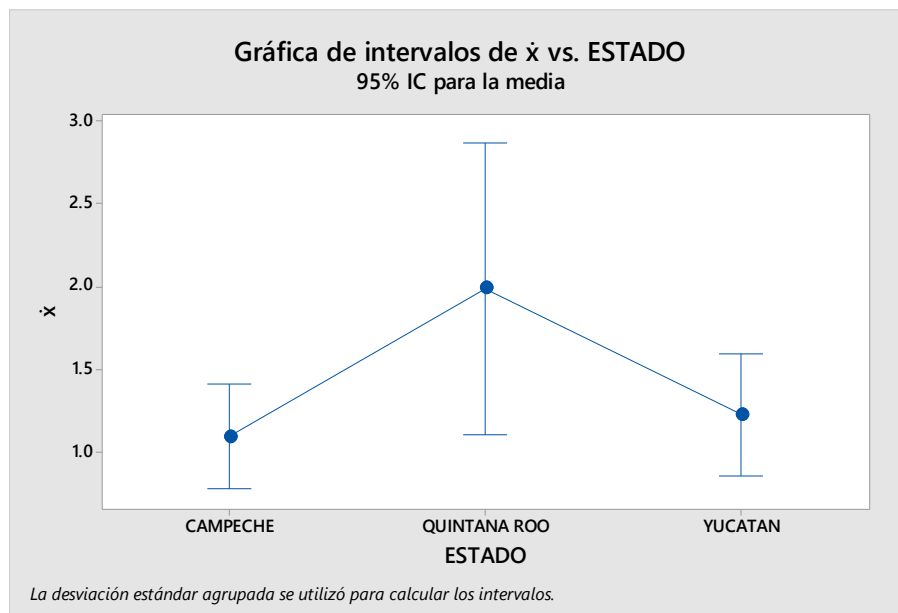


Figura 18. Gráfica de intervalos con un 95% de nivel de confianza con valores promedios y desviación estándar para los tres estados pertenecientes de la Península de Yucatán en relación con el tamaño medio del grano ($\bar{x}$) en áreas de anidación de *L. polyphemus*.

Mediante el diagrama de cajas y bigotes (Figura 19) se pueden observar las tendencias centrales y variaciones de las distribuciones de muestras en cuanto al parámetro de la media del grano ($\bar{x}$) para los estados de la Península de Yucatán.

Se obtuvo que los valores de las medianas para los tres estados, demostraron ser diferentes, pero, sin embargo, los grosores medios de algunos sitios de los estados parecen ser diferentes con respecto a la media del grano, como es el caso del estado de Campeche.

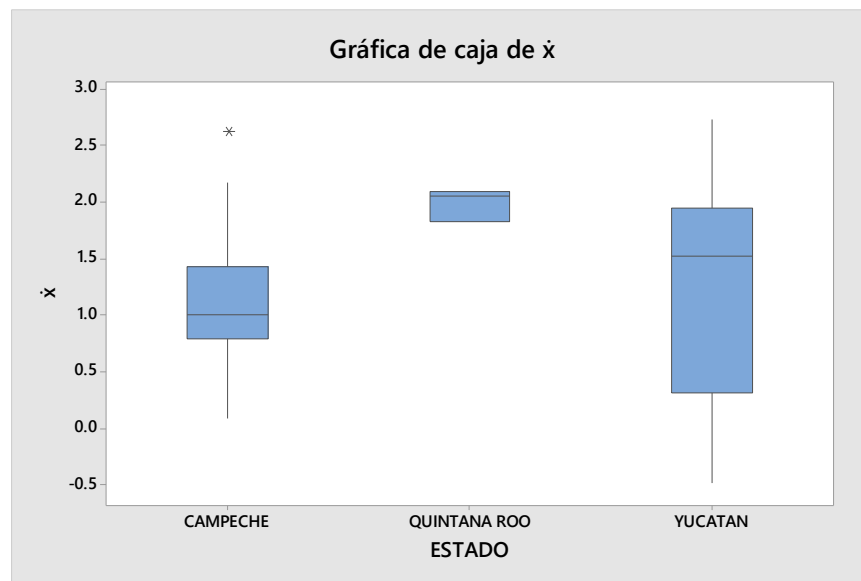


Figura 19. Gráfica de cajas y bigotes valores promedios, máximos y mínimos de distribuciones de los sedimentos presentes en áreas de anidación de *L. polyphemus* en los 3 estados pertenecientes a la Península de Yucatán.

Para conocer las curvas de acumulación o tendencias que poseen estos tres estados, se realizó un histograma con curva normal (Figura 20). Se determinó que los tres estados de la Península de Yucatán a pesar que no presentaron diferencias significativas, las curvas de acumulación de desviación estándar fueron distintas, pudiéndose observar curvas diferentes.

Para Campeche se presentó una curva mesocúrtica, para Yucatán una curva platicúrtica y para Quintana Roo una curva leptocúrtica.

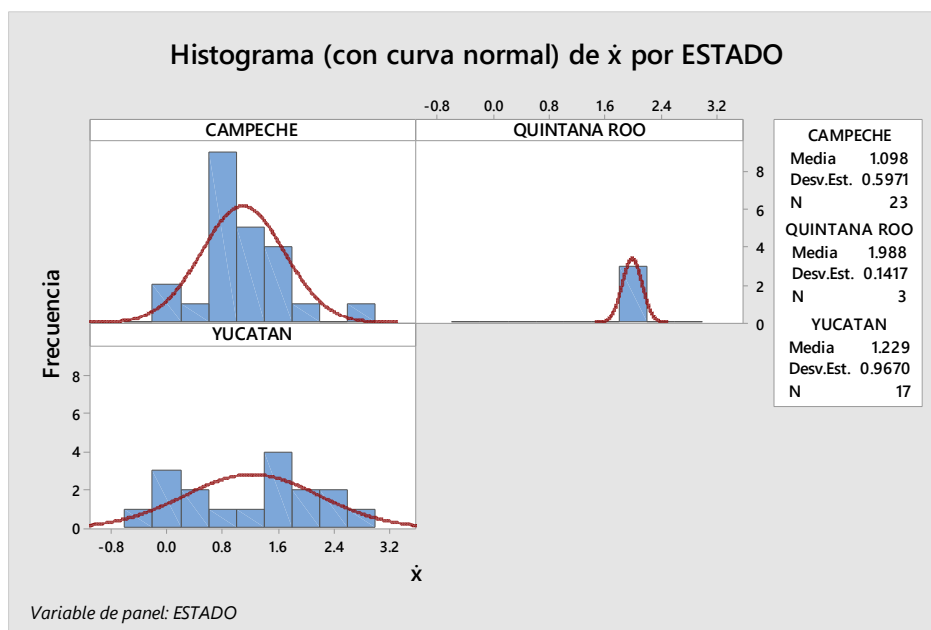


Figura 20. Histograma de tamaño medio del grano en los tres estados de la Península de Yucatán.

6.3.2. ANOVA de un solo factor para el tamaño medio del grano ($\bar{x}$) vs. sitios de anidación

A través del análisis de varianza para los sitios de muestro, se pudieron observar diferencias significativas, es decir, que ciertas áreas fueron distintas con respecto al tamaño de grano (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de variancia de una sola vía a un 95% de confianza, donde p es menor a 0.05, existiendo diferencias entre el tamaño de grano en los sedimentos de la Península de Yucatán.

INFORMACIÓN DEL FACTOR					
Factor	Niveles	Valores			
SITIO	11	CHIQUILA, EL CUYO, INDUSTRIA SALINERA 1, INDUSTRIA SALINERA 2, ISLA AGUADA, ISLA BLANCA, LAS MINAS, LOS ALAMOS, PUENTE ICAHAO, SAN FELIPE, SISAL			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
SITIO	10	16.951	1.6951	6.78	0
Error	32	8	0.25		
Total	42	24.952			

Se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con intervalos del 95% de confianza (Figura 21) con el fin de analizar los sitios que presentaron diferencias o similitud en relación con la media del tamaño del grano ($\bar{x}$). Por lo que, los intervalos variaron respecto a cada sitio de muestreo.

De forma general, se observó que los sitios estudiados presentaron intervalos que se sobreponen (medias), pero también, presentaron ciertos sitios con diferencias significativas, con respecto a la mediana del resto de los sitios.

Se observó que en Chiquilá, El cuyo, Industria Salinera 1, Isla Aguada, Isla Blanca, Los Álamos, Puente Icahao, San Felipe y Sisal correspondieron a sitios donde se presentaron diferencias significativas, mientras que Salinera 2 y Las Minas presentaron semejanzas con el resto de los sitios muestreados.

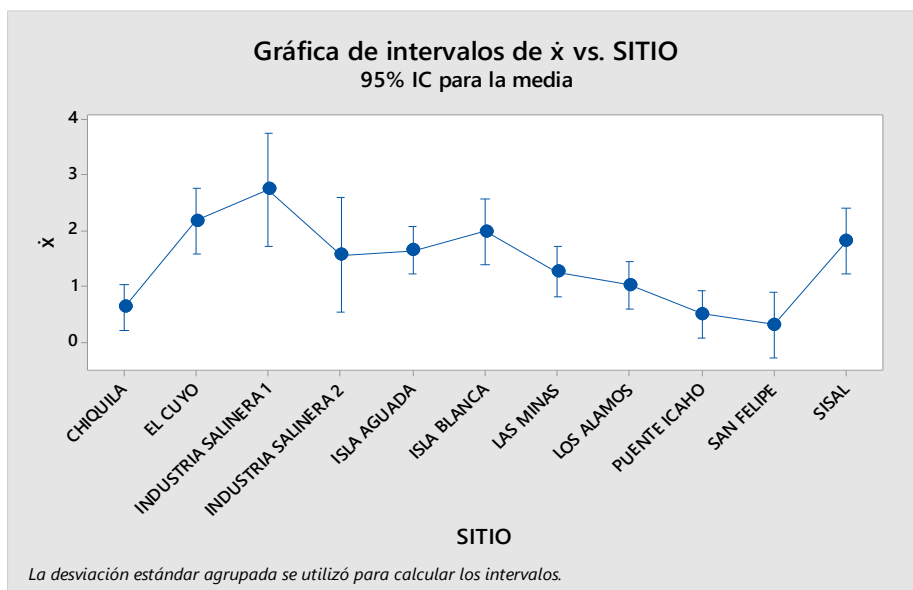


Figura 21. Gráfica de intervalos con un 95% de nivel de confianza con valores promedios y desviación estándar para los sitios pertenecientes a la Península de Yucatán en relación con el tamaño medio del grano ($\bar{x}$) en áreas de anidación de *L. polyphemus*.

Mediante diagramas de cajas y bigotes (Figura 22) se pudieron observar las tendencias centrales y las variaciones de las distribuciones de las muestras en cuanto al parámetro medio del grano para los sitios estudiados.

Se observó que el sitio de Industria Salinera 1 fue el más representativo, lo que indica una diferencia estadísticamente en comparación con los sitios estudiados.

Por su parte, los grosores medios de algunos sitios estudiados se registraron posibles diferencias, tal es el caso de Chiquilá, Las Minas y Puente Icahao quienes presentaron asimetrías hacia la izquierda, mientras que sitios de El Cuyo e Isla Blanca se posicionaron con asimetrías hacia la derecha.

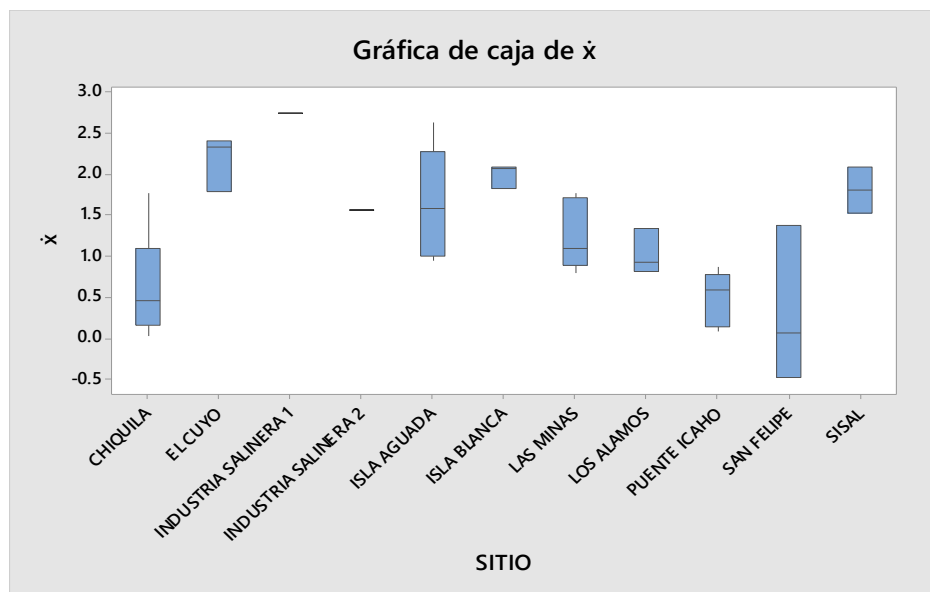


Figura 22. Gráfica de cajas y bigotes valores promedios, máximos y mínimos de distribuciones de los sedimentos presentes en los sitios de anidación de *L. polyphemus* pertenecientes a la Península de Yucatán.

Las diferencias significativas encontradas ($p < 0.05$) en los sitios de anidación de *L. polyphemus* en la Península de Yucatán se sitúan en playas con procesos de mareas entre estables y fuerte con zonas con energía bajas y fuerte (flujo y reflujo del oleaje) asociados con el frente litoral de costas.

Sin embargo, la porción este de la Península de Yucatán se componen de tamaños de arenas finos por pocas fluctuaciones de mareas y corrientes oceánicas en comparación con las porciones litorales del norte y oeste ya que las masas de corrientes oceánicas se distribuyen en el sentido contrario (izquierda-

derecha) en las épocas de verano e invierno de acuerdo como lo establece Carranza-Edwards *et al.* (1996).

Se demostró que para los sitios de muestreo se observó una gran diferencia entre las tendencias y las curvas de acumulación en los histogramas elaborados (Figura 23), tomando como criterio la media ($\bar{x}$).

Se obtuvieron curvas platicúrticas en los sitios de San Felipe; curvas mesocúrticas obtenida para Chiquilá (Balneario), Isla Aguada, Las Minas, y Sisal y por último, curvas leptocúrticas para los sitios como El Cuyo, Isla Blanca, Los Álamos y Puente Icahao.

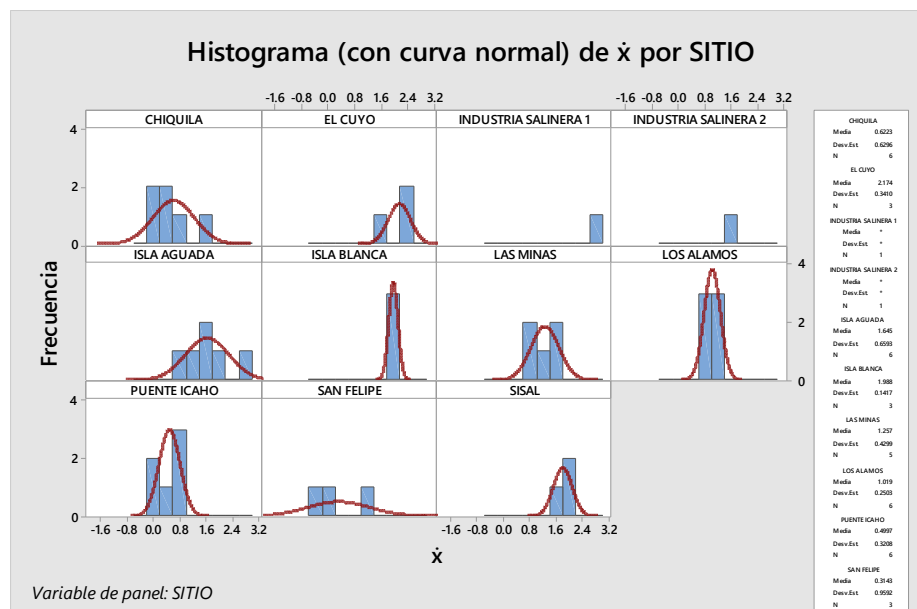


Figura 23. Histograma de tamaño medio del grano en los sitios de muestreo pertenecientes a la Península de Yucatán.

6.3.3. Prueba de Tukey

Se procedió a realizar la prueba de Tukey con un intervalo de confianza del 95% (Cuadro 7), la Tabla muestra los sitios estudiados con las medias y posibles agrupaciones, se observó que los sitios de Industria Salinera 2, Las Minas y Los Álamos se situaron en el mismo litoral (A, B y C).

Los sitios de Industria Salinera 1, El Cuyo, Isla Blanca e Isla Aguada (A) fueron diferentes con respecto al sitio de Chiquilá (B y C), a su vez, el sitio de Sisal (A y B) con los sitios de Puente Icahao y San Felipe (C) fueron diferentes. Por lo que indicaron que el sitio de Industria Salinera posee una media significativamente mayor que el sitio de San Felipe.

Cuadro 7. Comparaciones de medias de sitios muestreados mediante el método de Tukey con un intervalo de confianza del 95%.

COMPARACIONES EN PAREJAS DE TUKEY			
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%			
SITIO	N	Media	Agrupación
INDUSTRIA SALINERA 1	1	2.732	A
EL CUYO	3	2.174	A
ISLA BLANCA	3	1.9877	A
SISAL	3	1.799	A B
ISLA AGUADA	6	1.645	A
INDUSTRIA SALINERA 2	1	1.559	A B C
LAS MINAS	5	1.257	A B C
LOS ÁLAMOS	6	1.019	A B C
CHIQUILÁ	6	0.622	B C
PUENTE ICAHAO	6	0.5	C
SAN FELIPE	3	0.314	C

**Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

6.3.4. Intervalo de tolerancia del 95% respecto con el tamaño medio de los sedimentos del total de sitios muestreados

La grafica de probabilidad normal (Figura 24) demuestra que los residuos graficados en el plano forman una línea recta lo que establece que los datos pertenecen a una distribución normal por tener en su mayoría datos cerca de la línea, ya que el valor de p de la prueba de normalidad es de 0.691 lo que indica que es mayor que el nivel de significancia ($p = 0.05$).

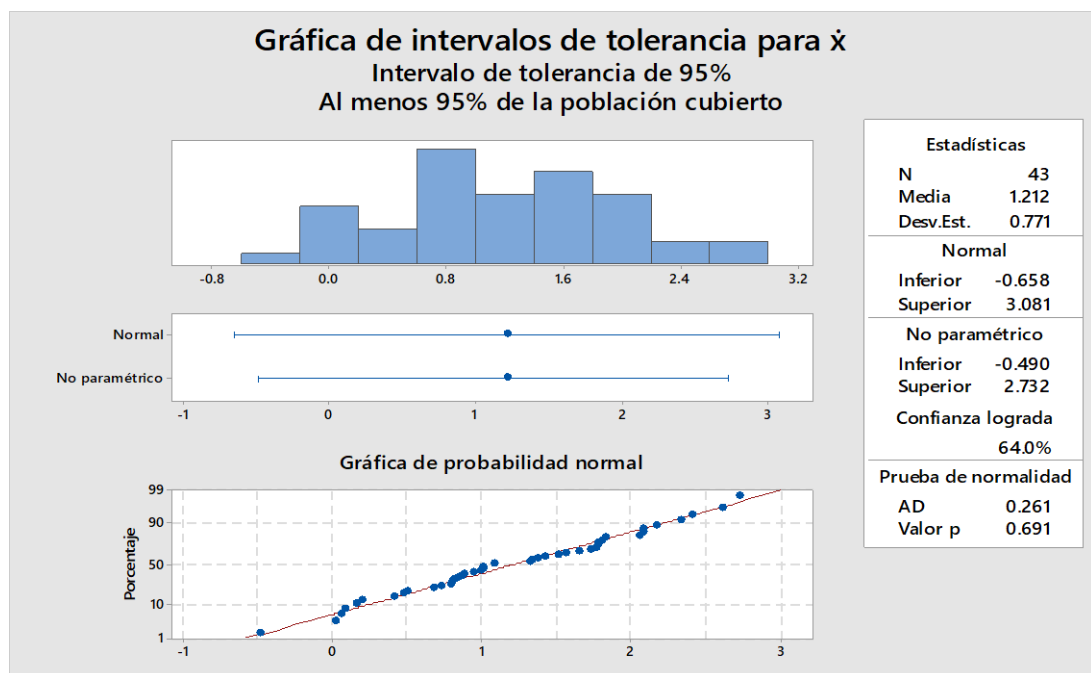


Figura 24. Gráfica de intervalos de tolerancia con intervalo del 95% respecto con el tamaño medio del grano de los sitios muestreados de la Península de Yucatán.

6.4. Análisis de Meiofauna

6.4.1. Abundancia por grupo

Se identificó la heterogeneidad faunística de seis grandes grupos pertenecientes a la meiofauna, correspondiente a las 43 muestras tomadas a lo largo de las costas donde se presentaron áreas de anidación y reproducción de *L. polyphemus* en la Península de Yucatán.

Dichas muestras fueron tomadas a pocos centímetros de las áreas intermareales, donde se identificaron grupos relevantes, estos resultados son similares a los autores Olafsson (1991); Rodríguez *et al.* (2001) y Riera *et al.* (2012) en el que establecen la abundancia de grupos a pocos centímetros de la superficie, aunque en muchos casos se logran adaptar a las condiciones de cambios del ambiente, disponibilidad de alimento y de la topografía del sustrato.

Existe literatura donde respaldan estudios sobre la identificación de la meiofauna a nivel superior taxonómicamente como en el caso de los autores Sellanes *et al.*

(2003); Rodrigo *et al.* (2006); Veiga *et al.* (2010), Stead *et al.* (2011); Avilés-Ramírez *et al.* (2016) por mencionar algunos. Los grupos identificados en el presente estudio comprendieron los grupos: nemátodos, anfípodos, copépodos, foraminíferos, rotíferos y ostrácodos como lo describe el Cuadro 8.

El grupo con mayor abundancia fue el grupo de nemátodos. Los grupos representativos con abundancia relativamente mayor, pero muy bajos del grupo nemátodos, fueron los grupos de ostrácodos, anfípodos y foraminíferos. Por lo tanto, los nemátodos comprendieron cómo el grupo más diverso y se sitúan en todos los ambientes marinos en comparación con otros grupos del meiobentos, según lo establecido por Jesús-Navarrete (1993); Ardisson Herrera y Castillo Fernández (1997); Escobar *et al.* (1997); De Jesús Navarrete y Herrera Gómez (1999), De Jesús-Navarrete (2007) y Avilés-Ramírez *et al.* (2016).

De acuerdo con Giere (2009) argumenta que los nemátodos dominan tanto en abundancia (80-95%) y en biomasa (50-90%), por lo tanto, es el grupo más representante del resto de otros grupos de meiobentos y se comprueba con los resultados obtenidos.

Los grupos con bajo número de organismos comprendieron los grupos de copépodos y rotíferos. En el caso de grupos de copépodos y rotíferos, se registraron con poca presencia de organismos en sitios.

Las variaciones en el número y abundancia de los organismos están relacionadas a las corrientes y saturaciones de mareas, existentes en los límites intermareales de las playas a lo que derivan las fluctuaciones de cambios en abundancia en ciertos sitios de muestreos e incluso en algunos grupos muy específicos de los meiobentos, evitando el asentamiento y la colonización de áreas, propiciando disminución en abundancia y diversidad de grupos como se pudo observar en los resultados obtenidos.

Cuadro 8. Síntesis de grupos de meiofauna reportados en áreas de anidación de *L. polyphemus* en la Península de Yucatán.

Grupos de meiobentos encontrados								
Estado	Sitio		Nemátodos	Anfípodos	Copépodos	Foraminíferos	Rotíferos	Ostrácodos
Campeche								
	Los Álamos	I	186	10	0	20	0	5
	Los Álamos	II	191	45	0	0	0	63
	Los Álamos	III	190	0	2	0	0	9
	Los Álamos	IV	265	25	4	10	0	0
	Los Álamos	V	352	20	0	4	0	15
	Los Álamos	VI	224	0	0	102	0	0
	Puente Icahao	I	338	28	0	33	2	0
	Puente Icahao	II	189	27	0	40	0	10
	Puente Icahao	III	325	100	0	30	0	20
	Puente Icahao	IV	225	33	0	0	0	28
	Puente Icahao	V	270	7	0	5	0	3
	Puente Icahao	VI	239	61	0	7	0	14
	Las Minas	I	99	0	0	0	0	22
	Las Minas	II	98	25	0	0	0	54
	Las Minas	III	189	75	0	0	0	19
	Las Minas	IV	113	8	0	5	0	12
	Las Minas	V	366	23	0	3	0	22
	Isla Aguada	I	46	104	0	30	0	43
	Isla Aguada	II	610	24	0	0	0	13
	Isla Aguada	III	325	31	1	15	0	0
	Isla Aguada	IV	146	39	0	10	0	0
	Isla Aguada	V	355	4	0	0	0	77
	Isla Aguada	VI	477	5	0	0	0	34
Yucatán								

Quintana Roo	Chiquilá (Balneario)	I	228	55	0	18	0	56
	Chiquilá (Balneario)	II	144	9	0	42	0	51
	Chiquilá (Balneario)	III	287	3	0	31	0	54
	Chiquilá (Balneario)	IV	295	16	0	11	0	24
	Chiquilá (Balneario)	V	160	24	1	60	0	13
	Chiquilá (Balneario)	VI	153	31	0	43	0	45
	Industria salinera	I	80	15	0	15	0	67
	Industria salinera	II	186	3	0	32	0	40
	El Cuyo	I	290	9	0	5	0	40
	El Cuyo	II	52	18	0	2	0	4
	El Cuyo	III	83	4	0	30	0	27
	San Felipe	I	100	54	0	10	0	5
	San Felipe	II	114	0	0	9	0	201
	San Felipe	III	354	1	0	39	0	184
	Sisal	I	262	10	0	20	0	28
	Sisal	II	474	17	0	11	0	150
	Sisal	III	87	2	0	0	0	10
	Isla Blanca	I	193	3	0	6	0	20
	Isla Blanca	II	141	0	0	16	0	28
	Isla Blanca	III	197	0	0	21	0	3

Por su parte, Wieser (1959) y Giere (2009) consideran que la actividad del oleaje y la cantidad de oxígeno en los sedimentos son los principales factores que ocasionan una distribución de comunidades de la meiofauna en diferentes tipos de granos de sedimentos, y permite la ausencia o en su caso presencia en diversos sitios con diferencias en individuos de cada grupo.

Lo establecido anteriormente, se refleja en los resultados obtenidos en los grupos de meiofauna, lo que dicha distribución podría conducir a los organismos a situarse en los diferentes tipos de grano de arena y poseer adaptaciones en los sedimentos.

En el caso de los ostrácodos, se obtuvieron que se distribuyen en arenas gruesas, medias y finas cuyos números de organismos a grandes grupos es fluctuante en todos los sitios, es decir en ciertos sitios presentaron mayor y menor número de organismos, este indicador de presencia en tamaños de grano de sedimento es similar a lo reportado por Giere (2009) dónde establece que los ostrácodos poseen una distribución abundante en sedimentos de origen biogénico, también establecen que dichos organismos se presentan en sedimentos arenosos compuestos de arenas gruesas y finas, en el caso de arenas finas se distribuyen mayores poblaciones, por su parte, McIntyre (1969) reportó que estos organismos son más abundantes en sedimentos arenosos submareales que en sedimentos fangosos donde existe poca presencia, por tanto, en los resultados se obtuvieron ostrácodos en arenas gruesas, medias y finas, esto se puede relacionar a que especies de ostrácodos se encuentran adaptadas a un modo de vida intersticial.

6.4.2. Análisis de ANOVA

Para evidenciar la existencia de diferencias significativas entre la abundancia de meiofauna en relación con los estados de la Península de Yucatán, se aplicó un análisis ANOVA de una sola vía con un intervalo del 95% de confianza. Los resultados se muestran en el Cuadro 9.

En cuanto a los tres estados, el grupo de ostrácodos presentó diferencias significativas, a pesar de que los grupos de nemátodos, anfípodos y foraminíferos se encontraron con más dominancia. De forma general, éstos últimos no presentaron diferencias significativas en los tres estados (ver anexo), así como en los sitios muestreados por cada estado.

Cuadro 9. Resultados de las pruebas ANOVA de una sola vía para la abundancia de meiofauna con un intervalo del 95% de confianza. Factor Estados respecto a los grupos de meiofauna.

Factor (Estados)	Valor F	Valor de p
Nemátodos	1.3	0.285
Anfípodos	2.91	0.066
Copépodos	0.71	0.499
Foraminíferos	0.91	0.409
Rotíferos	0.42	0.658
Ostrácodos*	4.56	0.017*

*en rojo diferencia significativa (<0.05)

Por tanto, se estableció que en las zonas de anidación y reproducción de *L. polyphemus* en particular el grupo de nemátodos no presentaron diferencias ya que son semejantes en casi todos los sitios.

En el caso de ostrácodos, se obtuvieron diferencias estadísticas (<0.05), por lo que podrían existir cambios en la composición de este grupo taxonómico existiendo intervalos de presencia y ausencia, en comparación con el resto de los grupos con más representantes de meiobentos donde se presentaron de forma constante.

Según Machain-Castillo *et al.* (2014) establecen que en el caso de los foraminíferos y ostrácodos, presentan una relación con el ambiente donde se encuentran y se reconocen como especies bioindicadoras de ambientes, por lo que los resultados podrían estar vinculados a un cambio externo del ambiente dónde se encuentran los sitios de anidación de *L. polyphemus*, y posiblemente desempeñen a futuros estudios como organismos bioindicadores y expliquen los cambios bruscos del ambiente donde se encuentran.

6.5. Análisis de Diversidad

Se empleó el análisis de diversidad a los estados muestreados para establecer las posibles diferencias significativas entre la abundancia de los grupos de meiofauna. (Cuadro 10).

Cuadro 10. Síntesis del análisis de diversidad. Factor Estados con respecto a los grupos de meiofauna.

Factor (Estados)	Valor F	Valor de p
Índice de Diversidad de Shannon-Wiener	5.42	0.008*
Diferencias en la riqueza de taxones	4.20	0.022*
Individuos (total)	0.89	0.420
Índice de uniformidad de Simpson (Evenness= e^H/S)	0.39	0.682

*en rojo diferencia significativa (<0.05)

Los resultados demostraron que el índice de Shannon-Wiener y diferencias en la riqueza de taxones presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) (Ver anexo), lo que evidencia que en los grupos de meiofauna reportados en los estados es existente diferencias en el número de organismos de los sitios.

Por lo tanto, las diferencias significativas del análisis de diversidad, se deben a establecimientos de comportamiento, las interacciones (intra e interespecíficas) y la variabilidad de conductas en las estructuras comunitarias a altos niveles taxonómicos, los cuales permiten conocer el establecimiento (disminución o incremento) y los patrones de coexistencia de grupos meiofaunales según lo establecido por Vásquez-Suárez *et al.* (2010).

6.6. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

Se realizó un análisis de correspondencia canónica para conocer si existía una relación entre los parámetros texturales del sedimento, los sitios muestreados y

los grupos de meiofauna con el fin de encontrar el posible conjunto de variables que mejor explicaran la estructura de dicha relación.

Este análisis consistió en la elaboración de un triplot como se muestra la Figura 25, donde se graficaron tres variables; los valores promedios de los parámetros texturales ($\bar{x}_\phi$, σ_ϕ , Sk_ϕ y K_ϕ), los registros promedios de los grupos de meiofauna (nemátodos, anfípodos, copépodos, foraminíferos, rotíferos y ostrácodos) y los sitios de muestreo, todos en un mismo plano cartesiano.

Dicho análisis realizado, no presentó una relación existente entre la presencia y anidación de *L. polyphemus* respecto con el diámetro del tamaño del grano y la meiofauna, sin embargo, los grupos de ostrácodos, foraminíferos, nemátodos y anfípodos, al ser mayores en abundancia se concentraron en el centro del plano cartesiano, por lo que infiere a la presencia en la totalidad de los sitios muestreados.

En el caso particular de los copépodos y rotíferos, estos dos grupos se encontraron en sitios de Isla Aguada, Puente Icahao, Los Álamos y Chiquilá (Balneario).

Los datos obtenidos mediante el análisis canónico, son similares tal y como lo explican los autores Stead *et al.* (2011) y Sedano *et al.* (2014) en el cuál respaldan la nula relación entre grupos de meiofauna y sedimentos, en particular con los datos obtenidos no se obtuvieron relación alguna, por lo tanto, es necesario conocer las composiciones de especies, a lo que cada grupo y sitio suelen poseer una época muy marcada de abundancia, la duración de ciclos de vida y la disponibilidad de alimento, lo que reflejaría un patrón de su distribución (Liñero Arana *et al.*, 2013).

Podemos atribuir los resultados obtenidos a las variaciones existentes en el ambiente costero, como lo establece Díaz-Ascencio *et al.* (2009) donde afirma que el contenido de materia orgánica, el tamaño de grano, la salinidad, temperatura y

mareas del mar son factores claves para reconocer las variaciones que presentan las comunidades meiofaunales en sus microhabitats, sin embargo, la identificación hacia un nivel taxonómico podría reflejar diferencias en la estructura y una posible relación entre factores claves del ambiente intersticial (Giere, 2009).

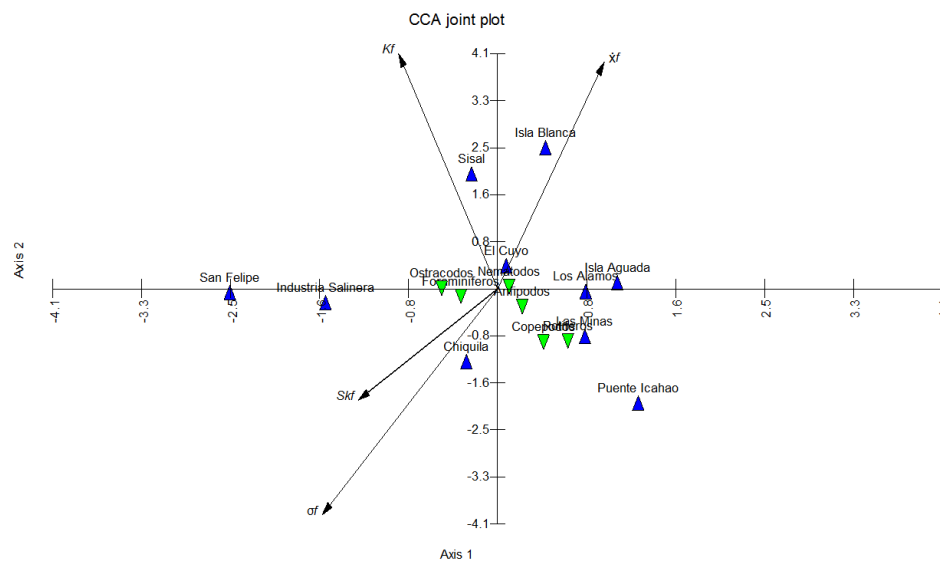


Figura 25. Relación entre promedios del análisis granulométrico ($\chi\phi$, $\sigma\phi$, $Sk\phi$ y $K\phi$), valor promedio de grupos de la meiofauna (nemátodos, anfípodos, copépodos, foraminíferos, rotíferos y ostrácodos) con los sitios de muestreo. Las flechas indican los cuatro parámetros granulométricos, las figuras azules indican los sitios de muestreos y las figuras verdes los grupos reportados de la meiofauna.

Ante los grupos descritos de meiofauna, la gran mayoría se encontraban en sedimentos gruesos seguidos de arenas medias; estos resultados son similares a lo establecido por Dye y Barros (2005a) donde afirman que las arenas de composiciones gruesas permiten tener una heterogeneidad de organismos con mayor abundancia y diversidad del meio bentos, también afirman que a nivel intersticial del sedimento los tamaños gruesos poseen mayor espacio, lo que permite oxigenación y coexistencia de dichos organismos en comparación con los sedimentos finos, con base a lo obtenido en los resultados, se establece que composiciones de arenas gruesas y medias son el patrón que establece los grupos de meiofauna.

7. CONCLUSIONES

Se logró evidenciar que a lo largo de la línea de costa de preferencia en la zona denominada intermareal es un ambiente favorable como sitios de arribazones por parte de los límulos.

Se puede observar una relación entre la distribución de *L. polyphemus* respecto al tamaño de grano, en general la Península de Yucatán están representados por un patrón de sedimentos de arenas gruesas, seguidos de arenas medias como predominantes, sin embargo, en Campeche y Yucatán, la predominancia del patrón del tamaño del grano son arenas gruesas seguida de arenas medias, mientras para el estado de Quintana Roo es diferente, al situarse composiciones de tamaño de granos finos, por el cual, se puede establecer que sí existe una relación entre el tamaño del grano del sedimento respecto a las áreas existentes tanto de anidación como de arribazones de poblaciones de *L. polyphemus*.

Con base a la granulometría, se obtuvieron 4 tipos de composiciones de los sedimentos; arena gruesa, arena muy gruesa, arena media y arena fina en las áreas de anidación de la Península de Yucatán.

En cuanto a los parámetros estadísticos generales para la península, comprendieron entre arenas gruesas y medias, pobremente clasificada, casi simétrica y asimétricos hacia gruesos, con una tendencia hacia los gruesos y curva platicúrtica, en cuanto a los estados, los parámetros estadísticos principalmente de la media y la clasificación presentaron diferencias, tal es el caso de Quintana Roo. En el caso de la media (Campeche-Yucatán), clasificación (Campeche-Yucatán), asimetría (Campeche-Yucatán-Quintana Roo) y córtosis (Campeche-Yucatán-Quintana Roo) fueron similares al presentarse arenas gruesas y medias, pobremente clasificado, casi simétrico con mayor totalidad hacia gruesos y curvas platicúrticas y leptocúrticas.

Las variaciones de los parámetros estadísticos del estudio de los sedimentos de la Península de Yucatán se deben principalmente a las corrientes de las mareas

oceánicas, la pendiente de la playa, la descarga del sedimento hacia los mares, variaciones del viento y el margen tectónico de la región sureste lo que ocasiona diferentes características granulométricas de cada región de costa, por lo que estos ambientes son característicos como áreas favorables para la distribución y anidación de *L. polyphemus*.

El grupo con mayor presencia y dominancia en todos los sitios muestreados de la Península de Yucatán fueron los nemátodos, a su vez, los ostrácodos se presentaron en casi todos los sitios y en conjunto con los nemátodos fueron los dos grupos representativos con más individuos.

Los seis grupos de meiobentos fueron encontrados en sedimentos con composiciones de arena gruesas en su mayoría seguido de arenas medias, lo que podría deberse a que los granos de arena gruesos poseen mayores espacios intersticiales y permite la gran diversidad filética de organismos de meiofauna.

En el caso de los anfípodos y rotíferos fueron presentes en ciertos sitios muy marcados al componerse de pocos individuos, las variaciones en el número y abundancia de los organismos, se deben a que la zona intermareal al estar expuesta por las corrientes y saturación de las mareas ocasiona variaciones en cuanto a la abundancia.

La relación de los promedios de los parámetros estadísticos del sedimento, los grupos de la meiofauna y sitios, no presentaron alguna relación relevante, no obstante, al no tener una relación de los sitios de anidación con el tamaño de grano y grupos de meiofauna, lo cual podría deberse a diversos factores tales como el nivel taxonómicos de la meiofauna, la salinidad, temperatura y materia orgánica lo que podría reflejar una relación con los factores descritos.

8. RECOMENDACIONES

Es necesario la realización de muestreos en todo el área intermareal dónde se registra arribazones de poblaciones de *L. polyphemus* con la finalidad de caracterizar cada sitio de la península de Yucatán y tener un registro sobre la composición granulométrica y sus posibles cambios de los sedimentos de cada sitio o Estado.

La estandarización de fechas y épocas del año (secas, lluvias y nortes) para comparar si existen ciertos cambios en los tipos de grano de sedimento y las comunidades de la meiofauna o prácticamente son nulos los cambios a pesar de las épocas del año.

Un punto importante es la toma de datos de los parámetros físico-químicos del ambiente sedimentario, principalmente: materia orgánica, el oxígeno disuelto, salinidad y temperatura los cuales serían variables importantes para deducir el comportamiento y su influencia en la relación del tamaño de grano y grupos de meiofauna.

La metodología empleada tanto para la granulometría de sedimentos y el análisis de la meiofauna puede ser importante y adecuarse a futuros estudios sobre la dinámica poblacional de *L. polyphemus* de igual forma para consolidar estudios de diversos temas y objetivos diferentes de cada investigación.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alongi, D.M. (1990). The ecology of tropical soft-bottom benthic ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 28(1): 381-496.
- Ardisson Herrera, P.L. y Castillo Fernández, D. (1997). Diversidad bentónica de la laguna Celestún, Yucatán. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. B012. Mexico, D. F. p. 23.
- Armenteros, M., González-Sansón, G. y Lalana, R. (2003). Composición y abundancia del meiobentos en un sector sublitoral de ciudad de La Habana, Cuba. *Revista de investigaciones marinas* 24(1): 3-10.
- Avilés-Ramírez, G.A., González-León, J.M., Poot-Esparza, A.P., Medina-García, M. y Rojas-González, R.I. (2016). Influencia de arrecifes artificiales reef ball de la Ensenada de Xpicob, sobre la estructura de la meiofauna y sedimentos recientes. *Agroproductividad* 9(9): 44-49.
- Bakker, A.K., Dutton, J., Sclafani, M. y Santangelo, N. (2017). Accumulation of nonessential trace elements (Ag, As, Cd, Cr, Hg and Pb) in Atlantic horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) early life stages. *Science of the Total Environment* 596–597: 69–78.
- Banerjee, K. y Mitra, A. (2017). Horseshoe crab: A biogem of the estuarine ecosystem. *MOJ Biology and Medicine* 1(2): 50-54.
- Barousseau, J.P. y Braud, R. (2014). Grain-size components as markers of origin and depositional processes in the coastal zone of the Golfe Du Lion (Mediterranean Sea, France). *Journal of Sedimentary Research* 84(8): 626-644.
- Blott, S.J. y Pye, K. (2001). GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26(1): 1237–1248.
- Bolongaro Crevenna Recaséns, A., Márquez García, A. Z., Torres Rodríguez, V. y García Vicario, A. (2010). Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso y J. Gutiérrez (Eds.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. Mexico: SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche. Pp: 73-96.
- Botton, M.L., Colón, C.P., Rowden, J., Elbin, S., Kriensky, D., McKown, K., Sclafani, M. y Madden, R. (2017). Effects of a Beach Nourishment Project in

Jamaica Bay, New York, on Horseshoe Crab (*Limulus polyphemus*) Spawning Activity and Egg Deposition. *Estuaries and Coasts* 41(4): 974-987.

Botton, M.L., Loveland, R.E. y 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(1): 175-184.

Calva-Benítez, L.G. y Torres-Alvarado, R. (2011). Contenido de carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del Sistema Costero Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. *Hidrobiológica* 16(2): 127-136.

Calva-Benítez, L.G., Pérez-Rojas, A. y Márquez-García, A.Z. (2006). Contenido de carbono orgánico y características textuales de los sedimentos del Sistema Costero Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. *Hidrobiológica* 16(2): 127-136.

Carmichael, R.H., Rutecki, D. y Valiela, I. (2003). Abundance and population structure of the Atlantic horseshoe crab *Limulus polyphemus* in Pleasant Bay, Cape Cod. *Marine Ecology Progress Series* 246(1): 225-239.

Carnevali Fernández-Concha, G., Tapia Muñoz, J.L., Duno de Stefano, R., Ramírez Morillo, I.M., Can Itzá, L., Hernández Aguilar, S. y Castillo, A. (2012). La flora de la Península de Yucatán Mexicana: 250 años de conocimiento florístico. *Biodiversitas* 101(1): 6-10.

Carranza-Edwards, A., Márquez-García, A.Z., Tapia-Gonzalez, C.I., Rosales-Hoz, L. y Alatorre-Mendieta, M.Á. (2015). Cambios morfológicos y sedimentológicos en playas del sur del Golfo de México y del Caribe noroeste. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 67(1): 21-43.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L. y Santiago-Pérez, S. (1996). A reconnaissance study of carbonates in Mexican beach sands. *Sedimentary Geology* 101(1): 261-268.

Chester, R. (1990). *Marine Geochemistry*. Unwin Hyman Ltd. London. p. 698.

Cronan, D.S. (1972). Skewness and kurtosis in polymodal sediments from the Irish sea. *Journal of Sedimentary Petrology* 42(1): 102-106.

Cuevas-Jiménez, A. y Euán-Ávila, J. (2009). Morphodynamics of carbonate beaches in the Yucatán Peninsula. *Ciencias Marinas* 35(3): 307–319.

De Jesús Navarrete, A. y Herrera Gómez, J. (1999). Nematofauna asociada a la zona urbana de la bahía de Chetumal, Quintana Roo, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 47(4): 867-875.

De Jesús-Navarrete, A. (1993). Distribución, abundancia y diversidad de los nemátodos (Phylum Nematoda) bénticos de la Sonda de Campeche, México. Enero 1987. *Revista de Biología Tropical* 41(1): 57-63.

De Jesús-Navarrete, A. (2003). Diversity of nematoda in a Caribbean atoll: Banco Chinchorro, México. *Bulletin of marine science* 73(1): 47-56.

De Jesús-Navarrete, A. (2007). Nemátodos de los arrecifes de Isla Mujeres y Banco Chinchorro, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42(2):193-200.

De La Lanza-Espino, G., Ortiz Pérez, M.A. y Carbajal Pérez, J.L. (2013). Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 81(1): 33-50.

Dey, N. y Shukla, P. (2019). Sedimentary textural characteristics of Digha Coastal Beach, a part of Kanthi Coast, West Bengal, India. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology* 8(2): 1-8.

Díaz-Asencio, L., Armenteros, M., Díaz-Asencio, M., Fernández-Garcés, R., Gómez-Batista, M. y Alonso-Hernández, C. (2009). Spatial and temporal variations of meiofaunal communities in Cienfuegos Bay, Cuba. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(1): 13-22.

Dye, A.H. y Barros, F. (2005a). Spatial patterns in meiobenthic assemblages in intermittently open/closed coastal lakes in New South Wales, Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 62(1): 575–593.

Ehlinger, G.S. y Tankersley, R.A. (2003). Larval hatching in the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*: Facilitation by environmental cues. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 292(1): 199–212.

Ehlinger, G.S. y Tankersley, R.A. (2004). Survival and development of horseshoe crab (*Limulus polyphemus*) embryos and larvae in hypersaline conditions. *The Biological Bulletin* 206(1): 87–94.

Escobar, E., López, M., Soto, L.A. y Signoret, M. (1997). Density and biomass of the meiofauna of the upper continental slope in two regions of the Gulf of México. *Ciencias Marinas* 23(4): 463-489.

Folk, L.R. y Ward, W.C. (1957). Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27(1): 3-26.

Folk, R.L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas. p. 182.

Fütterer, D.K. (2006). The solid phase of marine sediments. En: H.D. Schulz y M. Zabel (Eds). *Marine Geochemistry*. Berlín, Heidelberg: Springer Science+Business Media. Pp. 1-24.

García Flores, M. y Maza Álvarez, J.A. (1998). Origen y propiedades de los sedimentos: Manual de Ingeniería de ríos. Instituto de Ingeniería de la UNAM. México. p. 601.

Gerhart, S.D. (2007). A Review of the Biology and Management of Horseshoe Crabs, with Emphasis on Florida Populations. Fish and Wildlife Research Institute. FWRI Technical Report TR-12. St. Petersburg. p. 24.

Giere, O. (2009). *Meiobenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments*. Springer. Verlag Berlín Heidelberg. p. 527.

Gómez Criollo, F., Flores Hernández, D., Ramos Miranda, J., Ayala Pérez, L. y Sosa López, A. (2007). Caracterización textural de los sedimentos en la zona costera Campeche – Tabasco. *Jaina Boletín Informativo* 17(1): 31-42.

González, A., Torruco, D. y Torruco, Á.D. (2017). Las playas arenosas de Quintana Roo, México: La diversidad de su fauna intermareal. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 52(2): 361-373.

González-Solis, A. y Torruco, D. (2015). Fauna y flora intermareal de las costas rocosas de Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical* 63(4): 943-958.

González-Urbe, J.F., Ortega-Salas, A. y Laguarda-Figueras. (1994). Efecto de la temperatura en el desarrollo embrionario y eclosión de larvas de *Limulus polyphemus* L. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 45(1): 145-150.

Gutiérrez-Estrada, M., Malpica-Cruz, V.M. y Martínez-Reyes, J. (1981). Geomorfología y sedimentos recientes del sistema Lagunar Atasta-Pom,

Campeche, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México 9(1): 89-100.

Hemández-Alcántara, P. y Solís-Weiss, V. (1995). Algunas comunidades macrobentónicas asociadas al manglar (*Rhizophora mangle*) en laguna de Términos, Golfo de México. Revista de Biología Tropical 43(1-3): 117-129.

Jiménez-Salas, Ó.H. (1979). Análisis granulométrico de los sedimentos superficiales de la Boca de Puerto Real en la Laguna de Términos, Estado de Campeche. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 40(1): 1-20.

Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A. y Morales De la Garza, E. (2007). Caracterización textural de la arena de playa del Golfo de California, México: implicaciones para los procesos costeros y el relieve. Ciencias Marinas 33(1): 83-94.

Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A. y Rosalez-Hoz, L. (1999). Petrography and geochemistry of Holocene sands in the western Gulf of México: implications for provenance and tectonic setting. Journal of Sedimentary Research 69(5): 1003-1010.

King, T.L., Eackles, M.S., Spidle, A.P. y Brockmann, J.H. (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.

Kraeuter, J.N. y Fegley, S.R. (1994). Vertical disturbance of sediments by horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) during their spawning season. Estuaries 17(1): 288-294.

Lagos Tobías, A.M., Algarra, A.F., Lara Yanes, L., Victoria León, M., De Dios Sevilla, M., Londoño, R. y Quiroga, S. (2013). Meiofauna. INFOZOA Boletín de Zoología 1(1): 1-14.

Laughlin, R. (1983). The effect of temperature and salinity on larval growth of the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. The Biological Bulletin 164(1) 93-164.

Liñero Arana, I., Ojeda, S. y Amaro, M.E. (2013). Spatio-temporal variation of subtidal meiofauna in a sandy beach from Northeastern Venezuela. Revista de Biología Tropical 61(1): 59-73.

Machain-Castillo, M.L., Gío-Argáez, F.R. y Escobar-Briones, E. (2014). Foraminíferos y ostrácodos recientes de la zona batial y abisal del sur del Golfo de

México. En: A. Low Pfeng y E.M. Peters Recagno (Eds). La frontera final: el océano profundo. Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Pp. 153-173.

Márquez-García, A.Z., Campos-Verduzco, R. y Castro-Soriano, B.S. (2010). Sedimentología y morfología de la playa de anidación para tortugas marinas, El Carrizal, Coyuca de Benítez, Guerrero. *Hidrobiológica* 20(2): 101-112.

Martins, L.R. (1965). Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology* 35(1): 768--770.

Mason, C.C. y Folk, R.L. (1958). Differentiation of Beach, Dune and Aeolian Flat Environments by Size Analysis, Mustang Island, Texas. *Journal of Sedimentary Research* 28(1): 211-226.

McIntyre, A.D. (1969). Ecology of marine meiobenthos. *Biological Reviews* 44(2): 245-288.

Mejía-Ortíz, L.M. (2006). Ficha técnica de *Limulus polyphemus*, Fichas de especies de crustáceos enlistadas en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2001. Universidad de Quintana Roo-Cozumel. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto CK003. México. D.F. p. 9.

Méndez Ubach, M.N., Sous-Weiss, V. y Carranza-Edwards, A. (1985). La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos: Estudio de playas del Estado de Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 13(1): 45-56.

Nolasco-Montero, E. y Carranza-Edwards, A. (1988). Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 15(2): 49-66.

Olafsson, E. (1991). Intertidal meiofauna of four sandy beaches in Iceland. *Ophelia* 33(1): 55-65.

Ortiz-León, H.J. y Rosas Correa, C.O. (2011). Cacerolita de mar. En: C. Pozo, N. Armijo Canto y S. Calmé (Eds). *Riqueza Biológica de Quintana Roo: Un análisis para su Conservación*. México, D. F.: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Pp. 114-119.

Palacios-Fest, M.R., Gio-Argaez, R. y Krutak, P.R. (1983). Los ostrácodos (Crustácea) Recientes del Caribe Mexicano y su significación faunística. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 10(1): 195-208.

Pech Pool, D. y Ardisson Herrera, P.L. (2010). Diversidad en el Bentos marino-costero. En: R. Durán & M. Méndez (Eds). *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. Mérida, Yucatán: CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. Pp. 144-146.

Pedrin-Avilés, S. y Padilla-Arredondo, G. (1999). Morfología y sedimentología de la plataforma continental del suroeste de la Península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 16(2): 132-146.

Penn, D. y Brockmann, H.J. (1994). Nest-Site Selection in the Horseshoe Crab, *Limulus polyphemus*. *Biological Bulletin* 187(1): 373-384.

Peterson, C.H. (1998). Intertidal zonation of marine invertebrates in sand and mud. *American Scientist* 79(1): 236-249.

Petzall, W. (1967). Sedimentación marina. En: J. Castellví, F. Cervigon, M. Díaz-Piferrer, F. Fraga, J. Fukuoka, M. Gómez Larrañeta, R. Margalef, F. Petzall Wolf, G. Rodríguez, C. Virgili y F. Vives (Eds). *Ecología marina*. España: Estación de Investigaciones Marinas de Margarita, Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Pp. 33-66.

Riera, R., Núñez, J., Brito, M.C. y Tuya, F. (2012). Differences in diversity, structure, and variability between intertidal and subtidal meiofaunal assemblages. *Ciencias Marinas* 38(4): 677–693.

Riska, B. (1981). Morphological variation in the horseshoe crab *Limulus polyphemus*. *Evolution* 35(1): 647–658.

Rivas, A., Montoya, J., García, Y., Canales, C. y Merlo, V. (2016). Caracterización de las comunidades marino costeras en la playa biológica y en estero de la isla Boca de Rio Viejo. *Portal de la Ciencia* 10(1): 29-40.

Rodrigo, R.E., Núñez Fraga, J. y Brito Castro, M. (2006). Meiofaunal diversity from Los Abrigos del Porís and Los Cristianos beaches (Tenerife, Canary Islands). *Revista Ecosistemas* 15(3): 117-124.

Rosales Raya, M.L. (1999). Caracterización ambiental de sitios de anidación de *Limulus polyphemus* L. estudio en Isla Aguada, Isla Pájaros, Cabrera e Icahao,

Campeche, México (1990-1992). Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. p. 38.

Rosales-Hoz, L. y Lozano-Santa Cruz, K. (1987). Estudio sedimentológicos de playas del Estado de Oaxaca, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México 15(2): 195-208.

Rudloe, A. (1980). The breeding behavior and patterns of movement of horseshoe crabs, *Limulus polyphemus*, in the vicinity of breeding beaches in Apalachee Bay, Florida. Estuaries and Coasts 3(3): 177-183.

Sandoval Gío, J.J., Ortiz León, H.J., Rosas Correa, C.O. y Correa Valdez, T. (2016). Disminución de poblaciones de cacerolita de mar *Limulus polyphemus* en la Reserva Ría Lagartos, Yucatán: Una perspectiva socioeconómica. En: S.E. Serrano Oswald y M. Sosa Alcaraz (Eds). El desarrollo regional frente al cambio ambiental global y la transición hacia la sustentabilidad. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C. (AMECIDER). Pp. 1-9.

Sandoval-Gío, J.J., Zamora-Bustillos, R., Avilés-Ramírez, G.A., Ortiz-León, H.J. y Rosas-Correa, C.O. (2018). First report of a spawning site of *Limulus polyphemus* at Ría Lagartos Biosphere Reserve, Yucatán, México. Revista Bio Ciencias 5(1): 1-8.

Saunders, N.C., Kessler, L.G. y Avise, J.C. (1986). Genetic variation and geographic differentiation in mitochondrial DNA of the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. Genetics 112(3): 613-627.

Sebens, K. (1994). Habitat structure and community dynamics in marine benthic systems. En: S. Bell, E. McCoy y H. Mushinsky (Eds). Habitat structure arrangement of objects in space. Florida. Pp: 211-234.

Sedano, F., Marquina, D. y Espinosa, F. (2014). Depth and sediment granulometry effects on subtidal meiofaunal assemblages of the subtropical coast of Granada (Alboran Sea). Zoologica baetica 25(1): 13-30.

Segura, L.R. y Wong-Chang, I. (1978). Foraminíferos recientes en el Estero Pargo, Laguna de Términos Campeche, México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México 7(1): 1-4.

Self, R.P. (1977). Longshore variation in beach sands Nautla Area, Veracruz, México. Journal of Sedimentary Petrology 47(4): 1437-1444.

Sekiguchi, K. (1988). Biology of horseshoe crabs. Sciences House. Tokyo. p. 428.

Sellanes, J., Neira, C. y Quiroga, E. (2003). Composition, structure and energy flux of the meiobenthos off central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76(1): 401-415.

Shuster, C.N. (1982). A Pictorial Review of the Natural History and Ecology of the Horseshoe Crab *Limulus polyphemus*, with Reference to Other Limulidae. *Progress in Clinical and Biological Research* 81(1): 1-52.

Smith, D.R., Brockmann, H.J., Beekey, M.A., King, T.L., Millard, M.J. y Zaldívar Rae, J. (2017). Conservation status of the American horseshoe crab (*Limulus polyphemus*): a regional assessment. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 27(1): 135-175.

Smith, S.A. y Berkson, J. (2005). Laboratory culture and maintenance of the horseshoe crab (*Limulus polyphemus*). *Lab Animal* 34(7): 27-34.

Stead, R., Schmidt, A., Pereda, S., Anzieta, M., Asencio, G. y Clasing, E. (2011). Relación de la comunidad de meiofauna y bioquímica del sedimento en canales norpatagónicos. *Revista Ciencia y Tecnología del Mar* 34(1-2): 49-68.

Toledo-Ocampo, A. (2005). Marco Conceptual: Caracterización Ambiental del Golfo de México. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds). *Golfo de México: Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias 2da Edición*. Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de México, Instituto de Ecología. Pp. 25-52.

Vázquez, L. (1987). *Zoología del Phylum arthropoda*. Interamericana. México. D.F p. 381.

Vasquez, M.C., Johnson, S.L., Brockmann, H.J. y Julian, D. (2015). Nest site selection minimizes environmental stressor exposure in the American horseshoe crab, *Limulus polyphemus* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 463(1): 105-114.

Vásquez-Suárez, A., González, M., Díaz, O. y Liñero Arana, I. (2010). Variación temporal de la meiofauna en sedimentos del sistema lagunar "Laguna de Raya", Estado Nueva Esparta, Venezuela. *Interciencia* 35(2): 144-150.

Veiga, P., Besteiro, C. y Rubal, M. (2010). Meiofauna communities in exposed sandy beaches on the Galician coast (NW Spain), six months after the Prestige oil spill: the role of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Scientia Marina* 74(2): 385-394.

Vincx, M. (1996). Meiofauna in marine and freshwater sediments. En: G.S. Hall (Eds). Methods for the examination of organismal diversity in soils and sediments. UK: CAB International Wallingfort. Pp. 187-195.

Walls, E.A., Berkson, J. y Smith, S.A. (2002). The horseshoe crab, *Limulus polyphemus*: 200 million years of existence, 100 years of study. Reviews in Fisheries Science 10(1): 39–73.

Ward, W.C. (1975). Petrology and diagenesis of carbonate eolianites of Northeastern Yucatán Península, México. En: K.F. Wentland y W.C. Pusey. Belize Shelf - Carbonate sediments, clastic sediments and ecology. Tulsa, Estados Unidos: American Association of Petroleum Geologists. Pp. 500-571.

Warwick, R.M. (1988). The role of meiofauna in the marine ecosystem: evolutionary considerations. Zoological Journal of the Linnean Society 96(3): 229-241.

Weber, R.G. y Carter, D.B. (2009). Distribution and development of *Limulus* egg clusters on intertidal beaches in Delaware Bay. En: J.T. Tanacredi, M.L. Botton y D.R. Smith (Eds). Biology and Conservation of Horseshoe Crabs. New York: Springer. Pp. 249-266.

Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. The Journal of Geology 30(5): 377-392.

Wieser, W. (1959). The effect of grain size on the distribution of small invertebrate inhabiting the beach of Puget Sound. Limnology and Oceanography 4(2): 181-194.

Wilhelm, O. y Ewing, M. (1972). Geology and History of the Gulf of México. Geological Society of America Bulletin 83(3): 575-600.

Yáñez-Correa, A. (1969). Procesos costeros y sedimentos recientes de la plataforma continental al sur de la Bahía de Campeche. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 32(2): 75-115.

Zaldívar-Rae, J., Sapién-Silva, R.E., Rosales-Raya, M. y Brockmann, H.J. (2009). American Horseshoe Crabs, *Limulus polyphemus*, in Mexico: Open Possibilities. En: J.T. Tanacredi, M.L. Botton y D.R. Smith (Eds). Biology and conservation of horseshoe crabs. New York: Springer. Pp. 97-113.

10. ANEXOS

ANOVA DE UN SOLO FACTOR (X) VS. ESTADO

Anexo 1. Gráfica de intervalos con un 95% de nivel de confianza

Medias				
ESTADO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CAMPECHE	23	1.098	0.597	(0.780, 1.417)
QUINTANA ROO	3	1.9877	0.1417	(1.1058, 2.8695)
YUCATAN	17	1.229	0.967	(0.858, 1.599)

Desv.Est. agrupada = 0.755729

Anexo 2. Diagramas de cajas y bigotes a nivel estado media ($\bar{x}$)

Estadísticos
descriptivos:

$\bar{x}$

Estadísticas

Conteo									
Variable	ESTADO	total	NAcum	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Mediana	Máximo
$\bar{x}$	CAMPECHE	23	23	1.098	0.597	0.357	0.076	0.995	2.616
	QUINTANA ROO	3	26	1.9877	0.1417	0.0201	1.825	2.054	2.084
	YUCATAN	17	43	1.229	0.967	0.935	-0.49	1.51	2.732

N para					
Variable	ESTADO	Modo	moda	Asimetría	Curtosis
$\bar{x}$	CAMPECHE	*	0	0.73	0.84
	QUINTANA ROO	*	0	-1.65	*
	YUCATAN	*	0	-0.24	-1.15

A NIVEL POR SITIO (X) MEDIA DEL GRANO DE $\bar{x}$ VS. Sitio

Anexo 3. Gráfica de intervalos con un 95% de nivel de confianza

MEDIAS				
SITIO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CHIQUILÁ	6	0.622	0.63	(0.207, 1.038)
EL CUYO	3	2.174	0.341	(1.586, 2.762)
INDUSTRIA SALINERA 1	1	2.732	*	(1.714, 3.750)

INDUSTRIA SALINERA 2	1	1.559	*	(0.541, 2.577)
ISLA AGUADA	6	1.645	0.659	(1.229, 2.060)
ISLA BLANCA	3	1.9877	0.1417	(1.3996, 2.5757)
LAS MINAS	5	1.257	0.43	(0.802, 1.712)
LOS ÁLAMOS	6	1.019	0.25	(0.603, 1.434)
PUENTE ICAHAO	6	0.5	0.321	(0.084, 0.915)
SAN FELIPE	3	0.314	0.959	(-0.274, 0.902)
SISAL	3	1.799	0.287	(1.211, 2.387)

Desv.Est. agrupada = 0.500011

Anexo 4. Diagramas de cajas y bigotes a nivel sitio media ($\bar{x}$)

**Estadísticos
descriptivos: $\bar{x}$**

Estadísticas

Variable	SITIO	Conteo		Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Mediana
		total	NAcum					
$\bar{x}$	CHIQUILÁ	6	6	0.622	0.63	0.396	0.015	0.443
	EL CUYO	3	9	2.174	0.341	0.116	1.783	2.332
	INDUSTRIA SALINERA 1	1	10	2.732	*	*	2.732	2.732
	INDUSTRIA SALINERA 2	1	11	1.559	*	*	1.559	1.559
	ISLA AGUADA	6	17	1.645	0.659	0.435	0.938	1.57
	ISLA BLANCA	3	20	1.9877	0.1417	0.0201	1.825	2.054
	LAS MINAS	5	25	1.257	0.43	0.185	0.786	1.083
	LOS ÁLAMOS	6	31	1.019	0.25	0.063	0.804	0.922
	PUENTE ICAHO	6	37	0.5	0.321	0.103	0.076	0.586
	SAN FELIPE	3	40	0.314	0.959	0.92	-0.49	0.057
	SISAL	3	43	1.799	0.287	0.082	1.51	1.802

N para

Variable	SITIO	Máximo	Modo	moda	Asimetría	Curtosis
$\bar{x}$	CHIQUILA	1.763	*	0	1.43	2.08
	EL CUYO	2.408	*	0	-1.64	*
	INDUSTRIA SALINERA 1	2.732	*	0	*	*
	INDUSTRIA SALINERA 2	1.559	*	0	*	*
	ISLA AGUADA	2.616	*	0	0.46	-1.14
	ISLA BLANCA	2.084	*	0	-1.65	*

LAS MINAS	1.771	*	0	0.36	-2.57
LOS ÁLAMOS	1.332	*	0	0.65	-2.09
PUENTE	0.864	*	0	-0.46	-1.78
ICAHU					
SAN FELIPE	1.376	*	0	1.12	*
SISAL	2.084	*	0	-0.05	*

MEIOFAUNA

Anexo 5. Análisis de ANOVA. Factor Estados respecto a grupos de meiofauna

ANOVA de un solo factor: Ostrácodos vs. Estado

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Estado	3	Campeche, Quintana Roo, Yucatán

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estado	2	15657	7828	4.53	0.017
Error	40	69104	1728		
Total	42	84761			

Anexo 6. Análisis de diversidad. Factor Estados respecto a los grupos de meiofauna

ANOVA de un solo factor: Shannon_H vs. Estado

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Estado	3	Campeche, Quintana Roo, Yucatán

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estado	2	0.6210	0.31052	5.42	0.008
Error	40	2.2897	0.05724		
Total	42	2.9107			

ANOVA de un solo factor: Taxa_S vs. Estado

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Estado	3	Campeche, Quintana Roo, Yucatán

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estado	2	2.786	1.3932	4.20	0.022
Error	40	13.260	0.3315		
Total	42	16.047			