

00344

7
Lej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CARACTERIZACION AMBIENTAL DE SITIOS DE
ANIDACION DE *Limulus polyphemus* L. ESTUDIO
EN ISLA AGUADA, ISLA PAJAROS, CABRERA E
ICAHAO, CAMPECHE, MEXICO. (1990-1992).

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS

(BIOLOGIA DE SISTEMAS Y RECURSOS ACUATICOS)

P R E S E N T A

QFB MARTHA LAURA ROSALES RAYA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO

MEXICO, D. F.

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

274631

=



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedico este documento a los tres seres más importantes en mi vida y sin quienes mi vida no sería tan plena :

A mi esposo Q. Julio A. Rivadeneyra Paredes, por todo su amor y apoyo incondicional.

A mis hijos Yuridia y Aldebarán por dejarme amarlos y por los momentos de alegría que me han regalado, por las sonrisas y las confianzas que me permiten estar cerca de ellos

"Quería intentar vivir lo que tendía a brotar espontáneamente de mí ¿porqué habría de hacerse tan difícil ?

*Herman Hesse
"Demian"*

Redacción de Tesis financiada con el Programa de Mejoramiento al Profesorado ~ Universidad Autónoma de Campeche

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente la paciencia y acertada dirección de la Dra. Guadalupe de la Lanza Espino, así como las valiosas sugerencias y apoyo del Dr. Samuel Gómez Aguirre y las explicaciones del M. C. Martín López Hernández.

Mi reconocimiento a las atinadas observaciones de Dra. Elva Escobar Briones, Dra. María Luisa Raz-Guzmán Macbeth, Dr. Fernando Álvarez Noguera, Dr. Carlos Rosas Vázquez y M. en C. Adolfo Sánchez Zamora.

A mis padres CP Guillermo Rosales y Gloria Raya por la ayuda y apoyo brindados, porque orientaron los pasos que ahora me dirigen hacia otras metas.

A mis hermanos MVZ Juan Bernardo Rosales Raya y Psic. Guillermo Rosales Raya porque es importante saber que siempre podré contar con ellos.

Besos y abrazos a Dra. Rosalía Pastor Nieto y Biol. Maricela Macías Gómez por ser las mejores compañeras que alguien puede tener. Las distancias no importan, cuando se tiene la seguridad de la amistad.

A mis suegros, tíos, primos y parientes, gracias por las palabras de aliento y por la ayuda brindada.

Gracias a los amigos de siempre y para siempre : Biol. Javier Gómez Duarte e Ing. Juan Pacheco Santamaría.

Mi reconocimiento para el Ing. Juan M. Conde Pérez por el apoyo brindado para la realización de esta investigación y por creer en mí como profesionalista.

Mi agradecimiento para los Biol. Mar. Adriana Zetina Zárate, Carlos Castillo Sánchez, Oscar Sarmiento Moo, Jorge L. Hernández Rodríguez y Sergio de la Cruz Aguilar por su colaboración en el trabajo de campo y por las experiencias vividas.

A todos los que de una u otra manera me han permitido ser.

INDICE

	pág.
RESUMEN.	
I. INTRODUCCIÓN.	
I.1. BIOLOGÍA DE <i>Limulus polyphemus</i> .	7
I.2. OBJETIVO.	9
II. ÁREA DE ESTUDIO.	
II.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.	10
II.2. LOCALIDADES DEL MUESTREO.	11
III. MÉTODO.	
III.1. TRABAJO DE CAMPO.	13
III.2. TÉCNICAS.	14
III.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	
IV.1. FACTORES AMBIENTALES.	16
IV.1.1. TEXTURA GRANULOMETRICA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO	16
IV.1.2. TEMPERATURA.	18
IV.1.3. SALINIDAD.	20
IV.1.4. OXIGENO DISUELTO	21
IV.1.5. MATERIA ORGÁNICA.	23
IV.2. COMPARACIÓN TEMPORAL CON EL NUMERO Y PROFUNDIDAD DE LOS NIDOS DE <i>Limulus polyphemus</i> , DE CUATRO ÁREAS DEL LITORAL DE CAMPECHE.	24
V. CONCLUSIONES.	29
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

	pág
Figura 1.- Localización de las áreas de muestreo: Isla Aguada, Isla Pájaros, Cabrera e Icahau	12
Figura 2.- Método de selección del muestreo (transectos por cuadrantes, estratificados)	14
Figura 3.- Características granulométricas de cuatro áreas de anidación de <i>Limulus polyphemus</i> (1990 - 1992)	16
Figura 4.- Temperatura del sedimento en áreas de anidación de <i>Limulus polyphemus</i> (mayo 1990 - febrero 1992)	18
Figura 5.- Salinidad del sedimento en áreas de anidación de <i>Limulus polyphemus</i> (mayo 1990 - febrero 1992)	20
Figura 6.- Oxígeno disuelto del sedimento en áreas de anidación de <i>Limulus polyphemus</i> (mayo 1990 - febrero 1992)	22
Figura 7.- Materia orgánica del sedimento en áreas de anidación de <i>Limulus polyphemus</i> (agosto 1990 - febrero 1992)	24
Figura 8.- Número de nidos de <i>Limulus polyphemus</i> en cuatro áreas del litoral de Campeche (mayo 1990 - febrero 1992)	25
Figura 9.- Profundidad de los nidos de <i>Limulus polyphemus</i> en cuatro áreas del litoral de Campeche (mayo 1990 - febrero 1992)	28

INDICE DE TABLAS

	pág
Tabla 1.- Intervalos de confianza para los porcentajes de grano del sustrato de las localidades de estudio	17
Tabla 2.- Intervalos de temperatura promedio en sitios de anidación de <i>Limulus polyphemus</i> (mayo 1990 - febrero 1992)	19
Tabla 3.- Salinidades promedio de los sitios de anidación de <i>Limulus polyphemus</i> (mayo 1990 - febrero 1992)	21
Tabla 4.- Oxígeno promedio de los sitios de anidación de <i>Limulus polyphemus</i> (mayo 1990 - febrero 1992)	22
Tabla 5.- Materia orgánica de los sitios de anidación de <i>Limulus polyphemus</i> (agosto 1990 - febrero 1992)	23
Tabla 6.- Número de nidos de <i>Limulus polyphemus</i> (mayo 1990 - febrero 1992)	26
Tabla 7.- Profundidad promedio de los nidos de <i>Limulus polyphemus</i> (mayo 1990 - febrero 1992)	27

RESUMEN

Debido a la escasa información que se tiene del hábitat físico del artrópodo Merostomado *Limulus polyphemus* (denominado "cacerolita de mar"), el presente estudio investigó las características fisicoquímicas del agua de filtración y granulometría de los sitios de anidación y la forma en que éstos factores determinan la distribución y abundancia de dicho organismo, en cuatro áreas de la zona costera de Campeche

Por los hábitos bentónicos de este organismo en su etapa adulta, se consideró al tamaño de grano del sustrato como uno de los factores determinante en la abundancia y profundidad de los nidos, comprobando que el mayor número de estos se asoció con sedimentos que contenían menos del 40 % de limo-arcilla. La mezcla de arena media y cantos rodados favorecieron la ovoposición a mayores profundidades (30 cm), lo que minimizó la depredación de los huevecillos, mientras que en limo-arcilla los nidos se ubicaron a niveles más superficiales (1 a 5 cm) y por lo tanto quedaron expuestos a la depredación por aves.

Las características granulométricas incidieron además en la salinidad, oxígeno disuelto y materia orgánica ya que el sustrato con más del 40% de limo-arcilla favoreció una salinidad hasta de 56 UPS, debido a que la compactación del sustrato y las condiciones de marea baja permitieron la concentración de sales. Por otro lado la descomposición de materia orgánica, con la consecuente anoxia en los sedimentos, sin embargo durante los periodos de marea alta las condiciones de anaerobiosis desaparecieron, debido al intercambio de oxígeno en la fase agua-sustrato, lo que permitió descartar al oxígeno como factor determinante, tanto en la ovoposición como en el desarrollo de los organismos. La temperatura se afectó en función de los periodos climáticos, pero influyeron también las capas del sustrato que cubrieron a los nidos, permitiéndoles mantener temperaturas entre 22 y 33 °C aún en los periodos de máxima exposición solar. En el caso de la salinidad también se vio afectada por los periodos climáticos, siendo baja en nortes (27 a 36 UPS), aun cuando la relación más fuerte se encontró asociada a la mezcla superior al 40% de de limo - arcilla.

Las áreas de estudio se evidenciaron como sitios de ovoposición permanente, con picos máximos reproductivos en mayo (secas) y febrero (nortes).

ABSTRACT

This study aims to provide information related to the chemical and physical characteristics of the natural habitat of the Arthropodo *Limulus polyphemus* in the coastal area of Campeche, Mexico.

L. polyphemus is a bentonic species and due to this fact depth and morphometric characteristics of the substrate on the intertidal zone seems to be related to reproductive success (egging and nesting success). For example a great proportion of the nesting sites were associated with a substrate rich in a mix of clay and mud (40%) and a depth of 30 cm.

The characteristics of the substrate also related to salinity, oxygen and organic material.

I. INTRODUCCIÓN

Limulus polyphemus, conocido como cacerolita de mar, cangrejo herradura o mex (maya : araña), es un artrópodo quelicerado de hábitos bentónicos en estadio juvenil y adulto, siendo considerado "fósil viviente" por conservar características similares a la especie fósil *Mesolimulus walchii* que existió hace aproximadamente 200 millones de años en el periodo Jurásico, en las costas de Alemania (Stømer, 1954). Es un organismo que cumple un importante papel en la cadena trófica ya que en su estadio adulto es depredado por tortugas y tiburones, mientras que los huevos y larvas por aves (Myer, 1986, Rudloe, 1986). A su vez son depredadores de bivalvos y poliquetos (Rudloe, 1980, 1981; Botton y Loveland, 1989; Gómez-Aguirre, 1989).

Desde el punto de vista bioquímico, *L. polyphemus* es importante por su hemolinfa, ya que a partir de ésta se separan compuestos químicos con los cuales se elaboran sueros para la detección de meningitis y otros cuadros bacterianos. La información existente es abundante en artículos sobre condiciones experimentales y de estudios morfofisiológicos (Lankaster, 1882 ; Campehausen, 1967; Bennett, 1979; Sherman, 1974; Sekiguchi *et al.*, 1977, 1982; Laughlin 1983). Con relación a los estudios sobre reproducción en su hábitat destacan los de Rudloe y Hernkind (1976), Rudloe (1979, 1980, 1981, 1986), Shuster (1950, 1954a, 1954b, 1960, 1962, 1979, 1982), Shuster y Botton (1982), Botton (1984a, 1984b, 1987), Botton *et al.* (1988), Botton y Ropes (1988) y Botton y Loveland (1989).

En México se le considera especie en peligro de extinción o sujeta a protección especial desde 1991, al ser incluida en la Gaceta Ecológica y posteriormente en el Diario Oficial de la Federación (Gómez-Aguirre, 1993). Además se han propuesto métodos de cultivo y mantenimiento de adultos con fines comerciales debido al beneficio que reporta la explotación de su hemolinfa (Rosales Raya *et al.*, 1993).

I. 1. BIOLOGÍA DE *Limulus polyphemus* L.

Limulus polyphemus es un artrópodo, quelicerado, perteneciente a la clase Merostomata y al orden Xiphosurida.

Durante los periodos de reproducción, los organismos adultos se dirigen hacia las playas desde los fondos fangosos estuarinos, para formar parejas, donde el macho se sujeta a la hembra por medio del artejo tarsal de los pedipalpos a la parte posterior del caparazón opistosomiano de la hembra. De esa manera se remontan a la zona de marea alta y ahí cavan un nido donde son depositados los huevecillos por la hembra, para ser fecundados inmediatamente por el macho, de acuerdo con Botton (1984b) el hábitat de arribazón intermareal consiste de arena gruesa, guijarros y cantos rodados. Debido a que la fecundación es externa es común observar varios machos satélites con quienes la hembra puede formar nido aún cuando la elección del sitio de anidación puede tardar varias horas.

El sitio donde son depositados los huevecillos es comúnmente denominado "nido", de ahí que se llamen "sitios de anidación" a las playas donde habitualmente desovan, sin embargo el término más correcto sería "sitios de desove u ovoposición" dado que la fecundación es externa. Durante la bajamar la pareja regresa a los fondos fangosos para alimentarse y guarecerse de los depredadores. Los periodos de luna llena influyen en el desplazamiento de

Limulus polyphemus a las zonas costeras, ya que las mareas más altas les permiten acercarse a la zona de ovoposición, especialmente en primavera y principio de verano, en las localidades que han sido reseñadas desde el norte de Maine hasta el oeste de Louisiana (Rudloe, 1980, 1986, Shuster y Botton, 1982; Cohen y Brockman, 1983, Botton, 1987, Botton y Ropes, 1988 y 1989, Botton y Loveland, 1989; Gómez-Aguirre, 1993).

L. polyphemus es una especie endémica con poblaciones localizadas en la costa Atlántica de América, especialmente en zonas carbonatadas como la Península de Florida, Estados Unidos y la Península de Yucatán, México donde principalmente se le asocia con sedimentos de tipo calcáreo, cuerpos de agua salobre y tropicales (Rudloe, 1981; Cohen y Brockman, 1983; Gómez-Aguirre, 1983).

En México existen escasas referencias de *Limulus polyphemus*, estudios que se enfocan a la biología básica (Chávez y Muñoz, 1975), riesgo de extinción (Escalante *et al.*, 1980), demografía (Informes Técnicos de Biología de Campo 1986, 1988; Gómez-Aguirre, 1979, 1980, 1983, 1989), mantenimiento de larvas y huevecillos en laboratorio (González y Ortega, 1991) y mantenimiento de adultos en cautiverio (Gómez-Aguirre *et al.*, 1992). En consecuencia, la necesidad de estudios sobre su hábitat ha sido la base de esta investigación, en la cual el objetivo principal fue la evaluación fisicoquímica de los sedimentos donde ovopositó *L. polyphemus*. para determinar la influencia de los factores ambientales en el número y profundidad de nidos

Para constatar la existencia de un patrón de sedimentos que definiera los sitios de ovoposición, el estudio se realizó en Isla Aguada, Isla Pájaros, Cabrera e Icahao por considerarse sitios de arribazón y anidación de *L. polyphemus* reportados en la bibliografía (Gómez-Aguirre, 1979, 1980, 1983, 1988, 1989; Informes Técnicos de Biología de Campo 1986, 1988).

Se tomó en cuenta que las tres primeras localidades fueron cercanas entre sí, en el interior de Laguna de Términos, y la última se ubicó sobre la línea de costa. Esta elección permitió analizar ambientes sedimentarios diferentes, que caracterizaron cada área.

La importancia de las características de los sedimentos se justificó biológicamente con el establecimiento y distribución de los nidos de *L. polyphemus* en la zona intermareal.

El tamaño y la calidad del grano de los sedimentos ha sido el principal factor que afecta el establecimiento de los organismos bentónicos (Méndez *et al.*, 1986). En el caso de *L. polyphemus* ambas características han incidido directamente en otros factores ambientales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, materia orgánica y profundidad de los nidos (Rudloe, 1985, Botton *et al.*, 1994). En Delaware y New Jersey se han encontrado mayor número de nidos de *L. polyphemus* en sitios constituidos por arena media y condiciones aerobias, que en áreas con mayor proporción de limo-arcilla y presencia de ácido sulfhídrico, (Botton *et al.*, 1988). Este factor se consideró el de mayor relevancia, por ser el que potencializó o amortiguó los cambios ambientales generados en las inmediaciones de los nidos.

Por otro lado, Rudloe (1980) hizo hincapié en que a $14.6 \text{ cm} \pm 1.9 \text{ cm}$ de profundidad los nidos de *L. polyphemus*, en New Jersey y Wakula, Florida, presentaron mejor desarrollo de larvas al

estar protegidos por arena. Ya que a ésa profundidad se redujo la depredación por animales acuáticos y aves.

En cuanto a la temperatura, se ha verificado que la formación de gradientes permite el establecimiento de organismos y ha sido el factor dominante en el comportamiento de la biota (Günter, 1957). Para *Limulus polyphemus* Rudloe (1985) ha encontrado temperaturas *in situ* desde 2 hasta 31 °C en Estados Unidos, otros autores como Shuster (1954b) mencionan temperaturas hasta de 42 °C.

Por consiguiente, la salinidad también ha formado gradientes a los cuales se asocian los organismos, que aunada directamente con la temperatura y someridad, influyen en el comportamiento de la biota (Günter, 1957). Rudloe (1986) asoció la presencia de *L. polyphemus* con salinidades entre 26 y 33 UPS, en la Bahía de St. Joseph, Florida. Por su parte Botton, *et al.*, (1988) trabajando en la Bahía de Delaware registró como límites de la distribución de *L. polyphemus* entre 15 y 30 UPS.

En cuanto a las condiciones de oxígeno, Botton *et al.*, (1988) observó que la ausencia de oxígeno favorecía la formación de ácido sulfhídrico como resultado de una marcada anaerobiosis. Sin embargo, Falkowski (1974, in Botton, 1984b) mencionó que *L. polyphemus* es un organismo de respiración anaerobia facultativa, debido a la eficiencia de la carboxinasa del fosfoenolpiruvato mitocondrial, que le permite mantenerse en áreas anóxicas, aunque no se tienen datos precisos sobre el tiempo de sobrevivencia, bajo dichas condiciones.

Por otro lado, en zonas con altas concentraciones de materia orgánica en sedimentos se ha favorecido el establecimiento de organismos filtradores como póliquetos y bivalvos, los cuales a su vez son consumidos por *L. polyphemus* (Rudloe, 1979; Gómez-Aguirre, 1979, 1989) sin embargo, este proceso también permite la activa descomposición de los detritos con generación de anaerobiosis y ácido sulfhídrico, lo que dio pauta a una asociación entre la concentración de oxígeno y materia orgánica.

Considerando lo anterior se decidió llevar a cabo la caracterización ambiental de los sitios de anidación de *Limulus polyphemus*, para aportar nuevos conocimientos sobre la presencia y profundidad de los nidos.

I. 2. OBJETIVO

El objetivo de esta investigación fue relacionar la granulometría del sedimento y reconocer la influencia de las características físicas y químicas del agua de filtración en la zona intermareal (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y materia orgánica) sobre el número y profundidad de los nidos de *Limulus polyphemus*, en cuatro áreas de anidación durante cinco periodos (mayo de 1990, agosto de 1990, mayo de 1991, agosto de 1991 y febrero de 1992).

II. ÁREA DE ESTUDIO.

II. 1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

En el área de estudio se registran tres épocas climáticas marcadas: secas de febrero a mayo, lluvias de junio a octubre y nortes de octubre a noviembre, con una evaporación de moderada a alta. La marea predominante es mixta con 0.45 m de altura, mareas extremas se han asociado a la fuerza de los vientos dominantes del N (Instituto de Geofísica, 1990, 1991).

De acuerdo con Inman y Nordstrom (1971) la zona costera de Campeche es una área de mares marginales que se caracteriza por ambientes someros, de escasa profundidad y con una plataforma extensa. La Laguna de Términos se encuentra en el límite de la sedimentación de carbonato de calcio biogénico en la parte este y una zona de deposición de detritos terrígenos al oeste (Phleger y Ayala, 1971). Los restos carbonatados fueron formados por conchas de moluscos, pelecípodos fragmentados, testas de foraminíferos y fragmentos de rocas (Cruz *et al.*, 1989). El sustrato es de depósito uniforme con un 80 % de arena en Isla Aguada e Isla Pájaros, mientras que Cabrera es zona palustre con altos contenidos de materia orgánica (Acosta y Morales, 1985).

En los sedimentos predomina la arena calcárea, formada en su mayoría por fragmentos de conchas. El limo y la arcilla son frecuentes en áreas cercanas a los afluentes continentales (Ayala, 1969). Puerto Real se caracteriza por la presencia de bloques de roca y grano grueso, con una gradación más fina hacia el interior de la laguna (Cruz *et al.*, 1989). La punta SE de Isla Aguada ha crecido hacia el SE a una velocidad de 3 m por año, debido a la deposición de cuarzo y conchas (Cruz *et al.*, 1977, Ayala, 1969; Phleger y Ayala, 1971). La barrera que separa al Estero Sabancuy del Golfo de México está formada por materiales biogénicos carbonatados (Gutiérrez *et al.*, 1981; Gutiérrez y Castro, 1988).

Estudios más particulares han reportado diferencias entre Isla Pájaros y Puerto Real, dado que en la primera predomina limo arcilla (69%) y en la segunda la grava (51.8%). Esta proporción afecta la concentración de materia orgánica, con 20 % en Isla Pájaros y 10 % en Puerto Real (Raz Guzmán y de la Lanza, 1991).

Con relación a la temperatura en la columna de agua, se han registrado las más bajas durante los nortes, con 23 °C (Vázquez *et al.*, 1988) y las mayores en secas con 29 °C (Raz Guzmán y de la Lanza, 1991; Monreal *et al.*, 1992). En un estudio más detallado en las inmediaciones de Isla Pájaros e Isla Aguada (Osorno y Ramírez, 1988), se analizó la temperatura por dos años no encontrándose diferencia significativa entre superficie y fondo; sin embargo, sí la hubo con relación a los periodos de estudio ya que se registraron en lluvias 29°C (± 1), en secas de 28°C (± 2) y en nortes de 24°C (± 1.5), con los valores más bajos. En este trabajo se informó de salinidades con diferencia entre épocas climáticas con 34 UPS en promedio (con un intervalo de 28 a 30 UPS) para nortes y secas, mientras que en lluvias la media fue de 30 UPS (con un intervalo de 22 a 34 UPS), teniendo la máxima en Isla Aguada, con 37 UPS. Por lo que la temperatura osciló en función de los periodos climáticos, mientras que las salinidad varió en función de los sitios de muestreo.

En la columna de agua el contenido de oxígeno disuelto en las zonas cercanas a Puerto Real ha presentado niveles de 4.6 mg/l durante la época de nortes (Vázquez *et al.*, 1988).

II. 2. LOCALIDADES DE MUESTREO

Las localidades de estudio se ubicaron en el litoral de Campeche, tres de ellas en Puerto Real y en áreas circunvecinas a los bajos y canales del delta interior que se forma en la boca oriental de la Laguna de Términos. La otra localidad se encontró al norte del Río Champotón y al sur del Estero Icahao (Fig. 1).

A) ISLA AGUADA.

El área de estudio comprendió el extremo sureste de la población del mismo nombre. Una quinta parte muestreada presentó mangle, con predominio de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*. En la línea de marea alta, sobre conchas fragmentadas se depositan restos de *Thalassia testudinum* y *Halodule wrightii*, así como algas rodofitas.

B) ISLA PÁJAROS

Formada en los bajos y canales de Puerto Real, con material de reciente consolidación, favorecida por la presencia de *R. mangle* y en menor grado por *A. germinans*. Es sitio de anidación y refugio de diversas aves migratorias. El sedimento presentó consistencia cérea, de color gris y despidió un fuerte olor a ácido sulfhídrico.

C) CABRERA.

Es una localidad interior del Estero Sabancuy, protegida de los vientos y con el litoral cubierto por *R. mangle*. En la vegetación cercana a la línea de costa, sobre fragmentos de concha, se depositan restos de *T. testudinum*.

D) ICAHAO.

Esta localidad se encuentra en el Municipio de Champotón orientada hacia el sur del Estero Icahao y al norte del Río Champotón. El substrato fue identificado como conchas y sus fragmentos, así como rocas y cantos rodados. La vegetación costera fue en su mayoría de tipo halófito y escaso mangle (*R. mangle*) con representantes de mayor altura que en las otras localidades mencionadas.

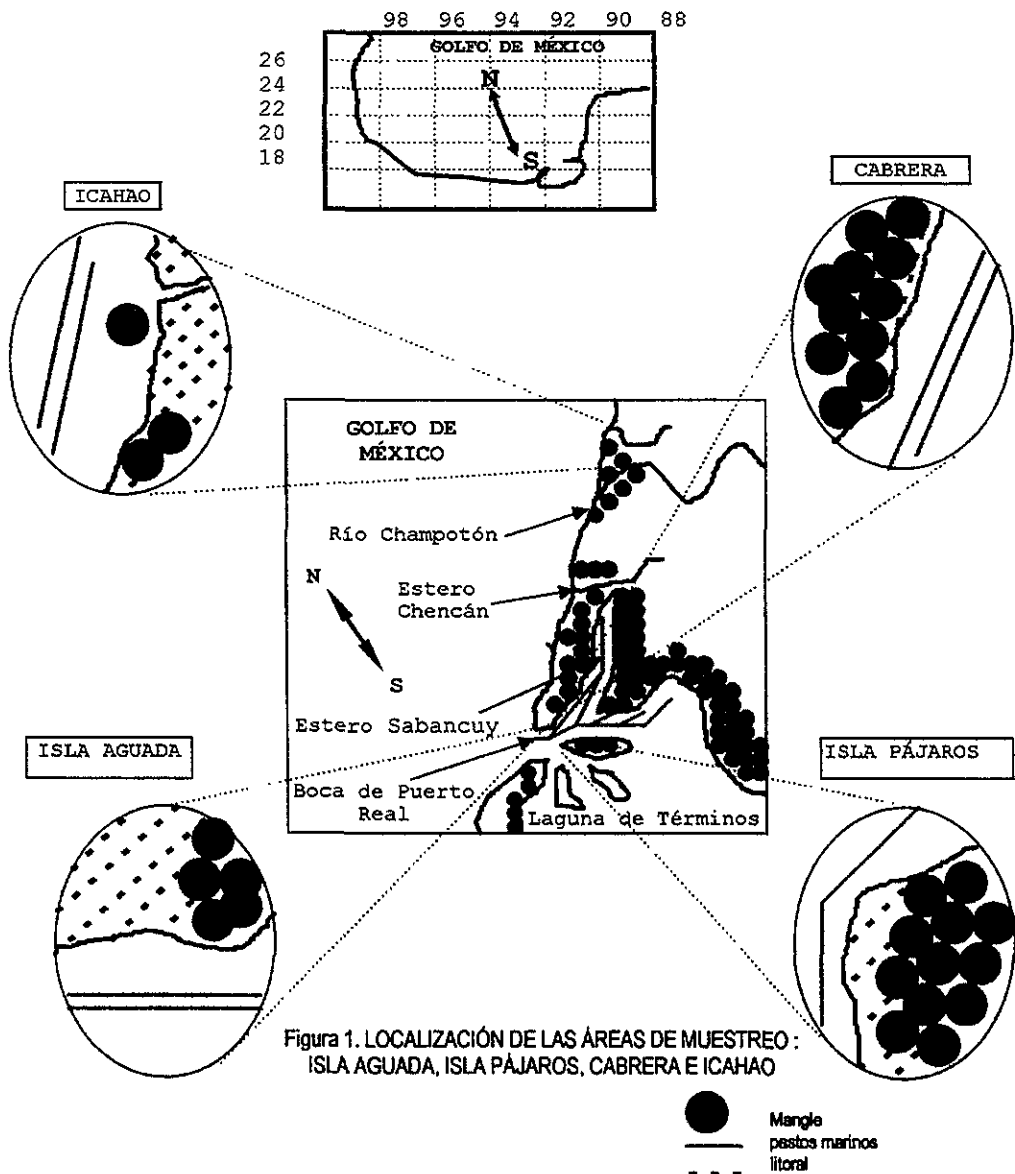


Figura 1. LOCALIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE MUESTREO: ISLA AGUADA, ISLA PAJAROS, CABRERA E ICAHAO

III. MÉTODO

III. 1. TRABAJO DE CAMPO.

Se analizaron cuatro localidades del litoral de Campeche, referidas en la bibliografía como sitios de anidación de *Limulus polyphemus* (Gómez-Aguirre, 1979, 1993): Isla Aguada, Isla Pájaros, Cabrera e Icahao.

El método de muestreo fue con base en las dimensiones y características de la zona de estudio, considerando un muestreo aleatorio simple sin reemplazo, por cuadrantes alternados, previamente numerados y seleccionados a lo largo de transectos paralelos a la línea de costa.

En Isla Aguada se examinaron 200 m² en promedio, utilizando transectos de 10 m y seleccionando tres cuadrantes de 1 m² por cada transecto (30 cuadrantes analizados). En Cabrera se consideró un área promedio de 140 m², utilizando transectos de 10 m y considerando tres cuadrantes por transectos (30 cuadrantes analizados). En Icahao se recorrieron 1500 m² en promedio separando transectos de 150 m y tomando tres cuadrantes de 1 m² por transecto (30 cuadrantes analizados). En Isla Pájaros se muestreó un área de 5 m² con cuadrantes de 1 m² estudiando toda el área debido a la escasa extensión de la zona (5 cuadrantes analizados) las dimensiones de esta localidad obligaron a una inspección total y la decisión de incluirla está fundamentada en que ha sido reportada en la bibliografía como uno de los sitios de mayor arribazón de adultos (Gómez-Aguirre, 1979, 1993).

La diferencia de áreas responde a la heterogeneidad de ambientes que se presentan en una misma localidad por lo que se consideraron como criterios para la búsqueda de nidos la superficie libre de raíces de mangle, sin embargo se homogeneizó el número de cuadrantes analizados en cada localidad, a excepción de Isla Pájaros en donde las raíces de mangle presentan un impedimento para la formación y búsqueda de nidos quedando escasos 5 m² de superficie arenosa. En Icahao se observaron rocas de más de 1 m de diámetro, lo cual es otro impedimento para la ovoposición. Mientras que en Cabrera e Isla Aguada se apreciaron pequeños canales de agua salobre que interrumpen la continuidad de la línea de costa, además en ellos abundó el mangle.

Se trabajó en la zona de intermarea con transectos paralelos a la línea de costa, marcada por la marea más alta del mes (Gómez Aguirre y Yáñez Martínez, 1995). Una vez medidos los transectos, se procedió a la selección de cuadrantes de 1 m² medidos entre la línea de marea alta y la baja, alternando un cuadrante hacia bajamar y el inmediato hacia la zona de marea alta (Fig. 2).

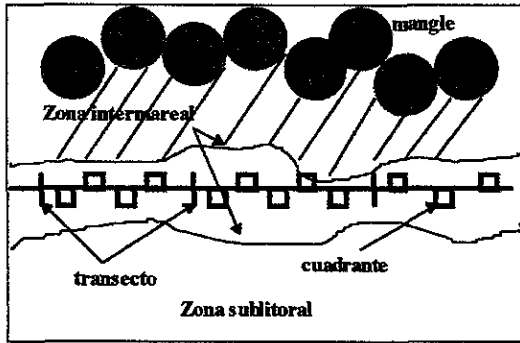


Figura 2. MÉTODO DE SELECCIÓN DE MUESTREO (TRANSECTOS POR CUADRANTES, ALTERNADOS)

Para evitar dañar los nidos de *Limulus polyphemus* se realizó una búsqueda manual cuidadosa excavando un máximo de 40 cm. La identificación de los nidos fue visual, al constatar la presencia de huevecillos de color verde olivo o translúcidos, dependiendo del desarrollo embrionario, éstos huevecillos suelen encontrarse formando grupos de hasta 5 cm de diámetro. Una vez localizados los nidos se contabilizó el número de éstos y se midió la profundidad a la cual se localizaron. La toma de las muestras fisicoquímicas y granulométricas del sustrato se llevó a cabo en las inmediaciones del nido, en pocetas excavadas hasta la profundidad registrada para cada nido y permitiendo la filtración de agua. Cuando en el cuadrante no se localizaban nidos, se tomaron las muestras correspondientes de granulometría y las mediciones fisicoquímicas a 30 cm de profundidad, esto con la finalidad de constatar las características ambientales que rigieron tanto en sitios con nidos como sin ellos.

En mayo de 1990 y 1991 así como en agosto de 1990 y 1991 se realizaron muestreos en condiciones de marea baja, mientras que en febrero de 1992 se realizó en 24 horas con intervalos de 4 horas para analizar el comportamiento nictemeral de las condiciones ambientales, especialmente para determinar si el paso de oxígeno a los sedimentos se llevó a cabo en condiciones de marea alta o baja.

III. 2. TÉCNICAS.

Las técnicas empleadas para la determinación de los análisis textural del sedimento, así como de los parámetros físicos y químicos en sedimentos, fueron las siguientes:

- Granulometría. Se emplearon nucleadores de PVC de 30 cm de longitud y 5 cm de diámetro para la colecta del material sedimentario, el núcleo completo se homogeneizó considerando que los organismos remueven el sedimento al ovopositar y por lo tanto no se conserva la estratificación. Posteriormente se determinó la fracción gruesa, con mallas de 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 y 0.062 mm (Botton y Ropes, 1988).
- Temperatura a la profundidad de los nidos o a un máximo de 30 cm, con termómetro de mercurio (de 0 a 50 °C).
- Salinidad en agua de filtración a la profundidad correspondiente, medida con refractómetro Atago.

- Oxígeno disuelto (OD) en agua de filtración con el método de Winkler (Normas Oficiales Mexicanas de Análisis de Aguas, 1981)
- Materia orgánica en sedimentos (MO). Las muestras de los nucleadores se homogeneizaron y se secaron (pérdida de agua) a 60 °C durante 24 horas, posteriormente se sometieron a ignición a 550 °C por una hora (Dean, 1974) cabe señalar que la cantidad de materia orgánica presente se consideró por diferencia de pesos en base seca.

III. 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Se aplicaron pruebas de correlación entre los factores analizados para detectar la influencia simultánea entre factores ambientales con relación al número de nidos de *Limulus polyphemus*, trabajando con 95 % de confianza para determinar diferencias significativas ($\alpha < 0.05$).

Se aplicó un análisis no paramétrico con prueba de rachas para la concentración de materia orgánica, debido a que solamente se analizaron 16 muestras durante el estudio (Ojeda, 1988, Steel y Torrie, 1989).

El estudio del número y la profundidad de los nidos se efectuó por Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías, considerando como criterios de clasificación los periodos climáticos y las zonas de estudio. Las comparaciones se llevaron a cabo con pruebas de Duncan por tratarse de comparaciones múltiples.

Para el análisis de los resultados se trabajó con el paquete de cómputo STATGRAPHICS Plus para WINDOWS 1.05 y para las gráficas con MICROSOFT EXCEL 7.0 Para generar los intervalos de confianza se usó la prueba de Z de dos colas para $\alpha = 0.05$ (1.96).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV. 1. FACTORES AMBIENTALES.

IV. 1. 1. TEXTURA GRANULOMETRICA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.

Las características del grano en las localidades de estudio fueron significativamente diferentes entre sí (ds, $R = -0.35, -0.69, -0.43$, $\alpha > 0.05$). En Isla Aguada se determinó un gradiente de grano de arena fina a limo-arcilla mientras que en isla Pájaros y Cabrera predominó la mezcla limoarcillosa, por otro lado en Icahao el mayor porcentaje estuvo representado por arena muy gruesa a arena media (Fig. 3).

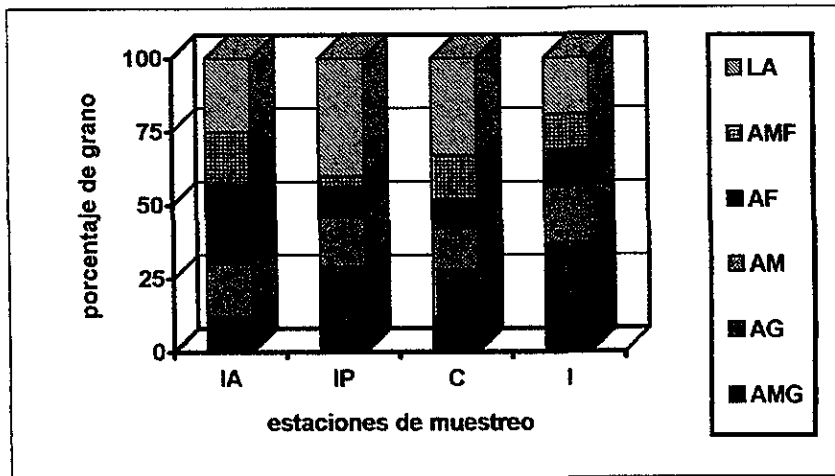


Figura 3 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DE CUATRO ÁREAS DE ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus* (1990-1992)

IA: ISLA AGUADA. IP: ISLA PÁJAROS. C: CABRERA. I: ICAHAO. AMG: arena muy gruesa (>2mm).
AG: arena gruesa (<2 >1mm). AM: arena media (<1 >0.5 mm). AF: arena fina (<0.5 >0.25 mm).
AMF: arena muy fina (<0.25 >0.125 mm). LA: limo-arcilla (<0.125 mm).

En la tabla 1 se presentan los resultados del porcentaje de cada grano para el periodo de estudio y sus intervalos de confianza ($Z < 0.05$) de cada época climática en la localidad correspondiente.

Tabla 1. INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LOS PORCENTAJES DE GRANO DEL SUSTRATO DE LAS LOCALIDADES DE ESTUDIO

	IA	IP	C	I
AMG	6 ± 1.25 [4.7 - 7.25]	10 ± 1.12 [8.9 - 11.1]	2 ± 0.25 [1.7 - 2.2]	19 ± 1.25 [17.7 - 20.2]
AG	6 ± 1.25 [4.7 - 7.2]	19 ± 1.23 [17.8 - 20.2]	16 ± 1.25 [14.7 - 17.2]	18 ± 2.6 [15.4 - 20.6]
AM	18 ± 2.01 [16.0 - 20.0]	17 ± 1.25 [15.7 - 18.2]	14 ± 0.15 [13.8 - 14.1]	19 ± 2.87 [16.1 - 21.9]
AF	27 ± 2.32 [24.7 - 29.3]	10 ± 2.03 [8.0 - 12.0]	10 ± 0.16 [9.8 - 10.2]	13 ± 1.25 [11.7 - 14.2]
AMF	18 ± 1.25 [16.7 - 19.2]	4 ± 1.25 [2.7 - 5.2]	5 ± 1.25 [3.7 - 6.2]	12 ± 2.06 [10.1 - 14.1]
L-A	25 ± 1.05 [23.9 - 35.5]	40 ± 2.50 [37.5 - 42.5]	33 ± 2.6 [30.4 - 35.6]	19 ± 1.20 [17.8 - 20.2]

IA ISLA AGUADA IP ISLA PÁJAROS C CABRERA I ICAHAO

AMG arena muy gruesa (>2mm) AG arena gruesa (<2 >1mm) AM arena media (<1 >0.5 mm).

AF arena fina (<0.5 >0.25 mm) AMF arena muy fina (<0.25 >0.125 mm) LA. limo-arcilla (<0.125 mm)

El tamaño del grano y su porcentaje fue semejante en Isla Aguada y Cabrera, siendo migajón-arcillo-arenoso, mientras que en Isla Pájaros fue arcilla-arenosa y en Icahao migajón-arenoso, (triángulo de la USDA, *in* Fritz Patrick, 1985) Contrario a lo obtenido por Cruz *et al.*, (1989) predominó el grano fino en Isla Pájaros, Cabrera e Isla Aguada. En Isla Pájaros el porcentaje de limo-arcilla fue menor que el descrito por Raz-Guzmán y de la Lanza (1991). Estas diferencias se deben principalmente a la localización geográfica y al efecto de retrabajo que tienen las olas y el viento sobre las zonas de estudio. En Isla Pájaros el sedimento fue 40 % limo-arcilla por tratarse de una zona dinámica debido a su localización en las inmediaciones de los bajos y canales, además se ve afectada por la actividad de las mareas, en esta zona ya que es la boca de entrada de agua al sistema lagunar. En Cabrera, la cercanía con el Estero Sabancuy favoreció la moderada actividad y movimiento del sustrato que presentó 33 % de limo-arcilla, en contraste con Isla Aguada e Icahao con 25 y 19 %, ya que tanto las corrientes marinas como el viento inciden paralelamente a la costa, ocasionando menor actividad erosiva en ellas. La diferencia entre estas dos localidades se debió al porcentaje de material grueso, mayor en Icahao (37 %) y menor en Isla Aguada (12 %) en virtud de que la primera se encuentra en la zona costera expuesta, a la cual llegan conchas aportadas por el mar.

Tres de las cuatro localidades en estudio coincidieron en más del 6 % y menos del 40 % de limo arcilla, lo que permite catalogarlas, de acuerdo a lo reportado por Sekiguchi (1977) y Botton *et al.*, (1988) para Delaware, como zonas de anidación adecuadas para *Limulus polyphemus* ya que los nidos pueden alcanzar hasta 30 cm de profundidad; sin embargo Isla Pájaros con 40 % de esta mezcla presentó sustrato compacto con nidos superficiales y el consecuente riesgo de la depredación por aves.

IV.1. 2. TEMPERATURA.

La temperatura del sustrato presentó mínimos en febrero de 1992 con 22 °C (Cabrera) y máximos en mayo de 1990 y agosto de 1991 con 33 °C (Isla Aguada, Isla Pájaros y Cabrera) con variaciones de más de 10 °C entre uno y otro, atribuible a la época y observándose un patrón acorde con las épocas climáticas (Fig. 3).

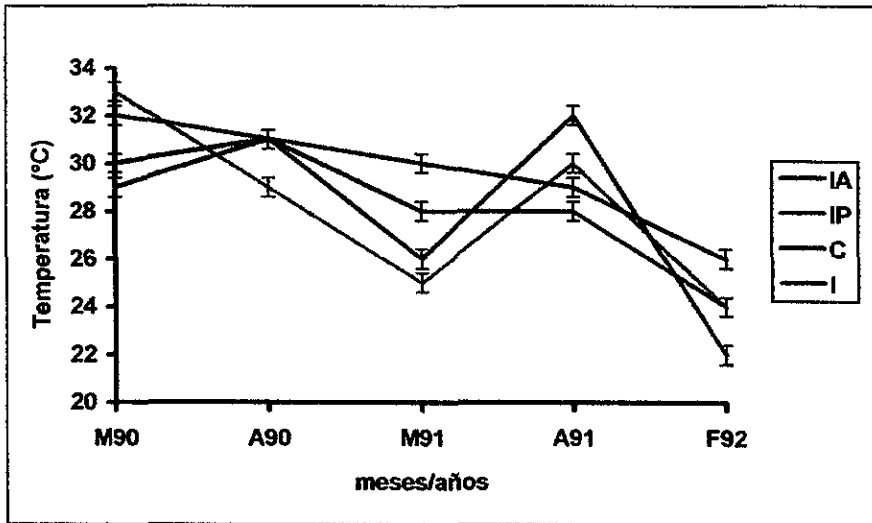


Figura 4 TEMPERATURA DEL SEDIMENTO EN ÁREAS DE ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus* (mayo 1990 - febrero 1992)

M90 : MAYO DE 1990. A90 : AGOSTO DE 1990. M91 : MAYO DE 1991. A91 : AGOSTO DE 1991.
F92 : FEBRERO DE 1992. IA: ISLA AGUADA. IP: ISLA PÁJAROS. C: CABRERA. I: ICAHAO.

En la tabla 2 se muestran los promedios de temperatura obtenidos en cada muestreo. Al analizar estadísticamente los resultados se apreció diferencias significativas ($R = 0.15, 0.29, -0.20, \alpha > 0.05$) para febrero de 1992 (anexos 2a, 2b, 2c).

El intervalo de temperatura fue de 22 a 33 °C en el sedimento, mientras que en la columna de agua fue de 23 a 29 °C (Vázquez *et al.*, 1988; Raz-Guzmán y de la Lanza, 1991). Esto evidenció que el sedimento presentó mayor oscilación de temperatura que la columna de agua, sin embargo se debe mencionar que la principal influencia la constituyó la época climática del muestreo.

Tabla 2. INTERVALOS DE TEMPERATURA (°C) EN SITIOS DE ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus* (MAYO 1990 - FEBRERO 1992)

	IA	IP	C	I
M90	29.1 ± 0.3 [28.8 - 29.4]	33	30.3 ± 0.5 [29.8 - 30.8]	32.2 ± 0.7 [31.5 - 32.9]
A90	30.6 ± 0.7 [29.9 - 31.3]	29 ± 0.7 [28.3 - 29.7]	31 ± 0.7 [30.3 - 31.7]	30.7 ± 0.6 [30.1 - 31.3]
M91	27.6 ± 0.5 [27.1 - 28.1]	25.5 ± 1.3 [24.2 - 26.8]	25.8 ± 0.6 [25.2 - 31.8]	30.3 ± 0.5 [29.8 - 30.8]
A91	28.5 ± 0.7 [27.8 - 29.2]	30	32.3 ± 0.6 [31.7 - 32.9]	28.9 ± 0.6 [28.3 - 30.5]
F92	23.6 ± 0.3 [23.3 - 23.9]	24.1 ± 1 [23.2 - 25.1]	22.4 ± 0.3 [22.1 - 22.7]	26.1 ± 0.4 [25.7 - 26.5]

IA ISLA AGUADA. IP · ISLA PÁJAROS C. CABRERA I ICAHAO. M90. MAYO DE 1990 A90 AGOSTO DE 1990 M91 · MAYO DE 1991. A91 AGOSTO DE 1991 F92 FEBRERO DE 1992

Otro factor que permite que las temperaturas de los sedimentos en la zona intermareal variaran fueron los periodos de insolación y desecación que se sucedieron en el día, así como al efecto mismo de reflujo y de evotranspiración del sistema litoral. Sin embargo los cambios entre periodos climáticos se asociaron con los factores ambientales, independientemente de la textura del sustrato.

La temperatura fue uno de los factores que más afectaron la ovoposición y desarrollo de *Limulus polyphemus*. En condiciones controladas se ha establecido como óptimo 31 °C (Laughlin, 1983) y niveles letales de hasta 44 °C (González y Ortega, 1991). Mientras que *in situ*, los adultos tuvieron un intervalo de resistencia térmica más amplia. Mayer (1914, citado por Rudloe, 1981) mencionó que podían vivir a 41 °C en Woods Hole y 46.25 °C en Marquesas Keys, y dio un valor extremo de - 2.3 °C para Annisquam, Mass. mientras que Rudloe (1981) registró 2 y 3 °C para las marismas de Saint James, 2 a 28 °C en Conch Island y 26 a 31 °C en Saint Joseph.

En las áreas del litoral de Campeche las temperaturas no alcanzaron los límites registrados en Estados Unidos y aún cuando se trató de zonas costeras del Atlántico esto se debió a que en este estudio se analizaron exclusivamente localidades incluidas en la región tropical, mientras que en los estudios norteamericanos se contemplaron incluso costas templadas.

La temperatura del sedimento osciló entre 22 y 33 °C y esta variabilidad se vio influenciada por la mezcla limo-arcillosa que permitió retener la humedad y mantuvo a los nidos cerca del nivel óptimo propuesto por Laughlin (1983). Al comparar estos resultados con los registros para la Península de Florida (Shuster, 1960) entre 12.5 y 28.5 °C se consideró que la temperatura del sustrato no fue un factor condicionante en la ovoposición y desarrollo de *L. polyphemus* en la Península de Yucatán con una diferencia de 11 °C entre mínima y máxima, mientras que si lo fue en los Estados Unidos con una diferencia de más de 40 °C entre mínima y máxima.

IV. 1. 3. SALINIDAD.

La salinidad de las localidades de estudio presentó variaciones más marcadas que la temperatura, encontrándose en agosto de 1990 el mínimo y máximo de concentración, con 24 y 59 UPS, en Isla Aguada e Isla Pájaros, respectivamente. Otro punto importante fue el incremento de salinidad que se presentó en Isla Pájaros de mayo de 1990 a agosto de 1991 (Fig. 4).

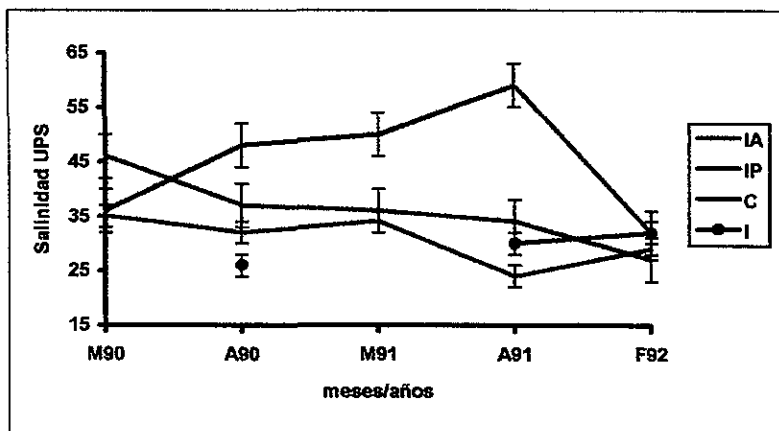


Figura 5 SALINIDAD DEL SEDIMENTO EN ÁREAS DE ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus* (mayo 1990 - febrero 1992)

M90 : MAYO DE 1990. A90 : AGOSTO DE 1990. M91 : MAYO DE 1991. A91 : AGOSTO DE 1991.
F92 : FEBRERO DE 1992. IA: ISLA AGUADA. IP: ISLA PÁJAROS. C: CABRERA. I: ICAHAO.

En la tabla 3 se presentan los intervalos de confianza ($Z_c = 1.96$) de las concentraciones medias de salinidad por cada localidad y período de estudio. La salinidad en el sedimento presentó variaciones espaciales siendo Isla Pájaros el área de mayores oscilaciones, con 36 a 59 UPS. Esta diferencia se debió a la mezcla de más de 40 % de substrato limo-arcilloso compacto, que permitió la concentración de sales en el sedimento bajo condiciones de marea baja, en el período de máxima exposición solar y por desecación.

Las concentraciones de salinidad también variaron en función de la época climática, confirmado por el análisis estadístico, que marcó diferencias significativas para Isla aguada, Cabrera e Icahao durante febrero de 1992 cuando se estudió por un periodo de 24 horas. Del mismo modo se observó diferencia significativa de cada estación con relación a los periodos de estudio ($R = 0.07, 0.09, 0.12 \alpha < 0.05$). Por lo que se consideró que este factor cambió en el ciclo diario y por periodo climático.

Tabla 3. INTERVALOS DE CONFIANZA DE LAS SALINIDADES PROMEDIO (UPS) DE LOS SITIOS DE ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus*

	IA	IP	C	I
M90	35 ± 0.5 [34.5 - 35.5]	35.7 ± 0.3 [35.4 - 36]	46 ± 0.4 [45.6 - 46.4]	sr *
A90	32.1 ± 0.5 [31.6 - 32.6]	48.5 ± 1.7 [46.8 - 50.2]	37.5 ± 1.1 [36.4 - 38.6]	25.8 ± 0.7 [25.1 - 26.5]
M91	34.1 ± 0.4 [33.7 - 34.5]	50 ± 3 [47 - 53]	36 ± 1.9 [34.1 - 37.9]	sr *
A91	24.4 ± 0.8 [23.6 - 25.2]	58.7 ± 0.6 [58.1 - 59.3]	33.8 ± 0.8 [33 - 34.6]	29.9 ± 1.1 [28.8 - 31]
F92	29.3 ± 0.3 [29 - 29.6]	31.6 ± 1.3 [30.3 - 32.9]	27.2 ± 0.7 [26.5 - 27.9]	31.8 ± 0.5 [31.3 - 32.3]

IA ISLA AGUADA IP ISLA PÁJAROS C CABRERA I ICAHAO M90 MAYO DE 1990 A90 AGOSTO DE 1990 M91 MAYO DE 1991 A91 AGOSTO DE 1991 F92 FEBRERO DE 1992 (sr * sin registro)

Este fue el factor que junto con la textura del sedimento se asoció con la ausencia de nidos de *Limulus polyphemus*, especialmente en Isla Pájaros. Al comparar los resultados obtenidos en Isla Aguada de 24 y 33 UPS, con los reconocidos como óptimos bajo condiciones controladas de 10 y 35 UPS (Laughlin, 1983) para la ovoposición y desarrollo se observó similitud, lo cual permitió indicar que el factor que condicionó la ovoposición en Isla Pájaros fue la alta salinidad, mientras que el predominio de limo-arcilla favoreció la presencia de nidos.

L. polyphemus ovopositó en salinidades entre 24 y 36 UPS, con escaso número de nidos a salinidades superiores a 40 UPS. Por su parte para la Península de Florida se encontraron datos de 11 y 31 UPS (Shuster, 1954a), con promedios de 30 a 32 UPS para Woods Hole, Mass (Pears, 1928) de abril a junio y 30 a 31 UPS en septiembre y 26 a 31 UPS en octubre (Rudloe, 1981). Lo cual denotó que la salinidad en los sitios de nidos está en función de las épocas climáticas, al igual que en el litoral de Campeche, y por otro lado fue evidente que mientras en los Estados Unidos la distribución de los nidos se encontró en función de la temperatura y la salinidad, en las zonas de estudio del litoral de Campeche la asociación más fuerte que condicionó la presencia de nidos fue al sedimento y la salinidad.

IV. 1. 4. OXIGENO DISUELTO.

El oxígeno disuelto en el agua de infiltración del sedimento fue alto en las localidades de Isla Aguada, Cabrera e Icahao, durante los tres muestreos analizados a excepción de Isla Pájaros donde se registró anaerobiosis de mayo de 1990 a agosto de 1991 y solo en febrero de 1992 se encontraron condiciones aerobias en el sustrato (Fig. 5).

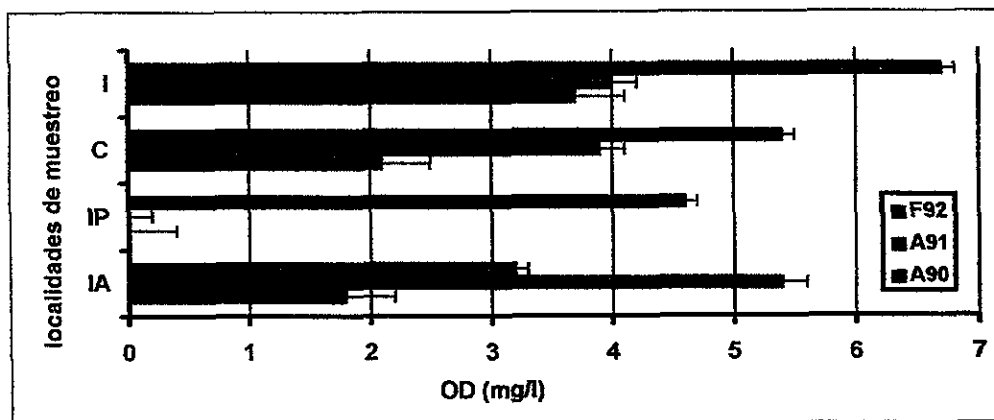


Figura 6 OXIGENO DISUELT DEL SEDIMENTO EN ÁREAS DE ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus* (mayo 1990 - febrero 1992)

A90 : AGOSTO DE 1990. A91 : AGOSTO DE 1991. F92 : FEBRERO DE 1992. IA: ISLA AGUADA. IP: ISLA PÁJAROS. C: CABRERA. I: ICAHAO.

En la tabla 4 se encuentran los intervalos de confianza de las concentraciones de oxígeno disuelto ($Z = 1.96$), detectadas en los sitios de estudio.

Tabla 4. OXIGENO PROMEDIO (mg/L) DE LOS SITIOS DE ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus*. (mayo 1990 - febrero 1992)

	IA	IP	C	I
A90	1.8 ± 1.1 [0.7 - 2.9]	0	2.1 ± 1.3 [0.8 - 3.4]	3.7 ± 1.4 [2.3 - 5.1]
A91	5.4 ± 1.7 [3.7 - 7.3]	0	3.9	4.1 ± 1.6 [2.5 - 5.7]
F92	3.2 ± 1.4 [1.8 - 4.6]	4.6 ± 2.3 [2.3 - 6.9]	5.4 ± 1.6 [3.8 - 7]	6.7 ± 0.4 [6.3 - 7.1]

IA: I AGUADA. IP: I. PÁJAROS. C: CABRERA. I: ICAHAO. A90:AGOSTO DE 1990 A91: AGOSTO DE 1991. F92: FEBRERO DE 1992.

Se pudo observar que Isla Pájaros presentó dos muestreos con anaerobiosis, lo cual se relacionó con más de 40 % de sustrato limo-arcilloso que se compactó y evitó el recambio de gas en condiciones de marea baja. Por otro lado la concentración de sales, el detrito y las condiciones de intercambio en el sustrato hicieron que el ión sulfuro sustituya al oxígeno como donador de electrones, creando condiciones anóxicas y generando ácido sulfhídrico, cuyo olor característico se asocia con zonas de manglar y descomposición de materia orgánica (Emery y Foster, 1948, citado por Botton *et al.*, 1988). Sin embargo estas condiciones no prevalecieron continuamente, ya que en el ciclo nictemeral pudo comprobarse que el intercambio de oxígeno

en el sedimento se verificó en condiciones de marea alta con concentraciones hasta de 6.7 mg/l a 10 cm de profundidad en el sedimento, tal como se apreció en febrero de 1992.

En las estaciones con menos de 40 % de limo-arcilla y debido al movimiento continuo de agua en la zona intermareal se facilitó la difusión del gas hacia los nidos de *Limulus polyphemus* con concentraciones de oxígeno disuelto de 6.7 mg/l, más alto que el registrado por Vázquez *et al.*, (1988) con 4.6 mg/l ocasionado por el flujo de la marea y el tamaño del grano de arena media.

Botton *et al.* (1988) hacen alusión a zonas "no adecuadas" para la ovoposición cuando prevalecen las condiciones de anoxia (276.4 mM de H₂S) sin embargo en el litoral de Campeche la presencia de nidos de *L. polyphemus* no se asoció con las condiciones de anoxia o anaerobiosis, ya que se observaron organismos vivos ovopositando en zonas anóxicas, y por otro lado el intercambio del gas hacia los nidos se llevó a cabo en condiciones de marea alta, lo que indicó que los nidos no se encontraban permanentemente sin oxígeno y por lo tanto no se mantuvieron las condiciones reductoras en el sedimento, descartando al oxígeno como factor determinante en la ovoposición.

Algo que llamó poderosamente la atención fue encontrar huevecillos de color rosa en Isla Pájaros, probablemente por efecto de las condiciones reductoras en el sedimento, sin embargo no se han encontrado estudios que reporten la presencia ni viabilidad de éstos especímenes, por lo que debería considerarse este fenómeno en futuras investigaciones.

IV. 1. 5. MATERIA ORGÁNICA.

La concentración de materia orgánica en agosto de 1990 y febrero de 1992 fue significativamente diferente ($\alpha < 0.05$) con mínimos de 2.3 % y máximos de 8.7 %.

En la figura 6, se apreció que el porcentaje de materia orgánica fue mayor durante agosto de 1990 que en febrero de 1992. Este parámetro no se asoció con los nidos de *L. polyphemus*; pero si se consideró como factor que favoreció la presencia de microorganismos causantes de la anoxia en el sedimento. Al comparar las estaciones se observó que Isla Pájaros y Cabrera presentaron los mayores porcentajes (8.7 y 8.4 %), debido a que ambas son áreas que cuentan con grandes comunidades de *Rizophora mangle*.

Tabla 5. MATERIA ORGÁNICA (%) DE LOS SITIOS DE ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus* (agosto 1990-febrero 1992)

	IA	IP	C	I
A90	3.6 ± 0.6 [3 - 4.2]	8.7 ± 0.6 [8.1 - 9.3]	8.4 ± 2.3 [6.1 - 10.7]	3.2 ± 0.8 [2.4 - 4]
F92	2.9 ± 0.8 [2.1 - 3.7]	3.3 ± 1.8 [1.5 - 5.1]	4.3 ± 1.5 [2.8 - 5.8]	2.3 ± 0.7 [1.6 - 3]

IA: I AGUADA IP: I. PÁJAROS. C: CABRERA. I: ICAHAO. A90: AGOSTO DE 1990. F92: FEBRERO DE 1992.

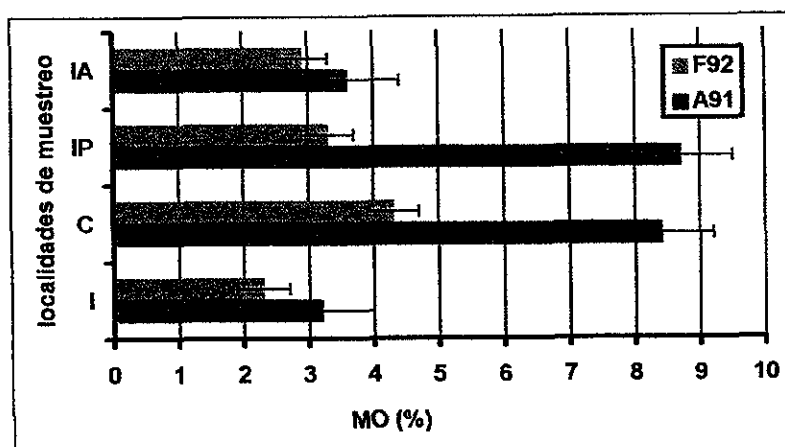


Figura 7 MATERIA ORGANICA DEL SEDIMENTO EN ÁREAS DE ANIDACIÓN DE *Limulus polyphemus* (agosto 1990 - febrero 1992)

A91 : AGOSTO DE 1991. F92 : FEBRERO DE 1992 IA: ISLA AGUADA. IP: ISLA PÁJAROS. C: CABRERA. I: ICAHAO.

IV. 2. COMPARACIÓN TEMPORAL CON EL NUMERO Y PROFUNDIDAD DE LOS NIDOS DE *Limulus polyphemus* L. DE CUATRO ÁREAS DEL LITORAL DE CAMPECHE.

Se consideró al número de nidos de *Limulus polyphemus* como indicador reproductivo de dicho organismo tanto en el plano espacial como en el temporal (Rudloe, 1979; Shuster y Botton, 1985; Botton et al., 1994). Para los fines del estudio se comparó el número de nidos total registrado en cada localidad durante los cinco muestreos. Los resultados indicaron diferencia significativa ($F = 115$, $gl = 266$ y 3 , $\alpha > 0.05$) entre el binomio Cabrera - Isla Aguada, con presencia constante (≈ 1 nido/m²) y el mayor número de nidos (96 y 80), en relación a Isla Pájaros en donde se observaron 61 nidos en cuatro de cinco muestreos (2.4 nidos/m²), y con relación a Icahao (< 1 nido/m²) donde se contabilizó un total de 33 nidos en tres de cinco muestreos (Fig. 7).

Esta diferencia se debió a la desigualdad del área en cuanto al sustrato disponible para la ovoposición, pero con mayor énfasis a los diversos ambientes sedimentarios ya que Isla Aguada, Cabrera e Isla Pájaros presentaron similitud en el número de nidos para cada época climática y sus sustratos presentaron mezclas de limo-arcilla y arena media, no obstante que la tercera es más pequeña en área y con una proporción de limo-arcilla mayor.

Al comparar Icahao con las otras localidades se hizo evidente que la reproducción de *L. polyphemus* en esta área se vio limitada por el sustrato, ya que esta localidad presentó sedimento de mayores dimensiones (arenoso) y con escasa mezcla limo-arcillosa. Además la localización de la misma fue diferente, ya que se encontraba expuesta sobre la línea de costa.

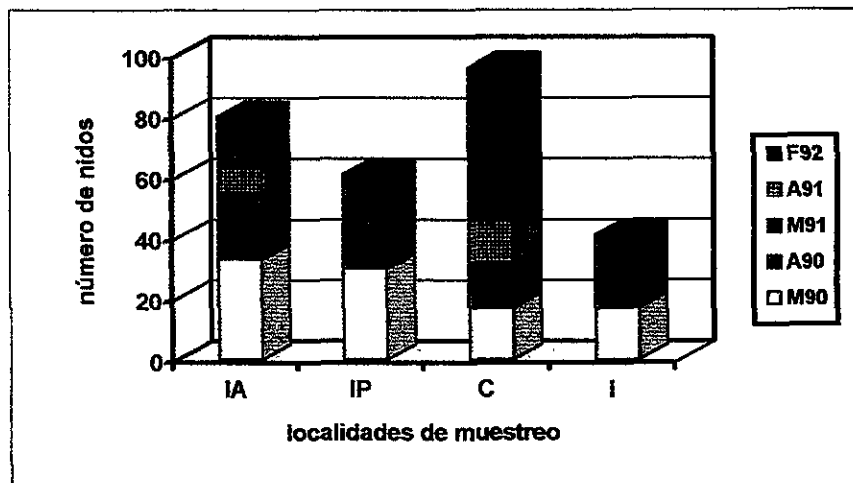


Figura 8 NÚMERO DE NIDOS DE *Limulus polyphemus* EN CUATRO AREAS DEL LITORAL DE CAMPECHE (mayo 1990 - febrero 1992)

M90 : MAYO DE 1990. A90 : AGOSTO DE 1990. M91 : MAYO DE 1991. A91 : AGOSTO DE 1991. F92 : FEBRERO DE 1992 IA: ISLA AGUADA. IP: ISLA PÁJAROS. C: CABRERA. I: ICAHAO.

Los datos que se aprecian en la tabla 6 muestran los intervalos de confianza del número de nidos encontrados en cada localidad de estudio, así como la desviación obtenida en función de los nidos por cuadrante, misma que se asumió como el error al contabilizar los nidos *in situ*.

El análisis de varianza, con comparaciones múltiples entre el promedio de nidos por cuadrante y los meses del muestreo hizo evidente que febrero de 1992 fue diferente ($F = 3.37$, $gl = 16$ y $3 \alpha < 0.01$) del resto de muestreos. En la comparación temporal se apreció que las cuatro localidades presentaron el mayor número de nidos en mayo de 1990 y febrero de 1992 (97 y 92) y el menor en mayo de 1991 (17).

Con los resultados anteriores no se observó un ciclo reproductivo anual para *Limulus polyphemus* en los sitios de estudio, tal como lo fue reseñado por Shuster y Botton (1985) y Botton y Loveland (1992) para Florida, quienes concluyeron que no hay un patrón marcado para el ciclo reproductivo ni para la formación de parejas de *L. polyphemus*, de hecho esta última fue completamente "una colisión al azar", es decir no hubo selección sexual por parte de las hembras ni de los machos, los investigadores afirmaron que se formaban las parejas al azar y que los machos que no lograron sujetar a una hembra permanecían como machos satélite en espera de una oportunidad para fecundar los huevecillos, cuando el macho principal se libere de la hembra.

Sin embargo el ciclo reproductivo de *L. polyphemus* en Florida, si estuvo asociado a los cambios lunares por la aparición de la marea más alta del mes (Rudloe, 1979 ; 1985). Cabe señalar que en el transcurso de esta investigación se visitaron los sitios de ovoposición los días de luna llena y con la máxima marea, para verificar la formación de parejas y una semana después para contabilizar los nidos y sólo fue posible verificar la formación de parejas en una ocasión, en las cuatro localidades (mayo de 1990) Por lo que en la Península de Yucatán, también resultó improbable un ciclo asociado con las mareas más altas del mes y periodos lunares.

Tabla 6. NUMERO DE NIDOS DE *Limulus polyphemus*.
(MAYO 1990 - FEBRERO 1992).

	IA	IP	C	I	TOTAL
M90	33 ± 2	30 ± 1	17 ± 1	17 ± 1	97 ± 1
A90	14 ± 2	14 ± 1	10 ± 1	2	40 ± 1
M91	8 ± 1	4	5	0	17 ± 1
A91	8 ± 1	0	14 ± 2	0	22 ± 1
F92	17 ± 1	13	50 ± 1	14 ± 1	94 ± 1
TOTAL	80 ± 1	61	96 ± 1	33	270 ± 1

AI I AGUADA. IP. I PAJAROS C CABRERA I ICAHAO M90: MAYO DE 90. A90 AGOSTO DE 90 DE 90
M91 MAYO DE 91 A91 AGOSTO DE 91 F92 FEBRERO DE 92.

Por otro lado, la comparación espacial entre estaciones permitió visualizar que el factor determinante en la ovoposición de *L. polyphemus* fue el sustrato ya que la mezcla menor al 40 % de limo-arcilla favoreció la presencia de nidos, siendo el caso de Isla Aguada y Cabrera; sin embargo un sustrato muy consolidado (*vr. gr.* Isla Pájaros) no permitió que la hembra cavara el nido, dejándolos subsuperficiales (3 a 5 cm) de manera que la escurentía, el viento, las aves o la siguiente marea alta pudieron disgregarlos. En Icahao la escasez de nidos se asoció con mayor proporción de arena (46 %) y canto rodado y menor de limo-arcilla (20 %) similar a lo establecido por Botton (1984) para Great Bay y para Delaware Bay (Botton *et al*, 1994), en donde también se registró el menor número de nidos asociado a playas de sedimento arenoso con bajo contenido de limo-arcilla. Por otro lado, el sustrato asociado con la mayor abundancia de nidos de *L. polyphemus* fue arenoso con valores entre 20 y 40 % de limo-arcilla. Esto se debió a que el organismo excavó para ovopositar en material suave, pero no compacto (más de 40 % limo-arcilla) y puede representar un patrón de selección por sitios, en función del tamaño del grano del sedimento.

En las estaciones de estudio se registró una disminución de nidos por cuadrante de mayo de 1990 (1 a 4 nidos por cuadrante) a agosto de 1991 (menos de un nido por cuadrante). Este hecho no es aislado, ya que en Estados Unidos en 1980 se registraron cuatro nidos por cuadrante y en 1984 se encontró un nido por cuadrante en una misma área, sin que aparentemente estos cambios respondieran a modificaciones ambientales (Shuster y Botton, 1980; Botton *et al.*, 1984). Sin embargo, en las áreas de estudio del litoral de Campeche, se ha observado un cambio paulatino en el paisaje por deforestación progresiva de mangle, lo que favoreció la pérdida de sedimento fino, aunado a tormentas tropicales y huracanes que depositaron arena y cantos rodados en la zona intermareal. Esto ocasionó que se alteraran los sitios de ovoposición y se perdieron nidos al quedar los huevecillos dispersos. Por otro lado en febrero de 1992, se observó un repunte del número de nidos, (1 a 2 nidos por cuadrante)

cuando las condiciones ambientales y del sedimento fueron más estables, por lo que, incluso fue posible que las poblaciones de *L. polyphemus* se hayan desplazado hacia hábitats en donde las condiciones del sustrato les permitieron ovopositar, para retornar a las áreas de estudio cuando las condiciones fueron más favorables

Con relación a la profundidad de los nidos, los sitios con porcentaje mayor de 40 % de limo-arcilla fueron los que presentaron nidos subsuperficiales. En Isla Pájaros, la mezcla compacta permitió profundidades entre 2 y 10 cm, mientras que en Isla Aguada la mezcla de arena fina y limo-arcilla favoreció profundidades hasta de 24 cm (Fig. 8, Tabla 7). En Wakula, Florida, Rudloe (1979) encontró profundidades de 14.6 ± 1.9 cm, considerando esta como la profundidad óptima para el escape de la depredación por aves y resistencia de los nidos ante condiciones ambientales adversas. Por su parte Williams (1977, citado por Rudloe, 1979) observó profundidades de 30 cm, mientras que Botton *et al.* (1994) hallaron nidos desde subsuperficiales (0 a 5 cm) hasta profundos (15 a 20 cm) pero asociaron este hecho como un efecto de la repetición de la ovopositación, lo que a su vez permitió el equilibrio entre los nidos consumidos por los depredadores y los que tienen posibilidades de desarrollarse (Castro y Myers, 1993). Considerando estos criterios, Isla Aguada e Icahao, durante las secas (mayo de 1990 y 1991) fueron las localidades del litoral de Campeche más adecuadas para que *Limulus polyphemus* minimizara la pérdida de nidos por depredación de aves, con 24 y 17 cm en promedio. No obstante, la diferencia sedimentaria y la presencia constante de nidos permitió calificar a Isla Aguada como el sitio más adecuado para la ovopositación y desarrollo de los nidos de *L. polyphemus*.

El principal factor que condicionó la ovopositación y desarrollo de *L. polyphemus* en Isla Pájaros fue el grano limo-arcilloso del sedimento debido a que no permitió que los adultos depositaran sus huevecillos debido a la compactación del sustrato.

Tabla 7. PROFUNDIDAD (cm) DE LOS NIDOS DE *Limulus polyphemus*.
(MAYO 1990 - FEBRERO 1992).

	IA	IP	C	I
M90	13.9 ± 0.8 [13.1 - 14.7]	6 ± 1.1 [4.9 - 7.1]	7.8 ± 1.1 [6.7 - 8.9]	20.3 ± 1.3 [19 - 21.6]
A90	14.2 ± 1.4 [12.8 - 15.6]	10.5 ± 2.1 [8.4 - 12.6]	3.2 ± 0.9 [5.8 - 4.1]	15 ± 1 [14 - 16]
M91	24.8 ± 1.2 [23.6 - 26]	2 ± 1.6 [0.4 - 3.6]	9 ± 2.3 [6.7 - 11.3]	37.2 ± 2.1 [35.1 - 39.3]
A91	14.4 ± 2.2 [12.2 - 16.6]	0	6.9 ± 2.2 [4.7 - 9.1]	17.4 ± 2.1 [15.3 - 19.5]
F92	23.2 ± 1 [22.2 - 24.2]	4.4 ± 1.3 [3.1 - 5.7]	10 ± 0.9 [9.1 - 10.9]	24 ± 1.4 [22.6 - 25.4]

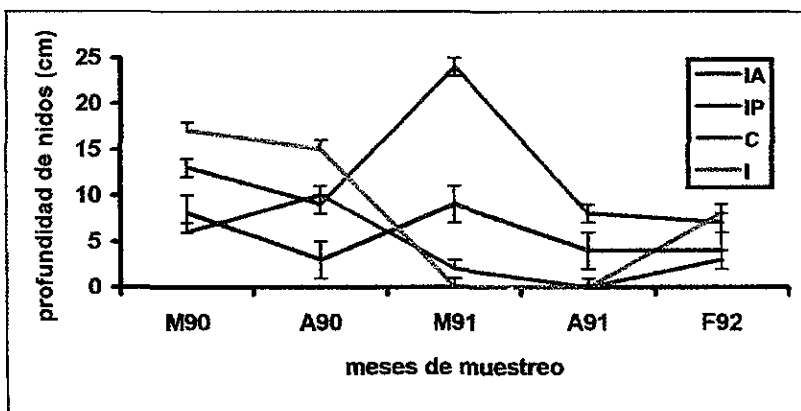


Figura 9 PROFUNDIDAD DE LOS NIDOS DE *Limulus polyphemus* EN CUATRO ÁREAS DEL LITORAL DE CAMPECHE (mayo 1990 - febrero 1992)

M90 : MAYO DE 1990. A90 : AGOSTO DE 1990. M91 : MAYO DE 1991. A91 : AGOSTO DE 1991. F92 : FEBRERO DE 1992 IA: ISLA AGUADA. IP: ISLA PÁJAROS. C: CABRERA. I: ICAHAO.

CONCLUSIONES

1. Las áreas de estudio, seleccionadas por ser sitios de ovoposición de *Limulus polyphemus* fueron diferentes entre sí. Esta diferencia fue más evidente a nivel del grano del sedimento, siendo más de 40 % de limo-arcilla en Isla Pájaros, menos del 20 % limo arcilla con 46 % arena media y canto rodado en Icahao, más de 20 % limo-arcilla y 45 % arena media y arena fina en Isla Aguada y más de 20 % limo arcilla con 38 % de arena gruesa y muy gruesa en Cabrera.
2. El segundo factor diferente tanto espacial como temporal, fue la salinidad con valores de 24 a 33 UPS para Isla Aguada, 36 a 59 UPS para Isla Pájaros, 36 a 46 UPS para Cabrera y 26 a 32 UPS para Icahao. La combinación limo-arcillosa propició cambios de salinidad en Isla Pájaros durante agosto de 1991, alcanzando hasta 59 UPS en el sedimento. Además, presentó mayores oscilaciones en función de los periodos climáticos (febrero registros más bajos con 27 a 36 UPS), así como del sustrato limo-arcilloso de Isla Pájaros (36 a 59 UPS). Esta combinación de factores se asoció fuertemente con la ausencia de nidos, ya que con más de 40 % de limo-arcilla y salinidad superior a 40 UPS disminuyó el número de nidos.
3. Isla Aguada y Cabrera fueron similares en cuanto a la textura del grano del sedimento, siendo migajón-arcillosa la mezcla que permitió la presencia continua y en mayor proporción de nidos de *Limulus polyphemus*, mientras que la mezcla migajón-arenosa en Icahao se asoció con la escasa presencia de estos organismos.
4. El sedimento actuó como un amortiguador del incremento de la temperatura ambiental aun en horas de máxima exposición solar, oscilando de acuerdo con los cambios climáticos, con un mínimo de 22 °C (febrero) y un máximo de 33 °C (mayo). No se le consideró factor asociado a los nidos dado que ésta incluyó al nivel óptimo para su desarrollo (31 °C).
5. El sustrato limo-arcilloso no permitió la difusión continua del oxígeno al sedimento, favoreciendo condiciones anaeróbicas durante la marea baja y aerobias con marea alta (6.7 mg/l), por lo que este factor no se asoció con la presencia de nidos de *Limulus polyphemus*.
6. La materia orgánica en el sedimento estuvo en función del período climático, siendo mayor en agosto de 1990 (3.2 % a 8.7 %) que en febrero de 1992 (2.9 % a 4.3 %) y se asoció a la presencia del manglar y vegetación sumergida.
7. En general, la ovoposición de *L. polyphemus* en las zonas estudiadas fue permanente, con mayor abundancia en mayo de 1990 (97 ± 1 nido) y febrero de 1992 (94 ± 1 nido), y la menor en mayo de 1991 (17 ± 1 nido). Este hecho sugirió un patrón reproductivo en función de las condiciones de salinidad y del sustrato, ya que los niveles más bajos de nidos, se asociaron con la tendencia al incremento de la salinidad (34 a 50 UPS) y esta, a su vez aumentó en sitios de mezcla limo-arcillosa superior al 40 %. Este comportamiento no fue privativa de las zonas de estudio, ya que en Estados Unidos (Shuster y Botton, 1980; Botton *et al.*, 1984) también se reportó una situación similar, aunque no pudieron comprobar la relación con factores ambientales, ya que el principal efecto sobre los nidos en esas latitudes fue la combinación temperatura-sustrato, mientras que en las zonas de estudio fue sustrato-salinidad.

8. La profundidad promedio de los nidos estuvo en función del tipo de sedimento y por lo tanto fue diferente para cada localidad, presentando para Isla Pájaros un promedio de 4.6 ± 1 cm, en Cabrera el promedio fue 7.4 ± 1.5 cm, para Isla Aguada un promedio de 18.1 ± 1.6 cm y en Icahao el promedio fue 22.3 ± 1.4 . Comparando con los niveles presentados por Rudloe (1979) como los óptimos para escapar de la depredación por aves (14.6 ± 1.9 cm), Isla Aguada e Icahao serían las estaciones que protegieron a los nidos, sin embargo las condiciones del tipo de sustrato de Icahao (arena gruesa y roca en su mayoría) no facilitaron la deposición de los nidos, mientras que en Isla Aguada la presencia de nidos fue permanente en el año asociada al tipo de sustrato (arena fin y limo-arcilla).
- 9 La profundidad del nido se asoció al tipo de grano del sedimento, desde subsuperficiales en sitios con más de 40 % de limo-arcilla, hasta 24 cm en áreas con niveles de 27 % arena fina y 25 % limo-arcilla e incluso más de 24 cm en zonas con más del 20 % de arena gruesa y fina y menos de 20% de limo-arcilla. La mezcla limo-arcillosa favorable para la ovoposición fue más de 20 y menos de 40 %. Mientras que en más de 40 % de limo arcilla los nidos quedaron expuestos a niveles subsuperficiales (3 a 5 cm) siendo presa fácil de aves o disgregados por la marea alta, además que esta mezcla se asoció con la tendencia al incremento de salinidad

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA MARTÍNEZ G y M. C. Morales Hernández, 1985 Consideraciones sobre algunas relaciones ambientales y económicas en el sistema Laguna de Términos Campeche México. Tesis profesional. Fac de Fil y Letras. Univ. Nal. Autónoma México 129 págs
- AYALA-CASTAÑARES, A., 1969 Datos comparativos de la geología de tres lagunas litorales del Golfo de México. An. Inst. Biol. Serie Cienc del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autónoma México 1: 1 - 10
- BENNETT, J., 1979. The cytochemistry of *Limulus* eggs. Biol. Bull. 1956 141 - 156.
- BOTTON, MARK L., 1984a Diet and food preference of adult horseshoe crabs, *Limulus polyphemus*, in Delaware Bay, New Jersey USA. Mar. Biol. 81 199 - 207.
- BOTTON, MARK L., 1984b The importance of predation by horseshoe crabs, *Limulus polyphemus*, to an intertidal sand flat community. Journ. Mar. Res. 42: 139 - 161
- BOTTON, MARK L., 1987. The horseshoe crab. *Limulus polyphemus* fishery and resource in the United States of America. Mar. Fish. Res. 49 (3): 57 - 61
- BOTTON, MARK L., R. E. Loveland y T. R. Jacobsen, 1988. Beach erosion and geochemical factors influence on spawning success of horseshoe crab (*Limulus polyphemus*) in Delaware Bay. Mar. Bull. 99 (3): 325 - 332
- BOTTON, MARK L. y John W. Ropes., 1988 Populations of horseshoe crabs *Limulus polyphemus* on the northwestern Atlantic Continental shelf. Fish. Bull. 85 (4): 805 - 812
- BOTTON, MARK L. y John W. Ropes., 1989 Feeding ecology of horseshoe crabs on the continental shelf, New Jersey to North Carolina. Bull. Mar. Sci. 45 (3) 637 - 647
- BOTTON, MARK L. y R. E. Loveland., 1989. Reproductive risk: high mortality associated with spawning by horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) in Delaware Bay USA. Mar. Biol. 101: 143 - 151
- BOTTON, MARK L. y Robert E. Loveland., 1992 Body size, morphological constraints, and mated pair formation in four populations of horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) along a geographic cline. Mar. Biol. 112 : 409 - 415
- BOTTON, MARK L., Robert E. Loveland y Timothy R. Jacobsen., 1994 Site selection by migratory shorebirds in Delaware Bay, and its relationship to beach characteristics and abundance of horseshoe crab (*Limulus polyphemus*) eggs. The Auk 111 (3) : 605 - 616
- CAMPENHAUSEN, C., 1967. The ability of *Limulus* to see visual patterns. Journ. Exp. Biol. 46 557.
- CASTRO, GONZALO y J. P. Myers. 1993. Shorebird predation on eggs of horseshoe crab during spring stopover on Delaware Bay. The Auk. 110 (4) : 927 - 930.
- COHEN, JAMES A. y H. Jane Brockman., 1983. Breeding activity and mate selection in the horseshoe crab *Limulus polyphemus*. Biol. Mar. Sci. 33 (2): 274 - 281.
- CRUZ OROZCO, R., F. Ley-Lou, R. Lecuanda y F. Rosales L., 1977. Informes preliminares sobre los estudios geológicos de Laguna de Términos, Camp. Méx. Programa de estudios: Recursos bióticos en Lagunas costeras, manglares y áreas adyacentes en América Latina. Centro Cienc. del Mar y Limnol. UNAM-CONACYT-OEA. Informe técnico 21 p
- CRUZ OROZCO, R., A. Machado N. y V. M. Alba C., 1989 Mineralogía y distribución de los sedimentos de la Laguna de Términos, Campeche. Rev. de la Invest. Científica 1 (3) 16 - 22
- CHAVEZ H. y F. Muñoz., 1975. Notas sobre *Xiphosura polyphemus* (PH. ARTHROPODA, CL. MEROSTOMATA) en aguas Mexicanas. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. T XXXIV: 365 - 373
- DEAN N. E. Jr., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments rocks by ignition, comparison with other methods. Jour. Sed. Petrology 44 (1): 241 - 248.
- ESCALANTE M. A., M. A. Garza y J. J. Segura. 1980 *Limulus polyphemus* fósil viviente en peligro de extinción. El desaprovechamiento ancestral de los recursos (ARTHROPODA-MEROSTOMATA). IV Congreso Nal. de Zool. Univ. Autónoma B. California. 7 - 12 de Dic
- FITZPATRICK, E. A. 1985. Suelos, su formación, clasificación y distribución. Ed. C. E. C. S. A. México. 430 págs.
- GOMEZ AGUIRRE, S., 1979. Notas para estudios de población de *Limulus polyphemus* L. (XIPHOSURA: XIPHOSURIDAE) en la Isla del Carmen, Campeche (1964 - 1978). An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autónoma. México. Ser. Zool. 1 722 - 769
- GOMEZ AGUIRRE, S., 1980 Ensayo demográfico de *Limulus polyphemus* L. del sureste del Golfo de México (ARTHROPODA-MEROSTOMATA). Mem. IV Congr. Nal. de Zool. Univ. Autónoma B. California. 7 - 12 de Dic. pág. 89
- GOMEZ AGUIRRE, S., 1983. *Limulus polyphemus* L. (ARTHROPODA-MEROSTOMATA) del sureste del Golfo de México. Mem. VIII Simp. Lat-Am. Ocean. Biol. 20 nov - 2 dic. Montevideo, Uruguay. pág. 131.
- GOMEZ AGUIRRE, S., 1989. Observaciones sobre comensalismo y depredación en los nidos de *Limulus polyphemus* L. de Isla Aguada, Campeche, México. In Mem. X Congr. Nal. de Zool. Octubre de 1989

- GOMEZ-AGUIRRE S., H. Choterena-Booth y R E Sapién-Silva., 1992 Diferenciación sexual y comportamiento de *Limulus polyphemus* en cautiverio Anales Inst Biol Univ Nat Autón México Ser Zool. 63 (1): 161 - 164
- GOMEZ AGUIRRE, S., 1993. Cacerolita de Mar (*Limulus polyphemus* L.) en la Península de Yucatán. In Biodiversidad Marina y Costera de México S I Salazar- Vallejo y N. E. GONZÁLEZ (eds). Com. Nat. Biodiversidad y CIQRO, México, pp 650-659
- GOMEZ AGUIRRE, S y A Yáñez Martínez., 1995. Evaluación estacional de las poblaciones de *Limulus polyphemus* L. en el norte de la Península de Yucatán (1994-1995). Rev Soc. Mex Hist Nat. 46 49 -54
- GONZALEZ URIBE, J F. y A. A. Ortega Salas., 1991. Environmental factors in rearing eggs and larvae of *Limulus polyphemus* under laboratory conditions. In Larvi'91-Fish and crustacean larviculture symposium P. Lavens, P. Sorgeloos, E Jaspers and F Ollevier (eds). European Aquaculture Society, Special publication No 15 Gent, Belgium.
- GUNTER, G., 1957 Temperature Chapter 8. In Treatise on Marine Ecology and Paleontology Vol I Ecology J W Hedgpeth (ed) 159 - 184
- GUTIERREZ-ESTRADA, M, J Martínez R y V M Maipica., 1981 Carta sedimentológica y fisiográfica de la Laguna de Sabancuy, Camp Méx Inst Cienc Mar y Limnol Univ Nat Autón México 10 (1) 249 - 268
- GUTIERREZ-ESTRADA, M y A Castro del Rio., 1988 Origen y desarrollo geológico de la Laguna de Términos An Inst. Cienc Mar y Limnol Univ Nat. Autón México 5 89 - 110
- INFORMES TECNICOS DE BIOLOGIA DE CAMPO [1986. Introducción a la demografía de *Limulus polyphemus* L. Fac. de Ciencias. Univ. Nat. Autón. México. 128 p
- INFORMES TECNICOS DE BIOLOGIA DE CAMPO 1988 Demografía de *Limulus polyphemus* L. II. Sus áreas de arribazón en los litorales de Campeche, México Fac. Ciencias Univ Nat Autón México. 21 p.
- INMAN D. L y C Nordstrom., 1971. On the tectonic and morphologic classification of coast. Jour. Geol 79 (1): 1 - 21
- INSTITUTO DE GEOFISICA. 1990. Tablas de predicción de mareas Puertos del Golfo de México y Mar Caribe. Datos geofísicos Serie A Oceanografía Univ Nat. Autón. México 189 p
- INSTITUTO DE GEOFISICA. 1991. Tablas de predicción de mareas Puertos del Golfo de México y Mar Caribe. Datos geofísicos Serie A Oceanografía Univ Nat. Autón. México 190 p.
- LANKASTER, E R., 1882 On the coxal glands of *Scorpio* hitherto undescribed and corresponding to the brick-red gland of *Limulus* Proc R Soc. London. 34. 95 - 101.
- LAUGHLIN, ROY., 1983 The effects of temperature and salinity on larval growth of horseshoe crab *Limulus polyphemus*. Biol. Bull. 164: 93 - 103
- MENDEZ UBACH, M. N., V. Solís-Weiss y A. Carranza Edwards., 1986. La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de las playas de Veracruz, Méx An. Inst de Cienc Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón México. 13 (3): 45 - 56.
- MONREAL G. M., D A Salas, A. R. Padilla y M A. Alatorre., 1992. Hidrografía y estimación de corrientes de densidad en el sur de la Bahía de Campeche. Ciencias Marinas. 18 (4): 115 - 133.
- MYERS, J. P., 1986. Sex and gluttony on Delaware Bay. Nat. Hist. 68 - 76
- NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE ANALISIS DE AGUA. 1981. Determinación de oxígeno disuelto. NOM - AA- 28. Sec. Agric y Rec. Hidr. México.
- OJEDA, M M., 1988. Aspectos básicos del diseño estadístico de experimentos Textos Universitarios Univ Veracruzana. 88 p.
- OSORNO OLVERA, A. y M. T. C. Ramírez Ramírez., 1988. Estudio hidrológico desde el punto de vista fisicoquímico y químico de la Laguna de Términos Campeche, México Tesis profesional Fac. Química. Univ. Nat. Autón. México 193 págs.
- PHLEGER, FRED B. y A. Ayala Castañares., 1971. Processes and history of Términos Lagoon, México Am Ass Petrol. Geol Bull. 53 (2): 2130 - 2140.
- RAZ-GUZMAN, A y G. de la Lanza Espino. 1991. Evaluation of photosynthetic pathways of vegetation and of sources of sedimentary organic matter through $\delta^{13}C$ in Terminos Lagoon, Campeche, México. An. Inst. Biol. Univ. Nat. Autón. México Ser. Bot. 62 (1) 39 - 63.
- ROSALES RAYA, M L., A. Zetina Zárate, C. Castillo Sánchez, O. Sarmiento Moo, J. L. Hernández Rodríguez y S. de la Cruz Aguilar. 1993. Proyecto para el cultivo y crecimiento de *Limulus polyphemus* en condiciones controladas Certamen Nacional Juvenil de Ciencia y Tecnología "Dr. Francisco Bolívar Zapata". México, D. F. Agosto
- RUDLOE, A y Herkind., 1976 Orientation of *Limulus polyphemus* in the vicinity of breeding beaches. Mar Bach Physiol 4.75

- RUDLOE, ANNE., 1979. *Limulus polyphemus* a review of ecologically significant literature. in . Bonaventura and Bonaventura (eds) Physiology and Biology Horseshoe Crabs: Studies on normal and environmentally stressed animals Alan R. Liss New York 53 - 73
- RUDLOE, ANNE., 1980. The breeding behavior and patterns of movement of the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*, in the vicinity of breeding in Apalaches Bay, Florida. Estuaries. 3(3). 177 - 183
- RUDLOE, ANNE., 1981. The changeless horseshoe crab. Nat. Geograph. 259 (4) 262- 572
- RUDLOE, ANNE., 1985. Variation in the expression of lunar and tidal behavioral rhythms in the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. Bull. of Mar. Sci. 36 (2) : 388 - 395
- RUDLOE, ANNE., 1986. Aspects of the biology of juvenile horseshoe crab *Limulus polyphemus*. Biol. Mar. Sci. 31 (19). 122 - 133
- SEKIGUCHI K., Y. Yamamichi y J. Costlow., 1982. Horseshoe crab developmental studies I: Normal embryonic development of *Limulus polyphemus* compared with *Tachypleus tridentatus*. In Bonaventura (eds) Physiology and Biology of horseshoe crabs: studies on normal and environmentally stressed animals. Alan R. Liss, New York 53 - 73
- SEKIGUCHI K., T. Nishiwaki, S. Makioka, S. Srithunya, K. Machajib, K. Nakamura y T. Yamasaki, 1977. A study on the egg laying habits of the horseshoe crab *Tachypleus gigas* and *Carcinoscorpus rotundicauda* in the Coubun area of Thailand. Proc. Jap. Soc. Syst. Zool. 13 39 - 45.
- SHERMAN, R. G., 1974. Muscle attachments in horseshoe crab walking leg. Biol. Bull. 146 88 - 99.
- SHUSTER, C., 1950. Observations on the natural history of the American horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. Woods Hole Oceanogr. Inst. Contr. 564: 18 - 23
- SHUSTER, C., 1954a. On morphometric and serological relationships within the Limulidae, with particular reference to *Limulus polyphemus*. Ph. D. Thesis. New York University
- SHUSTER, C., 1954b. A method for recording measurement of certain mollusks, arthropods and fishes. Prog. Fish. Cult. 16: 39.
- SHUSTER, C., 1960. Horseshoe crabs in former year, during the month of May, this animal dominated Delaware Bay shores. Estuar. Bull. Univ. del Mar. Labs. 5 (2) 1 - 9
- SHUSTER, C., 1962. Serological correspondence among horseshoe crab *Limulus polyphemus* (L.). In Cohen et al (eds): Biomedical applications of the horseshoe crab (Limulidae). Allan R. Liss. New York 3 - 26 p
- SHUSTER, C. N. Jr., 1979. Distribution of the American horseshoe "crab" *Limulus polyphemus* (L.). In Cohen E. et al (eds): Biomedical applications of the horseshoe crab (Limulidae). Allan R. Liss. New York. 3 - 26 p
- SHUSTER, CARL N. Jr., 1982. A pictorial review of the natural history and ecology of the horseshoe crab, *Limulus polyphemus* with reference to other Limulidae. In Bonaventura and Bonaventura (eds): Physiology and Biology of horseshoe crabs - studies on normal and environmentally stressed animals. Alan R. Liss. New York. 1 - 52 p.
- SHUSTER, CARL N. Jr. y Mark L. Botton., 1982. An estimated of the 1977 spawning population of the horseshoe crab *Limulus polyphemus* in Delaware Bay. Estuaries. 6(2): 97 - 110
- SHUSTER, CARL N. Jr. y Mark L. Botton., 1985. A contribution to the population biology of horseshoe crabs, *Limulus polyphemus* (L.), in Delaware Bay. Estuaries. 8 (4): 363 - 372.
- STEEL G. D. R. y J. M. Torre., 1989. Bioestadística: principios y procedimientos. Mc Graw-Hill (2da ed). 622 p
- STØMER, L., 1954. Phylogeny and taxonomy of fossil horseshoe crabs. Journ. Paleon. 26: 630 - 639.
- VAZQUEZ GUTIÉRREZ, F., H. Dorantes Velázquez, H. Alexander Valdés y A. Frausto Castillo. 1988. Estudio hidrológico de las aguas costeras, frente a las bocas de la Laguna de Términos, Campeche en dos épocas climáticas diferentes. Parte I. An. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Naí. Autón. México. 15 (2): 183 - 194.

ANEXO 1

Tabla de correlación entre porcentaje de grano y localidades

		IA	IP	C	I
IA	cc	1.00	-0.35	-0.69	-0.43
	p	0.00	0.44 * ds	0.09 * ds	0.34 * ds
IP	cc		1.00	0.55	-0.09
	p		0.00	0.20 * ds	0.85 * ds
C	cc			1.00	0.32
	p			0.00	0.48 * ds

gl: 110

ANEXO 2 a

Tabla de correlación Temperatura/mes: ISLA AGUADA.

		M90	A90	M91	A91	F92
M90	cc	1.00	0.54	0.54	0.47	0.26
	p	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
A90	cc		1.00	0.99	0.87	0.15
	p		0.00	0.00	0.00	0.12 * ds
M91	cc			1.00	0.87	0.15
	p			0.00	0.00	0.12 * ds
A91	cc				1.00	0.13
	p				0.00	0.19 * ds

gl: 33

ANEXO 2 b

Tabla de correlación Temperatura/mes. ISLA PÁJAROS.

		M90	A90	M91	A91	F92
M90	cc	1.00	0.27	0.12	0.10	0.29
	p	0.00	0.13 * ds	0.52 * ds	0.58 * ds	0.10 * ds
A90	cc		1.00	0.43	0.36	0.93
	p		0.00	0.01	0.04	0.00
M91	cc			1.00	0.83	0.39
	p			0.00	0.00	0.02
A91	cc				1.00	0.34
	p				0.00	0.05

gl: 50

cc: coeficiente de correlación. p: probabilidad de encontrar los datos fuera del intervalo de confianza
gl: grados de libertad * ds: diferencia significativa ($\alpha > 0.05$)

M90: mayo de 90 M91: mayo de 91 A90: agosto de 90 A91: agosto de 91 F92: febrero de 92

IA: Isla Aguada IP: Isla Pájaros. C: Cabrera. I: Icahao

ANEXO 2 c

Tabla de correlación Temperatura/mes: CABRERA.

		M90	A90	M91	A91	F92
M90	cc	1.00	0.69	0.46	0.87	-0.43
	p	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A90	cc		1.00	0.62	0.82	-0.30
	p		0.00	0.00	0.00	0.03
M91	cc			1.00	0.54	-0.20
	p			0.00	0.00	0.16 * ds
A91	cc				1.00	-0.38
	p				0.00	0.01

gl: 84

ANEXO 2 d

Tabla de correlación Temperatura/mes: ICAHAO.

		A90	M91	F92
M90	cc	1.00	0.99	-0.66
	p	0.00	0.00	0.58 * ds
M91	cc		1.00	-0.05
	p		0.00	0.63 * ds

gl: 84

ANEXO 3 a

Tabla de correlación Salinidad/mes: ISLA AGUADA.

		M90	A90	M91	A91	F92
M90	cc	1.00	0.66	0.50	0.43	0.14
	p	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15 * ds
A90	cc		1.00	0.75	0.65	0.09
	p		0.00	0.00	0.00	0.33 * ds
M91	cc			1.00	0.87	0.07
	p			0.00	0.00	0.48 * ds
A91	cc				1.00	0.07
	p				0.00	0.51

gl: 101

cc: coeficiente de correlación p: probabilidad de encontrar los datos fuera del intervalo de confianza
 gl: grados de libertad * ds: diferencia significativa ($\alpha > 0.05$)
 M90: mayo de 90 M91: mayo de 91 A90: agosto de 90 A91: agosto de 91 F92: febrero de 92
 IA: Isla Aguada IP: Isla Pájaros C: Cabrera. I: Icahao

ANEXO 3 b

Tabla de correlación Salinidad/mes: ISLA PÁJAROS

		M90	A90	M91	A91	F92
M90	cc	1.00	0.56	0.23	0.20	0.59
	p	0.00	0.00	0.22 * ds	0.29 * ds	0.00
A90	cc			0.45	0.40	0.92
	p			0.01	0.03	0.00
M91	cc			1.00	0.87	0.47
	p			0.00	0.00	0.01
A91	cc				1.00	0.45
	p				0.00	0.01

gl: 30

ANEXO 3 c

Tabla de correlación Salinidad/mes. CABRERA

		M90	A90	M91	A91	F92
M90	cc	1.00	0.59	0.36	0.62	0.14
	p	0.00	0.00	0.01	0.00	0.33 * ds
A90	cc		1.00	0.58	0.81	0.09
	p		0.00	0.00	0.00	0.51 * ds
M91	cc			1.00	0.64	0.19
	p			0.00	0.00	0.19 * ds
A91	cc				1.00	0.27
	p				0.00	0.06 * ds

gl: 50

ANEXO 3 d

Tabla de correlación Salinidad/mes: ICAHAO.

		A90	M91	F92
A90	cc	1.00	0.45	0.12
	p	0.00	0.01	0.50 * ds
A91	cc		1.00	0.21
	p		0.00	0.26 * ds

gl: 80

cc coeficiente de correlación p. probabilidad de encontrar los datos fuera del intervalo de confianza
 gl: grados de libertad * ds diferencia significativa ($\alpha > 0.05$)
 M90 mayo de 90 M91 mayo de 91. A90: agosto de 90 A91 agosto de 91 F92 febrero de 92
 IA: Isla Aguada IP Isla Pájaros C: Cabrera I: Icahao

ANEXO 4

Datos promedio: ISLA AGUADA

	MAYO 90	AGOSTO 90	MAYO 91	AGOSTO 91	FEBRERO 92
total de nidos	32	14	8	8	17
distancia relativa entre nidos (m)	9	11	25	25	11
nidos/m²	1	0.5	0.3	0.3	0.6
profundidad mínima (cm)	5	4	15	2	3
profundidad máxima (cm)	25	25	28	15	14
profundidad promedio (cm)	13	9	24	8	7
temperatura mínima (°C)	31	27	30	28	22
temperatura máxima (°C)	35	29	31	30	25
temperatura promedio (°C)	33	28	30	29	24
salinidad mínima (UPS)	30	31	31	22	27
salinidad máxima (UPS)	38	34	35	28	31
salinidad promedio (UPS)	35	32	34	24	29
OD promedio (mg/l)	sin registro	1.8	sin registro	5.4	3.2
MO promedio (%)	sin registro	3.6	sin registro	sin registro	2.9
hora de muestreo	0800 1800	0500 0900	2400 0300	0700 1000	0000 0800 1600

ANEXO 5

Datos promedio: ISLA PÁJAROS

	MAYO 90	AGOSTO 90	MAYO 91	AGOSTO 91	FEBRERO 92
total de nidos	30	14	4	0	13
distancia relativa entre nidos (m)	0.2	0.3	1	sin nidos	0.4
nidos/m²	6	2.8	0.8	0	2.6
profundidad mínima (cm)	5	7	1	0	0
profundidad máxima (cm)	8	15	5	0	7
profundidad promedio (cm)	6	10	2	0	3
temperatura mínima (°C)	33	28	24	30	23
temperatura máxima (°C)	33	30	27	30	25
temperatura promedio (°C)	33	29	25	30	24
salinidad mínima (UPS)	35	40	45	58	30
salinidad máxima (UPS)	36	55	65	60	42
salinidad promedio (UPS)	36	48	50	59	36
OD promedio (mg/l)	sin registro	0.0	sin registro	0	4.6
MO promedio (%)	sin registro	8.7	sin registro	sin registro	3.5
hora de muestreo	1400 1500	0900 1100	0800 0900	1100 1200	0800 1300

ANEXO 6

Datos promedio CABRERA

	MAYO 90	AGOSTO 91	MAYO 91	AGOSTO 91	FEBRERO 92
total de nidos	17	10	5	14	50
distancia relativa entre nidos (m)	9	15	25	9	3
nidos/m²	0.6	0.3	0.2	0.5	1.7
profundidad mínima (cm)	5	2	5	1	1
profundidad máxima (cm)	10	5	15	10	12
profundidad promedio (cm)	8	3	9	4	4
temperatura mínima (°C)	30	29	24	31	23
temperatura máxima (°C)	31	32	27	35	31
temperatura promedio (°C)	30	31	26	33	22
salinidad mínima (UPS)	45	34	31	32	22
salinidad máxima (UPS)	47	40	44	38	42
salinidad promedio (UPS)	46	37	36	33	27
OD promedio (mg/l)	sin registro	2.1	sin registro	3.4	6.7
MO promedio (%)	sin registro	8.4	sin registro	sin registro	4.3
hora de muestreo	1500 1600	1100 1300	0800 0900	1400 1600	0800 1600

ANEXO 7

Datos promedio ICAHAO

	MAYO 90	AGOSTO 91	MAYO 91	AGOSTO 91	FEBRERO 92
total de nidos	17	2	0	0	14
distancia relativa entre nidos (m)	85	500	sin nidos	sin nidos	128
nidos/m²	0.6	0.06	0	0	0.5
profundidad mínima (cm)	5	15	30	8	4
profundidad máxima (cm)	28	16	45	30	15
profundidad promedio (cm)	17	15	33	17	8
temperatura mínima (°C)	31	27	30	28	23
temperatura máxima (°C)	35	29	31	30	31
temperatura promedio (°C)	32	28	30	29	26
salinidad mínima (UPS)	sin registro	20	sin registro	25	20
salinidad máxima (UPS)	sin registro	26	sin registro	32	35
salinidad promedio (UPS)	sin registro	26	sin registro	30	32
OD promedio (mg/l)	sin registro	3.7	sin registro	4	6.7
MO promedio (%)	sin registro	3.2	sin registro	sin registro	2.3
hora de muestreo	1200 1600	0900 1700	1800 1900	0900 1200	0000 0600 1200 1800