



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

OLGA NELLY CHE RUIZ

ASESOR INTERNO:

GERARDO ALFONSO AVILES RAMIREZ

TÍTULO:

**CARBONO ORGÁNICO DE LOS SEDIMENTOS COSTEROS EN
SITIOS DE DISTRIBUCIÓN DE *Limulus polyphemus* EN CAMPECHE,
MÉXICO**

DICIEMBRE 2024



MEJOR
EDUCACIÓN
SUPERIOR





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

OLGA NELLY CHE RUIZ

ASESOR INTERNO:

GERARDO ALFONSO AVILES RAMIREZ

TÍTULO:

**CARBONO ORGÁNICO DE LOS SEDIMENTOS COSTEROS EN
SITIOS DE DISTRIBUCIÓN DE *Limulus polyphemus* EN CAMPECHE,
MÉXICO**

DICIEMBRE 2024



MEJOR
EDUCACIÓN
SUPERIOR





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Chiná
Dirección

Chiná, Campeche, 06/diciembre/2024
OFICIO No. DIR/1245/2024

ASUNTO: **Aprobación**

C. CHE RUIZ OLGA NELLY
PRESENTE

El que suscribe, manifiesta que el Dictamen emitido por el Comité de Revisión que integra el sínodo de la Titulación Integral por Tesis denominada "**CARBONO ORGÁNICO DE LOS SEDIMENTOS COSTEROS EN SITIOS DE DISTRIBUCIÓN DE *Limulus polyphemus* EN CAMPECHE, MÉXICO**", es aprobado como requisito parcial para obtener el Título de Licenciada en Biología.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Aprender Produciendo

MARCO GABRIEL ROSADO ÁVILA
DIRECTOR



MGRA/scbn



Calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, Campeche, C.P. 24520, Tel. 9818272052 y 9818272082,
e-mail: dir_china@tecnm.mx www.itchina.edu.mx



COMITÉ REVISOR

Este trabajo fue revisado y aprobado por este comité y presentado por la C. CHE RUIZ OLGA NELLY, como requisito parcial para obtener el título de: LICENCIADA EN BIOLOGÍA, el día 12 del mes de diciembre del año 2024 en Chiná, Campeche.

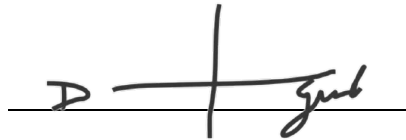
GERARDO ALFONSO AVILES RAMIREZ
Presidente

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'G. Aviles', written over a horizontal line.

NORMA LAURA RODRIGUEZ AVILA
Secretario

A handwritten signature in purple ink, appearing to be 'Norma Laura', written over a horizontal line.

DELFINA MARGARITA CHAN UC
Vocal

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'D. Chan', written over a horizontal line.

HECTOR OCTAVIO GUERRERO TURRIZA
Vocal Suplente

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'H. Guerrero', written over a horizontal line.

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ

CARBONO ORGÁNICO DE LOS SEDIMENTOS COSTEROS EN SITIOS DE DISTRIBUCIÓN DE *Limulus polyphemus* EN CAMPECHE, MÉXICO

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la sabiduría, a mis padres por su apoyo incondicional, por sus consejos a lo largo de este camino y por darme la oportunidad de estudiar, a mis hermanos, y a cada uno de los miembros de mi familia que fueron soporte durante mis estudios.

Agradezco al Biólogo Gerardo Alfonso Avilés Ramírez quien fue mi asesor interno y quien me brindo el apoyo requerido para la realización del presente trabajo, a la Mtra. Delfina Margarita Chan Uc, por el apoyo brindado para llevar acabo el resultado de las muestras, a todo el personal del laboratorio por brindarme toda la facilidad y el apoyo requerido para terminar con las muestras para obtener los resultados, de la misma manera le agradezco a todas las personas ya sea que directa o indirectamente hicieron posible la realización de este trabajo.

RESUMEN

Las zonas de las playas de las reservas costeras constituyen algunas de las principales zonas de reproducción para algunas especies marinas entre ellas se encuentra *Limulus polyphemus* que se reproduce en las partes del estero de las rías en el norte y oeste de la península de Yucatán, hasta Isla del Carmen, Campeche, de la misma manera son ricas de materia inorgánica y orgánica ricos en carbonato de calcio.

En el presente trabajo se llevó el análisis de 43 muestras en 10 sitios de los estados de Campeche y Yucatán donde había presencia de esta especie marina, lo cual dio como resultado que hay diferencia significativa entre en los porcentajes de CO de los estados de Campeche y Yucatán.

Donde los porcentajes promedios de los 10 sitios muestreados indican que los máximos valores se presentaron en los sitios de Yucatán, destacando los sitios de Chiquila, Industria Salinera y San Felipe, los otros ocho sitios restantes, mostraron porcentajes menores al 2% de COT en sedimentos, siendo las Minas quién tuvo el porcentaje más bajo con menos de 0.5% de COT.

Donde se observa que existe una diferencia entre el porcentaje de CO en los sedimentos entre Campeche y Yucatán, en las zonas donde se distribuye el *Limulus polyphemus*.

Esta diferencia se puede deber a los sistemas marinos en que se tomaron las muestras, no se puede aseverar que la concentración de CO pueda ser un factor que influya en la decisión de anidar por parte del *Limulus polyphemus*, sin embargo, se pudo encontrar que los dos sitios con mayor presencia de estos organismos en los momentos de cortejo y puesta, son los sitios con mayor y menor porcentaje de CO.

Palabras claves:

Limulus polyphemus, carbón orgánico, sedimentos, materia orgánica.

INDICE

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN	II
INDICE	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1. Objetivo general	3
3.2. Objetivo específico	3
4. HIPÓTESIS	4
5. MARCO TEÓRICO.....	5
5.1 Sedimentos marinos	5
5.1.1 Generalidades	5
5.1.2 Clasificación por el origen	5
5.1.3 Sedimentos terrígenos.....	6
5.1.4 Sedimentos biogénicos	6
5.1.5 Sedimentación en las márgenes continentales	7
5.2 Materia orgánica.....	7
5.3 Carbono orgánico	8
5.3 Zona costera	9
5.4 Cacerolita de mar (<i>Limulus polyphemus</i>)	9
5.4.1 Hábitat.....	9
5.4.2 Alimentación	10
5.4.4 Reproducción y desarrollo.....	10
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
6.1. Área de estudio	11
6.2. Zona de muestreo	11

7. RESULTADOS	15
8. DISCUSIÓN	18
<u>9.</u> CONCLUSIONES.....	21
10. BIBLIOGRAFÍA	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ubicación de sitios muestreados en la península de Yucatán (imagen tomada de Google Earth Pro).....	11
Figura 2.- Gráfico con la media de los valores de carbono orgánico, las barras en azul son para el estado de Campeche y las barras en naranja para el estado de Yucatán.	15
Figura 3.- Análisis de los residuos para comprobar la normalidad de los datos.....	16
Figura 4.- Dendrograma con los valores promedios de Carbono Orgánico en los sedimentos, se presentan tres grupos que van de mayor a menor concentración, los rojos con los mayores valores, el amarillo intermedio y el verde con los menores valores.	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Valores de la media y desviación estándar de Carbono Orgánico en los sedimentos costeros de Campeche y Yucatán.	15
Tabla 2.- Tabla de la ANOVA de una sola vía con un $\alpha=95\%$ al nivel de estados.	16
Tabla 3.- Tabla de la ANOVA de una sola vía con un $\alpha=95\%$, al nivel de sitios.	16
Tabla 4.- Valores promedios de CO% en difentes sitios marinos, comparados con los valores obtenidos en el presente estudio.	18

1. INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico desempeña un papel crucial, ya que sirve como uno de los principales indicadores de la calidad del suelo debido a su impacto beneficioso en las propiedades físicas y a su composición rica en nutrientes. La presencia y la preservación del carbono orgánico total (COT) en los sedimentos marinos revisten una importancia significativa, ya que están estrechamente relacionados con el ciclo del carbono (Sánchez et al. 2013).

Por el contrario, los sedimentos están compuestos por materia orgánica e inorgánica, caracterizada por un alto contenido de carbonato de calcio. Estos sedimentos se forman por la deposición de restos de foraminíferos, cocolitofóridos y pterópodos, que se acumulan en la corteza terrestre y abarcan ambientes terrestres y marinos (Cifuentes-Lemus, Torres-García y Frías, 1997).

En el ámbito de las regiones costeras, las reservas a lo largo de la costa sirven como zonas de reproducción vitales para numerosas especies marinas. Una de estas especies es la cacerolita marina (*Limulus polyphemus*), un artrópodo marino considerado un fósil viviente. Las actividades reproductivas de esta especie se centran principalmente en las playas de arena y los estuarios ubicados en las regiones norte y oeste de la península de Yucatán, que se extienden hasta Isla del Carmen, Campeche (Villalobos-Zapata, 2010).

La presente investigación tiene como objetivo examinar la variabilidad espacial de las concentraciones de carbono orgánico que se encuentran en los sedimentos costeros de las áreas habitadas por *Limulus polyphemus* en el estado de Campeche. Al analizar los patrones de distribución del carbono orgánico, este estudio tiene como objetivo obtener una comprensión integral de los factores que influyen en su presencia en estos sedimentos.

2. JUSTIFICACIÓN

El almacenamiento de carbono es el resultado de la acumulación de sustancias orgánicas durante períodos prolongados de tiempo. En el caso de los pastos marinos, el almacenamiento de carbono orgánico se clasifica en dos tipos: aéreo y subterráneo. El primero comprende las hojas y los tallos de las fanerógamas marinas, mientras que el segundo abarca las raíces y los rizomas que se encuentran dentro del metro superior de sedimento. Los flujos de carbono, por otro lado, se refieren a los mecanismos que facilitan los cambios en el almacenamiento de carbono, de forma positiva o negativa, en términos de variaciones verticales (liberación/captura de CO₂ del agua y la atmósfera) u horizontales (exportación/importación). Estos mecanismos abarcan la productividad primaria, la respiración, la descomposición bacteriana, la translocación y la exportación de materia orgánica a ecosistemas contiguos (como los corales) y distantes (aguas profundas). En la actualidad, la mayoría de las investigaciones se centran casi exclusivamente en el almacenamiento de carbono.

La distribución y preservación del carbono orgánico, en sedimentos marinos es importante porque están vinculados al ciclo de carbono y a la regulación del CO₂ atmosférico. Por lo que el proyecto pretende conocer la fluctuación temporal de la materia orgánica presente en los sedimentos costeros en donde se distribuye el *Limulus polyphemus* en el estado de Campeche.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Analizar la fluctuación espacial del carbono orgánico presente en los sedimentos costeros en sitios donde se distribuye el *Limulus polyphemus* en el estado de Campeche.

3.2. Objetivo específico

- Medir la concentración de carbón orgánico de los sedimentos costeros de Campeche, en los sitios de reproducción del *Limulus polyphemus*.
- Comparar la concentración de carbón orgánico de los sedimentos costeros de Campeche, en los sitios de reproducción del *Limulus polyphemus*.

4. HIPÓTESIS

Al analizar la concentración de materia orgánica presente en los sedimentos colectados en los sitios donde se distribuye el *Limulus polyphemus*:

H0: Existe una diferencia de concentración de CO, en los sitios de distribución de *Limulus polyphemus*.

Hi: No existe una diferencia de concentración de CO, en los sitios de distribución de *Limulus polyphemus*.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Sedimentos marinos

5.1.1 Generalidades

La investigación de los sedimentos ha dado lugar a la aparición de un campo importante dentro de la geología conocido como estratigrafía. Este campo ha permitido comprender que los sedimentos son restos de sustancias orgánicas e inorgánicas que se han depositado en la corteza terrestre, así como en las masas de tierra y en el fondo marino. Es en el fondo del océano donde estos sedimentos se han acumulado, formando varias capas conocidas como estratos. Estos estratos se disponen de forma diferente según el tipo de sedimento y las características del entorno en el que se produjo la deposición (Cifuentes-Lemus y Torres Garcia, 1986).

El término «sedimentos» se asigna a estos materiales debido a las partículas que se originan en las rocas o los suelos. Estas partículas son transportadas por el agua y luego depositadas dentro de los canales de varios cuerpos de agua, así como en las regiones bajas de las cuencas, particularmente en las llanuras. Este proceso es el que da lugar a la formación de sedimentos (García-Flores, 2017).

Los sedimentos marinos y de agua dulce desempeñan un papel importante como conductos de materia orgánica e inorgánica dentro de las masas de agua. Poseen la capacidad de intercambiar cationes con el medio acuático circundante y también tienen un impacto notable en el pH de ciertas aguas a través de su efecto amortiguador. Esto demuestra la importancia de los sedimentos en la dinámica general de los ecosistemas acuáticos (Manahan, 2007).

5.1.2 Clasificación por el origen

La clasificación principal de los sedimentos marinos se basa en la procedencia de sus partículas o en la variedad de material detrítico que los componen. Por lo general, estos sedimentos están compuestos por sedimentos continentales precedentes junto con minerales que se originan por la precipitación química de las sales que se encuentran en el mar, así como por residuos resultantes de la actividad

orgánica de la columna de agua. Las cuatro fuentes fundamentales de origen de los sedimentos son las rocas (de naturaleza terrestre), la materia orgánica (de naturaleza biogénica), los compuestos disueltos en el agua (de naturaleza hidrogénica) y la materia extraterrestre (de naturaleza cosmogónica). Estos sedimentos presentan tamaños variables (Lopez-Ortiz, 2010).

5.1.3 Sedimentos terrígenos

Los sedimentos terrígenos se refieren a las partículas minerales que se transportan al océano a través de ríos, glaciares u olas costeras, originadas por la erosión de las tierras emergidas. Entre estas fuentes, los ríos desempeñan un papel importante no solo al proporcionar material sustancial, sino también al suministrar nutrientes esenciales para la productividad biológica. Una vez que estos sedimentos entran en el océano, son transportados a mayores profundidades tras su deposición inicial en diversas regiones de las plataformas continentales, así como en lagunas y estuarios. De naturaleza silícica, estos sedimentos contienen una cierta cantidad de materia orgánica, que oscila entre el 0,01 y el 0,05% del peso seco. Esta materia orgánica se origina en desechos terrestres, como fragmentos de hojas y partes leñosas de plantas, así como en fragmentos de organismos marinos como algas y conchas (Cognetii, 2001).

5.1.4 Sedimentos biogénicos

Los sedimentos biogénicos son producidos por organismos constructores de conchas, lo cual es la calcita y el ópalo biogénico, en la plataforma continental, los sedimentos calcáreos están formados por la acumulación de los esqueletos de tres o cuatro grupos de mega-fósiles: corales y algas calcáreas, moluscos y briozoos. La naturaleza de estos materiales es excepcionalmente variable por causa de la diversidad de agentes dinámicos de transporte, la proximidad al continente de donde proceden los aportes detríticos que hacen que estos no lleguen a homogeneizarse en el transporte, la profundidad que influye en la sedimentación de materiales de origen orgánico y la plataforma continental que ha estado sometida a

transgresiones y regresiones durante los últimos cambios del nivel del mar (Lopez-Ortiz, 2010).

5.1.5 Sedimentación en las márgenes continentales

Los sedimentos de clasificación terrígenos que han sido transportados hasta el océano son distribuidos en la circulación, dinámica oceánica. La sedimentación tiene una velocidad variable en los márgenes continentales, por lo cual casi siempre es mayor que en el océano profundo. Cerca de los grandes ríos pueden acumularse varios mm de sedimento cada mil años, además de sedimentos terrígenos, las márgenes continentales contienen sedimentos biogénicos. La productividad orgánica en aguas costeras por lo general es alta por lo cual, los restos esqueléticos de organismos se mezclan con los sedimentos terrígenos y se diluyen (Lopez-Ortiz, 2010).

5.2 Materia orgánica

La materia orgánica (M.O.) está constituido por moléculas (H,C,O,N) orgánicas que han sido derivadas de la parte esquelética de los organismos, por eso el suelo simboliza una gran parte de C, por lo cual la M.O. en los sedimentos marinos juega un papel importante, debido a que cuando ocurre la mineralización orgánica de los estratos superficiales desarrolla procesos físicos, químicos y biológicos, y además proporciona un reservorio en el ciclo global del carbono y el fitoplancton de las capas superficiales que crea la mayor parte de materia orgánica en el mar, por lo que la materia orgánica viva es considerada biomasa y está constituido por Fito y bacterio plancton llegando así a la M.O no viva la cual es considerado detritus y está conformada por partículas coloides y material disuelto (De la lanza, 1984).

5.2.1 Componentes inorgánicos

En la mayoría de los suelos y sedimentos al estudiar la fase sólida, se observa un predominio de los componentes inorgánicos los cuales proceden de los minerales que constituían la roca primaria. Los tamaños de las partículas son variables, desde

la arcilla hasta fragmentos de rocas, determina las propiedades físicas, la fracción coloidal (arcilla), determina las propiedades físico-químicas, es fuente e incluye en la dinámica de los nutrientes (movilidad, fijación, disponibilidad) (Pazos Capeans, 2007).

5.3 Carbono orgánico

El carbono orgánico se agrupa en dos grupos de los cuales se distinguen los detríticos y carbono orgánico particulado de la biota (COP-biota), de los cuales el detrítico comprende el carbono orgánico del suelo y el carbono particulado detrítico (Pérez & Ramírez-Restrepo, 2008).

El carbono orgánico es importante debido a que con ello se puede obtener la interacción que hay en el suelo. También para identificar los componentes de la materia orgánica con diferentes tasas de retornos, mediante el método de separación física y de la misma manera se conoce la influencia que ejercen sobre el carbono orgánico el clima, el tipo de residuo, la estructura, la textura, así como otros factores relacionados con el suelo (Hontoria, 2004).

La distribución y conservación del carbono orgánico total (TOC) y el carbonato de calcio (CaCO_3) en los sedimentos marinos son importantes debido a su asociación con el ciclo del carbono y la regulación del CO_2 atmosférico. A mayor escala, en lo que respecta a las cuencas oceánicas, la acumulación de materia orgánica, específicamente del COT, refleja esencialmente los patrones de distribución de la producción primaria. Sin embargo, a nivel regional, existe una variabilidad a pequeña escala en los procesos sedimentológicos y biogeoquímicos que se desvía de esta correlación directa. En consecuencia, numerosos estudios han demostrado la viabilidad del análisis elemental para determinar las cantidades de carbono total y orgánico en los sedimentos marinos. Si bien la determinación del carbono total se obtiene a partir de una muestra de sedimentos, la determinación del CO_2 requiere muestras de sedimentos que estén desprovistas de carbonato (Sánchez, et al., 2013).

5.3 Zona costera

Las zonas costeras son áreas especiales cuyos límites dan recursos valiosos para la población, y son hábitat para algunas especies marinas, sin embargo, es la zona donde se manifiestan los mayores efectos de los procesos marinos como el cambio de morfología de las costas, procesos de erosión, así como crecimiento de playas (Torres-Rodriguez, 2010).

Económicamente la zona costera es importante por incremento de actividades productivas que se realizan en ellas, pero es importante mencionar que las actividades humanas son el factor principal que determina la calidad del agua subterránea, ya que es generada por infiltraciones de las lluvias (Rivera, 2012).

5.4 Cacerolita de mar (*Limulus polyphemus*)

La cacerolita del mar (*Limulus polyphemus*) es un artrópodo acuático originario de la costa atlántica de Norteamérica. Su historia evolutiva se ha mantenido inalterada durante un período de más de 200 millones de años (Narváez, 2017). La cacerolita no está clasificada como un verdadero cangrejo, ya que pertenece a un antiguo grupo de artrópodos que comparte una conexión con ciertos arácnidos, como las arañas y los escorpiones. Estos artrópodos presentan una coloración marrón oscura y pueden alcanzar una longitud de 60 cm. Poseen un caparazón segmentado y un cuerpo en forma de herradura, liso y convexo, lo que les permite navegar por la arena y el barro. Además, esta estructura corporal ofrece protección a sus apéndices ventrales (Méndez-Alpuche, 2017).

5.4.1 Hábitat

Las temperaturas cálidas del golfo de México, así como la riqueza de carbonato de calcio en conjunto con las costas arenosas de la Península representan ciertas características para ser hábitat ideal de *Limulus polyphemus* en territorio mexicano, aunque es preciso mencionar que durante el ciclo de vida de estos artrópodos varía los requisitos del hábitat, un claro ejemplo es en su desarrollo juvenil que viven en zonas de retiro (zona intermareal) cerca de su playa natal, sin embargo los más

pequeños de esta etapa, viven en el límite inferior de la zona de retiro (zona intermareal) y se van alejando de la costas mientras van creciendo (Manahan, 2007).

5.4.2 Alimentación

Se alimentan de crustáceos, de algunos moluscos bivalvos, peces muertos, y son detritívoros; a su vez, cuando son huevos, larvas y estado adulto son fuente de alimento de otras especies marinas como tortugas, aves y algunos cangrejos (Méndez-Alpuche, 2017).

5.4.4 Reproducción y desarrollo

La cacerolita de mar alcanza la madurez sexual hasta los 10 o 12 años, los cangrejos herradura adultos emergen en marea alta de la costas y ambientes estuarinos en las playas estrechas y empinadas con sedimentos arenosos y oxigenados a finales de la primavera con el fin de aparearse en noches de lunas llenas y nuevas, en el apareamiento el macho toma a la hembra con sus gonoporos modificados, la hembra excava un surco en la zona intermareal, donde depositan varios centenares de huevos que eclosionan unas cuatro semanas después. Durante los primeros estadios de desarrollo, las larvas pasan por una fase “trilobitiforme”, con una región anterior de cuatro segmentos “primarios” y una región posteriormente insegmentada (Olson, 2012).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

La zona de estudio comprende diferentes áreas costeras de Campeche y Yucatán, diferenciándose en los tipos de ecosistemas que fueron muestreados. Los sitios fueron agrupados en la zona costera de Champotón e Isla Aguada en Campeche; en Yucatán el sistema lagunar de Río Lagartos (Figura 1).

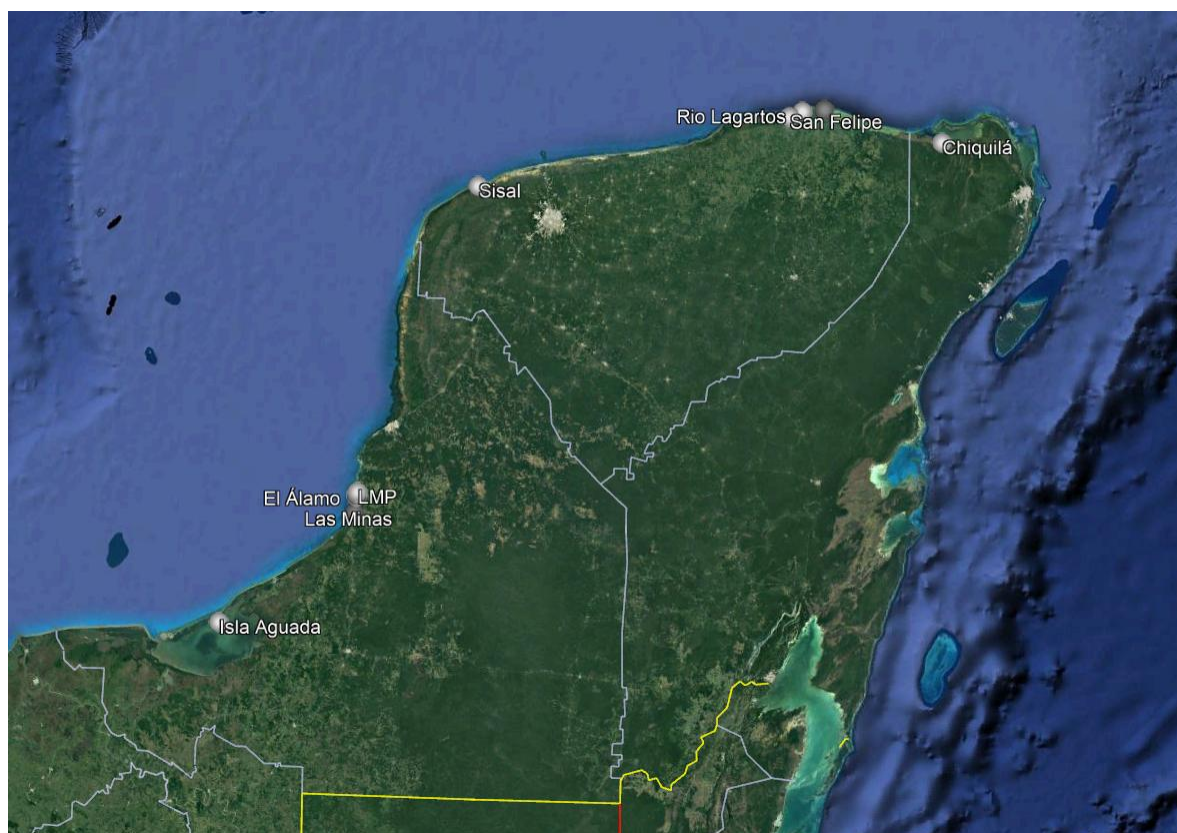


Figura 1.- Ubicación de sitios muestreados en la península de Yucatán (imagen tomada de Google Earth Pro).

6.2. Zona de muestreo

Las zonas donde se realizaron los muestreos fueron las zonas costeras de Isla Aguada, La Joya e Isla Arena de Campeche: las tres se caracterizan por ser franjas costeras con un mosaico heterogéneo de fondos marinos dominados por arenales, tapetes de macroalgas y pastizales, lo que se traduce en una alta biodiversidad marina.

Metodología para la obtención de materia orgánica

La determinación de materia orgánica se basa en determinar los constituyentes que se encuentran en cantidades relativamente constantes como es el caso del nitrógeno y el carbono, para lo cual se utilizó la técnica de determinación de materia orgánica en los suelos por el método de Walkely-Black, realizando las modificaciones pertinentes, utilizando para ello el video de la Universidad Politécnica de Valencia (Lull, 2008).

Obtención de la muestra

Las muestras de sedimento orgánico fueron colectadas en el año de 2018 mediante el uso de nucleadores de 50 ml, los cuales fueron enterrados directamente en los sitios donde se observaron *Limulus polyphemus* en conducta reproductiva, procurando recuperar los primeros 10 centímetros de sedimentos recientes.

Las muestras, una vez colectadas, fueron colocadas en hieleras con hielo y transportadas al laboratorio del Instituto Tecnológico de Chiná, en donde fueron colocadas en un congelador para su preservación. El objetivo de colocarlas en frío es para evitar la descomposición de la materia orgánica presente en los sedimentos.

Procedimiento del análisis de laboratorio mediante la técnica de oxidación de materia orgánica (M.O)

Preparación de reactivos para el análisis de las muestras

1. Preparación de dicromato de potasio en un matraz aforado de 100ml

Para la preparación de la solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N, se llevó a cabo el secado del reactivo en la estufa a 105°C durante 30 minutos, como segundo paso se procedió al pesado del reactivo a una cantidad 4.904 gr, diluyéndose en 70 ml de agua destilada en un vaso precipitado, posteriormente la solución se colocó y aforó en un matraz aforado de 100ml.

2. Preparación de sulfato férrico amónico en un matraz aforado de 100 ml

Durante la preparación de la solución de sulfato férrico amónico se llevó a cabo el pesado de 24.1095 gr, se colocó en un vaso de precipitado y se agregó 2 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4), posteriormente se aforó agregándole aproximadamente 80ml de agua destilada en un matraz aforado de 100 ml.

3. Preparación del indicador ferroina

Para la preparación del indicador se pesó 1.485 gr de del indicador 1-10 fenantrolina, posteriormente se agregó 0.695 gr de sulfato de fierro diluyéndose en 100 ml de agua destilada.

Valoración del sulfato férrico amónico

Se colocó 5 ml de Dicromato de potasio en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se agregó 200 ml de agua, se procedió agregando 5 ml de ácido fosfórico y 20 ml de ácido sulfúrico, con 5 gotas de indicador de ortofenantrolina, se procede con la titulación con la solución del sulfato ferro-amónico, para calcular su normalidad se utilizó la fórmula de $V_1N_1=V_2N_2$: $N_2= V_1N_1/ V_2$

Dónde:

V1 es el volumen de dicromato de potasio.

N1 es la normalidad de dicromato de potasio (1N).

V2 es el volumen de sulfato ferro-amónico gastado en la titulación.

N2 es la normalidad de la solución de sulfato ferro-amónico.

Procesamiento de las muestras de sedimento

Para el análisis de la muestra de suelo tamizado, en base a la coloración de la muestra se procedió al pesado a una cantidad de 0.5 gr, una vez pesada la muestra se pone en un matraz de 500 ml, se agrega 5 ml de Dicromato de potasio usando una pipeta volumétrica, se procede añadiendo 10 ml de Ácido sulfúrico (H_2SO_4), se agita durante 1 min, luego se deja reposar 30 min. Pasado el tiempo indicado se agregó 100 ml de agua destilada, para añadir 5 gotas del indicador de

ortofenantrolina, es preciso mencionar que en algunas muestras se agregó 6 gotas de indicador. Se procedió a la titulación con el sulfato ferro-amónico hasta que se obtuvo el cambio de coloración o se obtenga un color verde bandera, donde se indica el punto final.

Los resultados se expresan en porcentaje (%) de carbono orgánico en los sedimentos. Estos fueron tabulados y procesados en una hoja de cálculo de Excel. Se corrió un análisis de varianza de una sola vía con un IC = 95%, para lo cual se empleó el programa estadístico Minitab V. 18.1. Se construyó un dendrograma usando los valores promedios de M.O. en cada sitio diferente, usando el índice de similaridad de Unión Simple, a través del programa de PAST.

7. RESULTADOS

En total se analizaron 43 muestras en 10 sitios de los estados de Campeche y Yucatán, en la tabla 1 se presentan los valores de la media y desviación estándar, junto con mínimos, máximos y mediana.

Tabla 1.- Valores de la media y desviación estándar de Carbono Orgánico en los sedimentos costeros de Campeche y Yucatán.

Variable	ESTADO	N	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
C. O.	CAMPECHE	31	1.119	1.283	-1.590	0.848	3.168
	YUCATAN	12	2.231	1.360	0.123	2.533	4.052

Los porcentajes promedios de los 10 sitios muestreados indican que los máximos valores se presentaron en los sitios de Yucatán, destacando los sitios de Chiquila, Industria Salinera y San Felipe, los cuales pertenecen al complejo de Río Lagartos (figura 2). Los restantes siete sitios, mostraron porcentajes menores al 2% de COT en sedimentos, siendo Las Minas quién tuvo el porcentaje más bajo con menos de 0.5% de COT.

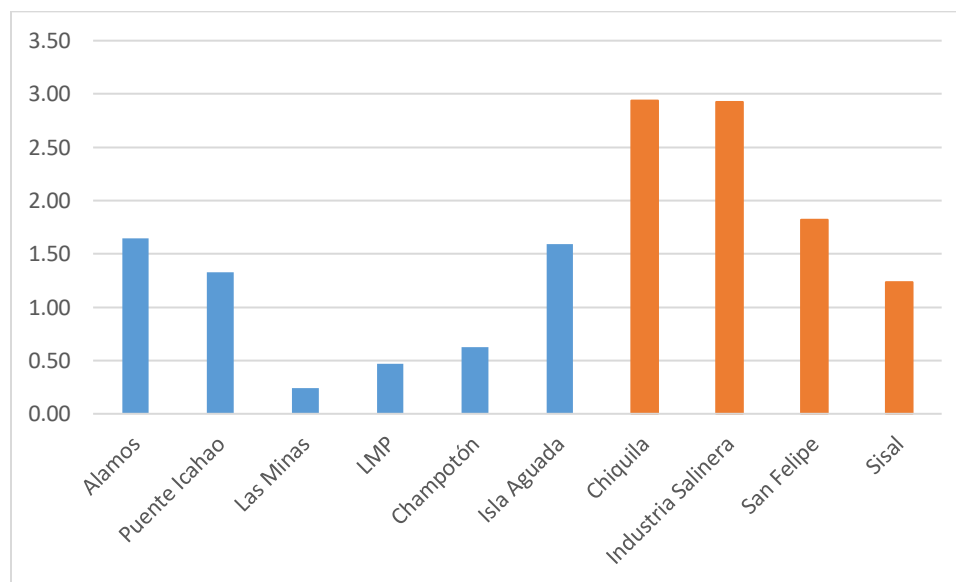


Figura 2.- Gráfico con la media de los valores de carbono orgánico, las barras en azul son para el estado de Campeche y las barras en naranja para el estado de Yucatán.

Al realizar el análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía (tabla 2), se pudo observar que existen diferencias significativas al nivel de estados, es decir que las medias por estados son diferentes.

Tabla 2.- Tabla de la ANOVA de una sola vía con un $\alpha=95\%$ al nivel de estados.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESTADO	1	10.69	10.692	6.29	0.016
Error	41	69.69	1.700		
Total	42	80.38			

El ANOVA al nivel de sitios, las medias no presentan diferencias significativas entre sí, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.- Tabla de la ANOVA de una sola vía con un $\alpha=95\%$, al nivel de sitios.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
SITIO	9	26.78	2.976	1.83	0.099
Error	33	53.60	1.624		
Total	42	80.38			

Para ver si los datos eran normales, se corrió el análisis de probabilidad normal contra los residuos, observándose la normalidad de los datos (figura 3).

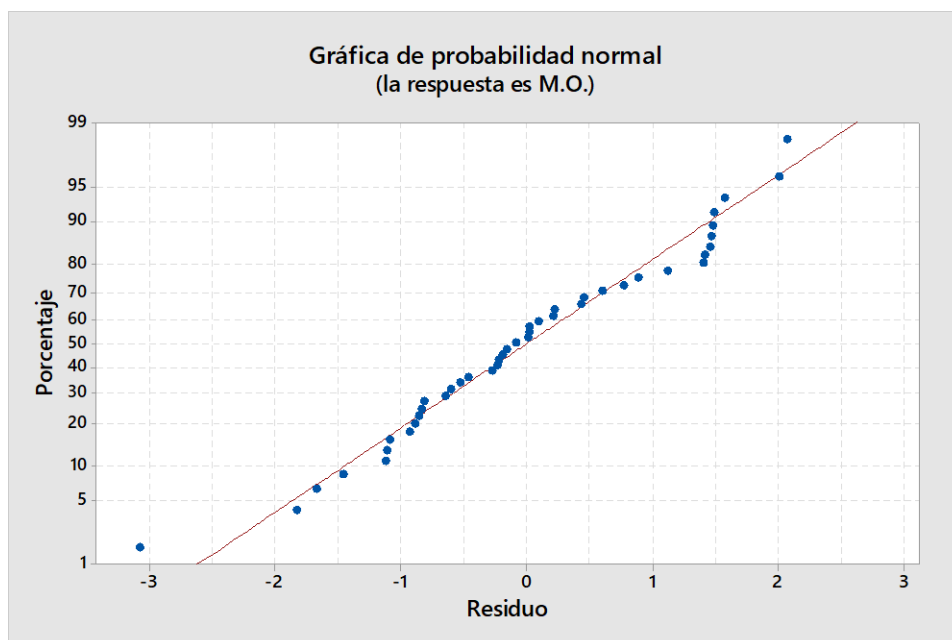


Figura 3.- Análisis de los residuos para comprobar la normalidad de los datos.

Se corrió el análisis de agrupación (dendrogramas) usando la similaridad y el índice de distancia de unión simple, los resultados indican que la mayoría de los sitios presentan valores promedios similares, sin embargo, los sitios de Río Lagartos y la Salinera, los cuales son los dos sitios con los valores más altos. El análisis muestra los sitios agrupados en tres grupos de acuerdo a la concentración de carbono orgánico (figura 4).

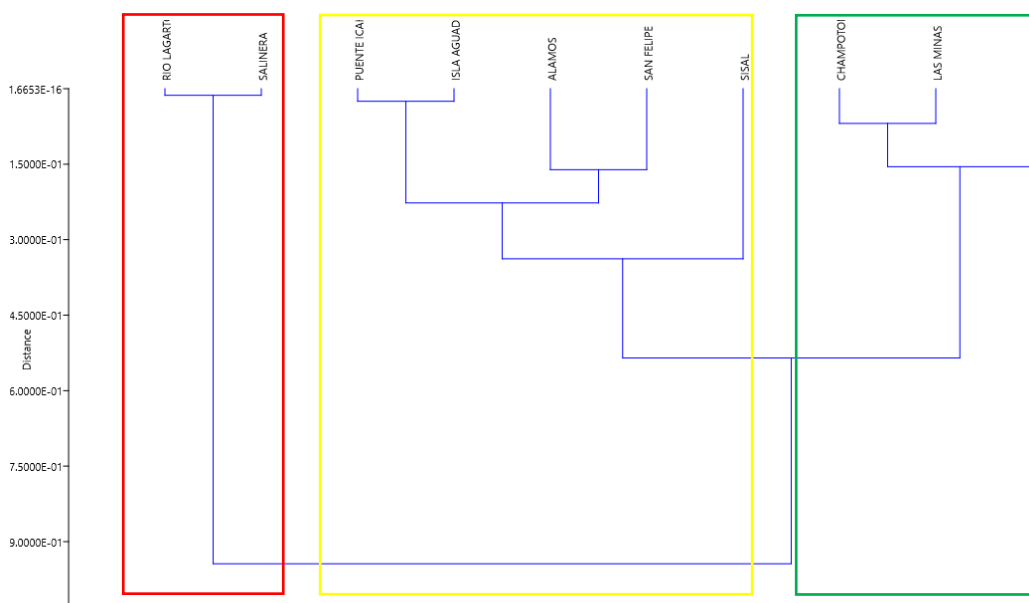


Figura 4.- Dendrograma con los valores promedios de Carbono Orgánico en los sedimentos, se presentan tres grupos que van de mayor a menor concentración, los rojos con los mayores valores, el amarillo intermedio y el verde con los menores valores.

8. DISCUSIÓN

Se reconoce que la mayor concentración de carbono inorgánico se encuentra en las aguas marinas, esto es reconocido por Hedges & Keil (1995) quienes hacen una revisión bibliográfica y reconocen que el 0.15 % del carbono orgánico (CO) presente en la Tierra se encuentra en la superficie de los sedimentos marinos, siendo las zonas deltáicas donde se presenta una mayor concentración del carbono orgánico, en donde el 94% se conserva en los márgenes continentales. El presente estudio, aunque de poca escala, observa este patrón en el cual el mayor porcentaje de CO a lo largo de la zona costera Oeste a Norte de la Península de Yucatán, se ubica en la zona deltáica de Río Lagartos, con porcentajes promedio cercanos a 3%, y el menor en la zona de mar abierto (0.5%).

La concentración del CO parece estar en función de las características ambientales del sitio marino que se ha estudiado, en la tabla 4 se observan valores de CO en diferentes áreas del Golfo de México, Chile y un estudio en cenotes de Yucatán. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango normal de valores para zonas costeras del Golfo de México.

Tabla 4.- Valores promedios de CO% en difentes sitios marinos, comparados con los valores obtenidos en el presente estudio.

Autor	Año	Sitio	Valores
Goñi, Ruttenberg & Eglinton	1997	Norte del Golfo de México	Transecto A Prof 107m = 1.4
			Transecto A Prof 574m = 1.4
			Transecto A Prof 598m = 1.3
			Transecto A Prof 1,470m = 0.9
			Transecto B Prof 74m = 0.9
			Transecto B prof 605m = 1.2
			Transecto B Prof 964m = 0.6
Goñi, Ruttenberg & Eglinton	1998	Norte del Golfo de México	Transecto B Prof 2,250m = 0.3
Gordon & Goñi	2003	Norte del Golfo de México	Transecto A = 0.91 - 1.42
			Tansecto B = 0.34 - 1.24
			Río = 1.72
			Delta río = 1.22
			Estaciones en el banco = 0.15
			Estaciones costa adentro = 1.18

			Estaciones costa afuera = 0.79
Silva & Astorga	2010	Puerto en Chile	2004 = 0.93
			2005= 0.47
			2006 = 1.42
Guíñez, Váldez & Siffedine	2010	Bahía Mejillones, Chile	Cerca de Zona de Surgencia = 8.69
			Media distancia a Zona de Surgencia = 6.68
			Lejos de Zona de Surgencia = 1.52
Derrien, Arcega-Cabrera, Velazquez-Tavera, Kantún-Manzano & Capella-Vizcaino	2015	Cenotes de Yucatán	Mínimo = 6.3
			Máximo = 15.9
Presente estudio	2019	Campeche Yucatán	Mínimo = 1.119 Máximo = 2.231

También se puede observar que existe una relación entre los porcentajes de CO de acuerdo a la profundidad, se observan valores bajos de acuerdo a como incrementa la profundidad, el estudio de Goñi, Ruttenberg & Eglinton (1997) muestra como en las zonas más profundas del norte del Golfo de México se encuentran porcentajes menores a 0.5.

El presente estudio encuentra porcentajes bajos en las zonas de Las Minas, la cual, aunque es sobre la línea de costa, no rebasa el 0.5%, lo cual es debido a que está porción de la zona costera, de las 10 estudiadas, es la que más descubierta al mar se encuentra y menos protegida está. De acuerdo a lo anterior, el estudio realizado en los cenotes de Yucatán (Derrien, Arcega-Cabrera, Velazquez-Tavera, Kantún-Manzano, & Capella-Vizcaino, 2015) muestran los valores más altos de los estudios localizados en literatura, esto es probablemente, a la falta de dinamismo de los cenotes y la gran cantidad de materia orgánica que cae a su interior; Las Minas aunque no presenta dinamismo, no tiene una gran aportación de materia orgánica debido a dos razones principales:

- No se encuentra cerca de ninguna salida de río, laguna o ría.
- Presenta, de todos los sitios, la mayor dinámica costera.

En la costa de Chile, Guíñez, et al., (2010), realizaron un estudio de la concentración de CO conforme se alejan de la zona de surgencias, este estudio muestra como las áreas más cercanas a las surgencias tienen una mayor concentración de CO, esto puede ser semejante al efecto de la zona de Las Minas en Campeche y la zona de Chiquila en Yucatán, donde Las Minas no se encuentra cerca a una zona de deposición de nutrientes, mientras que Chiquilá se encuentra dentro de la ría de Río Lagartos, la cual representa una zona de gran acumulación de materia orgánica.

En cuanto a las diferencias encontradas entre el porcentaje de CO en los sitios muestreados, todos los sitios de muestreo fueron en áreas con la presencia de *L. polyphemus*, sin embargo, las áreas con mayor presencia han sido en Yucatán en la zona de Río Lagartos y en Campeche en la zona de Las Minas. Se sabe que el *Limulus polyphemus* es detritívoro, alimentándose de la materia orgánica presente en los sedimentos, sin embargo, el presente estudio no encuentra una relación entre la concentración de CO al momento de buscar la anidación, esto puede ser en respuesta a que, al momento de la anidación, ambos organismos (macho y hembra) no se alimentan, llevando un período prolongado en lo que tarda el cortejo y la puesta/fertilización.

9. CONCLUSIONES

Se observa que existe una diferencia entre el porcentaje de CO en los sedimentos entre Campeche y Yucatán, en las zonas donde se distribuye el *Limulus polyphemus*.

Esta diferencia se puede deber a los sistemas marinos en que se tomaron las muestras, Río Lagartos con menor dinamismo y mayor cantidad de fuentes de materia orgánica y Las Minas con mayor dinamismo y menor fuentes de materia orgánica.

No se puede aseverar que la concentración de CO pueda ser un factor que influya en la decisión de anidar por parte del *Limulus polyphemus*, sin embargo, se pudo encontrar que los dos sitios con mayor presencia de estos organismos en los momentos de cortejo y puesta, son los sitios con mayor y menor porcentaje de CO.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Cifuentes-Lemus, J., & Torres Garcia, M. (1986.). El oceano y sus recursos. Mexico: Fondo de la cultura economica.
- Cifuentes-Lemus, J., Torres-García, M., & Frías, M. (1997). Los sedimentos oceanicos como imagen del pasado. En J. Cifuentes-Lemus, El océano y sus recursos II. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. Mexico: Fondo de cultura economica.
- Cognetii, G. M. (2001). Biologia marina (Primera ed.). Barcelona: Ariel.
- De la lanza, E. G. (1984). Materia organica en los sedimentos del sistema lagunar huizache y caimanero: importancia, comportamiento y significado en modelos de prediccion. Mexico: Universidad Autonoma de Mexico.
- Derrien, M., Arcega-Cabrera, F., Velazquez-Tavera, N. L., Kantún-Manzano, C., & Capella-Vizcaino, S. (2015). Sources and distribution of organic matter along the Ring of Cenotes, Yucatan, Mexico: Sterol markers and statistical approaches. *Science of the Total Environment*, 1(511), 223 - 229. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.12.053
- Garcia-Flores, M. M. (2017). Oriegen y propiedades de los sedimentos. Mexico.: UNAM.
- Goñi, M., Ruttenberg, K., & Eglinton, T. (1997). Sources and contribution of terrigenous organic carbon to surface sediments in the Gulf of Mexico. *NATURE*, 389(1), 275 - 278.
- Goñi, M., Ruttenberg, K., & Eglinton, T. (1998). A reassessment of the sources and importance of land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62(18), 3055 - 3075. doi:PII S0016-7037(98)00217-8
- Gordon, E., & Goñi, M. (2003). Sources and distribution of terrigenous organic matter delivered by the Atchafalaya River to sediments in the northern Gulf of Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(13), 2359 - 2375. doi:10.1016/S0016-7037(02)01412-6
- Guíñez, M., Valdés, J., & Siffedine, A. (2010). Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 38(2), 242 -253. doi:10.3856/vol38-issue2-fulltext-9

- Hedges, J., & Keil, R. (1995). Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry*, 1(49), 81-115. doi:0304-4203(95)00008-9
- Hontoria, J. R.-M. (2004.). Contenido de carbono organico en el suelo y los factores de control en la España peninsular. *Edafologia.*, 149-157.
- Lopez-Ortiz, B. (2010). Componentes biogenicos en sedimentos del margen sur-occidental de la peninsula de baja california. LA PAZ B.C.S: INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.
- Lull, N. C. (2008). Determinacion de la materia organica de un suelo metodo de walkey-Black. Obtenido de Universitat Politecnica de Valencia: <https://youtu.be/mdP6O39GWYg>
- Manahan, S. (2007). Introduccion a la quimica ambiental (PRIMERA ed.). Mexico.: REVERTE, S.A.
- Méndez-Alpuche, A. (2017). Caracterización físico-química de biopolímeros obtenidos del exoesqueleto de la cacerolita de mar (*Limulus polyphemus*). Tesis de Maestría, 1. Mérida, México: CICY. Obtenido de https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/868/1/PMP_M_Tesis_2017_Mendez_Alpuche_Alejandro.pdf
- Narváez, M. (17 de Enero de 2017). Cacerolita de mar: especie amenazada. Obtenido de <http://www.cienciamx.com>
- Olson, E. (2012). The presence of juvenile horseshoe crabs, *Limulus polyphemus*, and other benthic fauna of mid-atlantic coastal bays. Faculty of the University of Delaware, 1-53.
- Pazos Capeans, P. (2007). Disponibilidad de cromo en sedimentos marinos de la ria de aurosa. Santiago de compostela.: USC.
- Pérez, R., & Ramírez-Restrepo, J. (2008). Fundamentos de Limnologia Neotropical. (2A ed.). Colombia.: Academia colombiana de ciencias exactas, fisicas y naturales.
- Rivera, A. E. (2012). Programa de manejo costero integrado para el saneamiento de la Bahía de San Francisco de Campeche. Campeche: UAC.
- Sánchez, A., González-Yajimovich, O., Balart, E., López-Ortiz, E., Aguiñiga-García, S., & Ortiz-Hernández, M. (2013.). Acumulacion de carbono organico total y carbonato de calcio en la zona de oxigeno minimo del Pacifico nororiental mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas.*,

30(1), 222-232. Recuperado el 1 de febrero de 2016, de
<http://www.revistas.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/41609/37821>

- Silva, N., & Astorga, M. I. (2010). Textura, materia orgánica y composición química elemental (C y N) de sedimentos marinos superficiales de la zona Puerto Montt a Boca del Guafo (Norpatagonia chilena). *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 38(1), 1 - 14. doi:10.3856/vol38-issue1-fulltext-1
- Torres-Rodriguez, V. M.-G.-C.-H.-D.-G. (2010). Tasa de erosion y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debidos a efectos del cambio climatico. *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climatico.*, 325-344.
- Villalobos-Zapata, G. (2010.). Areas Naturales Protegidas en Campeche. En *LA BIODIVERSIDAD EN CAMPECHE: ESTUDIO DEL ESTADO. SAN FRANCISCO DE CAMPECHE: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (conabio), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México.*