

## INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ

### TESIS

# Determinación de carbono orgánico en arenosoles y la influencia de factores asociados a su almacenamiento en la costa de Campeche, México

## COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOSISTEMAS SOSTENIBLES

PRESENTA  
**ELIEL ABIMAEEL CAAMAL LUNA**

Chiná, Campeche, México a Noviembre de 2024



## INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ

### TESIS

# Determinación de carbono orgánico en arenosoles y la influencia de factores asociados a su almacenamiento en la costa de Campeche, México

## COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOSISTEMAS SOSTENIBLES

PRESENTA  
ELIEL ABIMAE L CAAMAL LUNA

Chiná, Campeche, México a Noviembre de 2024

Chiná, Campeche, **06/noviembre/2024**

Oficio: DIR/1142/2024  
ASUNTO: Aprobación

**ELIEL ABIMAEEL CAAMAL LUNA  
PRESENTE**

El que suscribe, manifiesta que el Dictamen emitido por el Comité Revisor que integra el sínodo del trabajo de tesis denominado **“Determinación de carbono orgánico en arenosoles y la influencia de factores asociados a su almacenamiento en la costa de Campeche, México”** es aprobado como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles.

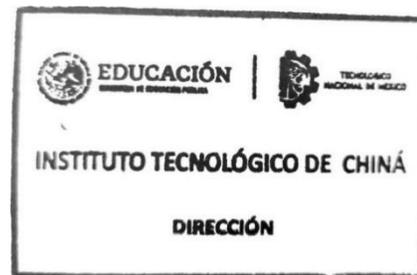
Sin más por el momento le envío un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica®  
“Aprender Produciendo”*



**MARCO GABRIEL ROSADO ÁVILA  
DIRECTOR**



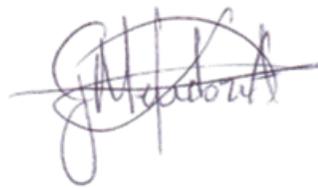
MGRA/RAC/M/EGGL/zapl

## COMITÉ REVISOR

Este trabajo fue revisado y aprobado por este Comité y presentado por el C. Eliel Abimael Caamal Luna como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles el día 06 del mes de noviembre del año 2024, en Chiná, Campeche.

**Nombre**

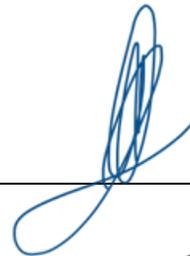
**Presidente:** Dr. Gustavo Enrique Mendoza  
Arroyo



---

**Nombre**

**Secretario:** Dr. Juan Carlos Camacho  
Chab



---

**Nombre**

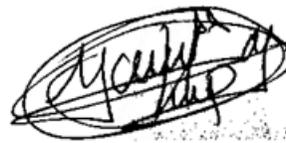
**Vocal:** M en C. Leticia del Carmen  
González Duran



---

**Nombre**

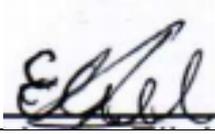
**Vocal Suplente:** Dr. Pedro Salvador  
Morales



---

## DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en el presente documento deriva de los estudios realizados para alcanzar los objetivos planteados en mi trabajo de tesis, en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Chiná. De acuerdo a lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Chiná. Por otra parte, de acuerdo a lo manifestado, reconozco de igual manera que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de la información generada en el desarrollo del presente estudio, le pertenecen patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Chiná de manera que si se derivasen de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.

Firma:  \_\_\_\_\_

Nombre: Eliel Abimael Caamal Luna

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, por estar presente en cada instante de nuestra vida y por brindarme tantas bendiciones.

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por el apoyo económico brindado a través de la beca (No. CVU 1230417) para la realización de mis estudios de Posgrado: Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles, con orientación a la conservación de la Biodiversidad que oferta el Tecnológico Nacional de México, Campus Chiná.

Le agradezco de sobre manera a mi director de tesis, al Dr. Gustavo Enrique Mendoza Arroyo, que fungió como parte esencial de la investigación y por permitirme estar en su gabinete de trabajo para poder así desarrollar la tesis, además de sus buenas asesorías, enseñanzas, sugerencias y experiencias compartidas en el transcurso de la investigación.

Agradezco a mi grupo de asesores: M. en C. Víctor Ku Quej, Jesús Chi Quej, Dr. Pedro Salvador Morales, Dr. Juan Carlos Camacho Chab, M. en C. Leticia González Durán por las observaciones, sugerencias puntuales en la elaboración de los manuscritos realizados en esta tesis, además de compartir sus conocimientos en campo y en gabinete.

Le agradezco a mis compañeros de generación: Daniel Haas, Isamar Vásquez y Mónica Sima, por ser buenos compañeros y compartir mutuamente sus conocimientos en los cursos. De igual forma agradezco mucho a mis amigos: Ángel Moreno, Alessandro Pat, Jesús Salinas Navarro, Ezequiel Ortiz, Milton y Rigoberto Huicab, por motivarme con palabras de aliento y sus consejos que fueron de gran ayuda en todo el proceso de mi formación profesional.

A mis hermanos y familia que siempre me motivaron y aconsejaron, para continuar con perseverancia, un agradecimiento muy especial a la M. en C. Yaritza Quintal por su motivación, cariño y amor brindado, fue una fortuna coincidir con esta bella mujer.

Muchas gracias a todos.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Wilbert Caamal Tuz y en especial a mi madre Mirian Luna López este logro va dedicado a ella por todo el amor y sabios consejos que me brindo en todo momento de mi vida por apoyarme en todo incondicionalmente, gracias a la confianza, apoyo y amor pude cumplir una meta más.

A mis hermanos y familia por motivarme en todo momento, su apoyo fue importante para mí en el proceso de formación profesional.

A mis compañeros y amigos que siempre me apoyaron incondicionalmente en momentos críticos.

## RESUMEN

Las dunas costeras son un ecosistema formado de montículos de arena, los cuales funcionan como obstáculo para detener las corrientes del viento, disminuyendo su velocidad, e impidiendo que la salinidad y la arena se internen adentro la tierra, asimismo son dinámicos y ofrecen una gama de servicios ecosistémicos importantes para las especies que habitan en este sitio, como las tortugas marinas, artrópodos, aves entre otros. A su vez al ser humano le brinda protección ante fenómenos naturales, además es una fuente de ingresos socioeconómicos. Esta investigación se enfocó en revelar en primera instancia el estado actual de la investigación sobre las dunas costeras, mediante un análisis bibliométrico, para conocer los atributos de las dunas que se han estudiado a lo largo de los años (2000 – 2023). Cabe mencionar que las dunas son reservorios de carbono, que ayudan a mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, es por esto que en la segunda parte de esta tesis se planteó como objetivo estimar el contenido de carbono orgánico en los Arenosols, mediante un muestreo de 35 transectos a lo largo de la costa en el municipio de Champotón, Campeche. En cada uno se tomaron muestras de suelo y se colectó material vegetal para estimar biomasa (aérea y subterránea). Estimamos el carbono en tres tamaños de partículas (250, 500, 1000 mm) y en diferente condición de erosión. Los resultados señalan que en los suelos predominan de las arenas medianas y gruesas presentan contenido de materia orgánica mayor que en las arenas muy gruesas, además hay una tendencia a disminuir cuando la erosión es alta. Por otra parte, la biomasa es mayor en los sitios del intramareal.

**Palabras clave:** Dunas costeras, arenosoles, biomasa, erosión, servicios ecosistémicos.

## **Determination of organic carbon in arenosols and the influence of factors associated with their storage on the coast of Campeche, Mexico**

### **Abstract**

Coastal dunes are an ecosystem made up of sand mounds, which function as an obstacle to stop wind currents, slowing their speed, and preventing salinity and sand from entering the earth. They are also dynamic and offer a range of important ecosystem services for the species that inhabit this site, such as sea turtles, arthropods, birds, among others. At the same time, it provides protection to human beings from natural phenomena, and is also a source of socioeconomic income. This research focused on first revealing the current state of research on coastal dunes, through a bibliometric analysis, to know the attributes of the dunes that have been studied over the years (2000 – 2023). It is worth mentioning that the dunes are carbon reservoirs, which help mitigate CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere, which is why in the second part of this thesis the objective was to estimate the organic carbon content in the Arenosols, through sampling. of 35 transects along the coast in the municipality of Champotón, Campeche. In each one, soil samples were taken and plant material was collected to estimate biomass (above and underground). We estimate carbon in three particle sizes (250, 500, 1000 mm) and in different erosion conditions. The results indicate that the soils predominate in medium and coarse sand and have a higher organic matter content than in very coarse sand, and there is also a tendency to decrease when erosion is high. On the other hand, biomass is greater in intratidal sites.

**Keywords:** Coastal dunes, arenosols, biomass, erosion, ecosystem services

# ÍNDICE

<b>Declaración De Propiedad</b> .....	Vi
<b>Agradecimientos</b> .....	Vii
<b>Dedicatoria</b> .....	Viii
<b>Resumen</b> .....	lx
<b>Abstract</b> .....	X
<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Antecedentes</b> .....	3
<b>3. Justificación</b> .....	4
<b>4. Hipótesis</b> .....	5
<b>5. Objetivos</b> .....	5
<b>5.1 Objetivo General</b> .....	5
<b>5.2 Objetivos Específicos</b> .....	5
<b>6. Referencias</b> .....	6
<b>7. Capítulos</b> .....	10
<b>7.1 Capítulo 1</b> .....	10
<b>Análisis Bibliométrico Sobre Dunas En La Franja Costera Del Golfo De México: Estado Actual, Desarrollo Y Perspectivas</b> .....	10
<b>Introducción</b> .....	11
<b>Materiales Y Métodos</b> .....	12
<b>Resultados Y Discusión</b> .....	13
<b>Agradecimientos</b> .....	20
<b>Literatura Citada</b> .....	21
<b>7.2 Capítulo 2</b> .....	22
<b>Distribución Del Carbono Orgánico En Diferentes Tamaños De Partículas En Arenosoles Del Litoral De Campeche, México</b> .....	22
<b>Introducción</b> .....	23
<b>Materiales Y Métodos</b> .....	25
<b>Resultados</b> .....	29
<b>Discusión</b> .....	34
<b>Conclusiones</b> .....	35
<b>Referencias</b> .....	36
<b>8. Conclusión</b> .....	43
<b>9. Anexos</b> .....	44

## **1. Introducción**

El cambio climático es una de las problemáticas más adversas que enfrenta el ser humano a nivel mundial, debido al exceso de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por lo que se deben buscar estrategias de mitigación y adaptación (Vela Blanco et al., 2012). El suelo en particular es un importante reservorio de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), es considerado como el segundo reservorio más importante, el primero es el océano (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015).

No obstante, a lo largo de la historia los ecosistemas han sido perturbados por distintas causas, principalmente por acciones antrópicas y las consecuencias se ven reflejadas en la pérdida de la cobertura vegetal (Hutyra et al., 2011). Asimismo, el cambio de uso de suelo es una de las principales causas de pérdida de vegetación arbórea en el trópico, debido a que es considerada una actividad cultural para propósitos de agricultura y/o ganadería (Jiménez Ruiz et al., 2019).

Es evidente que las dunas costeras no escapan a este proceso de perturbación. A nivel mundial el daño en dunas es muy marcadas, debido a la explotación masiva de playas para el desarrollo socioeconómico turístico, la incidencia de especies invasoras, entre otros (Del Vecchio et al., 2015).

Aunado a lo anterior se conoce que los ecosistemas costeros (manglares, pastos marinos, marismas) tienen la capacidad de almacenar carbono a un ritmo más acelerado que los ecosistemas forestales (Navarro, 2019). Esto se debe a su destacada contribución a la captura global de  $\text{CO}_2$ , al producir cantidades significativas de carbono orgánico y su capacidad para almacenarlo durante largos periodos de tiempo en sedimentos (Ruiz-Fernández et al., 2020), por lo tanto reduce la descomposición del mismo. De otra manera se oxidaría y se liberaría a la atmosfera como  $\text{CO}_2$ , contribuyendo al calentamiento global (Nellemann & Corcoran, 2009).

Por este motivo, es fundamental seguir estudiando estos ecosistemas para determinar los cambios a largo plazo, en las existencias de carbono asociados a perturbaciones y cambio climático (Segura-Castruita et al., 2005).

Por otra parte, el ecosistema costero provee refugio, alimento y protección a diversas especies de artrópodos, reptiles, aves, mamíferos entre otros seres vivos (Flores Guido & Carvajal, 1994); del mismo modo este hábitat es apto para la reproducción y refugio de las tortugas marinas, en este sentido el estado de Campeche funge como uno de los lugares cruciales para el desarrollo de estos organismos, debido a su ubicación geográfica dentro de la franja tropical (Recaséns et al., 2010).

Por esta razón las dunas costeras han sido objeto de estudio en las últimas décadas, en especial los ecosistemas costeros con cobertura vegetal, debido a su gran potencial de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (Macreadie et al., 2019), clasificándose como uno de los sumideros de carbono más importantes y eficientes del planeta.

Es importante destacar que la península de Yucatán ocupa el segundo lugar con mayor número de especies endémicas de la flora costera de México (Moreno-Casasola et al., 1998). De igual forma la cubierta vegetal contribuye a la formación de suelo mediante la acumulación de arena por medio de sus raíces y la materia orgánica que aporta al suelo, evitando la erosión (Wolfe & Nickling, 1993). Además, este ecosistema concentra especies con potencial ornamental y se utilizan para la elaboración de artesanías (Briceño et al., 2008).

Por lo anterior y considerando la relevancia del ecosistema costero para la mitigación del cambio climático, la presente investigación tiene por objetivo principal estudiar la importancia del carbono orgánico y su asociación en su almacenamiento, en una franja costera de Champotón, Campeche, México. De igual manera revelar la indagación científica del ecosistema, mediante un análisis bibliométrico para conocer el estado de estudio del ecosistema en el golfo de México. Esto permitirá brindar información útil para los tomadores de decisiones que apoyen la conservación y el manejo sustentable en las costas en el golfo.

## 2. Antecedentes

La franja costera de México engloba una extensión de 11.593 km, distribuidos en el Pacífico mexicano con 8.475 km, el Golfo de México y Mar Caribe con 3.118 km (Martínez et al., 2014). De igual manera es de importancia ecológica este entorno costero, en los mismos se desarrollan asentamientos humanos que albergan aproximadamente el 41.83 % de la población del país (INEGI, 2010).

Agregando a lo anterior, la acumulación de personas en la costa mexicana tiene como consecuencia la explotación de los recursos naturales, debido a las actividades humanas para el desarrollo socioeconómico, por lo tanto, se genera una gran presión sobre la biodiversidad (Noguera-Savelli, 2022).

Por un lado, los ecosistemas costeros destacan los estuarios y los arrecifes coralinos, especialmente los del Caribe. Son importantes desde el punto de vista ecológico, ya que sustentan la riqueza y la distribución de las especies (Knowlton et al., 1992). Este ecosistema es muy productivo y es un importante reservorio de materia orgánica, que se deposita principalmente en la fase sedimentaria (Alongi, 1998). De igual forma se sabe que la composición del tamaño de grano y la cantidad de materia orgánica en la que residen, influyen en la distribución bentónica y el establecimiento de plantas acuáticas (Albertelli et al., 1999).

Por consiguiente, las zonas costeras en todo el golfo de México se encuentran entre las más vulnerables a la erosión e inundaciones (Bernatchez et al., 2011). La costa es una zona amplia que abarca relieves de litoral, acantilados, terrazas marinas y planicies costeras, están en constante transformación por la acción de las olas, corrientes litorales, mareas, movimientos tectónicos, oscilaciones del nivel del mar, erosión, acumulación fluvial y la actividad humana (Kokot y Chomnalez, 2012).

En este contexto se ha documentado que los suelos arenosos tienen un bajo potencial de producción natural, debido a la restricción del suelo, como la baja capacidad de retención de agua, la alta infiltración de agua, el bajo almacenamiento de nutrientes y carbono orgánico entre otras características que lo convierten en un ecosistema naturalmente vulnerable (Soares et al., 2015)

### **3. Justificación**

Las comunidades vegetales pertenecientes a las dunas costeras se encuentran distribuidas a lo largo de los litorales de nuestro país (Moreno-Casasola et al., 1998); por lo que convierte a la península de Yucatán en el segundo lugar de mayor concentración de especies endémicas de la flora costera de México.

Asimismo, se reconoce que estos ecosistemas aportan importantes servicios ambientales, para el caso de la comunidad humana funciona como barrera de protección a las causas naturales tales como vientos, mareas, huracanes entre otros fenómenos naturales (Miller et al., 2010). También brindan refugio, alimento y protección a numerosas especies de animales (Flores Guido & Carvajal, 1994). Con este fundamento se evidencia la importancia de estos ecosistemas para los seres vivos, que anidan en estos lugares.

Por otro lado, se encuentra el carbono orgánico que es uno de los elementos más importantes, debido a que desempeña un papel crucial en el buen funcionamiento de estos ecosistemas (Burbano Orjuela, 2018). Ya que interviene en muchos procesos como la fotosíntesis, la respiración y la descomposición. Del mismo modo, es sabido que la composición granulométrica y la cantidad de materia orgánica que presentan, influyen directamente en la cantidad de CO<sub>2</sub> que pueden llegar a fijar los organismos presentes en esta zona (L. Calva-Benítez & Torres-Alvarado, 2011).

Ahora bien, la estimación del carbono orgánico en estas zonas puede proporcionar información valiosa sobre el funcionamiento en este sitio en particular y sus diferencias con respecto a otros ecosistemas, como por ejemplo los bosques tropicales (Lefèvre Clara et al., 2017). Además, el potencial de estos hábitats es significativamente diferente a la que se encuentra en los ecosistemas de selvas, debido a las condiciones ambientales únicas presentes en cada lugar (Jones et al., 2008).

Sin embargo, los ecosistemas costeros en México permanecen poco estudiados a pesar de su valor ecológico, económico y de conservación, actualmente están siendo impactadas por las actividades humanas, principalmente por actividades de turismo (Parra-Tabla et al., 2018). Cabe mencionar que se encuentra entre los ecosistemas más amenazados del mundo (Schlacher et al., 2007).

La presente investigación, pretende involucrarse en estos temas de suma importancia, por una parte, se situará en la comprensión de la dinámica entre la biomasa, el tamaño de grano en la concentración de carbono orgánico, por otra parte, se enfocará en contrastar estos factores a evaluar, en las playas arenosas y rocosas. En este estudio se ha optado por desarrollar estudios enfocados al carbono orgánico en la zona costera del municipio de Champotón, con el fin de aportar información útil para los tomadores de decisión referentes a estos ecosistemas en particular.

## **1. Hipótesis**

La cantidad de biomasa aérea y subterránea en conjunción con sedimentos de grano (fino o grueso) contribuyen a explicar el almacenamiento de carbono orgánico presente en arenosoles de las playas con fondos arenosas y rocosas del municipio de Champotón, Campeche, México

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general:**

Analizar la influencia de la biomasa aérea y tamaño de grano sobre la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico en los arenosoles en el municipio de Champotón, Campeche, México.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Estimar la biomasa aérea y biomasa subterránea en los perfiles de playa.
- Comparar el tamaño de grano en dos tipos de playas.
- Determinar el modelo que brinde la mejor explicación sobre las variables de biomasa aérea, biomasa subterránea y tamaño de grano, en la predicción del almacenamiento de carbono orgánico en los arenosoles.

### 3. Referencias

- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2015). *El suelo y el cambio climático—Agencia Europea de Medio Ambiente*. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>
- Albertelli, G., Covazzi-Harriague, A., Danovaro, R., Fabiano, M., Frascchetti, S., & Pusceddu, A. (1999). Differential responses of bacteria, meiofauna and macrofauna in a shelf area (Ligurian Sea, NW Mediterranean): Role of food availability. *Journal of Sea Research*, 42(1), 11–26. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(99\)00012-X](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(99)00012-X)
- Alongi, D. M. (1998). *Coastal Ecosystem Processes* CRC Press. *Boca Raton*.
- Briceño, M. T. de J. A., Ortiz, G. O. C., Euan, T. de J. C., & Escamilla, A. I. S. (2008). *Plantas comunes de la duna costera y el manglar*.
- Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Calva-Benítez, L. G., & Torres-Alvarado, R. (2011). Carbono orgánico y características texturales de sedimentos en áreas del pasto marino *Thalassia testudinum* en ecosistemas costeros del sureste del Golfo de México. *Universidad y ciencia*, 27(2), 133–144.
- Del Vecchio, S., Prisco, I., Acosta, A. T. R., & Stanisci, A. (2015). Changes in plant species composition of coastal dune habitats over a 20-year period. *AoB PLANTS*, 7. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv018>
- Flores Guido, J. S., & Carvajal, E. (1994). *Tipos de vegetación de la Península de Yucatán*.

- Hutyra, L. R., Yoon, B., & Alberti, M. (2011). Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: A study of the Seattle, WA region: URBAN TERRESTRIAL CARBON STOCKS. *Global Change Biology*, *17*(2), 783–797. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02238.x>
- INEGI, P. W. (2010). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Recuperado el 10/04/2023, 25.*
- Jiménez Ruiz, E. R., Fonseca González, W., & Pazmiño Pesantez, L. (2019). Sistemas Silvopastoriles y Cambio climático: Estimación y predicción de Biomasa Arbórea. *La Granja*, *29*(1), 44–55. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.04>
- Jones, M. L. M., Sowerby, A., Williams, D. L., & Jones, R. E. (2008). Factors controlling soil development in sand dunes: Evidence from a coastal dune soil chronosequence. *Plant and Soil*, *307*(1–2), 219–234. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9601-9>
- Knowlton, N., Weil, E., Weigt, L. A., & Guzmán, H. M. (1992). Sibling Species in *Montastraea annularis*, Coral Bleaching, and the Coral Climate Record. *Science*, *255*(5042), 330–333. <https://doi.org/10.1126/science.255.5042.330>
- Lefèvre Clara, Reki Fatma, Alcantara Viridiana, & Wiese Lies. (2017). *Carbono orgánico del suelo: El potencial oculto*. 90.
- Macreadie, P. I., Anton, A., Raven, J. A., Beaumont, N., Connolly, R. M., Friess, D. A., Kelleway, J. J., Kennedy, H., Kuwae, T., & Lavery, P. S. (2019). The future of Blue Carbon science. *Nature communications*, *10*(1), 1–13.
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Orocio, O. J., Mata, D. I., Revelo, N. R., & González, J. C. C. (2014). *Diagnóstico general de las dunas costeras de México*. SEMARNAT.

- Miller, T. E., Gornish, E. S., & Buckley, H. L. (2010). Climate and coastal dune vegetation: Disturbance, recovery, and succession. *Plant Ecology*, 206(1), 97–104. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9626-z>
- Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Castillo, S., Castillo-Campos, G., Durán, R., Pérez-Navarro, J. J., León, J. L., Olmsted, I., & Trejo-Torres, J. (1998). Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. *La diversidad biológica de Iberoamérica*, 2, 177–258.
- Navarro, S. (2019). *Captura del carbono azul mediante la grama salada (Distichlis spicata) en el refugio de vida silvestre los pantanos de villa*. 71.
- Nellemann, C., & Corcoran, E. (2009). *Blue carbon: The role of healthy oceans in binding carbon: a rapid response assessment*. UNEP/Earthprint. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=onCVCHQI4RoC&oi=fnd&pg=PA22&dq=Nellemann,+C.,+Corcoran,+E.,+Duarte,+C.M.,+Vald%EF%BF%BDes,+L.,+De+Young,+C.,+Fonseca,+L.,+Grimsditch,+G.,+2009.+Blue+Carbon.+A+Rapid+Response+Assessment.+United+Nations++Environment+Programme,+GRID-Arendal.+Birkeland+Trykkeri+AS,+Norway,+p.+78&ots=ZUqd8TFdq\\_&sig=iTCCR6MzAggo7\\_sZO1C3tJj82w0](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=onCVCHQI4RoC&oi=fnd&pg=PA22&dq=Nellemann,+C.,+Corcoran,+E.,+Duarte,+C.M.,+Vald%EF%BF%BDes,+L.,+De+Young,+C.,+Fonseca,+L.,+Grimsditch,+G.,+2009.+Blue+Carbon.+A+Rapid+Response+Assessment.+United+Nations++Environment+Programme,+GRID-Arendal.+Birkeland+Trykkeri+AS,+Norway,+p.+78&ots=ZUqd8TFdq_&sig=iTCCR6MzAggo7_sZO1C3tJj82w0)
- Noguera-Savelli, E. (2022). *Plantas herbáceas de la duna costera en Sabancuy, Campeche, México*.
- Parra-Tabla, V., Albor-Pinto, C., Tun-Garrido, J., Angulo-Pérez, D., Barajas, C., Silveira, R., Ortíz-Díaz, J. J., & Arceo-Gómez, G. (2018). Spatial patterns of species diversity in sand dune plant communities in Yucatan, Mexico: Importance of invasive species for species dominance patterns. *Plant Ecology & Diversity*, 11(2), 157–172. <https://doi.org/10.1080/17550874.2018.1455232>

- Recaséns, A. B. C., García, A. M., Rodríguez, V. T., & Vicario, A. G. (2010). Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche. *En memoria*, 73.
- Ruiz-Fernández, A. C., Sanchez-Cabeza, J.-A., Cuéllar-Martínez, T., Pérez-Bernal, L. H., Carnero-Bravo, V., Ávila, E., & Cardoso-Mohedano, J. G. (2020). Increasing salinization and organic carbon burial rates in seagrass meadows from an anthropogenically-modified coastal lagoon in southern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 242, 106843.
- Schlacher, T. A., Dugan, J., Schoeman, D. S., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., McLachlan, A., & Defeo, O. (2007). Sandy beaches at the brink. *Diversity and Distributions*, 13(5), 556–560. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00363.x>
- Segura-Castruita, M. A., Sánchez-Guzmán, P., & Ortiz-Solorio, C. A. (2005). *CARBONO ORGÁNICO DE LOS SUELOS DE MÉXICO*.
- Soares, M. P., Reys, P., Pifano, D. S., Sá, J. L. de, Silva, P. O. da, Santos, T. M., & Silva, F. G. (2015). Relationship between edaphic factors and vegetation in savannas of the Brazilian midwest region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(3), 821–829.
- Vela Blanco, G., López Blanco, J., & Rodríguez Gamiño, M. D. L. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas*, 77, 18. <https://doi.org/10.14350/rig.31007>
- Wolfe, S., & Nickling, W. G. (1993). The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Progress in Physical Geography - PROG PHYS GEOG*, 17, 50–68. <https://doi.org/10.1177/030913339301700104>

## 4. Capítulos

Manuscrito sometido a la revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios

### 4.1 Capítulo 1

**Análisis bibliométrico sobre dunas en la franja costera del golfo de México: Estado actual, desarrollo y perspectivas**

**A Bibliometric review o dunes in the coastal strip of the Gulf of Mexico: Current status, development and perspectives**

**Eliel Abimael Caamal-Luna<sup>1\*</sup> (0000-0002-8754-5673), Gustavo Enrique Mendoza-Arroyo<sup>1</sup> (0000-0001-8285-1033), Juan Carlos Camacho-Chab<sup>2</sup> (0000-0001-9306-2793), Pedro Salvador-Morales<sup>1</sup> (0000-0002-3386-5436), Leticia del Carmen González-Durán<sup>1</sup> (0009-0005-1064-6141)**

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná. Campeche, Camp., México. C.P. 24520

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Campeche, Centro de Investigación en Microbiología Ambiental y Biotecnología. Avenida Agustín Melgar s/n, San Francisco de Campeche, Camp., México. C.P. 24039.

\*Autor de correspondencia: M17830261@china.tecnm.mx

**RESUMEN.** Las dunas costeras del golfo de México ofrecen una variedad de servicios ecosistémicos importantes para especies que anidan en este sitio, como las tortugas marinas, artrópodos, aves, reptiles, entre otros. Al ser humano, le brinda protección ante fenómenos naturales, además es una fuente de ingresos socioeconómicos vía turismo. Por esta razón es importante el conocimiento del estado actual del ecosistema, esto permite determinar la degradación del mismo con el paso del tiempo y por ende conocer sus principales amenazas latentes. El presente trabajo tiene como objetivo revelar el estado actual de la información que existe sobre las dunas costeras en el golfo de México mediante una revisión exhaustiva en buscadores de libre acceso y revistas a fin del año 2000 al 2023. Después de efectuar la búsqueda, se encontraron un total de 84 artículos inéditos publicados en diversas revistas nacionales e internacionales que estudiaron atributos de las dunas.

**Palabras clave:** Servicios ecosistémicos, amenazas, golfo de México, arenosoles.

**ABSTRACT.** The coastal dunes of the Gulf of Mexico offer a variety of important ecosystem services for species that nest in this site, such as sea turtles, arthropods, birds, reptiles, among others. It provides human beings with protection from natural phenomena, and is also a source of socioeconomic income via tourism. For this reason, knowledge of the current state of the ecosystem is important; this allows determining its degradation over time and therefore knowing its main latent threats. The objective of this work is to reveal the current state of the information that exists on the coastal dunes in the Gulf of Mexico through an exhaustive review in free access search engines and magazines at the end of the year 2000 to 2023. After carrying out the search, the They found a total of 84 unpublished articles published in various national and international journals that studied attributes of dunes.

**Key words:** Ecosystem services, threats, Gulf of Mexico, arenosols

## INTRODUCCIÓN

Las dunas costeras son características de accidentes geográficos costeros que generalmente se forman a partir de arena arrastrada por el viento que es capturada y estabilizada por la vegetación presente (Mendoza 2022). Estos ecosistemas con o sin vegetación, son sumamente dinámicos y han motivado al estudio de los mismos en las últimas décadas, ya que son los mejores ejemplos para evaluar o determinar las adaptaciones de las plantas, a los gradientes de los ambientes marinos y terrestres (Gallego-Fernández y Martínez 2011).

Por otra parte, las dunas y costas son ambientes que han estado sujeto a la presión antrópica con un grado considerable (Martínez *et al.* 2014). Esto se debe a que las playas y dunas costeras son ecosistemas de gran importancia socioeconómica debido a que se desarrollan actividades como el turismo, la urbanización y el establecimiento de cultivos agrícolas como el cocotero (García-Mora *et al.* 2001; Hesp 2004; Muñoz-Vallés *et al.* 2011).

Cabe mencionar que la decadencia o desaparición de las dunas litorales crea un desequilibrio drástico en la dinámica de la costa e incrementa los procesos de erosión (Martínez y Psuty 2004; Garcia-Lozano *et al.* 2020). En este proceso se pierden propiedades del suelo como el carbono orgánico (COS), poniendo en peligro la estabilidad de las costas y la calidad de vida en este ecosistema dunar (Mendoza 2022).

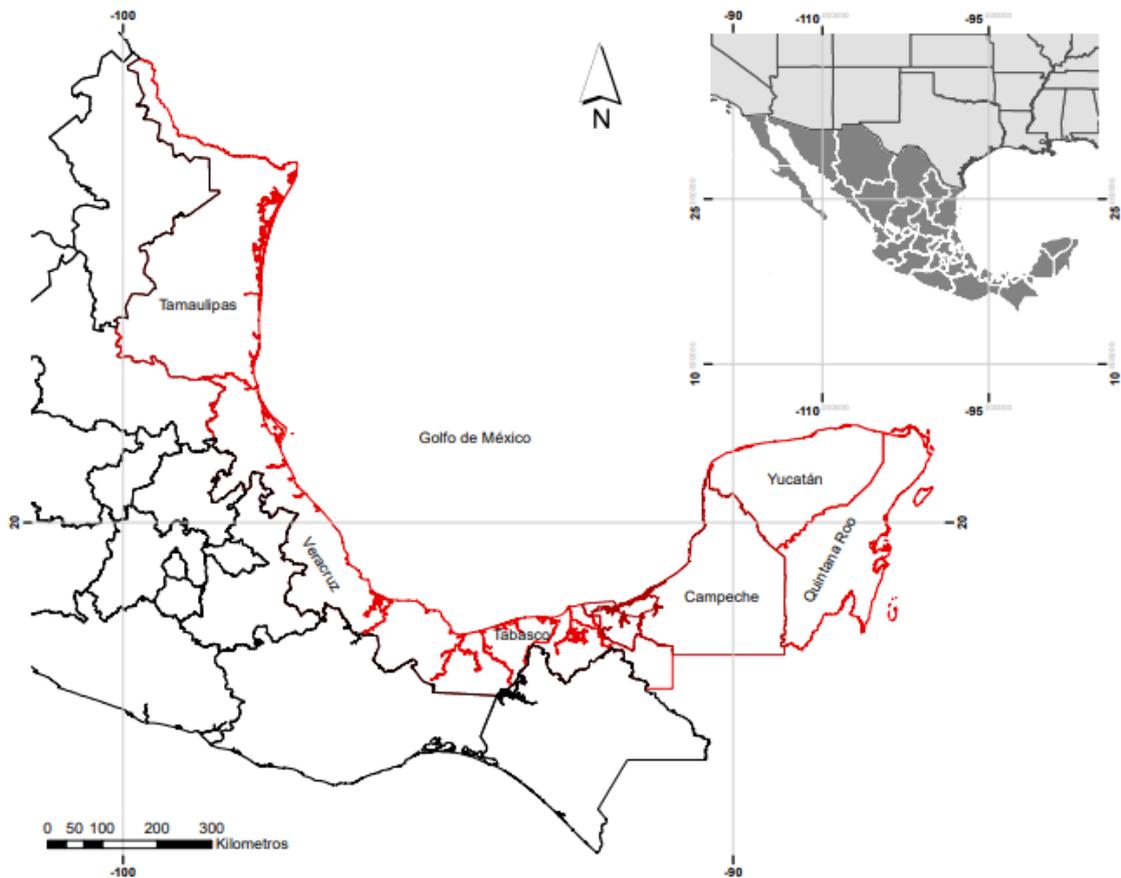
Desde una perspectiva general, se ha documentado que la mayor parte de las dunas que se encuentran fuera de las áreas naturales protegidas, están en un estatus perturbado, tales daños se reflejan en superficies fragmentadas, contaminadas, perforadas, invadidas de flora exótica etcétera (Martínez *et al.* 2014).

En México, varios autores han estudiado la vegetación en playas y dunas costeras (Johnson 1977; Espejel 1987; Castillo *et al.* 1991; Martínez *et al.* 1992; Castillo y Moreno-Casasola 1996; Peinado *et al.* 2011; Álvarez-Molina *et al.* 2012). No obstante, hoy en día con lo que representa los efectos del calentamiento global, la contaminación por las actividades antropogénicas, situaciones como la contaminación por microplásticos o del ciclo o flujos de carbono como el contenido de carbono orgánico no se tiene información al respecto.

Por lo anterior, el presente estudio de revisión pretende proporcionar una visión general de las investigaciones realizadas de los ecosistemas de dunas en la franja costera del golfo de México desde el año 2000 hasta 2023. De esta manera se espera contribuir al aporte de información actualizada mediante el análisis bibliométrico de las publicaciones científicas sobre dunas costeras, temáticas abordadas y sitios de estudio, con el fin de revelar aspectos explorados sobre los arenosoles y las dunas del Golfo de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se planteó como objetivo desarrollar un análisis bibliométrico de artículos publicados en el período de 2000 – 2023 en base de datos y en diversos buscadores digitales sobre literatura científica indexada en español y en inglés, sobre diversos temas asociados a las dunas costeras en el golfo de México, los estados considerados son: Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Yucatán, Campeche y Quintana Roo (figura 1). Este trabajo permite ilustrar áreas abordadas de estudio y el impacto de las publicaciones científicas sobre el ecosistema costero en el golfo de México. La información se organizó en el programa Excel.

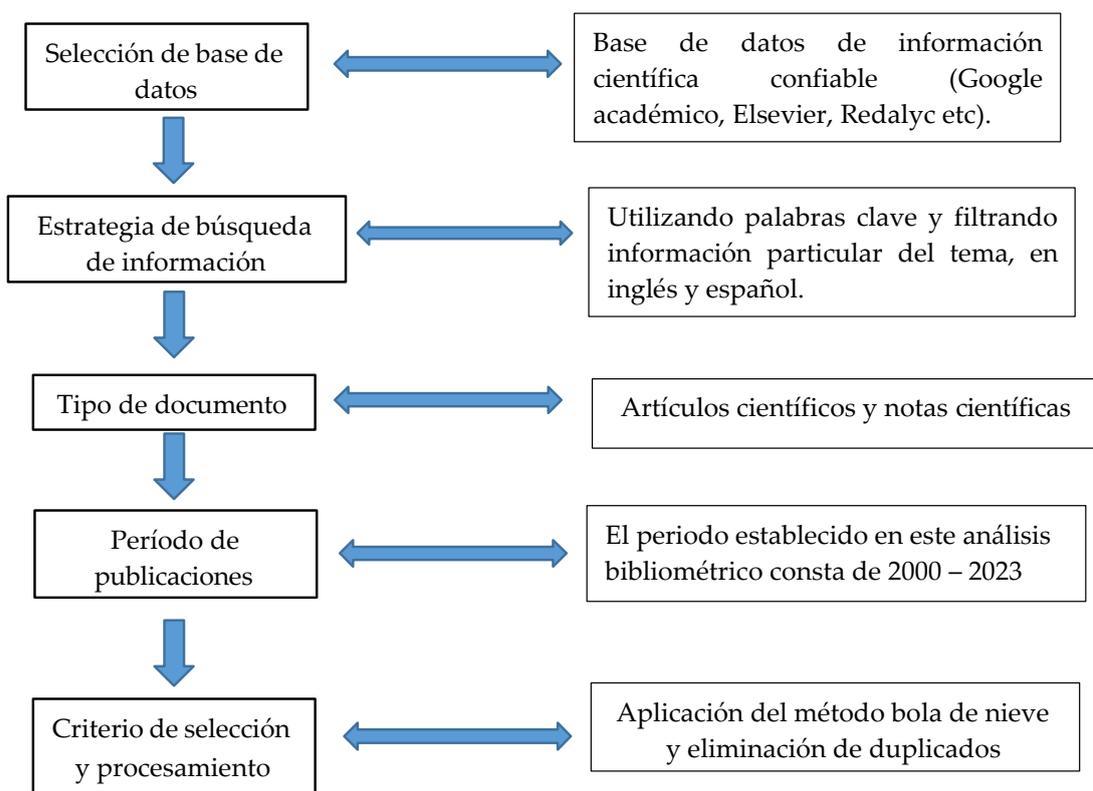


**Figura 1:** Ubicación de los estados en el golfo de México. Fuente: Elaboración propia.

### Búsqueda de información

En la búsqueda realizada de la productividad científica se incluyó los buscadores y base de datos confiables: Google académico, Redalyc, Dialnet, Scielo, Francis and Taylor, Refseek, ELSEVIER y Springer. El método empleado en la búsqueda de información fue la bola de nieve (Harvey & Bernard, 2006), la cual consistió en el seguimiento aleatorio de la literatura citada por el autor, hasta finalizar con los autores principales del tema de investigación. La estrategia empleada fue haciendo uso de las palabras clave en inglés y español, tales como: “dunas”, “arenosoles”, “vegetación de dunas”, “importancia florística en dunas”, “amenazas y riesgos en dunas costeras”, “erosión en dunas”, “impacto turístico en dunas” “conservación de dunas”,

“carbono orgánico en dunas”, “microplásticos”, “micorrizas”, “sargazo”, “especies invasoras” entre otros (figura 2).



**Figura 2:** Esquema metodológico.

Una vez concentrada toda la información, ésta fue depurada y organizada en el programa Excel, utilizando fórmulas y filtros para la inclusión, exclusión y eliminación de duplicados (Newbert 2007), de tal forma se elaboró la base de datos del presente estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados del estudio bibliométrico. Se obtuvo un total de 84 artículos científicos en la base de datos, publicados en diversas revistas nacionales e internacionales que estudiaron las costas y dunas en el golfo de México, así como se ilustra en la figura 1, la primera publicación surge en el mes de Julio del año 2002 y el último artículo publicado fue en abril del año 2023, cabe mencionar que todos los artículos seleccionados en este estudio cumplen con los criterios de inclusión y exclusión establecidos en el apartado de la metodología. En la tabla 1 se presenta el origen y número de publicaciones en cada revista científica.

**Tabla 1.** Origen y número de publicaciones en revistas científicas sobre costas y dunas en el Golfo de México

No	Revista	No. de artículos publicados	Origen de la Revista
1	Acta botánica mexicana	6	México
2	Bioagrocencias	2	México
3	Biología Marina y Oceanografía	7	Chile
4	Biología Tropical	7	Costa Rica
5	Boletín de la Sociedad Botánica de México	4	México
6	Ciencias Marinas y Costeras	2	Costa Rica
7	Boletín de la Sociedad geológica mexicana	4	México
8	EPOMEX	2	México
9	Estudios demográficos y urbanos	1	México
10	Foresta Veracruzana	1	México
11	Geografía agrícola	3	México
12	Hidrobiológica	5	México
13	JAINA	1	México
14	Journal of Coastal Research	12	EE.UU
15	Latin American Journal of Aquatic Research	1	Chile
16	Mexicana de biodiversidad	12	México
17	Madera y Bosques	2	México
18	Mexicana de Ornitología	1	México
19	Península	1	México
20	Polibotánica	1	México
21	Regions & Cohesion	1	México
22	Sostenibilidad	1	México
23	Taylor and Francis	2	Inglaterra
24	Tecnología y ciencias del agua	1	México
25	Teoría y Praxis	3	México
26	UNED Research Journal	1	Costa Rica

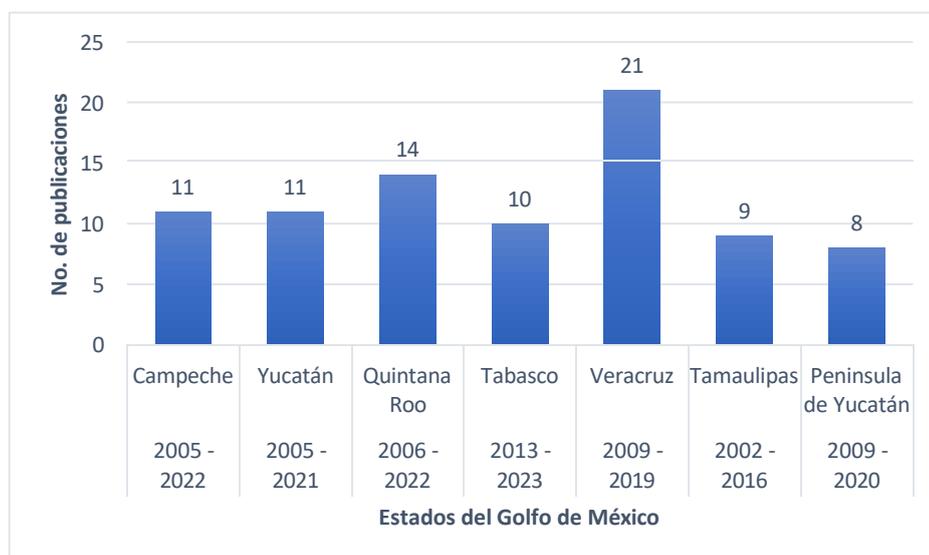
**Fuente:** Elaboración propia

### Producción científica por estados que conforman el Golfo de México

En la Figura 3 se presenta la tendencia de producción científica en la investigación de dunas, playas y costas en el Golfo de México a lo largo del tiempo. En base a los resultados se puede afirmar que el estado más explorado sobre dunas costeras es Veracruz con 21 artículos de divulgación y difusión publicados en diversas revistas, seguido por Quintana Roo con 14 publicaciones y para los estados de Campeche, Yucatán y Tabasco se encuentran en una media de 11 publicaciones sobre costas y dunas, por último, el Estado menos explorado es Tamaulipas.

Cabe mencionar que se encontraron 8 artículos que estudiaron atributos de dunas costeras a nivel peninsular, estos manuscritos fueron cualitativos que se centraron en la descripción del ecosistema de costa en toda la península, por esta razón se presenta los resultados en otro apartado particular.

Por otro lado, se evidencia que en los últimos tres años la publicación de artículos científicos sobre dunas y costas se ha reducido considerablemente, lo que significa que la exploración sobre dunas costeras en el Golfo de México ha disminuido, a pesar de ser un ecosistema muy dinámico.



**Figura 3:** Producción científica por estados y por años de publicación.

A continuación, se presentan los resultados de la búsqueda bibliográfica encontrados en diversos buscadores académicos de acceso libre. Dada la gran cantidad de información recolectada en artículos científicos publicados en distintas revistas, se optó por presentar los resultados en cuadros con pequeños apartados que incluyen: año de publicación, temas y/o variables abordadas, autor principal y revista en el cual fueron publicados. Esta información es presentada por “estados” que conforman el Golfo de México, para ilustrar de mejor manera las exploraciones científicas en las costas y dunas pertenecientes a cada lugar.

### Producción científica en el estado de Campeche

**Tabla 1.** Publicaciones encontradas en el estado de Campeche asociadas a las dunas costeras. Se recabó un total de 11 artículos publicados en diversas revistas nacionales y del extranjero, iniciando desde el año 2005 y concluyendo con la última publicación en 2022.

Año de publicación	Temas y/o variables abordadas	Autor principal	Revista
2005	Macroalgas bentónicas	Mariana E. Callejas Jiménez	Hidrobiológica
2007	Diagnóstico de flora y fauna silvestre	F Méndez-Cabrera, S Montiel	Biología Tropical
2010	Tasa de erosión y vulnerabilidad	V. Torrez Rodríguez. A. Márquez García	Journal of Coastal Research
2010	Vulnerabilidad de sitios de anidación	Crevenna Recaséns	Boletín de la Sociedad geológica mexicana
2013	Algas bentónicas de Campeche	Luz Elena Mateo-Cid	Acta botánica mexicana

2016	Indicadores geomorfológicos	Rodimiro Ramos-Reyes	Boletín de la Sociedad Botánica de México
2018	Diversidad florística	G.A. Avilés-Ramírez	Boletín de la Sociedad geológica mexicana
2018	Análisis de costa de Campeche	Canul turriza Román	EPOMEX
2019	Control de erosión en playa	Ángel Kuc Castilla, Edgar Mendoza	Journal of Coastal Research
2020	Muertes por tráfico sobre carretera	Julio Canales-Delgadillo	Mexicana de biodiversidad
2022	Variables que inducen opresión costera	Debor Ramírez Vargas	JAINA

**Fuente:** Elaboración propia

La información recabada evidencia que se ha explorado las dunas costeras en Campeche de una manera relativamente baja, en resumen, se exploró el ecosistema en la descripción de la flora e igual la fauna asociada, sin embargo, en su mayoría se centra en el estudio de la erosión costera que es un tema crucial en estos ambientes.

### Producción científica en el estado de Yucatán

**Tabla 2.** Publicaciones encontradas en el estado de Yucatán asociadas a las dunas costeras. Se recabó un total de 11 artículos publicados en diversas revistas en su mayoría nacionales y la minoría en revistas internacionales, iniciando desde el año 2005 y concluyendo con la última publicación en 2021.

Año de publicación	Temas y/o variables abordadas	Autor principal	Revista
2005	Caracterización hidrológica	Eduardo Batllori-Sampedro	Geografía agrícola
2010	Uso de la biodiversidad costera	Luis Arias Reyes	Geografía agrícola
2010	Estructura, composición y diversidad	Wendy Torres, Martha Méndez	Boletín de la Sociedad Botánica de México
2013	Análisis espacial y temporal de dunas	Eduardo Cuevas, Ma. Liciega-Correa	Biología marina y oceanografía Mexicana de Biodiversidad
2015	Biodiversidad de los anfípodos	Ignacio Winfield	Biodiversidad
2015	Depredación y Ecoturismo	Jerónimo Dickinson Castillo	Península
2016	Clasificación de vulnerabilidad de erosión	Alfonso Cuevas Jiménez	Journal of Coastal Research
2018	Resistencia y resiliencia de una playa	Gabriela Medellín	Biología Marina y Oceanografía
2018	Florística, composición de comunidades vegetales	Patricia Guadarrama, Luis Salinas-Peba	Mexicana de Biodiversidad
2020	Micorrizas y su importancia en restauración	José Ramos-Zapata	Bioagrocencias
2021	Valores sociales sobre el ecosistema	Arely, Paredes-Chi	Sostenibilidad

**Fuente:** Elaboración propia

### Producción científica en el estado de Quintana Roo

**Tabla 3.** Publicaciones encontradas en el estado de Quintana Roo asociadas a las dunas costeras. Se recabó un total de 14 artículos publicados en diversas revistas nacionales e internacionales, iniciando desde el año 2006 y concluyendo con la última publicación en 2022.

Año de publicación	Temas y/o variables abordadas	Autor principal	Revista
2006	Conservación de tortugas marinas	Arturo Antonio-Cahuich	Teoría y Praxis
2009	Estudio de la erosión costera	Pedro Guido Aldada	Hidrobiológica
2011	Respuesta hidrodinámica de nutrición	JC Sánchez. JC Espinal	Boletín de la Sociedad geológica mexicana
2013	Comparación morfodinámica	Gabriel Ruiz-Martínez	Tecnología y ciencias del agua
2014	Morfodinámica comparativa	I. Mariño-Tapia, C, Enríquez	Journal of Coastal Research
2014	Una solución alternativa a la erosión	Itxaso Odériz, Edgar Mendoza	Journal of Coastal Research
2015	Fauna y flora intermareal de las costas	Alicia González Solís & Daniel Torruco	Biología Tropical
2015	Indicadores de calidad de agua	Adrián Cervantes-Martínez	Teoría y Praxis
2016	Causas y efectos de un destino no sustentable	Ana Pricila Sosa Ferreira	Biología Tropical
2016	Efectos del disturbio humano	Frank A. Ocaña,	Biología Tropical
2017	Diversidad de fauna intermareal	Alicia González, Daniel Torruco	Biología Marina y Oceanografía
2017	Monitoreo de cambios en la costa	R. Silva-Casarín	Journal of Coastal Research
2018	Composición, estructura y diversidad	Alejandro Collantes-Chávez-Costa	Boletín de la Sociedad geológica mexicana
2022	Análisis de macro y microelementos de Sargassum	Iris Aurora Nava-Jiménez	Biología Marina y Oceanografía

**Fuente:** Elaboración propia

### Producción científica en el estado de Tabasco

**Tabla 4.** Publicaciones encontradas en el estado de Tabasco asociadas a las dunas costeras. Se recabó un total de 10 artículos publicados en diversas revistas nacionales e internacionales, iniciando desde el año 2013 y concluyendo con la última publicación en 2023.

Año de publicación	Temas y/o variables abordadas	Autor principal	Revista
2013	Lista actualizada de las macroalgas	Abel Senties	Acta botánica mexicana
2014	Revisión de la problemática socioambiental	Everardo Barboa Macías	Journal of Coastal Research
2015	Paisajes geomorfológicos	Joel Zavala-Cruz	Bioagrociencias

2016	Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera	Rodimiro Ramos Reyes	Geografía agrícola
2016	Índice de vulnerabilidad costera	Juan Carlos Núñez Gómez	Journal of Coastal Research
2017	Inventario de algas y cianobacterias bentónicas	Ángela Mendoza-Gonzalez	Biología Tropical
2017	Nuevos registros de algas marinas	Nataly Quiroz-González	Acta Botánica Mexicana
2018	Biodiversidad de algas marinas rojas	Nataly Quiroz-González	Acta Botánica Mexicana
2019	Composición y fluctuación estacional	Diego Armando Falcón-Vidal	Ciencias Marinas y Costeras
2023	Implicaciones del potencial de elevación del agua	Lilia Gama Campillo	Estudios demográficos y urbanos

**Fuente:** Elaboración propia

### Producción científica en el estado de Veracruz

**Tabla 5.** Publicaciones encontradas en el estado de Veracruz asociadas a las dunas costeras. Se recabó un total de 21 artículos publicados en diversas revistas nacionales e internacionales, iniciando desde el año 2009 y concluyendo con la última publicación en 2019.

Año de publicación	Temas y/o variables abordadas	Autor principal	Revista
2009	Especies útiles de selva en las dunas	Patricia Moreno-Casasola	Madera y Bosques
2009	Lista de esponjas marinas	Carlos González-Gándara	Mexicana de Biodiversidad
2010	Crustáceos asociados a sustrato	Carmen Hernández	Mexicana de Biodiversidad
2011	Evaluación de vulnerabilidad	Oralia Oropeza-Orozco	Taylor and Francis
2011	Germinación y supervivencia de especies forestales	Patricia Moreno-Casasola	Mexicana de Biodiversidad
2012	Dinámica de un paisaje complejo en la costa	Ma. Luisa Martínez, Gabriela Vázquez Elizabeth Muciño	Journal of Coastal Research
2012	Especies fitoplanctónicas	Márquez	UNED Research Journal
2012	Identificación de la flora bacteriana en tortugas	Arturo Serrano, Laura Vázquez-Castrán	Hidrobiológica
2013	Sitio de anidación de tortugas	Leonel Zavaleta-Lizárraga	Mexicana de Biodiversidad
2014	Inundaciones por agua subterránea en zonas costeras	Iris Neri Flores	Boletín de la Sociedad Botánica de México
2014	Inventario de invertebrados	Aurora Vassallo	Mexicana de Biodiversidad
2014	Registro preliminar del perfil de playa	Panana-Arce, Argimiro	Journal of Coastal Research
2015	Riqueza y distribución de equinodermos	Carlos González-Gándara	Biología Tropical
2016	Estructura de la comunidad ictioplanctónica	Alberto Ocaña-Luna	Mexicana de Biodiversidad

2016	Percepciones sobre servicios ambientales	José Luis Marín-Muñiz	Madera y Bosques
2017	Dunas costeras en Veracruz	María Ángeles Piñar-Álvarez	Regions & Cohesion
2017	Estructura de la vegetación litoral	José Luis Reyes-Ortíz	Polibotánica
2017	Macroalgas, microalgas epifitas del pasto marino	Rocio Nava-Olvera	Biología Marina y Oceanografía
2019	Macroalgas marinas del litoral rocoso	Cristina Landa-Cansigno	Acta Botánica Mexicana
2019	Nuevos registros de algas marinas bentónicas	José Luis Godínez-Ortega	Mexicana de Biodiversidad
2019	Cambios en el litoral de la zona metropolitana	Fabiola Lango-Reynoso	EPOMEX

**Fuente:** Elaboración propia

### Producción científica en el estado de Tamaulipas

**Tabla 6.** Publicaciones encontradas en el estado de Tamaulipas asociadas a las dunas costeras. Se recabó un total de 9 artículos publicados en diversas revistas nacionales y el extranjero, iniciando desde el año 2002 y concluyendo con la última publicación en 2016.

**Fuente:** Elaboración propia

Año de publicación	Temas y/o variables abordadas	Autor principal	Revista
2002	Pérdida de marcas metálicas en tortugas	Carmen Jiménez-Quiroz	Biología Tropical
2003	Registros reproductivos del charrán	Héctor A. Garza-Torres	Mexicana de Ornitología
2006	Variabilidad de perfiles de clorofila	Martha Signoret	Hidrobiológica
2007	Los cirripedios torácicos de aguas someras	Antonio Celis	Mexicana de Biodiversidad
2008	Abundancia y distribución de <i>Farfantepenaeus</i>	Alberto Ocaña-Luna	Hidrobiológica
2013	El turismo sustentable	Lourdes Arias Gómez	Journal of Coastal Research
2013	Zoogeografía de los bivalvos marinos	Alfonso Correa-Sandoval	Biología Marina y Oceanografía
2015	Diversidad de las hidromedusas	Martha Gutiérrez-Aguirre	Teoría y Praxis
2016	Procedencia de minerales opacos en arenas costeras	Juan Kasper-Zubillaga	Boletín de la sociedad Geológica Mexicana

### Producción científica en la península de Yucatán

**Tabla 7.** Publicaciones encontradas en la península de Yucatán asociadas a las dunas costeras. Se recabaron un total de 8 artículos publicados en diversas revistas nacionales y del extranjero, iniciando desde el año 2005 y concluyendo con la última publicación en 2020.

Año de publicación	Temas y/o variables abordadas	Autor principal	Revista
--------------------	-------------------------------	-----------------	---------

2009	Morfodinámica del perfil de playa con sedimentos	A. Cuevas-Jiménez, J. Euán-Ávila	Ciencias Marinas y costeras
2013	Rastreo satelital de las hembras de tortuga blanca	Dennis Méndez, Eduardo Cuevas	Biología Marina y Oceanografía
2014	Percepciones de los usuarios de playas	Williams, A. T., Barugh	Journal of Coastal Research
2015	Implementación del plan estratégico Ramsar	Laura Vidal, Adriana Vallarino	Latin American Journal of Aquatic Research
2015	Un estudio de arenas carbonatadas	JJ. Kasper-Zubillaga	Taylor and Francis
2020	Listado florístico de las dunas costeras	Celso Gutiérrez Báez	Foresta Veracruzana
2020	Nuevo registro para la flora de la Península de Yucatán	Daniel Alexis Tovar-Montalvo	Acta Botánica Mexicana
2020	Efecto del cambio climático en la distribución de especies clave en la vegetación de duna costera	Natalia Ovando-Hidalgo	Mexicana de Biodiversidad

**Fuente:** Elaboración propia

Este análisis bibliométrico proporciona una visión clara y sistemática de la producción científica relacionada con las dunas costeras en el golfo de México entre el año 2000 al 2023. Al utilizar una metodología rigurosa que incorpora diversas bases de datos y una estrategia de búsqueda exhaustiva, se ha logrado identificar las áreas clave de estudio y destacar el impacto de estas investigaciones en la comprensión y conservación de estos ecosistemas vulnerables.

En conclusión, en este análisis bibliométrico se presentan los hallazgos más relevantes, no solo subrayan la importancia de continuar explorando temas importantes como la erosión, la biodiversidad y las amenazas latentes en este ambiente, sino que también invitan a la comunidad científica y a los tomadores de decisiones a colaborar en la creación de estrategias efectivas para la preservación de las dunas costeras. A través de este estudio bibliométrico, se ha evidenciado que la producción científica en los diversos estados del Golfo de México se encuentra poco indagado y por lo tanto hay un vacío de conocimiento en los atributos de las dunas costeras, a pesar de ser un ecosistema muy dinámico permanece poco estudiado. Así, este trabajo no solo sienta las bases para futuras investigaciones, sino que también actúa como un llamado a la acción para garantizar la sostenibilidad y protección del ecosistema.

## AGRADECIMIENTOS

El primer autor Eliel Abimael Caamal Luna, agradece al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) el apoyo otorgado a través de la beca (CVU 1230417), para realizar estudios dentro del programa de Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles, en la orientación de Conservación de la Biodiversidad, que se oferta en el Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez-Molina, L. L., Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Gallego-Fernández, J. B., & Flores, P. (2012). Richness, diversity, and rate of primary succession over 20 year in tropical coastal dunes. *Plant Ecology*, 213, 1597–1608.
- Castillo, S. A., & Moreno-Casasola, P. (1996). Coastal sand dune vegetation: An extreme case of species invasion. *Journal of Coastal Conservation*, 2(1), 13–22. <https://doi.org/10.1007/BF02743033>
- Castillo, S., Popma, J., & moreno casasola, P. (1991). Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 2, 73–88. <https://doi.org/10.2307/3235899>
- Gallego-Fernández, J. B., & Martínez, M. L. (2011). Environmental filtering and plant functional types on Mexican foredunes along the Gulf of Mexico. *Ecoscience*, 18(1), 52–62.
- García-Mora, M. R., Gallego-Fernández, J. B., Williams, A. T., & García-Novo, F. (2001). A coastal dune vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Peninsula. *Journal of coastal research*, 802–811.
- Harvey, R., & Bernard, R. (2006). *Research methods in anthropology: Qualitative and quantitative approaches*. Rowman & Littlefield Altamira) New York.
- Hesp, P. A. (2004). Coastal dunes in the tropics and temperate regions: Location, formation, morphology and vegetation processes. En *Coastal dunes: Ecology and conservation* (pp. 29–49). Springer.
- Johnson, A. F. (1977). A survey of the strand and dune vegetation along the Pacific and southern gulf coasts of Baja California, Mexico. *Journal of Biogeography*, 83–99.
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Orocio, O. J., Mata, D. I., Revelo, N. R., & González, J. C. C. (2014). Diagnóstico general de las dunas costeras de México. SEMARNAT.
- Martínez, M. L., & Psuty, N. P. (Eds.). (2004). *Coastal Dunes* (Vol. 171). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74002-5>
- Martínez, M. L., Valverde, T., & Moreno-Casasola, P. (1992). Germination response to temperature, salinity, light and depth of sowing of ten tropical dune species. *Oecologia*, 92, 343–353.
- Mendoza, K. (2022). *Dunas costeras del cantón Playas, una aproximación para su estudio*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Muñoz-Vallés, S. M., Gallego Fernández, J. B., & Dellafiore, C. M. (2011). Dune vulnerability in relation to tourism pressure in central Gulf of Cádiz (SW Spain), a case study. *Journal of Coastal Research*, 27(2), 243–251.
- Newbert, S. L. (2007). Empirical research on the resource-based view of the firm: An assessment and suggestions for future research. *Strategic Management Journal*, 28(2), 121–146. <https://doi.org/10.1002/smj.573>
- Peinado, M., Ocaña-Peinado, F. M., Aguirre, J. L., Delgadillo, J., Macías, M. Á., & Díaz-Santiago, G. (2011). A phytosociological and phytogeographical survey of the coastal vegetation of western North America: Beach and dune vegetation from Baja California to Alaska: Coastal vegetation of western North America. *Applied Vegetation Science*, 14(4), 464–484. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2011.01134.x>

## 4.2 Capítulo 2

Manuscrito en preparación para someter a la revista Terra Latinoamerica

### **Distribución del carbono orgánico en diferentes tamaños de partículas en Arenosoles del litoral de Campeche, México**

Eliel Abimael Caamal Luna, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Departamento de Ingenierías, (0000-0002-8754-5673), M17830261@china.tecnm.mx

Víctor M. Ku-Quej, El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, (0000-0003-0311-3521), vmku@ecosur.mx

Jesús Chi-Quej, El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, (0000-0002-3596-6759), jesus.chi@ecosur.mx

Pedro Salvador Morales, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Departamento de Ingenierías, (0000-0002-3386-5436), pedro.sm@china.tecnm.mx

Gustavo Enrique Mendoza-Arroyo, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Departamento de Ciencias Básicas, (0000-0001-8285-1033), gustavo.ma@china.tecnm.mx

René Efraín Canché-Solís, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Campeche. Carretera Campeche – Escárcega Km. 9. 24500 Lerma, Campeche, México, (0009-0009-2660-6135), rene.cs@campeche.tecnm.mx

Jesús Froylan Martínez Puc, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Departamento de Ingenierías, (0000-0001-7354-6336), jesus.mp@china.tecnm.mx

### **RESUMEN**

El estudio aborda la situación de las dunas costeras en el municipio de Champotón, Campeche, México, donde las actividades antrópicas y fenómenos naturales como el aumento del nivel del mar y la erosión han generado impactos negativos. Se evaluó la existencia y distribución de carbono orgánico en suelos arenosos (Arenosols) en tres

tamaños de partícula (1000, 500 y 250  $\mu\text{m}$ ) bajo tres condiciones de erosión: baja, media y alta. Se utilizaron técnicas granulométricas para determinar los parámetros del tamaño de grano y se analizó la biomasa aérea y subterránea, así como la materia orgánica en relación con el tamaño de las partículas. La vegetación y la biomasa subterránea, particularmente las raíces rizomatosas, juegan un papel fundamental en la reducción de la erosión. Las dunas costeras, además de su función como barreras naturales, presentan suelos con un bajo contenido de carbono debido a su permeabilidad, lo que afecta la retención de nutrientes. El estudio encontró que los suelos con menor condición de erosión presentan mayores contenidos de carbono orgánico y materia orgánica, destacando la importancia de los granos gruesos (1000  $\mu\text{m}$ ) para la acumulación de carbono. El análisis de varianza reveló diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico del suelo entre las distintas condiciones de erosión, siendo más bajas en las áreas de alta erosión. El estudio concluye que la estabilidad y la capacidad de retención de carbono en las dunas están relacionadas con el tamaño de las partículas y la presencia de biomasa vegetal, especialmente en áreas de baja erosión.

**Palabras clave:** biomasa subterránea, dunas costeras, erosión, granulometría.

## INTRODUCCIÓN

Las costas de México son entornos considerados atractivos y valiosos para vivir, ya que ofrecen una amplia gama de actividades recreativas y económicas productivas (Ramírez-Chávez, 2010). No obstante, estos espacios han sufrido cambios notables generados por los efectos de los fenómenos naturales, el aumento del nivel del mar y las actividades antrópicas, trayendo múltiples impactos negativos sobre las actividades económicas y al ecosistema (Cervantes et al., 2020; Hanley et al., 2020; Vousdoukas et al., 2020).

Evidentemente las dunas costeras enfrentan una serie de problemas que amenazan su biodiversidad, una de ellas es la erosión, la cual se considera un fenómeno natural que se origina por la interacción de procesos climáticos, meteorológicos y sedimentarios (Aldana et al., 2009); pero que se ha exacerbado con las actividades antrópicas (Santana-Cordero et al., 2016; Sampath et al., 2023). Por lo tanto, es un proceso que elimina el carbono orgánico del suelo en grandes cantidades, por lo que sus efectos suelen ser graves y drásticos (Starr et al., 2000). A su vez el cambio climático es un factor que contribuye

a esta problemática y toma mayor importancia dada la sobre elevación del nivel del mar y el incremento de la intensidad de las precipitaciones entre otros (Pérez & Linares, 2004). Por consiguiente, la vegetación presente en las dunas costeras contribuye a reducir la tasa de erosión, esto se debe principalmente a la biomasa subterránea (raíces, rizomas y brotes) de las plantas por lo que funge como un factor determinante en la resistencia (Bryant et al., 2019). Del mismo modo las características físicas de los sedimentos también son importantes para ofrecer resistencia de la erosión costera causada por la acción del oleaje (Battisti & Griffin, 2020).

Asimismo, las dunas costeras proveen servicios ambientales esenciales, ya que funcionan como barrera de protección natural, que actúan como defensa contra fenómenos naturales como huracanes e inundaciones (Martínez et al., 2004); son ecosistemas importantes para recargar los acuíferos y mitigar la invasión de la intrusión salina (Seingier et al., 2009). Además, albergan una alta diversidad de especies de flora y fauna, que incluyen especies endémicas y amenazadas, además son sitios de alimentación y de anidación de diversas especies de aves migratorias y de tortugas marinas, entre otras (Alcamo & Bennett, 2003).

Los arenosoles, son suelos con alto contenido de arena y baja capacidad de retención de nutrientes, la acumulación de carbono orgánico es generalmente baja, debido a su permeabilidad excesiva y escasa retención de materia orgánica (Murray-Núñez et al., 2015). En suelos arenosos el contenido de carbono orgánico del suelo tiende a ser más bajo porque las partículas grandes no ofrecen la misma protección para la materia orgánica, lo que facilita su mineralización y pérdida (Muraškienė et al., 2023). El contenido de partículas menores a 50  $\mu\text{m}$  está correlacionado positivamente con la acumulación de carbono orgánico en el perfil del suelo, especialmente en suelos de uso agrícola, lo que sugiere que las partículas finas son clave para retener el carbono orgánico del suelo (Zhang et al., 2022).

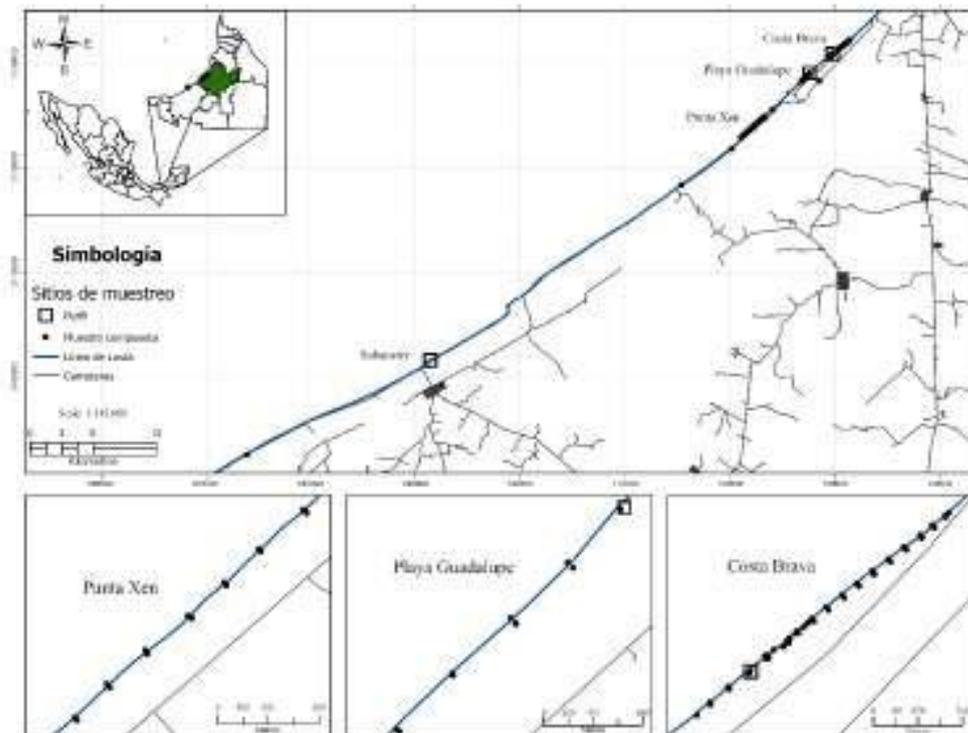
Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la existencia de carbono orgánico del suelo y su distribución en tres tamaños de partículas (1000, 500 y 250  $\mu\text{m}$ ) en suelos Arenosols con tres condiciones de erosión en el litoral del municipio de Champotón, Campeche, México.

## MATERIALES Y METODOS

### Área de estudio

Se ubica entre las coordenadas latitud norte  $19.37^{\circ}$  y  $18.76^{\circ}$  y longitud oeste  $-91.55^{\circ}$  -  $90.70^{\circ}$  y cubre una longitud de 51 km. Abarca los municipios de Champotón y Carmen, Campeche, México

(Figura 1). Los ríos más importantes y cercanos que se encuentran en la zona son: Río Champotón y el Río Candelaria. El clima de la región es cálido-húmedo con tres estaciones diferentes (Agraz Hernández et al., 2015); secas (febrero a abril), lluvias (mayo a octubre), y tormentas de invierno (noviembre a enero). Los períodos de erosión ocurren durante la temporada de lluvias mientras que, en la estación seca, la costa generalmente permanece estable (Rodríguez et al., 2010).



**Figura 1.** Área de estudio. Los puntos negros señalan la ubicación de las parcelas. Los cuadros blancos señalan la ubicación de las calicatas.

El tipo de suelo es Arenosols (con origen calcáreo; IUSS Working Group WRB, 2015). La arena del área de estudio está constituida principalmente por fragmentos de conchas carbonatadas de diferentes tamaños y un alto contenido de fragmentos líticos claros con baja abundancia de cuarzo y feldespato. Este tipo de mineral se deposita mediante escorrentías de diversos ríos que bordean la zona (Castilla et al., 2019).

La vegetación presente es considerada como halófito (Miranda, 1978), ya que se desarrolla en suelos con alto contenido de sales solubles (Espejel, 1992). Se establece sobre las dunas de arena que se desarrollan a lo largo de la línea de costa, originadas a partir del depósito de granos de arena por acción del viento, pueden ser de origen biológico, especialmente calcáreo, producto de la desintegración de los arrecifes de coral y de conchas de moluscos (Espejel, 1992; Moreno-Casasola y otros, 1998; Martínez y otros, 1993). La flora de las dunas costeras de la península es similar a la de la cuenca del Mar Caribe, con algunos elementos propios de Centroamérica y el sur de México (Espejel, 1986; Moreno-Casasola y Espejel, 1986). Las especies más comunes en la zona de pioneras son: *Atriplex canescens*, *Sesuvium portulacastrum*, *Ipomoea pes-caprae*, *Cakile lanceolata*, *Euphorbia buxifolia*, *Canavalia rosea*, *Suriana maritima*, *Tournefortia gnaphalodes*, *Ernodea littoralis*, *Scaevola plumieri*, *Sporobolus virginicus*, *Tribulus cistoides* y *Distichlis spicata*.

#### *Recolección de muestras y análisis de datos*

En el área de estudio identificamos tres secciones con diferente condición de erosión, las cuales son: erosión baja, erosión media y erosión alta. Establecimos 35 transectos de 25 m de longitud entre la línea de marea y la vegetación arbórea, en los cuales se definieron tres posiciones a lo largo del perfil de playa: supramareal, intermareal e inframareal.

a) *Granulometría*. Colectamos 35 muestras compuestas de suelo a una profundidad de 40 cm; las cuales se secaron a la sombra. Posteriormente, se tamizaron 250 gramos de suelo empleando los tamices 1000, 500, 250, 125 y 63  $\mu\text{m}$ , de acuerdo con la escala de Udden (1914) y Wentworth (1922), durante de 30 minutos con una tamizadora vibratoria tipo Ro-Tap Endecotts Minor 200®. Los parámetros granulométricos se obtuvieron a partir del programa GRADISTAT (Blott y Kenneth, 2001; Blott y Pye, 2001). El programa GRADISTAT calcula los parámetros de acuerdo con Folk y Ward (1957). El tamaño

medio de partículas (MZ) representa la distribución promedio del tamaño de partículas de arena y refleja la energía cinética promedio del flujo de arena. La desviación estándar o coeficiente de clasificación ( $\sigma$ ), representa el grado de dispersión de la distribución del tamaño de las partículas de arena. Cuanto menor sea el coeficiente de clasificación, más uniformes serán las partículas. La asimetría (SK) representa el grado de simetría de la curva y refleja la simetría de distribución del tamaño de las partículas de arena. La asimetría de la distribución normal es 0, la asimetría positiva indica más partículas finas y la asimetría negativa indica más partículas gruesas. La curtosis (KG) refleja el grado de concentración del tamaño de las partículas de arena. Cuanto mayor sea la curtosis, mayor será el valor máximo del tamaño de partícula de arena y mayor será el grado de concentración del rango de tamaño promedio de partícula (Xi et al, 2024).

*b) Biomasa aérea y subterránea.* Para estimar la biomasa aérea empleamos un marco de PVC de 1m<sup>2</sup>, el cual se colocó en las porciones supramareal, intermareal e inframareal del perfil de playa de cada uno de los 35 transectos. La vegetación contenida al interior del marco de PVC de 1 m<sup>2</sup> se retiró, pesó y almacenó en bolsas de papel para su posterior secado en la estufa a 60° C durante 72 hrs. Para la estimación de la biomasa subterránea empleamos un núcleo de 20 cm x 20 cm x 40 cm de profundidad, a partir del cual separamos las raíces del suelo. Se obtuvo el peso fresco de la biomasa (aérea y subterránea) en el sitio y posteriormente obtuvimos el peso seco al finalizar el sacado en la estufa durante 72 hrs.

*c) Tipos de raíces.* Las raíces presentes en el suelo se ordenaron de acuerdo con el sistema de clasificación de órganos subterráneos propuesto por Pate y Dixon (1982), consideramos las siguientes categorías: bulbo, corno, tubérculo de raíz, tubérculo de tallo, rizoma, pivotante/raíz principal y fasciculada. Adicionalmente, medimos la longitud (mm) de las raíces.

*d) Densidad aparente.* Para calcular la densidad aparente (Da) de los horizontes de perfiles, se colectaron las muestras con un cilindro de acero inoxidable de 180.96 cc y con la ayuda de un nucleador AMS 5/8" NC Thread, siguiendo la metodología de la USDA (1999). Las muestras se colocaron en una estufa a 105 °C para su secado hasta alcanzar un peso constante, durante 72 horas aproximadamente. Las muestras secas se pesaron en una balanza con precisión de 0.01g. Posteriormente se determinó la densidad

aparente mediante la siguiente fórmula: Densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) = Peso del suelo seco (g) / Volumen del suelo saturado ( $\text{cm}^3$ ).

e) *Existencia de carbono orgánico en el suelo.* Se estimó el contenido de materia orgánica mediante el método de ignición, basado en la pérdida de peso de la muestra calcinada respecto a la muestra original descrito por Campos-García et al. (2011). Las muestras de suelo obtenidas en cada tamiz fueron secadas en un horno eléctrico marca Wisconsin Memmert a  $105\text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas con el fin de retirar la humedad remanente en las muestras y que permanezca solo el agua constitutiva de los elementos de muestra. Transcurrido las 24 horas y con las muestras estables, se enfriaron en un desecador de vidrio, luego se pesaron 5 g de muestra en una balanza analítica marca (VELAB) con una precisión de 0.0001 g, en crisoles de porcelana previamente puestos a peso constante y con eso se obtuvo el peso inicial. Luego se introdujeron en una mufla para calcinación a una temperatura de  $400\text{ }^\circ\text{C}$  durante 2 horas, nuevamente se enfriaron los crisoles en un desecador y posteriormente fueron pesadas y con esto se obtiene el peso final de la muestra. Finalmente, se calculó el porcentaje de materia orgánica por diferencia de pesos antes y después de la incineración empleando la siguiente fórmula: % Materia orgánica = [(Peso muestra seca - Peso calcinado) / (peso muestra seca) \* 100].

El cálculo de la existencia de carbono en el suelo por hectárea ( $\text{COS ha}^{-1}$ ) se realizó de acuerdo con la fórmula propuesta por Penman et al., (2003), se ajustaron los valores de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{COS} = \sum \text{COS}_{\text{horizonte}} = \sum \left( \frac{[\text{COS}] * \text{Dap} * \text{Profundidad} * (1 - \text{frag}) * 10}{10000} \right)_{\text{horizonte}} \quad (1)$$

Dónde: COS = carbono orgánico del suelo, representativo del suelo de arenosol en cuestión, en toneladas de C  $\text{ha}^{-1}$ ;  $\text{COS}_{\text{horizonte}}$  = contenido de carbono orgánico del suelo para un horizonte, en toneladas de C  $\text{ha}^{-1}$ ; [COS] = concentración de carbono orgánico del suelo, obtenida de análisis de laboratorio en  $\text{g kg}^{-1}$ ; Dap = densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); Profundidad = profundidad del horizonte, en metros; frag = volumen porcentual de los fragmentos gruesos/100 (fragmentos de diámetro mayor a 2 mm). Este valor se obtiene restando a la unidad el porcentaje de fragmentos mayores a 2 mm en el suelo.

### *Análisis estadísticos*

Empleamos el análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el contenido porcentual de los granos, parámetros de las partículas, biomasa aérea y subterránea, materia orgánica particulada y carbono orgánico del suelo teniendo como criterios de clasificación el tamaño de la malla (1000, 500 y 250  $\mu\text{m}$ ) y el grado de erosión (bajo, medio, alto) presente en el sitio de estudio. Además, se correlacionaron los valores de materia orgánica con los parámetros del tamaño del grano para ello empleamos el programa PAST 4.17 (Hammer et al., 2001).

## **RESULTADOS**

### *Granulometría*

La composición granulométrica de los suelos en las diferentes condiciones de erosión en el área de estudio se muestra en el cuadro 1. El tamaño de grano dominante fueron las arenas muy gruesas (48.98 - 62.56%), seguido de las arenas gruesas (15.94 - 24.71%) y arenas medias (17.98 - 22.87%), finalmente las arenas finas y muy finas contribuyen en menor medida según el porcentaje de peso de la muestra analizada.

Cuadro 1. Gradación del tamaño de grano en diferentes condiciones de erosión.

<b>Condiciones de erosión</b>	<b>Número de transectos</b>	<b>Contenido porcentual (%) del tamaño del sedimento (<math>\mu\text{m}</math>)</b>				
		Arenas muy finas 63 $\mu\text{m}$	Arenas finas 125 $\mu\text{m}$	Arenas medias 250 $\mu\text{m}$	Arenas gruesas 500 $\mu\text{m}$	Arenas muy gruesas 1000 $\mu\text{m}$
<b>Baja</b>	15	0.23	3.29	17.98	15.94	62.56
<b>Media</b>	10	0.10	2.80	19.40	16.70	61.00
<b>Alta</b>	10	0.08	3.36	22.87	24.71	48.98

### *Parámetros del tamaño de las partículas*

Los sedimentos de la zona de estudio resultaron homogéneos y definidos como arenas gruesas (30 muestras), arenas muy gruesas (3 muestras) y arenas medias (2 muestras) con tamaños medio del grano (Mz) que varían de -0.209 a 1.118  $\phi$  (Apéndice 1). La desviación estándar ( $\sigma$ ) indica una clasificación moderada (28 muestras). La asimetría

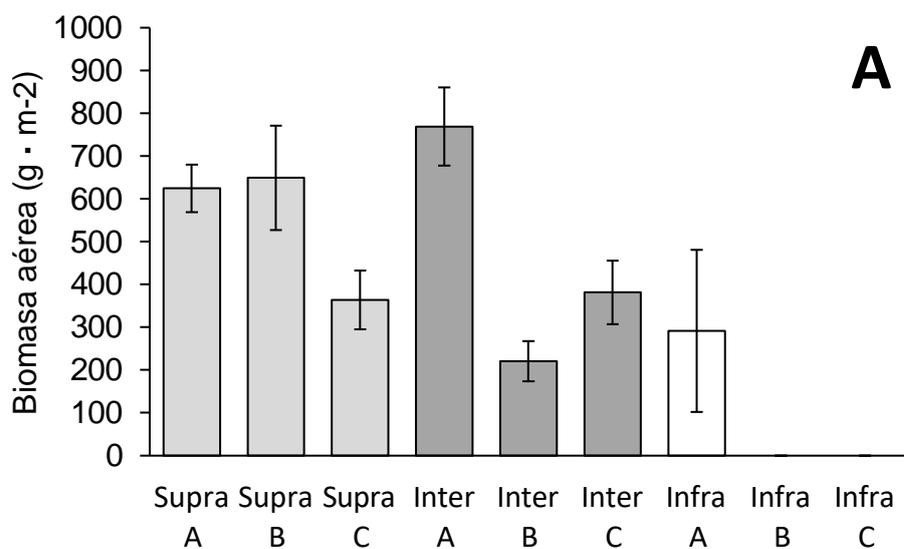
(Sk) predomina la clase muy finamente sesgado (25 muestras). La curtosis ( $K_G$ ) mostró valores diferenciados: Muy platicurtica (12 muestras), platicurtica (9), mesocurtica (7), extremadamente leptocurtica (6) y muy leptocurtica (1). No encontramos diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la comparación de los parámetros del tamaño de las partículas en las tres condiciones del suelo (Cuadro 2).

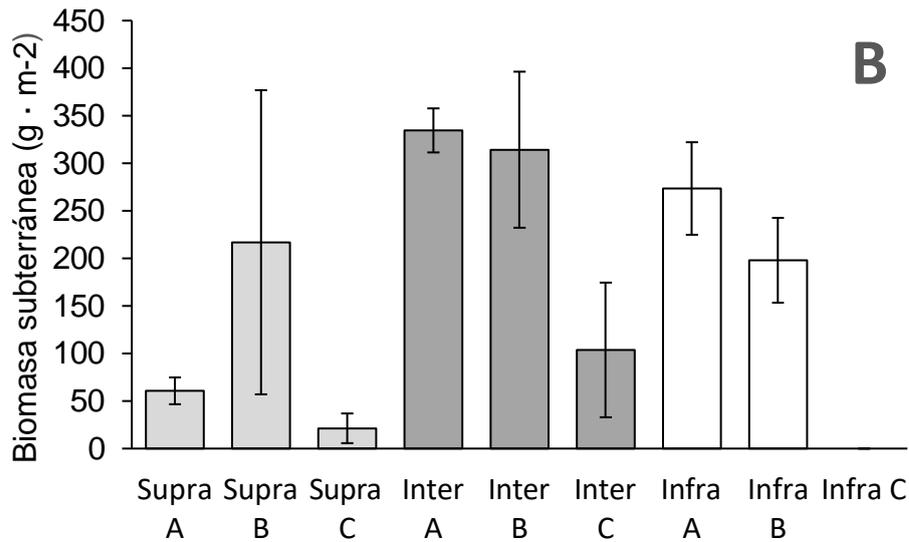
**Cuadro 2.** Principales parámetros del tamaño de las partículas (media  $\pm$  e. e.). Valores basados en el método de Folk y Ward ( $\phi$ ).

	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
<b>Tamaño medio (Mz )</b>	0.36 $\pm$ 0.08	0.43 $\pm$ 0.09	0.55 $\pm$ 0.08
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>	0.77 $\pm$ 0.04	0.81 $\pm$ 0.04	0.84 $\pm$ 0.01
<b>Asimetría (Sk)</b>	0.56 $\pm$ 0.06	0.44 $\pm$ 0.09	0.46 $\pm$ 0.09
<b>Curtosis (<math>K_G</math>)</b>	1.58 $\pm$ 0.29	1.19 $\pm$ 0.33	0.76 $\pm$ 0.06

### *Biomasa aérea y subterránea*

En la estimación de la biomasa aérea y subterránea solo se consideró la contribución de la vegetación rastrera, herbácea y arbustiva. La biomasa aérea se distribuye principalmente en la porción supramareal en los sitios que presentan condiciones de baja y media erosión, contrariamente es baja en la porción inframareal. Encontramos diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en la biomasa del perfil supramareal entre las playas (Figura 2).

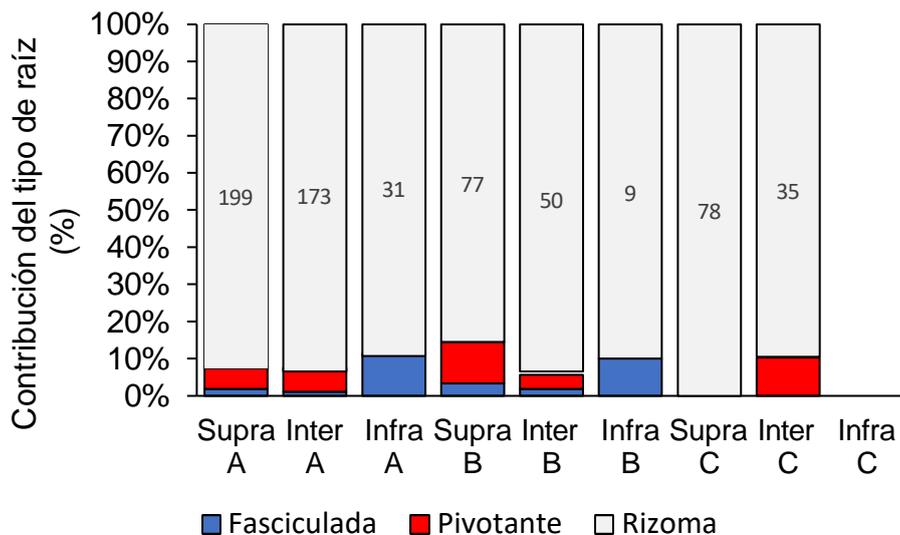




**Figura 2.** Biomasa aérea (a) y subterránea (b) en el perfil de playa (media  $\pm$  e. e.).

### *Tipo de raíces*

La biomasa subterránea se compone de tres tipos de raíces: rizoma (92.22%), pivotante (5.66%) y fasciculada (2.12%). Las raíces de tipo rizoma predominan en las porciones supramareal de las tres condiciones estudiadas ( $\chi^2 = 36.10$ , d. f. = 14,  $p < 0.01$ ). En la zona de baja erosión es notoria la contribución de las raíces tipo rizoma ( $\chi^2 = 12.49$ , d. f. = 4,  $p < 0.05$ ). Mientras que en la porción inframareal de la zona de alta erosión las raíces están ausentes.



**Figura 3.** Contribución de los tipos de raíces a la biomasa subterránea.

### *Densidad aparente*

El valor medio de la densidad aparente del suelo fue 1.43 g cm<sup>-3</sup> (e. e. = 0.02, Cuadro 3). La densidad aparente varía entre 1.30 y 1.60 g cm<sup>-3</sup> y presenta una ligera tendencia a incrementar con la profundidad ( $R^2=0.26$ ,  $p=0.025$ ,  $n=19$ ).

Cuadro 3. Densidad aparente (g cm<sup>3</sup>) en tres calicatas ubicadas en la franja costera

Sabancuy		Villamar		Villamar	
Profundidad (cm)	Dap (g/cm <sup>3</sup> )	Profundidad (cm)	Dap (g/cm <sup>3</sup> )	Profundidad (cm)	Dap (g/cm <sup>3</sup> )
0-7	1.32	0-12	1.30	0-5	1.31
7-19	1.35	12-40	1.39	5-16	1.36
19-29	1.36	40-55	1.48	16-35	1.52
29-38	1.40	55-110	1.45	35-55	1.55
38-55	1.54	110-125	1.37	55-75	1.50
55-74	1.48				
74-86	1.60				
86-100	1.50				
100-105	1.42				

### *Materia orgánica particulada*

Los porcentajes de materia orgánica particulada más bajos se obtuvieron en la malla 1000  $\mu$ m en las muestras obtenidas en los suelos con condiciones de alta erosión. En las playas con baja afectación por la erosión se registraron porcentajes elevados de materia orgánica (Cuadro 4).

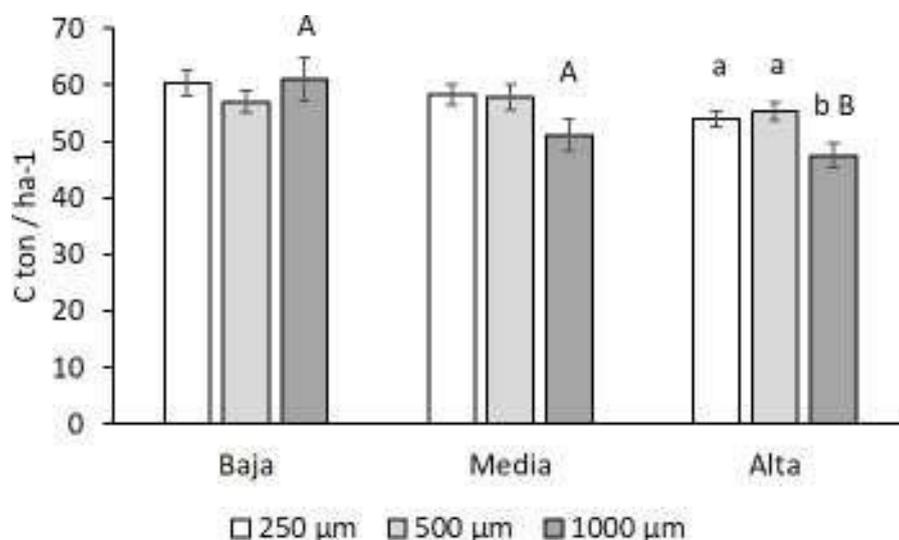
Cuadro 4. Porcentajes de materia orgánica particulada según tamaño de malla (media  $\pm$  e. e.).

	Baja erosión	Media erosión	Alta erosión
1000 $\mu$ m	1.85 $\pm$ 0.12	1.55 $\pm$ 0.08	1.44 $\pm$ 0.06
500 $\mu$ m	1.73 $\pm$ 0.05	1.75 $\pm$ 0.06	1.68 $\pm$ 0.04
250 $\mu$ m	1.83 $\pm$ 0.06	1.76 $\pm$ 0.05	1.64 $\pm$ 0.04

La materia orgánica particulada asociada a los granos capturados en la malla 1000  $\mu\text{m}$  tiende ligeramente a incrementar con el tamaño medio de grano ( $r^2=0.11$ ,  $p = 0.047$ ). La asimetría (Sk) se relacionó positivamente con la materia orgánica particulada asociada con los tres tipos de tamaño de grano. La curtosis y la desviación estándar no se relacionaron entre sí.

### ***Carbono orgánico del suelo***

La existencia de carbono orgánico del suelo se calculó a partir de muestras compuestas obtenidas a 40 cm de profundidad en cada transecto. Encontramos diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico del suelo en la condición de erosión alta ( $F = 5.843$ ,  $p = 0.0077$ ). El contenido de COS en los granos muy gruesos (1000  $\mu\text{m}$ ) difiere significativamente ( $F = 4.674$ ,  $p = 0.0165$ ) y disminuye en las playas con condiciones de erosión elevada. Los granos medios (250  $\mu\text{m}$ ) y granos gruesos (500  $\mu\text{m}$ ) no muestran tendencias ni diferencias significativas entre condiciones de erosión (**Figura 5**).



**Figura 5.** Contenido de carbono orgánico del suelo (media  $\pm$  e. e.) en cada condición de erosión. Arenas medias (250  $\mu\text{m}$ ), arenas gruesas (500  $\mu\text{m}$ ) y arenas muy gruesas (1000  $\mu\text{m}$ ). Letras mayúsculas diferentes señalan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre condiciones de erosión. Letras minúsculas diferentes señalan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tamaño de grano.

## DISCUSION

El estudio realizado permitió evaluar la existencia y distribución del carbono orgánico en suelos arenosos (Arenosols) con tres condiciones de erosión en las playas del municipio de Champotón, Campeche. Los resultados evidencian que las dunas costeras en la zona de estudio presentan una composición granulométrica dominada por arenas muy gruesas, seguidas de arenas gruesas y medias. Esta distribución contrasta con lo observado en otras regiones de México y el Caribe, como en la costa norte de la Península de Yucatán, donde predominan las arenas finas y medias, lo que sugiere diferencias en la dinámica sedimentaria y en los aportes fluviales (Kasper-Zubillaga et al., 2017; Sandoval-Gio et al., 2018). La predominancia de granos gruesos en Champotón podría explicarse por la influencia de sedimentos transportados por los ríos cercanos, como el río Champotón, y por la presencia de fragmentos biogénicos de conchas carbonatadas, lo que sugiere una mayor actividad fluvial en esta área, en comparación con otros sitios costeros más estables.

Una de las principales conclusiones de este trabajo es que la biomasa subterránea, en especial las raíces tipo rizoma, juega un papel fundamental en la retención del suelo y la mitigación de la erosión. En los sitios con baja y media erosión, la presencia de biomasa subterránea es significativamente mayor en comparación con las zonas altamente erosionadas, lo que sugiere una posible relación entre la estabilidad del suelo y la presencia de vegetación. Este hallazgo concuerda con estudios previos (Bryant et al., 2019; De Battisti & Griffin, 2020), que también destacan la función protectora de la vegetación en las dunas costeras frente a los efectos de la erosión. Sin embargo, es importante destacar que, durante eventos extremos como tormentas o huracanes, la vegetación podría no ser suficiente para frenar la erosión, como lo sugiere Feagin et al. (2023).

Otro hallazgo clave del estudio fue la relación entre el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) y el tamaño de las partículas. Los suelos con condiciones de alta erosión mostraron menores contenidos de COS en comparación con los sitios con baja erosión, lo que sugiere que la erosión costera no solo impacta en la pérdida de suelo, sino también en la capacidad de los suelos para almacenar carbono, afectando así el papel de estos ecosistemas como sumideros de carbono. Los resultados muestran que los granos muy

gruesos (1000  $\mu\text{m}$ ) retienen menos carbono orgánico en suelos con erosión elevada, lo que puede estar relacionado con la menor capacidad de estas partículas grandes para proteger la materia orgánica frente a la mineralización y pérdida (Muraškienė et al., 2023). Este aspecto es crucial, ya que la capacidad de retención de carbono orgánico en suelos arenosos es un indicador clave de la salud de los ecosistemas costeros y de su capacidad para mitigar los efectos del cambio climático.

Además, el estudio confirma la correlación entre el tamaño del grano y la distribución del carbono orgánico, siendo más notable en los granos capturados en la malla de 1000  $\mu\text{m}$ . Esta relación positiva podría estar influenciada por el dinamismo del flujo de sedimentos y la distribución de la biomasa en las diferentes zonas de erosión. Sin embargo, los granos más finos (250  $\mu\text{m}$  y 500  $\mu\text{m}$ ) no presentaron diferencias significativas en términos de carbono orgánico, lo que sugiere que, en ambientes costeros con alta energía, como las playas estudiadas, el tamaño de partícula no siempre es un predictor lineal de la capacidad de retención de carbono orgánico.

Finalmente, los resultados obtenidos destacan la necesidad de proteger y restaurar los ecosistemas de dunas costeras, ya que actúan como barreras naturales frente a la erosión y tienen un importante rol en la retención de carbono. La creciente presión antrópica y los impactos del cambio climático, como el aumento del nivel del mar y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, agravan la erosión en estas áreas, lo que pone en riesgo no solo la biodiversidad, sino también los servicios ecosistémicos que ofrecen, como la recarga de acuíferos y la protección de la costa frente a tormentas e inundaciones (Martínez et al., 2004; Seingier et al., 2009).

## **CONCLUSIONES**

El estudio destaca la importancia de la vegetación y la biomasa subterránea en la mitigación de la erosión costera, especialmente en suelos arenosos. La mayor presencia de carbono orgánico en suelos menos erosionados subraya la relevancia de conservar y restaurar estos ecosistemas para garantizar su capacidad de almacenamiento de carbono y su función protectora frente a eventos climáticos extremos. La investigación resalta que, en áreas con alta erosión, el contenido de carbono orgánico disminuye significativamente,

lo que puede tener consecuencias negativas tanto para la biodiversidad como para los servicios ambientales que proveen las dunas costeras.

## REFERENCIAS

- Agraz Hernández, C. M., Chan Keb, C. A., Iriarte-Vivar, S., Posada Venegas, G., Vega Serratos, B., & Osti Sáenz, J. (2015). Variación fenológica de *Rhizophora mangle* y química del agua intersticial asociada a cambios de la precipitación. *Hidrobiologica*, 25(1), 49–61.
- Alcamo, J. (2003). *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Island Press.
- Alcérreca-Huerta, J.C.; Cruz-Ramírez, C.J.; de Almeida, L.R.; Chávez, V.; Silva, R. 2022. Interconnections between Coastal Sediments, Hydrodynamics, and Ecosystem Profiles on the Mexican Caribbean Coast. *Land*, 11, 524. <https://doi.org/10.3390/land11040524>
- Aldana, P. G., Camperos, A. R., Orta, L. G., León, S. C., & León, A. J. (2009). Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. *Avances en recursos hidráulicos*, 20, 41–55.
- Blott, S. J. & K. Pye. 2001. Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 1237–1248. DOI: 10.1002/esp.26.
- Bryant, D. B., Bryant, M. A., Sharp, J. A., Bell, G. L., & Moore, C. (2019). The response of vegetated dunes to wave attack. *Coastal Engineering*, 152, 103506.
- Campos-García S., Canedo-López Y., Elvira-Antonio N., Herrera-Navarrete J., Pérez-Reda L. J., Reyes-García Z., Ruíz-Marín A., Sabido Pérez M. Y., Zavala-Loría J. C. (2011). Estudio de materia orgánica y nutrientes de suelos contaminados con hidrocarburos a tratamientos diferentes. *Tecnociencia*, 5, 48-55.
- Carranza-Edwards, A, Márquez-García, Antonio Zoilo, Tapia-Gonzalez, Citlalli Itzel, Rosales-Hoz, Leticia, & Alatorre-Mendieta, Miguel Ángel. (2015). Cambios morfológicos y sedimentológicos en playas del sur del Golfo de México y del Caribe noroeste. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(1), 21-43.
- Castilla, A. K., Mendoza, E., Posada, G., & Silva, R. (2019). Design of hybrid ecosystem based strategies for the control of erosion at Sabancuy beach, Campeche, Mexico. *Journal of Coastal Research*, 92(SI), 85–91.

- Cervantes, O., López-Urban, U. M., Cortina-Segovia, S., Ventura-Díaz, Y., & Quiroz-Villanueva, E. (2020). Las dunas costeras y ZOFEMAT: Un vínculo necesario para fortalecer la gestión de las costas. *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Una Guía para Tomadores de Decisiones*, 331–334.
- Contreras López, I. G., Alcántara Méndez, V., & García Saldaña, A. (2022). Las variaciones en perfiles de playa estacionales de la línea de costa en Las Barrancas, Alvarado-Veracruz. *Investigación Y Ciencia Aplicada a La Ingeniería*, 5(32), 121–127.
- Davide De Battisti, John N Griffin, 2020. Below-ground biomass of plants, with a key contribution of buried shoots, increases foredune resistance to wave swash, *Annals of Botany*, 125,(2): 23, 325–334, <https://doi.org/10.1093/aob/mcz125>
- Espejel, I. 1986. Vegetación de las dunas costeras de la Península de Yucatán. II. Reserva de la biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *Biótica* 11(1): 7-14.
- Espejel, I. (1992). Coastal sand dune communities and soil relationships in Yucatán Peninsula, Mexico. En U. Seeliger (Ed.), *Coastal Plant Communities of Latin American* (pp. 323–334). San Diego, California: Academic Press, Inc
- Feagin, R. A., Furman, M., Salgado, K., Martinez, M. L., Innocenti, R. A., Eubanks, K., ... & Silva, R. (2019). The role of beach and sand dune vegetation in mediating wave run up erosion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.01.018>
- Folk, R. L. & W. C. Ward. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27:3-26.
- Hammer, Ø., D. Harper, and P. Ryan. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electr.* 4: 9.
- Itzamna Z. Flores-Ocampo, John S. Armstrong-Altrin, 2023, Abundance and composition of microplastics in Tampico beach sediments, Tamaulipas State, southern Gulf of Mexico, *Marine Pollution Bulletin*, 191, 114891, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114891>.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Arellano-Torres, E., Armstrong-Altrin, J.S. & A.N. Sial (2017). A study of carbonate beach sands from the Yucatan Peninsula, Mexico: a case study. *Carbonates Evaporites* 32, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13146-015-0283-0>
- Kasper-Zubillaga, J. J., & Carranza-Edwards, A. (2005). Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(3), 383-390.

- López Rosas, H., Moreno-Casasola, P., Infante-Mata, D., Jiménez-Orocio, R., Martínez, M.L., M. L., Rodríguez-Revelo, V., E., Espejel González, & Monroy. R. (2014). Diagnóstico de las dunas costeras de México. Comisión Nacional Forestal.
- Friedman, G. M. & J. E. Sanders. 1978. Principles of sedimentology. Wiley. Nueva York. 792 p. DOI: 10.1002/esp.3290040317
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P. y Castillo, S. (1993). Biodiversidad costera: playas y dunas. En S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (Eds.), Biodiversidad marina y costera de México (pp. 160–181). México, D.F.: Conabio-CIQRO.
- Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., & Vásquez, V. M. (2004). Facilitative interactions on coastal dunes in response to seasonal weather fluctuations and benefactor size. *Écoscience*, 11(4), 390–398. <https://doi.org/10.1080/11956860.2004.11682847>
- [Miranda F. 1978. Vegetación de la Península Yucateca. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 271 p.](#)
- Moreno-Casasola, P. & I. Espejel. 1986. Classification and ordination of coastal sand dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio* 66(3): 147–182. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00039908>
- Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Castillo, S., Castillo-Campos, G., Durán, R., Pérez-Navarro, J. J., et al. (1998). Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. En G. Halffter (Ed.), *La diversidad biológica de Iberoamérica* (pp. 177–258). México, D.F.: Instituto de Ecología, A.C.
- Muraškienė, M., Armolaitis, K., Varnagirytė-Kabašinskienė, I., Baliuckas, V., & Aleinikovienė, J. (2023). Evaluation of Soil Organic Carbon Stability in Different Land Uses in Lithuania. *Sustainability*, 15(22), 16042.
- Murray-Núñez, R. M., González, O. N., Benítez, M. G. O., & Serrano, J. I. B. (2015). Cambios en carbono orgánico en suelos cambisoles, solonetz y arenosoles/Changes in organic carbon in cambisols, solonetz and arenosols soils. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(8), 22–40.
- Pate, J. S., and K. W. Dixon. 1982. Tuberos, cormous and bulbous plants. Biology of an adaptive strategy in Western Australia. University of Western Australia Press, Nedlands, Western Australia, Australia
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2003). Good practice guidance for land use,

land-use change and forestry. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.

- Pérez, M. O., & Linares, A. M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar y sus implicaciones en las costas bajas del Golfo de México y Mar Caribe. *El Manejo Costero en México*, Centro EPOMEX - Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México, 307–320.
- Ramírez-Chávez, E. J. (2010). Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológica de la franja Tijuana-Ensenada [PhD Thesis]. Tesis de Grado. Colegio de la Frontera Norte/Centro de Investigación
- Rodríguez, V. T., García, A. M., Crevenna, A. B., Hernández, J. C., Díaz, G. E., & García, E. M. (2010). Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debidos a efectos del cambio climático. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, 325–344.
- Sandoval-Gío, J. J., Zamora-Bustillos, R., Avilés-Ramírez, G. A., Ortiz-León, H. J., & Rosas-Correa, C. O. (2018). First report of a spawning site of *Limulus polyphemus* at Ría Lagartos Biosphere Reserve, Yucatan, Mexico. Primer reporte de un sitio de desove de *Limulus polyphemus* en la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos, Yucatán, México. *Revista Bio Ciencias*, 5(1), 1-8.
- Santana-Cordero, A. M., Monteiro-Quintana, M. L., & Hernández-Calvento, L. (2016). Reconstruction of the land uses that led to the termination of an arid coastal dune system: The case of the Guanarteme dune system (Canary Islands, Spain), 1834–2012. *Land Use Policy*, 55, 73–85.
- Seingier, G., Espejel, I., & Almada, J. L. F. (2009). Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Investigación ambiental*, 1(1), 54–69.
- Starr, G. C., Lal, R., Malone, R., Hothem, D., Owens, L., & Kimble, J. (2000). Modeling soil carbon transported by water erosion processes. *Land Degradation & Development*, 11(1), 83–91. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(200001/02\)11:1<83::AID-LDR370>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(200001/02)11:1<83::AID-LDR370>3.0.CO;2-W)
- Udden JA. 1914. Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America* 25: 655–744.
- Wentworth CK. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 30: 377–392.

- Xi C, Zuo H, Yan M and Yan Y (2024) Grain size characteristics of different types of surface sediments around Qixing Lake in Kubuqi Desert. *Front. Environ. Sci.* 12:1409260. doi: 10.3389/fenvs.2024.1409260
- Zhang, Y., Li, P., Liu, X., Xiao, L., Li, T., & Wang, D. (2022). The response of soil organic carbon to climate and soil texture in China. *Frontiers of Earth Science*, 16(4), 835–845. <https://doi.org/10.1007/s11707-021-0940-7>

**Apéndice 1.** Parámetros granulométricos de las muestras. Arenas gruesas (AG), Arenas medias (AM), Arenas muy gruesas (AMG). Clasificación: Bien clasificado (BC), Muy bien clasificado (MBC), Moderadamente clasificado (MC). Sesgo: Finamente sesgado (FS), Muy finamente sesgado (MFS), Simétrico (S). Curtosis: Extremadamente leptocurtica (EL), Mesocurtica (M), Muy leptocurtica (ML), Muy platicurtica (MP), Platicurtica (P).

Muestra	Folk y Ward ( $\phi$ )				Folk y Ward (Descripción)			
	Tamaño medio	Clasificación	Sesgo	Curtosis	Tamaño medio	Clasificación	Sesgo	Curtosis
1	0.401	0.847	0.680	0.850	AG	MC	MFS	M
2	0.377	0.856	0.731	0.869	AG	MC	MFS	P
3	0.379	0.865	0.741	0.876	AG	MC	MFS	P
4	0.085	0.664	0.713	3.201	AG	MBC	MFS	EL
5	0.331	0.844	0.764	3.046	AG	MC	MFS	EL
6	0.458	0.892	0.687	0.552	AG	MC	MFS	MP
7	0.346	0.858	0.760	1.070	AG	MC	MFS	M
8	-0.205	0.437	0.388	3.309	AMG	BC	MFS	EL
9	0.800	0.969	0.070	0.64	AG	MC	S	MP
10	0.455	0.896	0.703	0.525	AG	MC	MFS	MP
11	-0.200	0.432	0.384	3.182	AMG	BC	MFS	EL
12	1.080	0.750	0.301	1.053	AM	MC	MFS	M
13	0.107	0.664	0.702	2.965	AG	MBC	MFS	ML
14	0.337	0.840	0.746	0.990	AG	MC	MFS	M
15	0.644	0.871	0.168	0.557	AG	MC	FS	MP
16	0.358	0.845	0.741	0.909	AG	MC	MFS	M
17	0.695	0.868	0.087	0.558	AG	MC	S	MP
18	0.625	0.865	0.177	0.823	AG	MC	FS	P
19	0.669	0.883	0.158	0.533	AG	MC	FS	MP
20	0.461	0.889	0.685	0.532	AG	MC	MFS	MP
21	-0.209	0.439	0.390	3.380	AMG	BC	MFS	EL
22	0.453	0.886	0.688	0.540	AG	MC	MFS	MP
23	0.370	0.866	0.751	0.931	AG	MC	MFS	M
24	0.829	0.966	0.095	0.713	AG	MC	S	P
25	0.073	0.639	0.697	3.027	AG	MBC	MFS	EL
26	0.445	0.883	0.688	0.563	AG	MC	MFS	MP
27	1.118	0.791	0.245	1.060	AM	MC	FS	M
28	0.690	0.868	0.094	0.558	AG	MC	S	MP
29	0.429	0.860	0.676	0.792	AG	MC	MFS	P

30	0.751	0.875	0.042	0.563	AG	MC	S	MP
31	0.648	0.850	0.113	0.816	AG	MC	FS	P
32	0.447	0.878	0.683	0.546	AG	MC	MFS	MP
33	0.416	0.861	0.691	0.816	AG	MC	MFS	P
34	0.148	0.693	0.698	1.023	AG	MBC	MFS	M
35	0.386	0.867	0.735	0.861	AG	MC	MFS	P

## **5. Conclusión**

El análisis bibliométrico realizado en esta tesis reveló la investigación sobre las dunas en la franja costera del golfo de México se encuentra con literatura limitada, esto demostró la necesidad de la conservación y estudio continuo en este ecosistema vulnerable. Sin embargo, aún quedan grandes vacíos que requieren atención como la sostenibilidad y los impactos del cambio climático. Con estudios que contribuyan a la comprensión y la fragilidad de las dunas, aseguramos la sustentabilidad de las especies que dependen de ellas y de las comunidades que habitan en su entorno.

Cabe mencionar que la distribución del carbono orgánico en Arenosoles, influenciada por las condiciones de erosión del litoral de Campeche, revela la complejidad y la necesidad de comprender los factores que afectan estos ecosistemas. A lo largo de esta investigación, se ha evidenciado cómo el tamaño de las partículas influye en la retención y disponibilidad de carbono, comprometiendo la salud del suelo y su biodiversidad. Es necesario que se continúe explorando y entendiendo estas dinámicas para la efectiva restauración del mismo.

Finalmente, esta contribución de estudio costero aporta información valiosa para la conservación y entendimiento de nuestras dunas costeras, la protección de los Arenosoles no solo preserva la biodiversidad local, sino que también contribuye a la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero que es una problemática mundial.

## 6. Anexos. Evidencia de envío a la Revista

### Acuse de recibo de envío

Eliel Caamal Luna:

Gracias por enviar el manuscrito "Análisis bibliométrico sobre dunas en la franja costera del golfo de México: Estado actual, desarrollo y perspectivas" a Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito: <https://era.ujat.mx/index.php/rera/authorDashboard/submission/4375>  
Nombre de usuario/a: eliel-caamal-luna2734

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. Efraín de la Cruz Lázaro  
Editor Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios  
Emerging Sources Citation Index (Web of Science)  
Sistema de Clasificación de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología

---

Ecosistemas y Recursos Agropecuarios <http://era.ujat.mx>

← Responder

→ Reenviar



25°C Parc. nublado



21:40

14/10/2024

