

Calderón-Alvarado, E., Uribe-Martínez, A., Ayala-Pérez, L.A., Cuevas, E. 2023. Interacciones potenciales entre embarcaciones menores y zonas de agregación de tortugas marinas en Isla Arena, Campeche. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 5(1): 25-40. doi 10.26359/52462.0223



# Interacciones potenciales entre embarcaciones menores y zonas de agregación de tortugas marinas en Isla Arena, Campeche

## Potential interactions between small boats and marine turtle aggregation zones in Isla Arena, Campeche

*Eduardo Calderón-Alvarado<sup>1</sup>, Abigail Uribe-Martínez<sup>2</sup>, Luis Amado Ayala-Pérez<sup>3</sup>, y Eduardo Cuevas<sup>4,5</sup>*

<sup>1,5</sup>Maestría en Ecología Aplicada. Universidad Autónoma Metropolitana

<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Sisal, Yucatán, México.

<sup>3</sup>Laboratorio de Ecología Aplicada. Departamento El Hombre y su Ambiente. Universidad Autónoma Metropolitana

<sup>4</sup>Universidad Autónoma del Carmen", Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CDMX,

<sup>5</sup>Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California

\* autor de correspondencia: caldeduardo@77gmail.com

---

doi 10.26359/52462.0223

Recibido 15/marzo/2023. Aceptado 7/julio/2023

*JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático*

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.

---



## Resumen

En el golfo de México se distribuyen cinco de las siete especies de tortugas marinas que habitan a nivel mundial, las cuales llevan a cabo etapas esenciales de su ciclo de vida. Los hábitats de las tortugas marinas están sujetos a diversas amenazas entre las que destacan la pesca incidental y el tráfico de embarcaciones. El objetivo de esta investigación fue identificar en la porción marina de Isla Arena, Campeche, sitios de uso de espacio en sus etapas de alimentación, interanidación y migración, así como zonas potenciales de interacción con embarcaciones menores distribuidas en el área de estudio. Para ello, se emplearon rastreos satelitales de tortugas marinas hembras post anidantes: 1 individuo de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), cuatro de tortuga lora (*Lepidochelys kempii*) y 7 de tortuga verde (*Chelonia mydas*) con los cuales se estimó el ámbito hogareño, y mediante una rejilla del área de estudio compuesta por 170 hexágonos de 21 km<sup>2</sup> de área, se calculó la intensidad de uso de espacio para cada etapa del ciclo de vida. Con esta información y con la cuantificación de embarcaciones identificadas en la zona marina de Isla Arena de enero de 2017 a diciembre de 2019 mediante imágenes satelitales Sentinel-2, se identificaron las zonas de mayor interacción en tres temporadas distintas. Como resultado se obtuvo que los sitios de mayor uso de espacio en la etapa de alimentación son el sur y norte de Isla Arena, mientras que para la interanidación se presentó mayor uso en la línea paralela a la costa; para la migración la mayor parte del área de estudio tiene un uso que va de mayor a regular. En lo que respecta a la interacción potencial con embarcaciones, la que mayor interacción se observó durante la alimentación en la temporada 1 (enero a abril) al norte y sur de Isla Arena, mientras que el oeste y norte representan las zonas de mayor interacción para la migración durante la temporada 3 (septiembre a diciembre), y la temporada 2 (mayo a agosto) para interanidación. Los resultados de esta investigación resaltan que la cantidad de embarcaciones menores representa un estresor más para las zonas de agregación importantes para poblaciones de tortugas marinas.

**Palabras clave:** tortugas, interacción, embarcaciones, rastreo, marino.

## Abstract

Within the Gulf of Mexico, five of the seven species of sea turtles are distributed and carry out essential stages of their life cycle. The marine habitats of sea turtles are subject to various threats, including bycatch and boat traffic. The aim of this study was to identify, in the marine portion of Isla Arena, Campeche, sites of use of space for its feeding, internesting, and migration stages, as well as potential zones of interaction with small vessels distributed in the study area. For this, satellite tracking of three species of post-nesting female sea turtles: 1 hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*), 4 Kemp's ridley turtle (*Lepidochelys kempii*), and 7 green turtle (*Chelonia mydas*), with which the home range was estimated, and through a grid of the study area made up of 170 hexagons of 21 km<sup>2</sup> area, the sites of the intensity of space use were estimated for each life stage. With this information and the quantification of vessels identified in the marine area of Isla Arena from January 2017 to December 2019 through Sentinel-2 satellite images, the areas of greatest interaction in three different seasons were identified. As a result, the sites with the highest use of space in the feeding stage are the south and north of Isla Arena, while for internesting the line parallel to the coast is where the highest use occurred; for migration, most of the study area has a use that goes from high to regular. Regarding the potential interaction with boats, feeding season one (January to April) was the one that presented the greatest interaction in the north and south of Isla Arena, while the west and north represent the areas of highest interaction for migration during season three (September to December), and season two (May to August) for internesting. The results of this research highlight that number of small boats activity represents another important stressor for important aggregation zones for sea turtle populations.

**Keywords:** Turtles, interaction, vessels, track, marine.



## Introducción

En el golfo de México y Mar Caribe se distribuyen algunas de las poblaciones más importantes a nivel mundial de las especies de tortuga, como son Carey (*Eretmochelys imbricata*), Lora (*Lepidochelys kempii*), Verde (*Chelonia mydas*) y Caguama (*Caretta caretta*), además de individuos de tortuga Laúd (*Dermochelys coriácea*) (Gaona y Barragán, 2016; Uribe-Martínez *et al.*, 2017). Ambos ecosistemas representan un área importante para la distribución de tortugas marinas, ya que realizan diferentes actividades esenciales de su ciclo de vida como lo es la anidación, crecimiento, alimentación y reproducción (Lamont *et al.*, 2015). Las tortugas post-anidantes se congregan en áreas comunes de alimentación tanto en el norte como en el sur del golfo de México, incluso compartiéndola con poblaciones de tortugas de otras latitudes como Islas Caimán, Colombia, Costa Rica y Cuba (Eckert *et al.*, 2020). A lo largo de su ciclo de vida, las poblaciones de tortugas marinas se enfrentan a diversos estresores que pueden comprometer su integridad biológica (Lovich *et al.*, 2018). En sus hábitats marinos, estas especies están sometidas a amenazas como derrames de hidrocarburos, tránsito de embarcaciones, impactos sobre sus hábitats de alimentación por el aumento en el nivel del mar, incremento de la temperatura superficial, por mencionar algunas (Liceaga-Correa *et al.*, 2020), por lo tanto es de suma importancia identificar hábitats críticos de tortugas marinas y las posibles amenazas a las que están sujetas, tanto en sus ecosistemas marinos como terrestres (Cuevas *et al.*, 2019; Liceaga-Correa *et al.*, 2022; Uribe-Martínez *et al.*, 2021).

Actividades como la pesca coincide en áreas con aguas cálidas donde especies de interés comercial y tortugas marinas convergen (Braun-McNeill *et al.*, 2008; Hsiang-Wen, 2015), provocando pesca incidental de individuos de tortugas marinas por diferentes artes de pesca, principalmente en zonas costeras por el empleo de palangre y redes de arrastre (Epperly, 2002; Guzmán-Hernández *et al.*, 2014). Un ejemplo de esto se registró en el trabajo de Cuevas *et al.*, 2018, quienes identificaron y cuantificaron áreas donde la pesca artesanal en la península de Yucatán está espacialmente asociada a hábitats de tortugas marinas. Así mismo, Liceaga-Correa *et al.* (2022) evaluaron las zonas sensibles para las tortugas marinas y sus impactos potenciales asociados, mostrando que el oeste, norte y noreste de la península de Yucatán son las más sensibles para las diferentes etapas del ciclo de vida de tortuga verde (*Chelonia mydas*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) tortuga lora (*Lepidochelys kempii*) y tortuga caguama (*Caretta caretta*).

Con ese contexto, el objetivo de este estudio fue identificar las zonas potenciales de interacción entre las embarcaciones menores y las zonas de agregación de tortugas marinas en la porción marina de Isla Arena. Con ello, se buscó contribuir al conocimiento sobre la distribución de estos organismos marinos en el sur del golfo de México, así como complementar información sobre el posible riesgo que representan ciertas actividades en el hábitat de las tortugas marinas.



## Método

### Área de estudio y colocación de transmisores

La zona marina de Isla Arena (figura 1) se encuentra establecida al interior de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, en una península no mayor a 2 kilómetros de largo y 150 metros de ancho formando un estero (Galeana, 2014) y se delimita entre los 20°35'59"N y 90°56'56"W. De acuerdo con Cuevas *et al.* (2022) es uno de los principales sitios de importancia de agregación de tortugas marinas en la región sur del golfo de México. Una de las principales actividades económicas de los pobladores locales de esta zona es la pesca artesanal, seguido del comercio y donde actualmente el turismo avanza para consolidarse como la segunda actividad económica local (Hernández-Félix *et al.*, 2017; INEGI, 2016).

Para este estudio se emplearon rastreos satelitales de hembras adultas post anidantes: 1 individuo de tortuga carey, 4 tortugas lora y 7 tortugas verde

(tabla 1), obtenidos del 2007 al 2017, y donde se tiene evidencia de que estas especies utilizan Isla Arena en alguna etapa de su ciclo de vida (Cuevas *et al.*, 2018). Dichas bases de datos fueron construidas con el apoyo de diferentes fuentes de financiamiento nacional e internacional (Ver sección de Agradecimientos para más detalles), mediante transmisores de las marcas Wildlife, Telonics y Sir-track.

Los transmisores fueron colocados a 10 de ellas en sus playas de anidación en Tamaulipas y la península de Yucatán, mientras que las dos tortugas restantes fueron capturadas en la zona marina en sus sitios de residencia y alimentación. Estos transmisores utilizan un sistema de encendido y apagado conocido como interruptor de agua salada (Salt Water Switch), el cual consta de dos terminales (tornillos) expuestos en el transmisor, controlando el encendido y apagado de la terminal para definir cuando el transmisor se encuentra fuera del agua

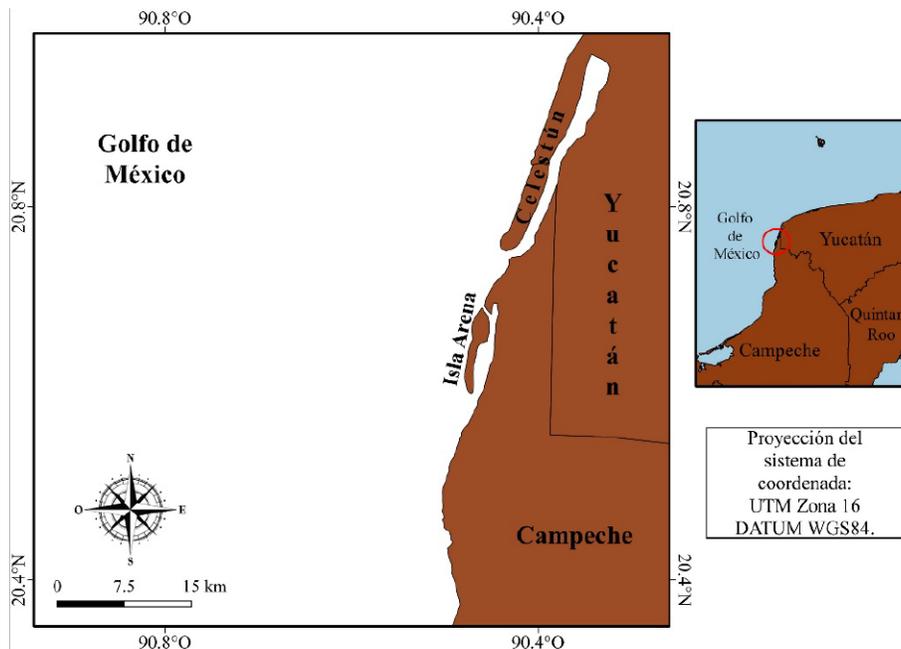


Figura 1. Demarcación del área de estudio en Isla Arena, Campeche.



**Tabla 1.** Datos individuales de cada rastreo.

Nombre de la tortuga	Especie	Ruta	Tiempo total de rastreo
Adriana	<i>Chelonia mydas</i>	Yucatán - Campeche	25/07/2013 - 18/09/2013
Gertrudis	<i>Chelonia mydas</i>	Yucatán - Campeche	19/06/2011 - 10/01/2012
Marina	<i>Chelonia mydas</i>	Cayo Arcas -Campeche	11/08/2011 - 15/10/2011
Nacha	<i>Chelonia mydas</i>	Arrecife Alacranes -oeste de Yucatán	9/07/2011 - 9/10/2011
Sofía	<i>Chelonia mydas</i>	Yucatán - Campeche	04/08/2013 - 21/09/2013
Vicky	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Campeche - Noroeste de Yucatán	15/07/2007 - 22/02/2008
176010	<i>Chelonia mydas</i>	Norte de Campeche - Veracruz	31/01/2019 - 19/06/2019
Tortuga 1	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Quintana Roo.	18/07/2016 - 11/04/2018
176011	<i>Chelonia mydas</i>	Campeche-Yucatán	17/02/2019 - 14/03/2019
158068	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Quintana Roo	31/05/2016 – 11/05/2017
158070	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas -Quintana Roo	23/06/2016 – 24/01/2017
158080	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Yucatán	21/07/2016 – 28/12/2016

(es decir, cuando el individuo está en la superficie del mar), que es cuando comienza a transmitir los datos de ubicación del individuo vía satelital. El derrotero de cada tortuga fue sometido a un proceso de depuración para trazar la ruta migratoria y clasificar cada conjunto de puntos en tres etapas: alimentación, migración e interanidación (tabla 2); considerando la amplitud del ángulo que forman los puntos entre sí durante el trayecto, la velocidad con la que se desplazaron de un punto a otro, y el tiempo que permanecen en el sitio, es decir, se reconoce que las tortugas marinas permanecen el mayor tiempo en sus sitios de alimentación y sólo migran cuando es su época reproductiva (Uribe-Martínez *et al.*, 2021; Iverson *et al.*, 2020).

### Ámbito hogareño e intensidad de uso de espacio

Para las etapas de alimentación e interanidación, utilizando el programa estadístico R Studio (R Studio Team, 2018) con el paquete *adehabitatHR* (Calenge, 2006), se determinó el ámbito hogareño, ( $AH_i$ ), i) mediante el método probabilístico no paramétrico Kernel (Worthington, 1989), el cual analiza la distribución de un organismo con base en la distribución de sus puntos (Hooge, 2001), y se generan isolíneas de un valor  $KUD$  definido, que en este caso fue del 50 % y 75 %

Con la información del ámbito hogareño, se calculó la intensidad de uso del espacio (IUE) mediante la representación en una rejilla del área de

**Tabla 2.** Categorización de etapas que realiza una tortuga marina en un rastreo satelital.

Etapas	Características	Abreviatura
Alimentación/residencia	Movimientos espacialmente restringidos después de la migración.	ALM
Interanidación	Áreas donde los movimientos son espacialmente restringidos cercanos a sus playas de anidación.	IA
Migración	Movimiento dirigido, desplazamientos largos.	MIG



Calderón-Alvarado *et al.*

estudio compuesta de 170 hexágonos de 5 km<sup>2</sup> de diámetro cada uno, con un área de 21 km<sup>2</sup>, la cual fue empleada para estimar la extensión del área utilizada en cada etapa. La decisión de utilizar hexágonos se debe a que son convenientes para representar conectividad y zonas de residencia y que pueden ajustarse para evaluar espacialmente grandes áreas, así como combinaciones de fuentes de datos de resolución múltiple (Birch *et al.*, 2007)

Este cálculo se realizó de acuerdo con lo propuesto por Cuevas *et al.* (2018) por medio de la siguiente ecuación:

$$IUE_{etapa} = \sum_{i=1}^n (AH_i)$$

donde *n* es el número total de individuos y *AH<sub>i</sub>* es el área que ocupa cada ámbito hogareño por cada individuo *i* en un hexágono dado. Los valores obtenidos para todos los hexágonos se clasificaron con el algoritmo de Jenks (North, 2009) para maximizar las diferencias entre rangos de clases y obtener cuatro niveles uso: 1) mayor, 2) regular, 3) menor y 4) sin uso (tabla 3).

### Cuantificación de embarcaciones e identificación de zonas de interacción potencial

Para cuantificar la concentración de embarcaciones en la zona marina de Isla Arena, se realizó un análisis visual de imágenes satelitales Sentinel-2 de la misión Copernicus, las cuales tiene una resolución de 10 m y una órbita polar que pasa por la zona de estudio cada 15 días, correspondientes a enero del 2017 y hasta diciembre del 2019 obtenidas del portal Earth Explorer del Servicio Geológico de

los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) (USGS, 2020).

Se emplearon 144 imágenes satelitales las cuales fueron agrupadas en tres temporadas, de cuatro meses cada una, además de un análisis anual. Estas temporadas se definieron de acuerdo con Cuevas *et al.* (2018), que consideran la dinámica de embarcaciones por el esfuerzo pesquero en una división anual de tres a cuatro meses: temporada 1 de enero a abril; temporada 2 de mayo a agosto; y temporada 3 de septiembre a diciembre. Estas temporadas se establecieron de esta manera ya que obedecen a la temporada en la que se utilizan diferentes artes de pesca, no obedece a las temporadas climáticas porque las pesquerías no necesariamente se rigen por las temporadas climáticas.

Del conjunto de imágenes obtenidas, sólo se exportaron las bandas 2 (azul), 3 (verde) y 4 (roja), al programa QGIS (Qgis, 2015) donde se realizó una búsqueda exhaustiva de embarcaciones menores, y para cada temporada se creó un archivo vectorial del tipo Esri shapefile, agrupando el número total de embarcaciones encontradas. Los datos de tipo punto generados en estos archivos vectoriales se incorporaron para el cálculo de concentración de puntos en una rejilla hexagonal de 5km de diámetro cada unidad.

Con la información de la concentración de embarcaciones por temporada, en conjunto con los valores de la intensidad de uso de espacio, se cuantificó la interacción potencial en el área de estudio mediante la siguiente ecuación:

$$IP_{temp} = (IUE_{etapa} * Emb_{temp})$$

**Tabla 3.** Rangos de clases de niveles de uso.

Niveles de uso	Mayor	Regular	Menor	Sin uso
Intensidad de uso de espacio	1-0.6	0.6-0.3	0.3-0.1	0.1-0
Interacción potencial	0.5-0.3	0.3-0.1	0.1-0.05	0.05-0



donde  $IP_{temp}$  es la interacción potencial por temporada,  $IUE_{etapa}$  es la intensidad de uso del espacio por etapa (donde etapa puede ser alimentación, interanidación o migración), y  $Emb_{temp}$  es el número de embarcaciones detectadas por temporada para

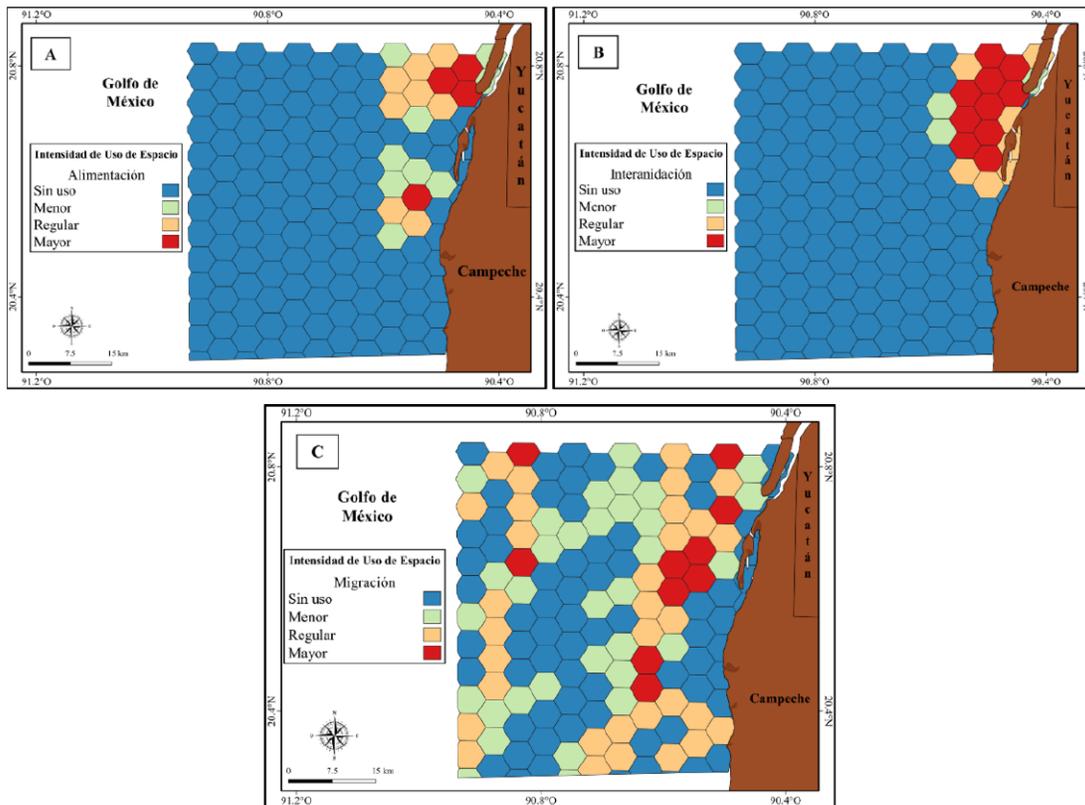
temporada ( $temp$ ) 1, 2 o 3. Los valores resultantes fueron clasificados por el método de Jenks (North, 2009) para maximizar las diferencias entre clases y obtener cuatro niveles de interacción potencial: 1) mayor, 2) regular, 3) menor y 4) sin uso (tabla 3).

## Resultados

### Áreas de intensidad de uso de espacio de tortugas marinas y conteo de embarcaciones

La intensidad del uso de espacio (IUE) para la etapa de alimentación fue “mayor” al norte de Isla Arena, región adyacente a Celestún (figura 2A); mientras que, al sur de Isla Arena a cinco kilómetros de su costa, se observó una concentración que va de “menor” a “mayor”.

Para la etapa de interanidación (figura 2B), se presentó un uso de espacio “mayor” a lo largo de la línea de costa desde el oeste de Celestún hasta el sur de Isla Arena, además de que en la periferia de Isla Arena se observaron unidades de uso que van de “regular” a “mayor”. Tanto para la etapa de alimentación como de interanidación, el límite hasta donde se extiende la IUE es de 15 km de distancia desde la costa de Isla Arena, hacia el interior del golfo de México.



**Figura 2.** Intensidad de Uso de Espacio (IUE) para tortugas carey, lora y verde tortugas marinas en Isla Arena, Campeche durante las etapas de: a) alimentación, b) interanidación y c) migración.

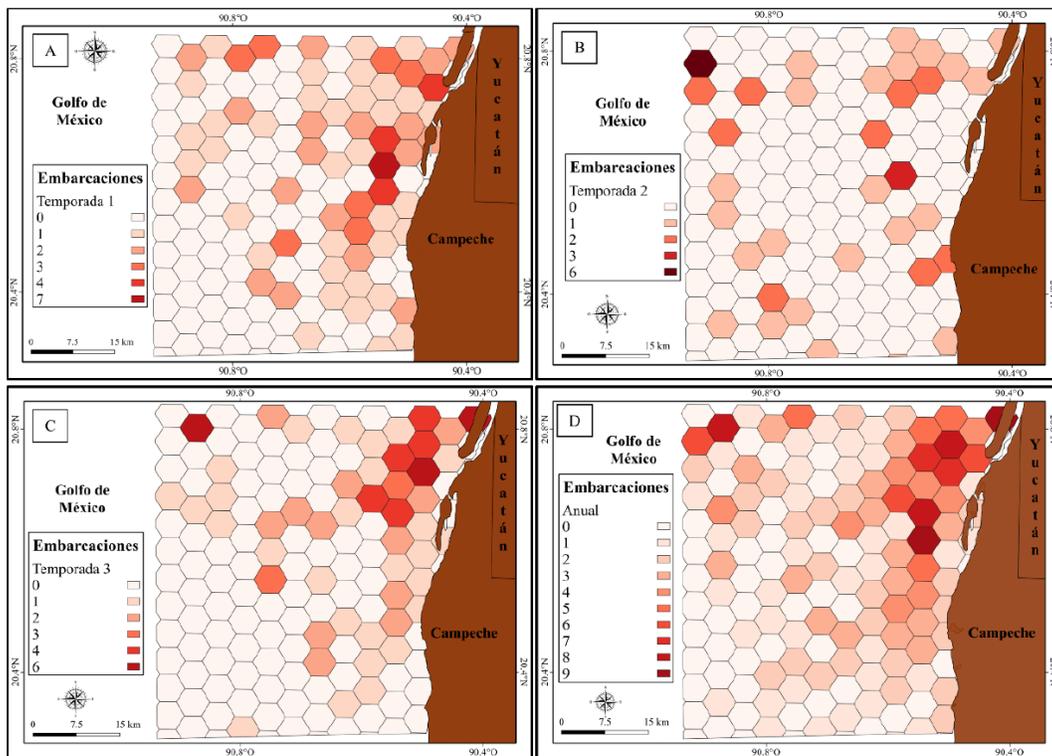


Por último, para la etapa de la migración (figura 2C) la zona de estudio está cubierta por un mosaico de valores que van de intensidades de uso de “menor” a “mayor, con una extensión de IUE de 40 km de distancia de la línea costera de Isla Arena hacia el interior del golfo de México. Tanto al sur oeste como al norte de Isla Arena, a cinco kilómetros de su costa, se presentó un uso de espacio que va de “regular” a “mayor”.

En cuanto a la cuantificación de embarcaciones en Isla Arena, se contabilizaron un total de 256 durante las tres temporadas (figura 3D). Para este análisis la mayor concentración de embarcaciones se observó al norte del área de estudio, con hexágonos que van de 4 a 9, seguido del oeste de Isla Arena con un total de 3 a 9 por hexágono. Así mismo, se observó un conjunto de hexágonos con valores de 6 a 9 embarcaciones a una distancia de aproximadamente 45 km de la costa de Isla Arena.

En el análisis por temporadas, durante la temporada 1 (enero a abril) se contabilizaron 111 embarcaciones, siendo la que mayor cantidad registró entre temporadas (figura 3A). Se observan hexágonos que van de 2 a 7 embarcaciones al oeste, sur y norte de Isla Arena, así como al sur de Celestún. A lo largo de la zona de estudio se presenta una distribución de hexágonos con valores de 1 a 4 embarcaciones.

Por otro lado, la menor cantidad de embarcaciones se observó durante la temporada 2, con un total de 50 (mayo a agosto) (figura 3B). Si bien en las inmediaciones de Isla Arena no se encontraron embarcaciones, sin embargo, a ocho kilómetros de su costa, hacia el sur y noroeste se presentaron hexágonos de 3 a 6 embarcaciones, particularmente al sur de Celestún donde se observó una concentración de hexágonos que van de 1 a 2 embarcaciones. Cabe resaltar un conjunto de hexágonos al oeste,



**Figura 3.** Concentración de embarcaciones en Isla Arena. a) temporada 1 (enero a abril), b) temporada 2 (mayo a agosto), c) temporada 3 (septiembre a diciembre), d) anual (2017-2019).



que van de 2 a 6 embarcaciones a 45 km de la costa de Isla Arena.

En la temporada 3, el número total de embarcaciones fue de 95 (septiembre a diciembre) (figura 3C). La mayor concentración de hexágonos con valores de 1 a 6 se presentó al norte y oeste de Isla Arena, al igual que al sur de Celestún. Así mismo, en la periferia de Isla Arena se observaron hexágonos 1 a 4 embarcaciones. Del mismo modo, destaca al oeste a 50 km de la costa de Isla Arena un conjunto de hexágonos de 5 a 7 embarcaciones.

### Zonas de interacción potencial entre embarcaciones y tortugas marinas

El análisis de la interacción potencial (IP) de embarcaciones con los sitios de mayor intensidad de uso de espacio (IUE) de tortugas marinas se realizó

conforme a la(s) temporada(s) en las que se conoce que pueden coincidir para cada etapa. Es por ello que para la etapa de alimentación se contrastó con las 3 temporadas de embarcaciones, ya que su alimentación es durante todo el año.

Tanto la temporada 1 como la 3 fueron las que mayor IP representaron en la zona de estudio. Para la primera, presentó hexágonos de una IP que va de “regular” a “mayor” a 5 kilómetros al sur y norte de Isla Arena, en la región adyacente a Celestún (figura 4A). Del mismo modo, al oeste de Isla Arena se presentó una IP que va de “menor” a “regular”.

En lo que respecta a la temporada 3 (figura 4C), la IP va de “mayor” a “regular” al norte de Isla Arena, en la región adyacente a Celestún, mientras que al sur y oeste de Isla Arena es “menor” a “sin impacto”.

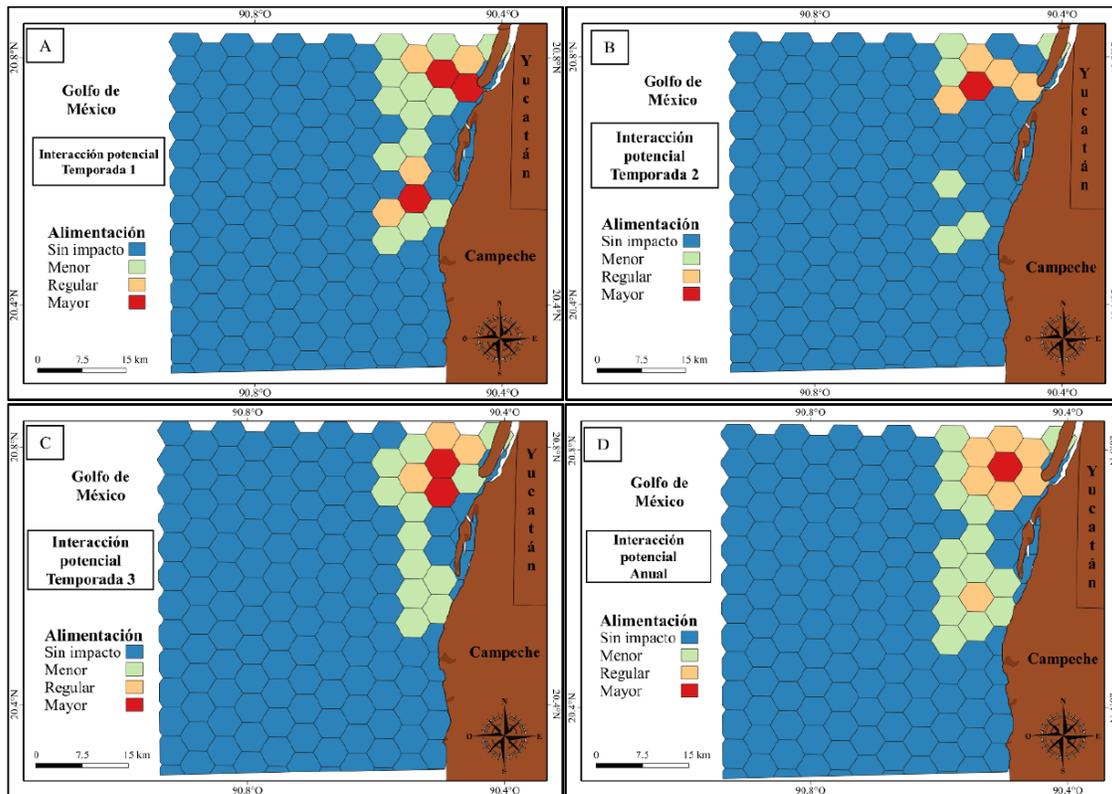


Figura 4. Interacción potencial en Isla Arena en etapa de alimentación. a) temporada 1 (enero a abril), b) temporada 2 (mayo a agosto), c) temporada 3 (septiembre a diciembre), d) anual (2017-2019).



En contraste, la temporada 2 fue la que menor IP representó de todas las temporadas (figura 4B), con hexágonos de “sin impacto” en la periferia de Isla Arena, y al norte, sin embargo, al norte en la región adyacente a Celestún el IP va de “regular” a “mayor”.

En el análisis anual (las 3 temporadas) (figura 4D), la mayor IP se presentó al norte de Isla Arena, con hexágonos que van de “regular” a “mayor”, mientras que el oeste y sur va de “menor” a “regular”.

Para la etapa de migración, se conoce que las tortugas marinas migran antes y después de su época reproductiva al dirigirse a sus playas de anidación, que en la mayoría de las especies abordadas en este trabajo van de mayo a agosto, por lo que se contrastó con las temporadas 2 y 3.

En la temporada 2 (figura 5A) la zona de estudio está cubierta en su mayoría por hexágonos con IP que va de “sin impacto” a “menor”, particularmente al norte de Isla Arena donde se presentó una concentración de estos valores. Sólo un hexágono de IP “mayor” se observó a 10 km del sur de Isla Arena, mientras que al noroeste la IP es “regular”.

La temporada 3 (figura 5B), fue la que mayor IP presentó, con un hexágono de “mayor” al norte, en la zona adyacente a Celestún, mientras que al oeste va de “regular” a “mayor”. La mayor parte de la zona de estudio está cubierta por hexágonos que van de “sin impacto” a “menor”.

En el análisis anual (temporada 2 y 3) (figura 5C), hexágonos con “mayor” IP se presentaron al oeste y norte de Isla Arena, seguido de “regular”. Del mismo modo, se observó una gran cobertura en el espacio marino de la zona de estudio que está cubierta mayoritariamente por polígonos de “menor” a “sin impacto”.

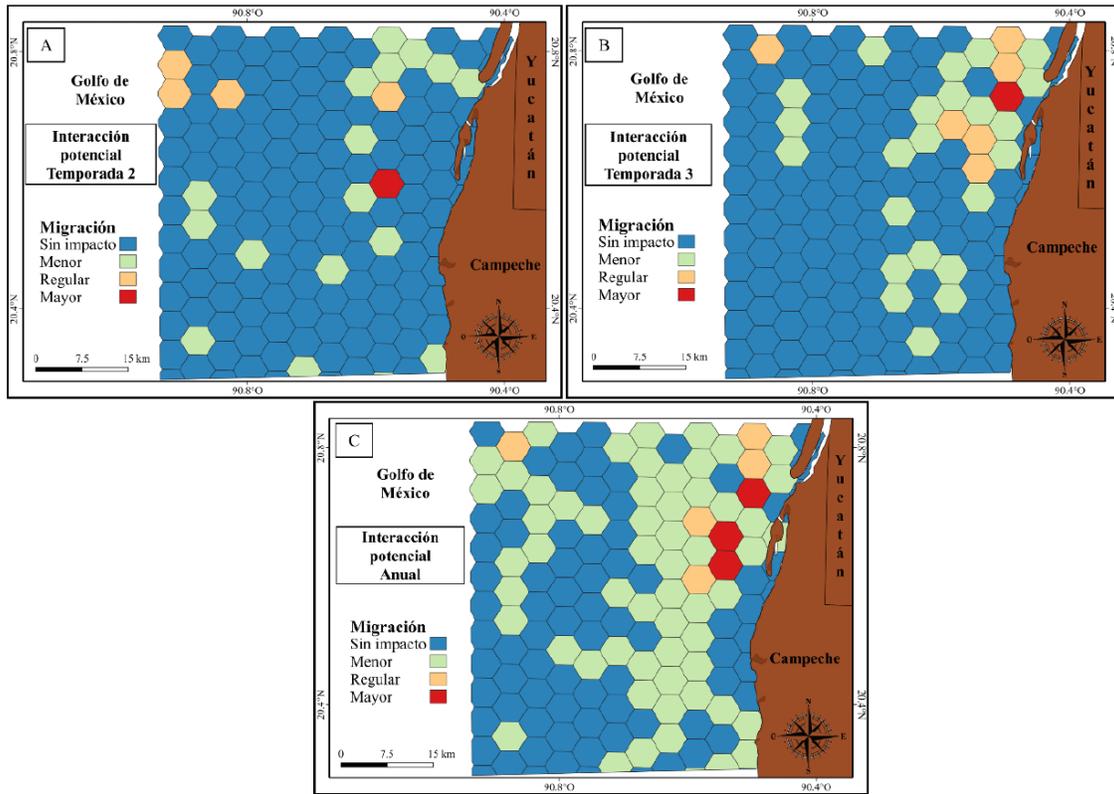
Para la etapa de interanidación, sólo se contrastó con la temporada 2 (figura 6A), ya que, como se mencionó antes, la mayoría de las especies de esta investigación anida de mayo a agosto. En esta temporada, se presentaron hexágonos con una IP de “regular” a “mayor” al norte y noroeste de Isla Arena, en la región adyacente a Celestún. Para el sur y oeste de Isla Arena, no se observó una IP con embarcaciones.

## Discusión

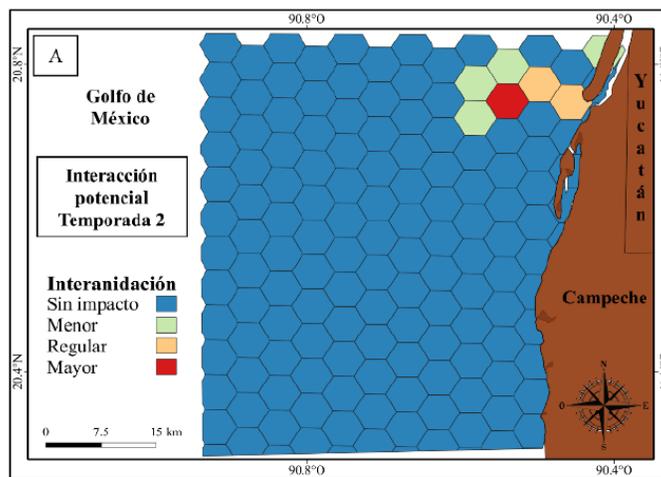
En Campeche, el aumento de embarcaciones menores ha incrementado la sobrepesca, lo que ha desencadenado afectaciones para la fauna de acompañamiento (Ramírez-Rodríguez, 2015), o especies residentes en estos espacios, como es el caso de las tortugas marinas debido al potencial de colisiones, captura incidental y alteración del comportamiento. Galaviz-López (2014) reconoce que las tortugas marinas comparten zonas geográficas con pesquerías artesanales, e interactúan con ellas al momento en que realizan sus jornadas de pesca, ya sea de forma directa o indirecta.

Mendez *et al.* (2013) reportan que, en la península de Yucatán, las flotas artesanales operan cerca de las costas a isobatas menores a los 100 m en busca de especies comerciales, lo que incrementa la vul-

nerabilidad de los ámbitos hogareños y la captura incidental de tortugas durante la etapa migratoria. En esta investigación, las zonas alimentación de las tortugas marinas se encuentran relativamente cerca de la costa, patrón similar en otras regiones de México como es el caso de lo reportado por Martínez-Estevez *et al.* (2021) en el golfo de California, donde la mayoría de las áreas de alimentación de tortugas marinas coincidían con áreas de pesca, debido a sus preferencias de hábitat y presas. De igual manera Hazel *et al.* (2007), encontraron grandes números de embarcaciones adyacentes a los hábitats de alimentación de tortugas marinas en aguas poco profundas ( ~20 m), las altas velocidades a las que se desplazan estas embarcaciones representan un riesgo de colisión para las tortugas marinas de-



**Figura 5.** Interacción potencial en Isla Arena en etapa de migración. a) temporada 2 (mayo a agosto), b) temporada 3 (septiembre a diciembre), c) anual (temporadas 2 y 3 del 2017-2019).



**Figura 6.** Interacción potencial en Isla Arena en etapa de interanidación. a) temporada 2 (mayo a agosto del 2017 al 2019).



bido al poco tiempo de respuesta que tienen para evitar colisionar con ellas.

Esta investigación es la primera en la región que identifica el patrón de embarcaciones menores y cómo se superponen con el hábitat de las tortugas marinas. No se caracterizó ni la actividad que llevaban a cabo o la especie objetivo que buscaban en su jornada de pesca, aun así, sí se cuenta con información de que ciertas artes de pesca reportadas en Isla Arena (Cuevas *et al.*, 2018) son consideradas como las que mayor afectación causan a las poblaciones de tortugas marinas (Hsiang-Wen, 2015), por lo que el uso compartido del espacio marino durante alguna actividad antrópica en zonas de distribución de tortugas marinas puede representar un riesgo para su protección y conservación.

Un ejemplo de este tipo de actividades antrópicas es la pesca ribereña, principalmente realizada en embarcaciones menores, la cual en esta región se lleva a cabo en mayor medida de septiembre a diciembre, época en la que se aprovecha la mancha de peces que se acercan a la orilla (Guzmán-Hernández *et al.*, 2014), así como en la época de nortes (noviembre a febrero) y lluvias (junio a octubre) donde se realiza la pesca de especies de mayor valor comercial (Vega-Cendejas 2004).

Los resultados obtenidos en este trabajo tiene un comportamiento similar a la dinámica de pesca antes descrita, particularmente con la temporada 3 (septiembre a diciembre), la cual corresponde a la época de lluvias y la temporada 1 (enero a abril) que corresponde a la época de nortes; es durante estas dos temporadas, principalmente la 3, donde se presentó tanto una mayor concentración de embarcaciones, como de las que mayor interacción potencial representó para las etapas de alimentación y migración.

Por otro lado, en esta región no sólo se extrae escama como único recurso. Un ejemplo de ello, y cuya temporalidad de máximo esfuerzo es contrastante con las temporadas de mayor interacción

potencial, es lo reportado por Wakida-Kusunoki *et al.* (2016), quienes reportaron a Isla Arena y Celes-tún como localidades donde la pesca de camarón se realiza durante todo el año, principalmente de octubre a enero, pero con máximos esfuerzos pesqueros en marzo y diciembre.

Por el contrario, pero en esta misma línea de recursos diferentes a la pesca de escama, el pepino de mar acuerdo con Espinoza-Tenorio *et al.* (2012) y López-Rocha *et al.* (2020), se realiza de manera intensa entre abril y mayo con registros de hasta 290 embarcaciones de fibra de vidrio con motor afuera de la borda para su extracción por buceo. Esto es contrario a los resultados de esta investigación, ya que mientras en esta época los autores mencionan una gran cantidad de embarcaciones, estos meses representan la temporada 2, la cual fue de las que menor cantidad de embarcaciones e interacción potencial se observó. Sin embargo, cabe destacar que, si bien el arte de pesca para la captura de pepino de mar no representa una amenaza para las tortugas, el tráfico de embarcaciones en la zona aumenta el riesgo de colisión y cambios de comportamiento.

Como se mencionó antes, existe un precedente en la península de Yucatán donde se identificaron puntos de atención (hotspots) de potencial captura incidental realizado por Cuevas *et al.* (2018) quienes reportan que en la región oeste, de febrero a julio, existe una mayor captura incidental con una abrupta disminución de agosto a enero, periodo en el que coincide con la pesca de pulpo. Esto también es contrario a los resultados de esta investigación, ya que mientras ellos reportan una disminución de agosto a enero de la captura incidental, los resultados de esta investigación afirman que es durante este tiempo cuando mayor interacción potencial hay en la zona. Esto mismo es reafirmado por Cabrera *et al.* (2012), quienes coinciden en que durante la pesca de pulpo es cuando las embarcaciones artesanales son las más numerosas y dispersas.



## Conclusión

La zona marina de Isla Arena es un hábitat crítico para las diferentes especies de tortugas marinas que se distribuyen en el sur del golfo de México, ya que, al sur oeste y norte de Isla Arena, particularmente en el área próxima a Celestún, se observó que utilizan este espacio para múltiples actividades esenciales de su vida acuática, como la alimentación, migración e interanidación.

La dinámica de embarcaciones que se observó en Isla Arena sucede en mayor medida al norte, oeste y sur, de enero a abril y de septiembre a diciembre, lo cual representa una interacción potencial de actividades antrópicas con las diferentes especies de tortugas marinas que confluyen en esta región.

Esta investigación ayuda a complementar información en materia de identificación y evaluación de zonas de interacción potencial en la península

de Yucatán por estresores como la presencia de embarcaciones. Se sugiere que, además del esfuerzo pesquero que imprime un riesgo potencial, se continúe el monitoreo y caracterización de la actividad acuática, ya que la sola presencia de las embarcaciones representa un estresor más para zonas de agregación importantes, como el noroeste de la península de Yucatán.

Se espera que estos resultados sean incorporados en los planes de manejo y conservación de las áreas naturales protegidas asociadas a estos ecosistemas, considerando no solo a los individuos de tortugas que ahí habitan, sino a todo el ecosistema asociado. Además, que esta información llegue a ser del conocimiento público, el cual es pieza fundamental para la conservación de las tortugas marinas.

## Agradecimientos

Este proyecto contó con el apoyo de Wildlife Computers para la donación de transmisores satelitales, al igual que el apoyo brindado por PRONATURA Península de Yucatán mediante el Programa de Conservación de Tortugas Marinas y de la Dirección

del Santuario Playa Rancho Nuevo de la CONANP quienes recibieron apoyo de Petrofac para el estudio de hembras post-anidantes. Así mismo, a la Universidad Autónoma Metropolitana por las facilidades otorgadas para esta investigación.

## Referencias

- Birch, C. P., Oom, S. P., & Beecham, J. A. 2007. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological modelling*, 206(3-4): 347-359.
- Braun-McNeill, J., Sasso, C.R., Epperly, S.P., Rivero, C. 2008. Feasibility of using sea surface temperature imagery to mitigate cheloniid sea turtle-fishery interactions off the coast of northeastern USA. *Endangered Species Research*, 5(2-3): 257-266.
- Cabrera, M.A., Ramos-Miranda, J., Salas, S., Flores-Hernández, D., Sosa-López, A. 2012. Análisis de la estructura poblacional del pulpo rojo (*Octopus maya*) en la península de Yucatán, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 64: 480-485.
- Calenge, C. 2006. The package “adehabitat” for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological modelling* 3-4 (197): 516-519.
- Cuevas, E., Guzmán-Hernández, V., Uribe-Martínez, A., Raymundo-Sánchez, A., Herrera-Pavón, R. (2018). Identification of potential sea turtle bycatch hotspots using a spatially explicit approach in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Chelonian conservation and biology*, 17(1), 78-93.
- Eckert, K., Azanza-Ricardo, J., Barrientos-Muñoz, K.G., Barrios-Garrido, H., Berkel, J., Bevan, E., Campbell, C.L., Charles, K.E., Cuevas-Flores, E., Daniel, C., Diez, C.E., Doyle, E., Dunbar, S.G., Eckert, A., Eckert, S.A., Martín-Viaña, Y.F., García-Cruz, M., Godfrey,



- D., Guada, H., Guy-Stapleton, C., Horrocks, J.A., La-gueux, C.J., Levenson, J.J., López-Castro, M.C., Monca-da-Gavilán, F., Gerhartz-Muro, J.L., Montiel-Villalobos, M.G., Morrall, C., Ramírez-Gallego, C., Rguez-Baron, J.M., Rojas-Cañizales, D., Schut, K., Searle, L., Staple-ton, S., Uribe-Martínez, A., Wibbels, T., Wildermann, N., Robinson, N.J. (2020). Sea turtles of the Caribbean. En Mast, R.B., Hutchinson, B.J., Villegas, P.E. (Eds.) *The State of the World Sea Turtles*. California, U.S.A. Oceanic Society. 14-32pp.
- Espinoza-Tenorio, A., Pech, D., Ramos, J., Peña-Puch, A. 2012. Una radiografía antes de decidir: el reto del apro-vechamiento sustentable del pepino de mar en Campe-che. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 4: 57-62.
- Galaviz-López, J.M. 2014. Un modelo geoestadístico para evaluar la interacción entre tortuga marina y las pesque-rías artesanales frente a las playas de anidación en Guer-rero y Oaxaca, México. (Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior Ense-nada). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior Ensenada, Baja California. 112p.
- Galeana, P. 2014. Análisis de resiliencia socio-ecológica de la pesquería del pepino de mar en Isla Arena, Campeche. (Avances de investigación de Maestría, El Colegio de la Frontera Sur, Campeche). 3-4pp.
- Gaona, O., Barragán, A.R. 2016. Las tortugas marinas en Mé-xico: Logros y perspectivas para su conservación. Solu-ciones ambientales ITZENI. Ciudad de México, México: CONANP. 240 p.
- Guzmán-Hernández, V., Escanero- Figueroa, G., Már-quez-Millan, R. 2014. Programa tortuguero en el Centro Regional de Investigación Pesquera de Ciudad del Car-men, Campeche: retrospectiva, avances y perspectivas. En Márquez-Millán, R. y Garduño-Dionate, M. (Eds.) *Tortugas marinas*. México. Instituto Nacional de Pesca. 55-67pp.
- Hazel, J., Hamann, M., Lawler, I.R. 2013. Home range of immature green turtles tracked at an offshore tropical reef using automated passive acoustic technology. *Ma-rine Biology*, 160(3): 617-27. doi:10.1007/s00227-012-2117-0.
- Hernández-Félix, L., Molina-Rosales, D., Agraz-Hernández, C. 2017. Servicios ecosistémicos y estrategias de conser-vación en el manglar de Isla Arena. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14(3): 427-449.
- Hooge, P. N., Eichenlaub, W. M., Solomon, E. K. (2001). Us-ing GIS to analyze animal movements in the marine en-vironment. *Spatial Processes and Management of Marine Populations. Alaska Sea Grant College Program, Anchorage Alaska*, 37-51
- Hsiang-Wen, H. 2015. Conservation Hotspots for the turtles on the high seas of the Atlantic Ocean. *Plos One*, 10: 1-20.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Estructura económica de Campeche en síntesis. p.2.
- Iverson, A.R., Benschoter, A.M., Fujisaki, I., Lamont, M.M., Hart, K.M. 2020. Migration corridors and threats in the Gulf do Mexico and Florida straits for loggerhead sea turtles. *Frontiers in Marine Science*, 7(208), 1-12.
- Lamont, M.M., Putman, N.F., Fujisaki, I., Hart, K.M. 2015. Spatial requirements of different life-stages of the logger-head turtle (*Caretta caretta*) from a distinct population segment in the northern Gulf of Mexico. *Herpetology Conservation Biology*, 10: 26-43. doi: 10.1186/s40317-015-0089-9.
- Liceaga-Correa, M.A., Uribe-Martínez, U., Cuevas, E. 2020. Vulnerabilidad ecológica de tortugas marinas ante múlti-ples amenazas y derrames de petróleo de gran escala en el Golfo de México. En Aguirre-Macedo, M.L., Pérez-Brunius, P., y Saldaña-Ruiz, L.E. (Eds). Vulnerabilidad ecológica del golfo de México ante derrames de gran escala. Regiones, especies y ecosistemas vulnerables ante derrames de gran escala en el golfo de México (9-25). Ensenada, CICESE. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4527457>.
- Liceaga-Correa, M.A., Uribe-Martínez, U., Cuevas, E. 2022. Ecological vulnerability of adult female marine turtles as indicators of opportunities for regional socioecosystems management in the southern Gulf of Mexico. *Sustain-ability*, 14(184): 1-25.
- López-Rocha, A.J., Pedroza-Gutiérrez, C., Vidal-Hernández, L.E., Gamboa-Álvarez, M.A., Velázquez-Abunader, I., Romero-Gallardo, S., Arteaga-Muñoz, J. (2020). La pesquería de pepino de mar en Yucatán: Auge, declive y perspectivas a futuro. En Pérez-Morales, A., Aké-Castillo, J.A., y Pot-Delgado, C.A. (Eds.) Investigaciones marinas en el golfo de México y Mar Caribe mexicano México. Universidad de Colima. 508-535p.
- Lovich, J.E., Ennen, J.R., Agha, M., Gibbons, J.W. (2018). Where have all the turtle gone, and why does it matter? *BioScience*, 68(10), 771-781.
- Martínez-Estevez, L., Amador, J.P., Amador, F.C., Zilliacus, K.M., Pacheco, A.M., Seminoff, J.A., Lucero, J., Ocea-guera, K., Tershy, B.R., Croll, D.A. (2021). Spatial ecology of hawksbill sea turtles (*Eretmochelys imbricata*) in foraging habitats of the Gulf of California, Mexico. *Global Ecology and Conservation*, 27: e01540. doi-or-g/10.1016/j.gecco.2021.e01540
- Méndez, D., Cuevas, E., Navarro, J., González-Garza, B.I., Guzmán-Hernández, V. (2013). Satellite tracking of green turtles' females *Chelonia mydas* and the evaluation of their home ranges in the north coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Revista de Biología Marina y Ocean-ografía*, 48: 497-509.
- North, M.A. 2009. A method for implementing a statistically significant number of data classes in the Jenks algorithm. En Sixth International Conference, IEEE. Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. 35-35pp.
- Ramírez-Rodríguez, M. 2015. La pesquería de camarón en Campeche: Desarrollo histórico y perspectiva. *Ciencia Pesquera*, 23(1): 73-87.



Calderón-Alvarado *et al.*

- R Studio Team. 2018. R Studio: integrated Development for R (1.4.1106). Computer program. R Studio, Inc. USA, Boston.
- Schmid, J.R., y Barichivich, W.J. (2005). Developmental biology and ecology of the Kemp's ridley sea turtle, *Lepidochelys kempii*, in the eastern Gulf of Mexico. *Chelonian Conservation and Biology*, 4(4), 828-834.
- Uribe-Martínez, A., Liceaga-Correa, M., Cuevas, E. (2017). Idoneidad ambiental de las tortugas marinas en el Golfo de México: visión futura en el océano más caliente. En Botello, A.V., Villanueva, S., Gutiérrez, J., Rojas-Galaviz, J.L. (Eds) Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio-climático. Campeche, México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 379-414pp.
- Uribe-Martínez, A., Liceaga-Correa, M.A., Cuevas, E. (2021). Critical in-water habitats for post-nesting sea turtles from the southern Gulf of Mexico. *Journal Marine Science Engineering*, 9 (793): 1-24.
- United States Geological Services. (2020). Earth explorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vega-Cendejas, M.E. (2004). Ictiofauna de la Reserva de la Biosfera Celestún, Yucatán: una contribución al conocimiento de su biodiversidad. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*, 75: 193-206.
- Wakida-Kusunoki, A.T., Rojas-González, R.I., Toro-Ramírez, A., Medina-Quijano, H. A., Cruz-Sánchez, J.L., Santana-Moreno, L.D., Carrillo-Nolasco, I. 2016. Caracterización de la pesca de camarón en la zona costera de Campeche y Yucatán. *Ciencia Pesquera*, 24: 3-13.
- Worton, B. J. 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, 70(1):164-168.

