



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA APLICADA

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

**Conectividad regional y áreas de agregación de tortugas
marinas en el sur del Golfo de México: Herramientas para su
conservación**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ECOLOGÍA APLICADA
PRESENTA**

Eduardo Calderón Alvarado
Matrícula: 2192801060

COMITÉ TUTORAL

Dra. Abigail Uribe Martínez (Codirectora)

Dr. Luis Amado Ayala Pérez (Codirector)

Dr. Eduardo Amir Cuevas Flores (Asesor)

Ciudad de México

mayo, 2022

**Conectividad regional y áreas de agregación de tortugas marinas en el sur del Golfo de México:
Herramientas para su conservación.**

La base de esta investigación son datos de rastreos satelitales de doce tortugas marinas hembras adultas de las especies *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata* y *Lepidochelys kempii*; la zona de estudio se concentró en la porción marina de Isla Arena, Campeche. En esta zona, se estimaron rutas migratorias, ámbito hogareño mediante el método probabilístico Kernel 50% y 75%, intensidad de uso de espacio y Hotspots. Isla Arena fue utilizada como sitio de alimentación y ruta migratoria, el mayor uso de espacio sucede al norte y oeste, mismas zonas que representan una transición de Hotspot principal a secundario. Posteriormente, por medio de productos de percepción remota, se evaluó la temperatura superficial del mar en tres épocas climáticas, y se cuantificó e identificó las zonas de impacto potencial en tres diferentes temporadas por la presencia de embarcaciones menores. La temporada de lluvias fue la que mayor temperatura presentó, mientras que el mayor impacto potencial se presentó en las temporadas uno y tres, al norte y oeste de Isla Arena. Por último, se realizó una reunión con autoridades encargadas de programas de conservación en la región, a las cuales se les entregó una infografía con los resultados más importantes de esta investigación.



VoBo. Dr. Luis Amado Ayala Pérez
Codirector

VoBo. Dra. Abigail Uribe Martínez
Codirectora

El Jurado asignado por la Comisión Académica de la Maestría en Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, aprobó la Idónea Comunicación de Resultados titulada:

Conectividad regional y áreas de agregación de tortugas marinas en el sur del Golfo de México: Herramientas para su conservación.

Que presentó:

BIÓL. EDUARDO CALDERÓN ALVARADO

El día 5 de julio a las 10:00 hrs en la Ciudad de México para obtener el Grado de Maestro en
Ecología Aplicada



DRA. MARÍA MÓNICA LARA UC
Universidad Autónoma de Baja California Sur
(Presidenta)



DRA. BRENDA ILIANA VEGA RODRÍGUEZ
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
(Secretaria)



DR. EDUARDO AMIR CUEVAS FLORES
Universidad Autónoma del Carmen, Campeche
(Vocal)



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00030

Matrícula: 2192801060

Conectividad regional y áreas de agregación de tortugas marinas en el sur del Golfo de México: Herramientas para su conservación.



EDUARDO CALDERON ALVARADO
ALUMNO

REVISÓ

MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

En la Ciudad de México, se presentaron a las 10:00 horas del día 5 del mes de julio del año 2022 en la Unidad Xochimilco de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DRA. MARIA MONICA LARA UC
DR. EDUARDO AMIR CUEVAS FLORES
DRA. BRENDA ILIANA VEGA RODRIGUEZ

Bajo la Presidencia de la primera y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRO EN ECOLOGIA APLICADA

DE: EDUARDO CALDERON ALVARADO

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Aprobar

Acto continuo, la presidenta del jurado comunicó al interesado el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE CBS

MTRA. MARIA ELENA CONTRERAS GARFIAS

PRESIDENTA

DRA. MARIA MONICA LARA UC

VOCAL

DR. EDUARDO AMIR CUEVAS FLORES

SECRETARIA

DRA. BRENDA ILIANA VEGA RODRIGUEZ

El presente documento cuenta con la firma –autógrafa, escaneada o digital, según corresponda- del funcionario universitario competente, que certifica que las firmas que aparecen en esta acta – Temporal, digital o dictamen- son auténticas y las mismas que usan los c.c. profesores mencionados en ella

Agradecimientos

Quiero agradecer a CONACYT por el apoyo económico otorgado durante estos dos años de maestría en la Universidad Autónoma Metropolitana.

Mi total agradecimiento a mi *alma mater*, la Universidad Autónoma Metropolitana, por haberme permitido obtener todo el conocimiento de los extraordinarios profesores de los que tuve la fortuna de aprender durante estos siete años. Además, al Comité de Becas de Posgrado, por el apoyo económico brindado durante estos últimos seis meses para la redacción de tesis.

A la Comisión de la Maestría en Ecología Aplicada, en especial al Dr. Castro, por el apoyo otorgado durante este tiempo, además de su acompañamiento y gestión en este proceso.

A mi comité tutorial, porque sin ellos esto no sería posible. Sepan que les tengo un enorme aprecio y mi total gratitud. A mi codirectora de tesis, la Dra. Abigail Uribe, cuya pasión y dedicación tan inmensas y profundas como el mar, que tanto le gusta, me hicieron crecer tanto en lo personal como en lo profesional. Son valores que se volvieron parte de mí.

A mi asesor, el Dr. Eduardo Cuevas, que no sólo me otorgaba conocimiento sino también palabras de aliento en los momentos más duros, además de siempre apoyarme cuando ya no encontraba la respuesta.

A mi codirector, el Dr. Luis Ayala, que me acogió en su laboratorio cuando era un desastre. Durante todo este tiempo, con su paciencia, sabiduría y ahínco, sacó lo mejor de mí en todas las facetas posibles que puede tener una persona.

A ProNatura Península de Yucatán A.C, por su apoyo a través del Programa de Conservación de Tortugas Marinas, al igual que a la Dirección del Santuario Playa Rancho Nuevo, en especial a la M. en C. Martha López, a la Bio. Blanca Zapata y al Biol. David Lerma, ya que proporcionaron datos imprescindibles para la realización de esta investigación.

A Wildlife Computers por la donación de los transmisores utilizados para esta investigación.

Al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), ya que por medio de su portal Earth Explorer se obtuvo valiosa información con la cual pudo realizarse esta investigación.

A la CONANP, particularmente a los miembros encargados de la Reserva de la Biósfera Ría Celestún, Reserva de la Biósfera Los Petenes y el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Así mismo, al INAPESCA por su apoyo en la realización de esta investigación.

A la cooperativa “Las Fileteras del Peten”, particularmente a la Sra. Verónica Yerbes, por sus acertados comentarios que ayudaron a refinar los resultados.

Al Biol. Vicente Guzmán, que durante esa salida a campo aprendí infinidad de cosas de él y siempre estuvo cuando necesitaba algo.

A mis compañeros de generación de la Maestría en Ecología Aplicada, que se volvieron familia y amor durante este tiempo. Siempre diré que, si encontré mi vocación, es por todo lo que vivimos juntos y lo mucho que me enseñaron y presionaron a siempre dar lo mejor de mí. Ana, por ser mi hermana. Mariana por ser mi amor.

A mis amigos del Laboratorio de Ecología Aplicada. Rosa, Augusto, Ezel, Brenda, Andrés, Iliana y Lupita. Por las comidas, las risas, los golpes, los abrazos, los ánimos y el apoyo total desde el comienzo hasta hoy. Los quiero muchísimo.

A mis compañeros del Laboratorio de Ecología Espacial y del Movimiento, UNACAR, sobre todo a Paty, Andrés, Sandy, Jorge y Aurea. Fue poco el tiempo, pero siempre sentí que era uno más de Ustedes.

Al Profesor Alfonso Esquivel Herrera, a quien admiro y respeto profundamente no sólo como profesor, sino una persona invaluable que ha sido fuente de inspiración en todos los aspectos.

A todos mis amigos de toda la vida. Mi hermano Erwin, porque desde los cinco años me ha enseñado mucho de la vida, su familia: Laura, Jaime y Paola, los quiero mucho y siempre me han echado porras en todo. Lalo, Pablo, Sergio y Rodrigo, a pesar de los años, los países y la distancia, seguimos siendo tan amigos como hace más de 15 años. Y a todos mis cuates que no me alcanzaría la vida por agradecer el tiempo, ya fuera poco o mucho, que tuvieron palabras de apoyo y cariño durante este tiempo.

A mi familia. Mi mamá, incondicional, todos los días enseñándome algo y, sobre todo, diciéndome que haga lo que me nace, no lo que se me impone. Ser libre. A mi papá, sin ya no estar presente, acompañándome en mi corazón cuando estaba más solo. A ambos, cada día me siento más orgulloso de ser su hijo. A Kadiya, por su cariño, guía y tiempo en esto que me enseñó es de resistencia, no de velocidad. A mi Nonna, ella siempre creyó en mi aun cuando yo dejaba de hacerlo.

A Dios, por darme todo y más de lo que necesito para cumplir mis sueños.

Por último y no menos importante, a mí. Por dar todo y más de lo que podía, incluso en uno de los peores momentos de mi vida. Por la resiliencia y sabiduría que obtuve. Por no darme por vencido, superar mis límites y ahora desear mucho más. Por perderle el miedo al éxito.

Esta investigación se realizó con el apoyo de la beca CONACYT con número 766298 y convenio CONACYT 005559.

Contenido

Lista de Figuras	1
Lista de Tablas	3
PREFACIO	4
CAPÍTULO 1. Uso de telemetría para la identificación de zonas prioritarias de agregación y/o migratorias de las tortugas marinas en la región sur del Golfo de México	5
RESUMEN	5
PALABRAS CLAVE.....	5
ABSTRACT.....	6
KEY WORDS.....	6
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
1.1. Las tortugas marinas en el Golfo de México.....	7
1.2 Ámbitos hogareños, rutas migratorias y hábitat crítico	11
1.3 Hotspots de tortugas marinas.....	13
1.4 Tecnologías de telemetría.....	15
OBJETIVO	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
1.5 Ubicación geográfica del área de estudio.....	16
1.6 Telemetría satelital y colocación de transmisores	17
1.7 Estimación de rutas migratorias y ámbitos hogareños	19
1.8 Cálculo de Hotspot.....	22
RESULTADOS.....	22
1.9 Derroteros de tortugas marinas	22
1.10 Ámbitos hogareños e intensidad de uso de espacio.....	29
1.11 Hotspots de tortugas marinas en Isla Arena	33
DISCUSIÓN	34
1.12 Hotspots e intensidad de uso de espacio	34

1.13 Ámbitos hogareños y rutas migratorias de tres especies de tortugas marinas en Isla Arena	36
CONCLUSIÓN	42
LITERATURA CITADA	43
CAPÍTULO 2. Evaluación de condiciones ambientales y uso antrópico del hábitat de tortugas marinas mediante productos de percepción remota .56	
RESUMEN	56
PALABRAS CLAVE.....	57
ABSTRACT.....	57
KEY WORDS.....	57
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	58
2.1 Condiciones ambientales para la distribución de tortugas marinas en el Golfo de México	58
2.2 Oceanografía del Golfo de México.....	60
2.3 Impactos antropogénicos sobre las poblaciones de tortugas marinas en Campeche.	62
2.4 Percepción remota en el estudio de mega-vertebrados marinos y las condiciones físicas de su entorno	64
OBJETIVO	66
MATERIALES Y MÉTODOS.....	66
2.5 Promedio de temperatura superficial del mar.....	66
2.6 Caracterización de la temperatura superficial del mar en el uso de espacio de tortugas marinas en Isla Arena	67
2.7 Identificación de embarcaciones menores en Isla Arena.....	68
2.8 Impacto potencial de tortugas marinas en Isla Arena	69
RESULTADOS.....	70
2.9 Temperatura superficial del mar en Isla Arena	70
2.10 Uso de espacio conforme al régimen climático.....	72
2.11 Cuantificación de densidad de embarcaciones	74
2.12 Áreas de impacto potencial en Isla Arena	76

DISCUSIÓN	81
2.13 Comportamiento oceanográfico en Isla Arena	81
2.14 Condiciones oceánicas en la distribución y residencia de tortugas marinas.....	82
2.15 Actividades antrópicas en sitios de agregación de tortugas marinas....	84
CONCLUSIÓN	87
LITERATURA CITADA.....	89
CAPÍTULO 3. Elaboración de una propuesta de conservación de áreas prioritarias para las tortugas marinas dirigida a autoridades encargadas de programas de conservación regional.....	98
RESUMEN	98
PALABRAS CLAVE.....	98
ABSTRACT.....	99
KEY WORDS.....	99
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	100
3.1 México y sus Áreas Naturales Protegidas	100
3.2 Reserva de la Biosfera Ría Celestún	100
3.3 Conservación de las tortugas marinas en la Península de Yucatán...	103
OBJETIVO	105
MATERIALES Y MÉTODOS.....	105
3.4. Transferencia de conocimiento	105
3.5 Transferencia de tecnología.....	106
RESULTADOS.....	106
3. 6 Reunión autoridades y personal de Isla Arena.	106
DISCUSIÓN	110
CONCLUSIÓN	115
LITERATURA CITADA.....	116
ANEXOS	121
Transferencia de conocimiento y tecnología.....	123
Transferencia de conocimiento.....	123

Producto de trabajo	124
Transferencia de tecnología.....	128
LITERATURA CITADA.....	130

Lista de Figuras

Figura 1. Demarcación del área de estudio Isla Arena, Campeche.....	16
Figura 2. A la izquierda, escudos del caparazón donde debe colocarse el transmisor (modificado de Wynecken, 2004). A la derecha, fotografía tomada durante muestreo en febrero de 2019.....	18
Figura 3. Rastros satelitales de siete individuos de la especie <i>C. mydas</i> : a) Adriana; b) Gertrudis; c) Marina; d) Nacha; e) Sofía; f)176010 y g)176011.	26
Figura 4. Rastreo satelital de Vicky, individuo de la especie <i>Eretmochelys imbricata</i>	27
Figura 5. Rastreo satelital de cuatro individuos de la especie <i>Lepidochelys kempii</i> : a) Tortuga 1; b) 158068; c) 158070 y d)158080.	28
Figura 7. Rutas migratorias de tortugas marinas en Isla Arena, Campeche: a) individuos especie <i>C. mydas</i> ; b) individuos de especies <i>L. kempii</i> y <i>E. imbricata</i>	30
Figura 6. Ámbito hogareño de alimentación de cinco individuos de <i>C. mydas</i> en Isla Arena, Campeche: a) Adriana; b) Gertrudis; c) Sofía; d) 176011; e) 176010.....	31
Figura 8. Intensidad de Uso de Espacio (IUE) por tortugas marinas en Isla Arena, Campeche: a) alimentación; b) interanidación y c) migración.	33
Figura 9. Hotspots de Isla Arena.	34
Figura 10. Ubicación geográfica del Golfo de México.	62
Figura 11. Temperatura Superficial del mar (TSM) en tres épocas climáticas: a) secas, b) lluvias y c) nortes.	71
Figura 12. Variación de TSM en zonas de migración de tortugas marinas en Isla Arena. a) lluvias, b) nortes.	72

Figura 13. Variación de TSM en áreas de interanidación de tortugas marinas en Isla Arena.....	73
Figura 14. Variación de TSM en el espacio utilizado para alimentación de tortugas marinas en Isla Arena: a) secas, b) lluvias, c) nortes.....	74
Figura 15. Densidad de embarcaciones menores Isla Arena. a) Temporada 1, b) Temporada 2, c) Temporada 3, d) Anual (2017-2019).....	75
Figura 16. Impacto 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).....	77
Figura 17. Impacto 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).....	78
Figura 18. Impacto potencial en Isla Arena en etapa de interanidación. a) temporada 2 (mayo a agosto), b) anual (temporada 2 del 2017-2019).	79
Figura 19. Impacto potencial en Hotspots de Isla Arena. a) temporada uno (enero a abril), b) temporada dos (mayo a agosto), c) temporada tres (septiembre a diciembre), d) anual (2017-2019).....	80
Figura 20. Áreas Naturales Protegidas cercanas a Isla Arena.	101
Figura 21. Infografía de tortugas marinas en Isla Arena	109

Lista de Tablas

Tabla 1. Listado de especies presentes en el Golfo de México.....	9
Tabla 2. Categorización de etapas que realiza una tortuga marina en un rastreo satelital.	20
Tabla 3. Datos individuales de rastreo.	23
Tabla 4. Tamaño de ámbito hogareño de tortugas marinas.	29
Tabla 5. Intervalos de la intensidad de uso de espacio de tortugas marinas en Isla Arena y su clasificación.	68

PREFACIO

Las poblaciones de tortugas marinas han sido estudiadas por diferentes disciplinas, enfocadas principalmente a su recuperación y conservación en las múltiples regiones que ocupan a nivel global. El estudio de las etapas que realizan en sus hábitats marinos es un tema complejo que estudiar, debido al difícil acceso a estos sitios, así como el alto costo del equipo necesario para llevar a cabo investigaciones.

Con la finalidad de ampliar el conocimiento de estos organismos en la región sur del Golfo de México, la presente investigación planteó como objetivo identificar y describir zonas prioritarias de agregación y migración de las tortugas marinas en la región de Isla Arena, Campeche, y con esta información generar una propuesta de conservación de áreas prioritarias para estas especies en la región.

Para ello, se rastreó satelitalmente a doce tortugas marinas de las especies *Eretmochelys imbricata*, *Chelonia mydas* y *Lepidochelys kempii*, y con cuyos datos se estimaron ámbitos hogareños, intensidad de uso de espacio y Hotspots. Esta información fue complementada con imágenes satelitales de temperatura superficial del mar, y con la densidad de embarcaciones presentes en las aguas adyacentes a Isla Arena para estimar su impacto potencial en la zona.

Los resultados obtenidos fueron presentados a las autoridades y actores sociales vinculados con las actividades de conservación y manejo de recursos pesqueros de la región de Isla Arena quienes manifestaron su interés y compromiso para dar seguimiento a este tipo de estudios para completar la información, así como para utilizar dicha información en el cuidado del recurso.

CAPÍTULO 1. Uso de telemetría para la identificación de zonas prioritarias de agregación y/o migratorias de las tortugas marinas en la región sur del Golfo de México

RESUMEN

Las tortugas marinas son organismos importantes para sus ecosistemas, ya sea por las funciones ecosistémicas que realizan o por ser considerados como especies bandera. Pasan la mayor parte de su vida en su fase oceánica y costera en la que crecen, se alimentan y reproducen y donde menor cantidad de investigaciones se han realizado. El Golfo de México y Mar Caribe alberga cinco de las siete especies de tortugas marinas que existen en el mundo, y donde la mayoría de las investigaciones se han realizado en sus playas de anidación. El objetivo de este capítulo fue identificar zonas de agregación y distribución de rastreos satelitales de doce hembras adultas de tortugas marinas de las especies *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata* y *Lepidochelys kempii* en Isla Arena, Campeche. Para ello, se estimó sus rutas migratorias y ámbito hogareño de alimentación e interanidación mediante el método probabilístico no paramétrico de Kernel 50% y 75%, intensidad de uso de espacio de las tres etapas que realizan, y estimación de Hotspots. Como resultado, sólo se presentaron ámbitos hogareños de alimentación de cinco individuos de *Chelonia mydas* (5.76-286.63 km²) en Isla Arena, así como movimientos migratorios de dos individuos de esta especie en conjunto con tres de *Lepidochelys kempii* y uno de *Eretmochelys imbricata*. La mayor intensidad de uso de espacio para la etapa de alimentación sucede al norte de Isla Arena, en la región adyacente a la entrada de la boca de la Ría Celestún, mientras que para interanidación se presentó en la región oeste de Celestún e Isla Arena, y para migración al sur de Isla Arena. De forma similar, precisamente entre esta última región, así como al norte de Isla Arena, se encontró el *Hotspot principal*, mientras que la región este y oeste forma parte de un *Hotspot secundario*. En conclusión, Isla Arena representa un hábitat marino crítico para las diferentes especies de tortugas marinas que se distribuyen y establecen su zona de residencia, así como representar un importante Hotspot en su zona norte, oeste y sur.

PALABRAS CLAVE

Ámbito, intensidad, Campeche, Hotspot, alimentación.

ABSTRACT

Sea turtles are important organisms for their ecosystems, whether for the ecosystem functions they perform or because they are considered flagship species. They spend most of their lifetime in their oceanic and coastal phase where they grow, feed, and reproduce, and where less research has been conducted. The Gulf of Mexico and the Caribbean Sea harbor five of the seven species of sea turtles that occur in the world, and where most of the research has been carried out on their nesting beaches. The objective of this chapter was to identify aggregation and distribution of satellite tracking of twelve adult female sea turtles of *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata* and *Lepidochelys kempii* in Isla Arena, Campeche. Whereby, their migratory routes and home range of feeding internesting were estimated using the non-parametric probabilistic method of Kernel 50% and 75%, intensity of space use for the three stages they carry out, and estimation of hotspots. As result, only five individuals of *Chelonia mydas* (5.76-286.63 km²) established their home feeding ranges in Isla Arena, as well as migratory movements of two organisms of this species along with three organisms of *Lepidochelys kempii* and one of *Eretmochelys imbricata*. The highest intensity of space use for feeding occurs in the north, in the region alongside to the entrance to the mouth of the Ría Celestún, while for internesting occurs in the western region of Celestún and Isla Arena, and for migration in the south of Isla Arena. Similarly, precisely between this last region, as well as north of Isla Arena, the main Hotspot is located, while its eastern and western regions are part of a secondary Hotspot. In conclusion, Isla Arena represents a critical in- water habitat for its different stages for the different species of sea turtles that are distributed and establish their residence area, as well as representing an important Hotspot in its north, west and south regions.

KEY WORDS

Range, intensity, Campeche, Hotspot, feeding.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Las tortugas marinas en el Golfo de México

Las tortugas marinas son especies que realizan funciones ecosistémicas en los sitios donde se encuentren, ya sea como consumidores, presas, competidores, hospederos de epibiontes, transportadores de nutrientes y modificadores del paisaje. A lo largo de su vida, utilizan una amplia diversidad de hábitats durante su desarrollo como playas, zonas marinas costeras, bahías y arrecifes. Son organismos que presentan un crecimiento lento y maduración tardía, además de que realizan extensos desplazamientos oceánicos de cientos o miles de kilómetros, que en muchas ocasiones llegan a cruzar aguas de jurisdicción internacional. Estas estrategias de migración resultan complejas y poco estudiadas, además de que las convierte vulnerables a diversos impactos antropogénicos (Abreu-Gorobois, 2016; Cuevas, 2017; Bjorndal y Jackson, 2002).

Por otra parte, estos animales marinos son considerados como especies bandera, ya que sirven para atraer la atención gubernamental, del público o posibles donantes, en la implementación y desarrollo de programas de conservación que involucren tanto a la especie, como a las especies menos llamativas con las que pudiera estar asociada (Isasi-Catalá, 2011). A su vez, son consideradas como especies bioindicadores, ya que pueden bioacumular contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el alimento, sedimentos y agua, así como sustancias tóxicas volátiles, por lo que al evaluar el estado de las poblaciones de tortugas marinas se puede conocer la salud de los ecosistemas costeros y marinos (Patino-Martínez *et al.*, 2014)

Las tortugas marinas pasan la mayor parte de su ciclo de vida en hábitats marinos, donde se alimentan y reproducen, en sitios fijos con mantos de algas, o transitorios, donde ocurren afloramientos estacionales de medusas e invertebrados bentónicos (Corbalá, 2010). Sólo las hembras reproductoras regresan a tierra durante su época de desove, y lo hacen en las mismas playas donde nacieron por la fidelidad que tienen hacia éstas (Márquez-Millán, 2014). Precisamente de las playas de anidación es de donde se tiene mayor conocimiento, y donde más soluciones se han trazado contra las amenazas que acechan a estos organismos marinos, mientras que los hábitats de crianza, interanidación y alimentación en el mar son un sitio de aun mayor riesgo, ya que se presentan las mayores agregaciones durante las múltiples deposiciones de huevos (Goodley *et al.*, 2008).

En el Golfo de México y Mar Caribe se distribuyen las especies *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys kempii*, *Caretta caretta*, y en menor abundancia *Dermochelys coriacea* (Uribe-Martínez *et al.*, 2017) (Tabla 1), con excepción de *Natator depressus*, cuya residencia es exclusivamente de Oceanía, y *Lepidochelys olivacea* que se encuentra en el Pacífico mexicano (Valverde y Holzwart, 2017).

Tabla 1. Listado de especies presentes en el Golfo de México.

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	PLAYAS DE ANIDACIÓN	ALIMENTACIÓN	ÉPOCA REPRODUCTIVA	CATEGORÍA DE RIESGO (IUCN,2020)
<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortuga carey (Cuevas-Flores, 2016)	Champotón, Isla Aguada (Campeche, Celestún (Yucatán).	Juvenil: moluscos, crustáceos, anémonas. Adulto: peces, algas, esponjas.	Abril-agosto, de 2 a 5 nidadas cada 3 años.	En peligro crítico
<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga verde, tortuga blanca (Delgado-Trejo, 2016)	Tamaulipas hasta Quintana Roo, principalmente en la Península de Yucatán.	Juvenil: cangrejos, poliquetos, medusas. Adulto: Algas y pastos marinos.	Mayo a octubre, con mayor incidencia en julio y agosto. 2 anidaciones entre 2-4 años.	En peligro de extinción
<i>Lepidochelys kempii</i>	Tortuga lora (Castro-Martínez, 2016)	Endémica del Golfo de México, se encuentra principalmente en la Bahía de Florida y el Banco de Campeche.	Juvenil: Se desconoce Adulto: crustáceos, moluscos, peces, gasterópodos y algas marinas.	Marzo a julio con 2 anidaciones por temporada.	En peligro crítico
<i>Caretta caretta</i>	Tortuga caguama (Koch y Pechman, 2016)	Océano Pacífico, Golfo de California y Golfo de México.	Juvenil y adulto: crustáceos, medusas, cangrejos y peces.	Abril a julio.	Vulnerable
<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortuga laúd (López-Sánchez, 2016)	Principalment e Océano Pacífico, Mar Caribe y ocasionalment e Golfo de México.	Juvenil: Se desconoce. Adulto: Medusas y peces.	Octubre a abril.	Vulnerable

En el múltiples zonas del Golfo de México se han abordado investigaciones de tortugas marina, como en la región norte del Golfo de México de movimientos migratorios de *L. kempii* (Coleman *et al.*, 2016; Hart *et al.*, 2018; Shaver *et al.*, 2005). En el este del Golfo de México se han estudiado migraciones de *C. caretta* (Iverson *et al.*, 2020), distribución de poblaciones de *C. caretta* (Griffin y Griffin, 2003), y áreas de alimentación de *C. caretta*, *C. mydas* y *L. kempii* (Wildermann *et al.*, 2019). Al oeste, movimientos migratorios de *C. mydas* (Metz *et al.*, 2020), movimientos migratorios de *L. kempii* (Hughes y Landry Jr, 2016, Shaver *et al.*, 2015) y fidelidad a los sitios de alimentación (Shaver *et al.*, 2013)

En lo que respecta a la región sur del Golfo de México, la península de Yucatán alberga importantes playas de anidación para poblaciones de tortuga carey (Campbell, 2014), las cuales son consideradas de las más grandes a nivel mundial (Garduño-Andrade y Guzmán, 1999). En esta región se han identificado sitios de interanidación, anidación y alimentación para *E. imbricata*, *C. mydas* y rutas migratorias para *L. kempii* (Uribe-Martínez *et al.*, 2021), al norte poblaciones de *C. mydas* (Méndez *et al.*, 2013) y áreas de alimentación de *E. imbricata* (Cuevas *et al.*, 2007), distribución de machos de *C. mydas*, *E. imbricata*, *C. caretta* y *L. kempii* al sur (Cuevas *et al.*, 2020), hábitats críticos para poblaciones de *E. imbricata*, *C. mydas* y *C. caretta* (Cuevas *et al.*, 2010), movimientos migratorios de individuos de *E. imbricata* (Cuevas *et al.*, 2008), y hábitats críticos en agua en el sur del Golfo de México de *E. imbricata*, *C. mydas*, *C. caretta* y *L. kempii* (Uribe- Martínez *et al.*, 2021).

1.2 Ámbitos hogareños, rutas migratorias y hábitat crítico

Un animal realiza la selección de su hábitat para utilizar la más alta calidad, cantidad y disponibilidad de los recursos durante un determinado periodo de tiempo; para las tortugas marinas, la selección de los hábitats de alimentación y anidación están sujetas a factores intrínsecos y extrínsecos a los individuos o poblaciones (Cuevas, 2017). La temperatura, por mencionar uno, es de los principales factores que juegan un papel en la selección de hábitat para las tortugas marinas, las cuales tienen preferencia por regiones superiores a los 15°C (McMahon y Hays, 2006).

Otro factor importante por considerar es la dieta de cada especie, ya que juega un papel importante para su establecimiento. En su etapa adulta, la mayoría de las especies de tortugas marinas tiene hábitos carnívoros consumiendo tunicados, moluscos, esponjas, medusas y vertebrados bentónicos (Mortimer, 1995), a excepción de *C. mydas*, la cual durante su vida pelágica tiene una dieta omnívora y, conforme crece, se recluta en hábitats poco profundos donde cambia su alimentación por pastos marinos y macroalgas bentónicas (Stadler, 2015).

Es así, que cada especie tiene afinidad a diferentes sitios: *Lepidochelys olivacea* y *D. coriacea*, buscan áreas con alta productividad primaria; *L. kempii*, *C. caretta* y *N. depressus*, zonas neríticas productivas cercanas a la plataforma continental, mientras que *E. imbricata* y *C. mydas* son especies que migran a zonas de alimentación ubicadas cerca de la costa (Plotkin *et al.*, 2002).

El ámbito hogareño (*Home Range*, en inglés) es el área dentro de la cual un individuo se mueve y realiza sus actividades normales, y donde se incrementa su supervivencia y reproducción, encuentran alimento, refugio, apareamiento,

anidación y en algunos casos, cuidado de las crías (Burt, 1943; Hernández-Gallegos *et al.*, 2015; Servín *et al.*, 2014). Para su delimitación, existen herramientas que cuantifican la extensión del hábitat que un individuo o población utiliza, además de ser un paso fundamental en el entendimiento de los mecanismos y relaciones espaciales para la selección de hábitat, al igual que las respuestas de los animales a los cambios ambientales (Cumming y Cornélis, 2012).

Por otra parte, a los hábitat críticos, la Ley General de vida Silvestre (2021) en el artículo 63, los define como áreas terrestres o acuáticas, utilizadas por poblaciones o especies en categoría de riesgo para alimentación, depredación, forrajeo, descanso, crianza o reproducción, o rutas de migración, y que por tanto requieren manejo y protección especial.

En la península de Yucatán se han identificado áreas de distribución, ámbitos hogareños y hábitat críticos de tortugas marinas, como es el caso de Las Coloradas, en cuyo litoral se han encontrado importantes zonas de alimentación, desarrollo y refugio de tortugas juveniles de *E. imbricata* y *C. mydas* (Garduño-Andrade y Guzmán, 1999; Cuevas *et al.*, 2007). Ámbitos hogareños de alimentación hembras post-anidantes de *E. imbricata* (Cuevas *et al.*, 2008) y *C. mydas* (Méndez *et al.*, 2013) en la península de Yucatán, así como en el noreste y oeste de la misma; al igual que en Veracruz y Tamaulipas donde se encuentran áreas de alimentación para *E. imbricata* y *C. mydas* (Cuevas *et al.*, 2020).

Además, se han identificado hábitats críticos de anidación en el litoral yucateco y el estado de Campeche para *E. imbricata*, y la zona oriente de la península para *C. mydas*, además de que es un importante corredor migratorio para estas dos especies y *C. caretta* (Cuevas *et al.*, 2010); hábitats críticos acuáticos de

alimentación en el noroeste y noreste de la península para hembras post-anidantes de *E. imbricata*, *C. mydas* y *L. kempii*, así como de interanidación para *E. imbricata* en el oeste de la península de Yucatán y en el Banco de Campeche para *C. mydas* (Uribe-Martínez *et al.*, 2021). Para *E. imbricata* la plataforma de la península de Yucatán es un hábitat crítico de alimentación, mientras que para *C. mydas* las costas de Campeche y Veracruz son hábitats críticos de interanidación, y de alimentación el noroeste, noreste y Caribe mexicano; para *L. kempii*, la periferia de la península de Yucatán es un corredor migratorio y el noreste es de residencia (Liceaga-Correa 2021).

La importancia del estudio de los movimientos migratorios, zonas de alimentación e interanidación de tortugas marinas radica en que proporciona información en materia de conservación para la identificación de la sobreposición que existe con las actividades humanas que las impactan, y que resulta una herramienta útil en la recuperación de sus poblaciones, así como en la evaluación de las amenazas que hacen presión sobre ellas (Troëng, 2004; Shaver *et al.*, 2016).

1.3 Hotspots de tortugas marinas

El término Hotspot (tecnicismo en inglés), se refiere a una región geográfica que alberga una elevada riqueza de especies, nivel de endemismo, número de especies raras o amenazadas, y cuya delimitación ayuda a establecer prioridades para la conservación (Reid, 1998). Así mismo, Harvey *et al.* (2017) definen como zonas prioritarias o Hotspot a zonas basadas en el estimado de especies endémicas y el estado en que se encuentre un hábitat, ya sea perdido o amenazado.

Estos se expresan matemáticamente como la intersección ponderada de los hábitats críticos (interanidación, alimentación y rutas migratorias) de las especies, y considera la importancia particular de conservación de cada uno (Liceaga-Correa, 2021). También, son fuente de información útil en la identificación de sitios donde se requiere disminuir o evitar la captura incidental de tortugas marinas, así como usarlos con la finalidad de una zonificación y planificación en la pesca (Hsiang-Wen, 2015).

A las costas del Golfo de México, Meylan (1995) las identificó como Hotspot para hembras de tortugas loras, debido a que los recursos que quedan después del actuar de las redes de arrastre de cangrejo y camarones son atractivos para el establecimiento de sus sitios de alimentación. Las costas de Louisiana, EE. UU, son consideradas como un Hotspot primario debido a la presencia de individuos de las especies *L. kempii* y *C. caretta*, y cuya detección ha ayudado a evaluar la sobreposición con actividades antrópicas en la zona (Hart *et al.*, 2018). En el noroeste del Golfo de México, se han identificado regiones costeras de Texas, EE. UU, como Hotspots, información que se ha utilizado para coordinar el tiempo de cierres o restricción de acceso para evitar la destrucción del hábitat o daño a tortugas marinas en estas áreas (Metz *et al.*, 2020). Del mismo modo, Hart *et al.* (2018) reportaron Hotspots principalmente en las costas de Luisiana, en áreas pequeñas en zonas neríticas del Golfo de México y con cuya información se evaluaron las amenazas antrópicas presentes en el área.

En el sur del Golfo de México son pocos los trabajos que han abordado este tema; Cuevas *et al.* (2018), identificaron Hotspots de captura incidental cercanos a la costa noreste, noroeste y suroeste de la península de Yucatán, sobreponiendo los rastreos de hábitat de tortuga verde y carey con el esfuerzo

pesquero de embarcaciones artesanales. Además, Liceaga-Correa *et al.* (2021), han identificado Hotspots de tortugas en zonas neríticas a Veracruz, así como al norte y oeste de la Península de Yucatán.

1.4 Tecnologías de telemetría

Una estrategia para el estudio de las tortugas marinas es el marcaje metálico, sin embargo, su efectividad en ocasiones se ve limitada por su durabilidad o bien, porque las tortugas las pierden fácilmente antes de que los ejemplares sean recapturados (Márquez, 1996). Como consecuencia de los avances tecnológicos contemporáneos, la era de la microelectrónica proporcionó una nueva visión dentro de los movimientos de las tortugas marinas que ha derivado a que actualmente los transmisores modernos transmitan datos a un satélite en órbita, con una expectativa de vida variable (Eckert, 1995). Tal es el caso de los transmisores satelitales, los cuales han posibilitado detallar con precisión las rutas migratorias, localización y uso de zonas de forrajeo de juveniles y adultos tanto en zonas neríticas como pelágicas (Godley *et al.*, 2010).

Esta tecnología ayuda no sólo a la descripción de movimientos horizontales de grandes vertebrados marinos, también contribuye a proporcionar información de la superposición de amenazas antropogénicas y la evaluación de los límites de conservación (Dawson *et al.*, 2017). Del mismo modo, con ayuda de esta tecnología, la biodiversidad de tortugas marinas, mediante modelos de distribución taxonómica, es utilizada para la identificación de zonas prioritarias (Fujioka y Halpin, 2014).

OBJETIVO

Identificar y describir zonas de agregación y prioritarias de protección y manejo de tortugas marinas en la zona marina de Isla Arena, Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

1.5 Ubicación geográfica del área de estudio

Esta investigación se concentró en la zona marina de Isla Arena con coordenadas $20^{\circ}35'59''\text{N}$ y $90^{\circ}56'56''\text{W}$ (Fig. 1). La comunidad de Isla Arena se encuentra establecida sobre una península no mayor a 2 kilómetros de largo y 150 metros de ancho formando un estero (Galeana, 2014), y se encuentra al interior de la Reserva de la Biósfera Ría Celestún.

El clima en la región es semiseco con lluvias en verano y escasas el resto del año BS (h') w(c). La temperatura promedio anual es de 26.5°C y una precipitación promedio anual de 767 mm; la temperatura oceánica oscila de 24°C en invierno a 28°C en verano y una radiación solar de 2401 cal/cm.

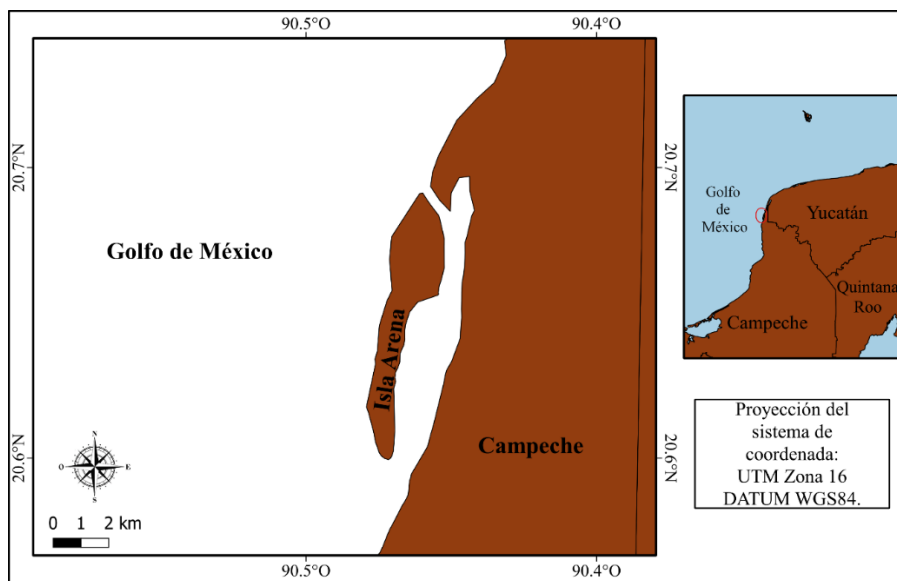


Figura 1. Demarcación del área de estudio Isla Arena, Campeche.

La población humana de este sitio tiene como una de sus principales actividades productivas la pesca, ya que las características del terreno contienen una alta concentración de sales disueltas, lo que imposibilita establecer zonas de pastoreo o desarrollar cualquier actividad agrícola. El ciclo pesquero se

organiza conforme a la estacionalidad: en nortes, la pesca se concentra en la escama (peces), entre mayo y julio en la captura de caracoles y escama, de agosto a diciembre en la pesca del pulpo (Galeana, 2014; Uc-Espadas *et al.*, 2018). Así mismo el régimen climático se divide en tres temporadas: secas (marzo-mayo), lluvias (junio-octubre) y nortes (noviembre- febrero) (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2004).

1.6 Telemetría satelital y colocación de transmisores

Se utilizaron bases de datos de campañas de rastreos satelitales no continuas que datan del 2007 al 2017 realizados por diferentes fuentes de financiamiento. Para esta investigación, se trabajaron con las especies *E. imbricata* (carey), *L. kempii* (lora) y *C. mydas* (verde), que se tiene evidencia que utilizan Isla Arena.

Los transmisores, de las marcas Wildlife, Telonics y Sirtrack, fueron colocados a 12 individuos de las especies antes mencionadas. Todos fueron individuos hembras adultos, 10 de ellos fueron capturados en sus playas de anidación en Tamaulipas y la Península de Yucatán, mientras que los dos restantes fueron capturados en la zona marina en sus sitios de residencia. Estos transmisores utilizan un sistema de encendido 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 la tortuga se encuentra fuera del agua (cuando el individuo está en la superficie del mar) y comienza a transmitir datos (Wildlife Computers).

La técnica que se utilizó para la colocación de transmisores fue la propuesta por Gallegos-Fernández *et al.* (2018), donde entre el primero y segundo escudo supracaudal, sobre la línea media dorsal en el extremo craneal, se limpió con una lija y agua dulce para eliminar epibiontes o residuos de macroalgas,

utilizando siempre guantes de látex (Fig. 2); posteriormente se fijó el transmisor con pegamento epóxico, plastilina epóxica y cintas de fibra de vidrio, con especial precaución de no tener contacto con los interruptores para no afectar su funcionamiento, y para retardar la fijación de epibiontes se aplicó pintura para posteriormente, liberar el individuo.

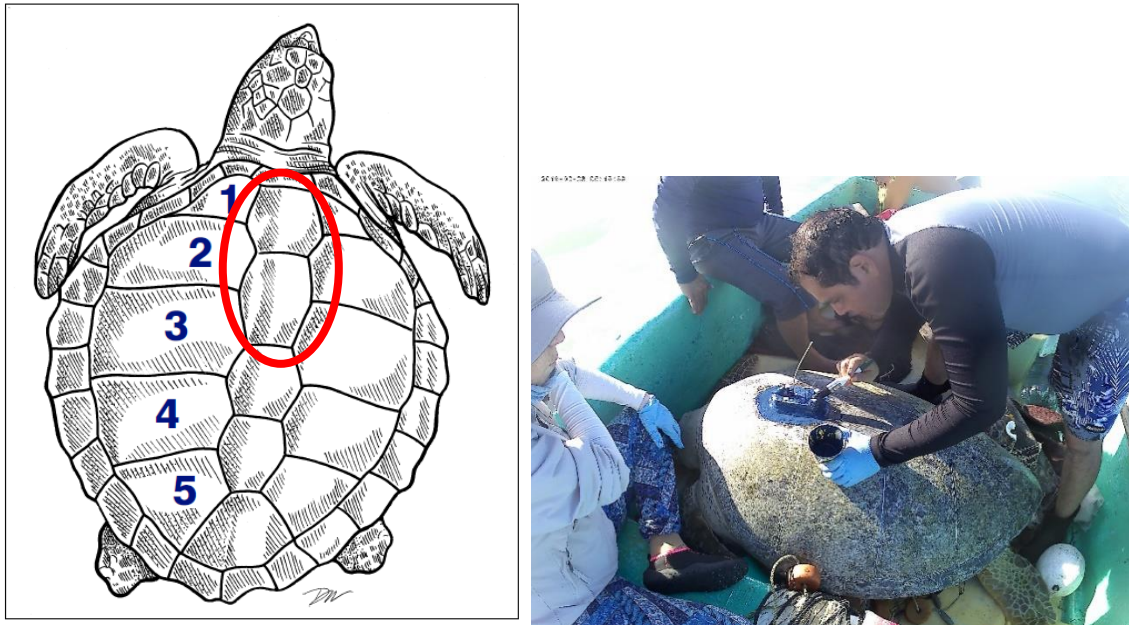


Figura 2. A la izquierda, escudos del caparazón donde debe colocarse el transmisor (modificado de Wynecken, 2004). A la derecha, fotografía tomada durante muestreo en febrero de 2019.

La mayoría de estos transmisores registran diferente información dependiendo de la marca, aunque generalmente proporcionan la siguiente información: fecha, hora, latitud y longitud, duración del último buceo, duración promedio de los buceos y número de buceos realizados en periodos de 12 horas. Así mismo, estos transmisores estiman las coordenadas geográficas mediante el programa Argos (2008), el cual emplea satélites de órbita polar de la NOAA para fijar las ubicaciones.

1.7 Estimación de rutas migratorias y ámbitos hogareños

Cada rastreo fue transformado en un formato “valores separados por comas (CSV por sus siglas en inglés) en el programa Excel, para poder así exportarlo al programa QGIS (Qgis, 2015) y poder manipular la información contenida. Además, para tener una mejor representación gráfica de la distribución de los puntos en la zona marina de México, se utilizaron archivos vectoriales (shapefiles) de los mapas de la división política de México, obtenidos del portal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Un shapefile es un formato que almacena atributos y geometría no topológica para las características espaciales en un conjunto de datos; la geometría de un shapefile se puede representar mediante puntos, líneas o polígonos (ESRI, 1998).

Para la elaboración de los ámbitos hogareños, previamente cada derrotero, o rastreo satelital, fue sometido a una depuración de datos erróneos, es decir, puntos que se encontraran en tierra y/o que se ubicaran en alguna región terrestre extremadamente lejana a la zona de estudio.

Una vez depurado el derrotero, mediante la herramienta “puntos a ruta” del programa Qgis (Qgis, 2015), se consideró como guía las fechas de transmisión para trazar el trayecto realizado por la tortuga. En el caso de que el desplazamiento presentara migraciones que no coincidirán en relación distancia- tiempo de recorrido, nuevamente se depuraba el rastreo, con particular atención en la amplitud del ángulo que forman los puntos entre sí durante el trayecto y la velocidad con la que se desplazaron de un punto a otro (Uribe-Martínez *et al.*, 2021; Bailey *et al.*, 2012).

Al tener definidas las migraciones, los puntos fueron clasificados en tres etapas: alimentación, migración e interanidación, nominada cada una con una abreviación (Tabla 2) (Uribe-Martínez *et al.*, 2021; Cuevas *et al.*, 2008; Iverson *et al.*, 2020).

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

ETAPA	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

Posteriormente, para cada conjunto de datos categorizados como alimentación e interanidación se determinó el ámbito hogareño mediante el método probabilístico no paramétrico de Kernel (Wornton, 1989). En éste, se 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% (KUD 50% y KUD 75%). Para este procedimiento se empleó el programa estadístico R Studio (Team, 2018) con el paquete *adehabitatHR* (Calenge, 2006).

Con los datos de los ámbitos hogareños calculados se procedió a estimar la intensidad de uso de espacio. Para ello, se diseñó una rejilla de hexágonos del área de estudio compuesta de 170 hexágonos de 5 km² de diámetro, cada uno con un área de 21 km², la cual fue empleada para hacer estimaciones sobre unidades espaciales regulares, con la finalidad de calcular el área que ocupa cada etapa en relación cada hexágono de la rejilla.

Este cálculo se realizó por medio de la ecuación 1 (Ec.1), en la cual se determinó la intensidad de uso de espacio (**IUE**) de acuerdo con lo propuesto por Cuevas *et al.* (2018):

$$(Ec. 1) \quad IUE_{etapa} = \sum_{i=1}^n (AH_j)$$

Donde n es el número total de individuos y AH_j es el área que ocupa cada ámbito hogareño por individuo en un hexágono dado. Los resultados de cada etapa se reescalaron por medio de la ecuación 2 (Ec.2):

$$(Ec. 2) \quad Reesc_{hex} = \frac{X_i}{Valor_{max}}$$

donde X_i es cada uno de los valores obtenidos de la sumatoria de IUE_{etapa} , y $Valor_{max}$ es el valor máximo obtenido; por lo que donde existe un alto uso de espacio adquiere el valor máximo 1, 0.5 uso intermedio y donde no hay uso es un valor 0. Estos resultados se clasificaron con el algoritmo de Jenks (North, 2009) para maximizar sus diferencias y obtener cuatro niveles: 1) mayor, 2) regular, 3) menor y 4) sin uso.

Cabe mencionar que, dado a que no se contó con datos de interanidación en el área de estudio, se utilizaron datos de estimaciones de tamaño de áreas de anidación de tortugas carey en Isla Arena (Vázquez-Cuevas y Cuevas, 2019; Uribe-Martínez *et al.*, 2021). Con estos datos, mediante la herramienta de geo proceso “buffer” del programa Qgis (Qgis, 2015), se generó un buffer de 5 km para delimitar la zona de interanidación en la zona de estudio. Este mismo proceso se realizó con los puntos de las rutas migratorias, donde se generó un “buffer” de 500 m a los lados como una estimación del área potencialmente ocupada por el individuo en su tránsito (Uribe-Martínez *et al.*, 2021).

1.8 Cálculo de Hotspot

Con los resultados de la intensidad de uso de espacio, se procedió a estimar los Hotspot de tortugas marinas en aguas alrededor de Isla Arena. Para ello, previamente fue necesario agregar una serie de ponderaciones, de acuerdo con lo propuesto por Cuevas *et al.* (2018), basado en la categoría de riesgo de extinción que tiene cada especie: 0.333 para *E. imbricata*, 0.1026 para *C. mydas*, y 0.3077 para *L. kempii*. De igual manera se ponderó a cada etapa conforme a la importancia que éstas tienen: 0.6 a alimentación, 0.3 a interanidación y 0.1 a migración (Cuevas *et al.*, 2019).

Este procedimiento se realizó por medio de la ecuación 3 (Ec.3):

$$(Ec. 3) HS = \sum_{i=1}^n (IUE_{etp} * \lambda mvj * \lambda spj)$$

donde n es el número total de etapas, IUE_{etp} es cada intensidad de uso de espacio, λmvj es la ponderación por etapa y λspj es la ponderación de la especie. Estos resultados también se clasificaron con el algoritmo de Jenks (North, 2009) para maximizar sus diferencias y obtener tres niveles de importancia: 1) *Hotspot* principal, 2) *Hotspot* secundario, 3) Área de distribución y 4) Sin uso.

RESULTADOS

1.9 Derroteros de tortugas marinas

Se obtuvo un total de 6,814 datos correspondientes a doce tortugas marinas hembras (Tabla 3), de las cuales una era tortuga carey (*E. imbricata*), cuatro tortugas lora (*L. kempii*) y siete tortugas verde (*C. mydas*). Sólo dos organismos no fueron marcados en su playa de anidación (“176010” y “176011”), el resto fue marcado en su fase de anidación en diferentes playas del Golfo de México.

Tabla 3. Datos individuales de rastreo.

Nombre de tortuga	Especie	Ruta	Tiempo total de rastreo
Adriana	<i>Chelonia mydas</i>	Yucatán - Campeche	25/07/2013 - 18/09/2013 55 días
Gertrudis	<i>Chelonia mydas</i>	Yucatán - Campeche	19/06/2011 - 10/01/2012 205 días
Marina	<i>Chelonia mydas</i>	Cayo Arcas - Campeche	11/08/2011 - 15/10/2011 80 días
Nacha	<i>Chelonia mydas</i>	Arrecife Alacranes - Oeste de Yucatán	9/07/2011 - 9/10/2011 95 días
Sofía	<i>Chelonia mydas</i>	Yucatán - Campeche	04/08/2013 - 21/09/2013 50 días
Vicky	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Campeche - Noroeste de Yucatán	15/07/2007 - 22/02/2008 225 días
176010	<i>Chelonia mydas</i>	Norte de Campeche - Veracruz	31/01/2019 - 19/06/2019 142 días
Tortuga 1	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Quintana Roo.	18/07/2016 - 11/04/2018 653 días
176011	<i>Chelonia mydas</i>	Campeche-Yucatán	17/02/2019 - 14/03/2019 25 días
158068	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Quintana Roo	31/05/2016 – 11/05/2017 359 días
158070	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Quintana Roo	23/06/2016 – 24/01/2017 217 días
158080	<i>Lepidochelys kempii</i>	Tamaulipas - Yucatán	21/07/2016 – 28/12/2016 162 días

Para la especie *C. mydas*, se registraron 4,097 datos (Fig.3), la tortuga “176010” fue el individuo que mayor número de datos transmitió.

Las etapas de interanidación de esta especie sucedieron en diferentes zonas de la península de Yucatán, espacios arrecifales y Veracruz. La tortuga “Adriana” (Fig. 3.A) interanidó en El Cuyo 10 días, para después emprender su migración durante 11 días hacia Isla Arena, donde radicó 34 días. Similar movimiento hizo “Gertrudis” (Fig.3.B), la cual interanidó en Ría Lagartos durante 76 días, para después migrar también hacia Isla Arena durante 24 días, y residir en este sitio por 105 días.

Por otra parte, “Marina” (Fig.3.C) y “Nacha” realizaron su interanidación fuera de la península de Yucatán. Para el caso de “Marina”, estableció su sitio de interanidación durante 13 días en Cayo Arcas, el cual se encuentra a aproximadamente 177 km de distancia de Isla Arena; posteriormente migró durante 5 días hacia la zona norte de Isla Arena, donde estableció su sitio de alimentación por 50 días. Después de este tiempo, realizó un cambio en su ámbito hogareño hacia la parte central de Isla Arena, donde finalizó su transmisión.

En cambio, “Nacha” (Fig.3.D) estuvo en etapa de interanidación durante 4 días en Arrecife Alacranes, el cual se encuentra a aproximadamente 216 km de distancia de Isla Arena. Migró durante 26 días en un movimiento similar a un “lazo” hacia el norte de Isla Arena, donde estableció su sitio de alimentación durante 65 días.

Únicamente se presentó un caso en el que la interanidación fue posterior al marcaje del organismo. Esto sucedió con la tortuga “176010” (Fig.3.F), la cual fue capturada y marcada en la zona marina de Isla Arena, lugar donde estableció

su sitio de alimentación durante 86 días para posteriormente migrar durante 12 días hacia playa punta puntilla, Veracruz, donde se estableció en su período de interanidación durante 44 días, tiempo en el que finalizó su transmisión.

Dos tortugas de esta especie migraron en cuanto fueron liberadas posterior a su marcaje. El primer caso es “Sofía” (Fig.3.E), la cual fue marcada en playas del Cuyo e inmediatamente se desplazó durante 7 días hacia Isla Arena, donde asentó su zona de alimentación durante 43 días, tiempo en el que finalizó su transmisión.

El otro caso es el de la tortuga “176011” (Fig.3.G), que fue la única tortuga que presentó movimientos restringidos entre Isla Arena y Celestún. Fue marcada en la zona marina de Isla Arena y residió en este espacio durante 17 días. Después se desplazó durante tres días hacia Celestún, lugar donde también estableció su zona de alimentación por cuatro días, para finalmente desplazarse durante un día nuevamente hacia Isla Arena, sitio donde permaneció durante cuatro días.

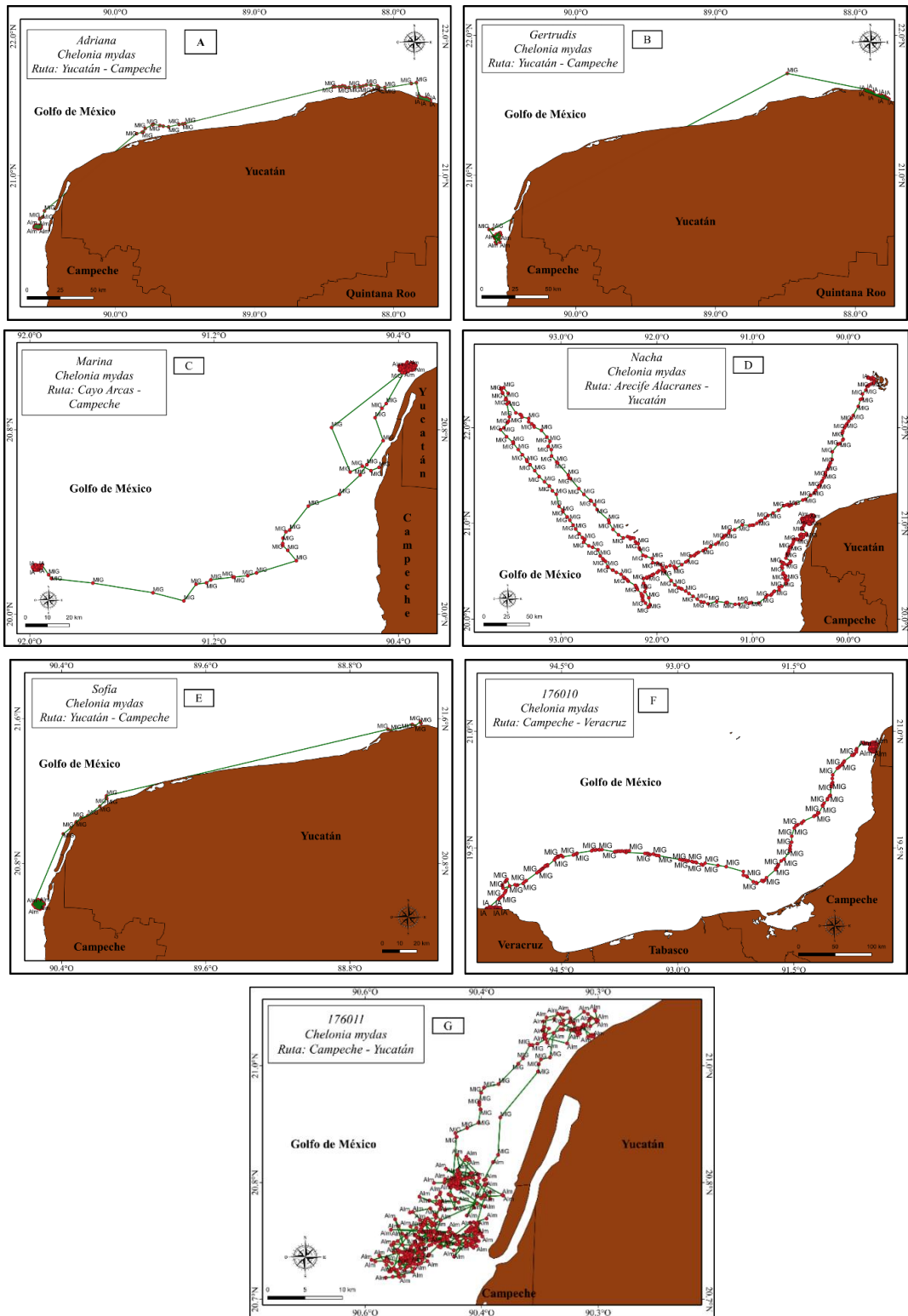


Figura 3. Rastros satelitales de siete individuos de la especie *C. mydas*: a) Adriana; b) Gertrudis; c) Marina; d) Nacha; e) Sofía; f)176010 y g)176011.

Para la especie *E. imbricata*, la tortuga “Vicky” (Fig. 4) reportó un total de 374 datos. Fue marcada en las playas de Ciudad del Carmen, Campeche, lugar donde se estableció durante su etapa de interanidación por 23 días. Después, se desplazó hacia la zona marina frente al noroeste de Yucatán en un tiempo de 15 días, sitio en el cual estableció su zona de alimentación y permaneció ahí 187 días, tiempo en el que finalizó su transmisión.

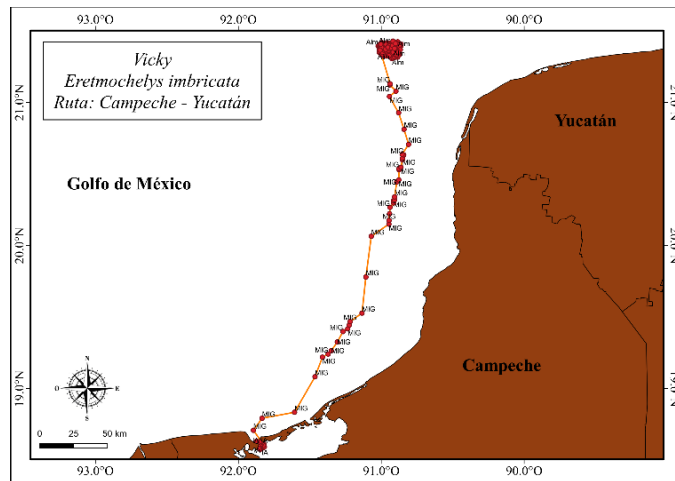


Figura 4. Rastreo satelital de Vicky, individuo de la especie *Eretmochelys imbricata*.

En cuanto a la especie *L. kempii* (Fig. 5), se obtuvo un total de 2,343 datos. La “Tortuga 1” (Fig. 5.A) fue la que mayor número de datos transmitió. Aunque todos los organismos de esta especie fueron marcados en playas de Rancho Nuevo, Tamaulipas, sólo se logró observar la interanidación de la tortuga “158068” (Fig. 5. B). Esta tortuga permaneció frente a las costas de Tamaulipas durante 43 días; posteriormente realizó una migración durante 64 días hacia Tabasco, sitio donde permaneció durante 25 días y se le denominó a esta etapa “stopover”, es decir, una pausa de corto tiempo en el cual presumiblemente descansa o se alimenta para reemprender su marcha. Posteriormente, realizó un

segundo movimiento migratorio durante 39 días hasta establecer su sitio de alimentación en la zona norte de Quintana Roo, asentándose por 188 días.

Referente a los movimientos migratorios de esta especie, fueron desplazamientos costeros realizados en un intervalo de 6 - 44 km de distancia de Isla Arena y aunque se dirigieron hacia el sureste del Golfo de México, no todos tuvieron el mismo destino final. Tres de los cuatro individuos de esta especie establecieron su sitio de alimentación al norte de Quintana Roo, específicamente en Isla Contoy; ahí la tortuga “158070” (Fig. 5. C) permaneció 140 días, mientras que “Tortuga 1” 562 días. Sólo “158080” (Fig. 5. D) tuvo como destino final Las Coloradas, Yucatán, donde migró durante 71 días y residió en este sitio durante 91 días.

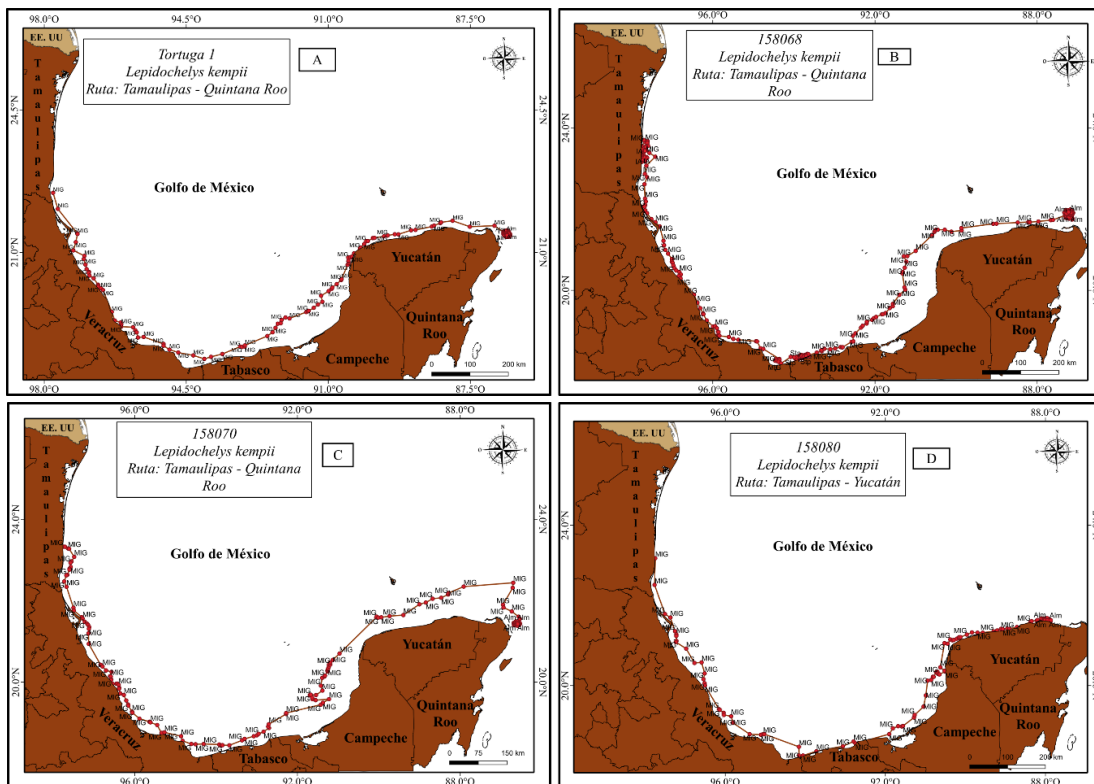


Figura 5. Rastreo satelital de cuatro individuos de la especie *Lepidochelys kempii*: a) Tortuga 1; b) 158068; c) 158070 y d) 158080.

1.10 Ámbitos hogareños e intensidad de uso de espacio

En la estimación de los ámbitos hogareños (Tabla 4), en el área de estudio sólo se presentaron etapas de alimentación de cinco individuos de *C. mydas*, el resto de las tortugas se establecieron en diferentes partes del Golfo de México.

Tabla 4. Tamaño de ámbito hogareño de tortugas marinas.

Nombre de tortuga	Alm		IA	
	KUD 75% (km ²)	KUD 50% (km ²)	KUD 75% (km ²)	KUD 50% (km ²)
Adriana	5.76	1.83	26.31	12.47
Gertrudis	57.17	31.03	102.43	52.62
Marina	15.89	7.15	6.9	2.5
Nacha	57.83	27.38	27.42	13.78
Sofía	13.69	5.14	No presentó	No presentó
176010	46.31	18.46	64.21	32.64
176011	283.63	136.07	No presentó	No presentó
Vicky	106.38	46.74	24.95	11.43
Tortuga 1	113.69	67.69	No presentó	No presentó
158068	237.10	110.54	279.26	113.20
158070	63.49	27.85	No presentó	No presentó
158080	63.49	27.85	No presentó	No presentó
Promedio	88.70	42.31	75.93	34.09
Desviación estándar	87.27	42.32	95.19	38.72

Home range *C. mydas*

El individuo que presentó mayor de área de la especie *C. mydas* fue “176011” (Fig.6.D), con una zona núcleo (KUD 50%) de 136.07 km² y un área total (KUD 75%) de 283.63 km², seguido de “Gertrudis” (Fig.6. B), la cual tuvo un área total de 57.17 km² y una zona núcleo de 31.03 km².

Los individuos con menor tamaño fueron “Adriana” (Fig.6. A), con (KUD 75%) 5.76 km², y “Sofía” (Fig.6.C) con (KUD 75%) 13.69 km². Las zonas de alimentación de estos individuos estuvieron a una distancia de entre 5-7 km desde la línea de costa del área de estudio.

Rutas migratorias de *C. mydas*, *L. kempii* y *E. imbricata* en Isla Arena

En cuanto a los movimientos migratorios, seis tortugas de *C. mydas* (Fig.7.A) recorrieron en promedio 59.45±45.81 km, tres de *L. kempii* (Fig. 7.B), con un promedio de recorrido de 55.3 ± 34.52 km y una de *E. imbricata* utilizaron el espacio marino de Isla Arena para desplazarse entre zonas.

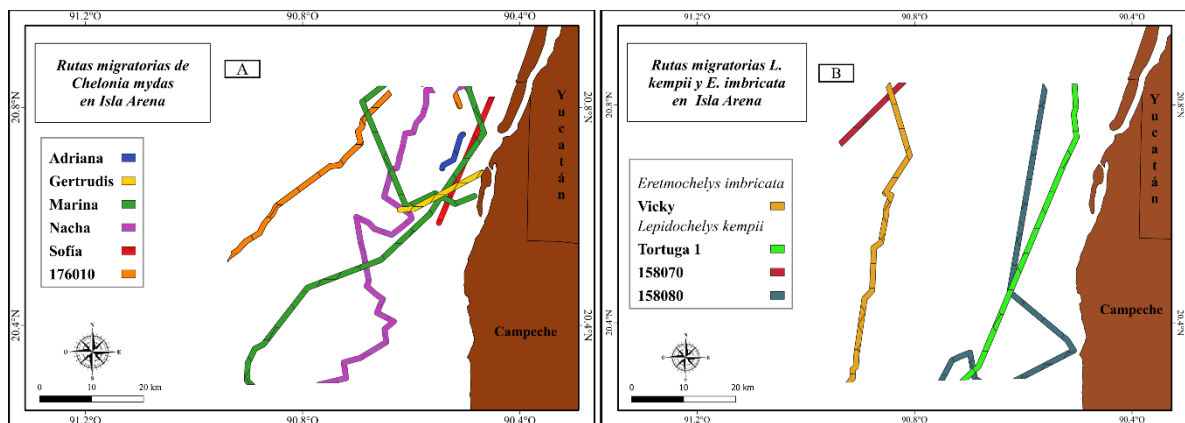


Figura 6. Rutas migratorias de tortugas marinas en Isla Arena, Campeche: a) individuos especie *C. mydas*; b) individuos de especies *L. kempii* y *E. imbricata*.

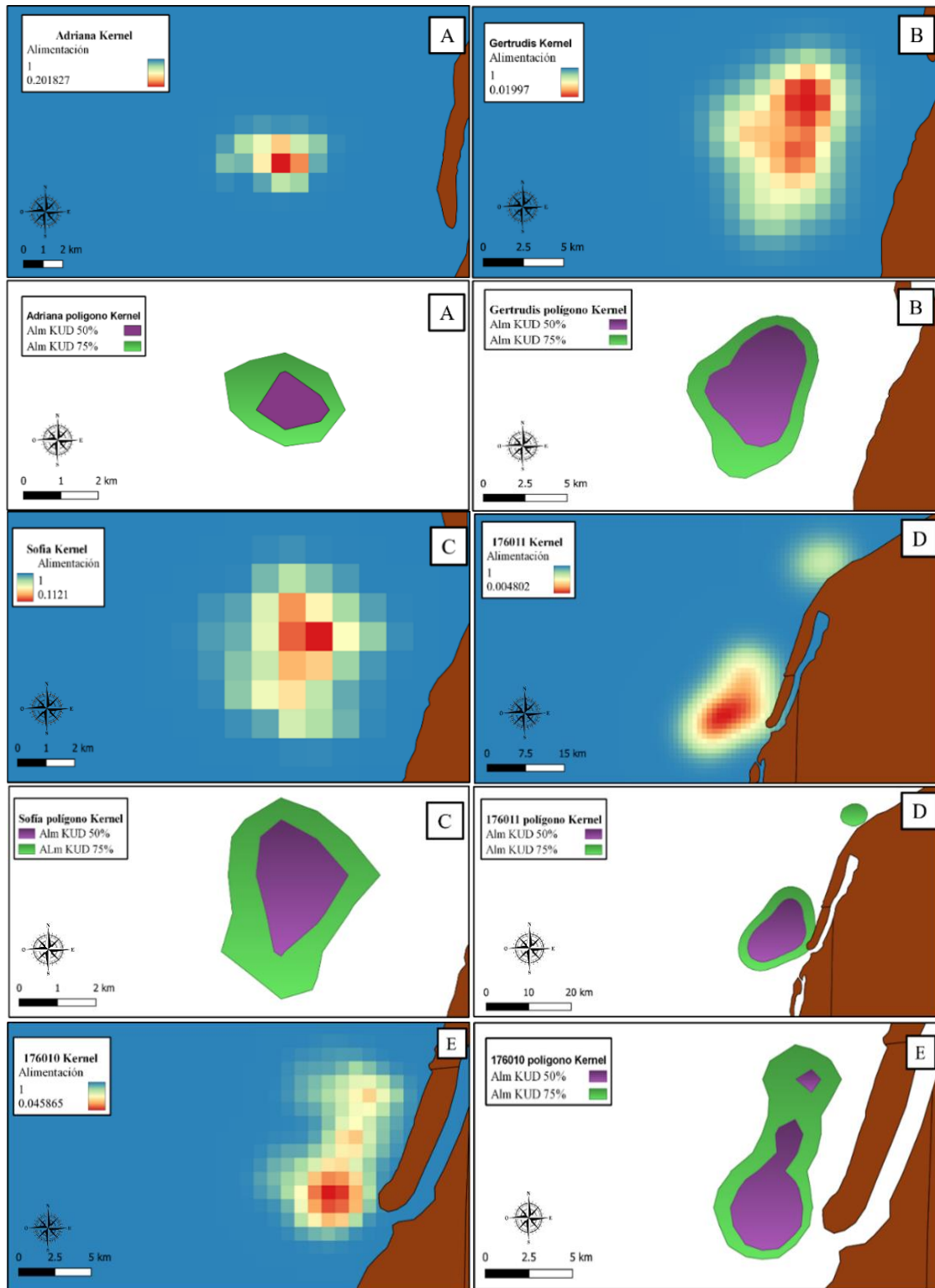


Figura 7. Ámbito hogareño de alimentación de cinco individuos de *C. mydas* en Isla Arena, Campeche: a) Adriana; b) Gertrudis; c) Sofía; d) 176011; e) 176010.

Intensidad de uso de espacio

Referente a la cuantificación de Intensidad de Uso de Espacio (IUE), para la etapa de alimentación (Fig.8. A), la mayor aglomeración de hexágonos se presentó al norte de Isla Arena, con un uso que va de “mayor” a “regular”, región que es adyacente a la entrada de la boca de la Ría Celestún; mientras que, al sur de Isla Arena, a cinco kilómetros de su costa, se observó una aglomeración de hexágonos que van de “menor” a “mayor”. El límite hasta donde se extiende esta IUE es de 15 km de distancia desde la costa de Isla Arena, hacia el interior del Golfo de México.

Para la interanidación, (Fig.8.B), la mayor aglomeración de hexágonos se presentó paralelamente a la línea de costa desde Celestún hacia el sur de Isla Arena, con una IUE mayoritariamente “mayor”; la periferia de Isla Arena presento hexágonos de uso de “mayor” a “regular”. El límite hasta donde se extiende esta IUE es de 15 km de distancia desde la costa de Isla Arena, hacia el interior del Golfo de México.

Por último, para la migración, (Fig.8.C), la zona está cubierta mayoritariamente por valores que van de intensidades de uso “menor” a “mayor. La mayor aglomeración de hexágonos con valores de una intensidad de uso “mayor” se presentó a cinco kilómetros del sur de Isla Arena, además de polígonos de uso “regular”. La extensión de esa IUE es de 40 km de distancia de la línea costera de Isla Arena hacia el interior del Golfo de México.

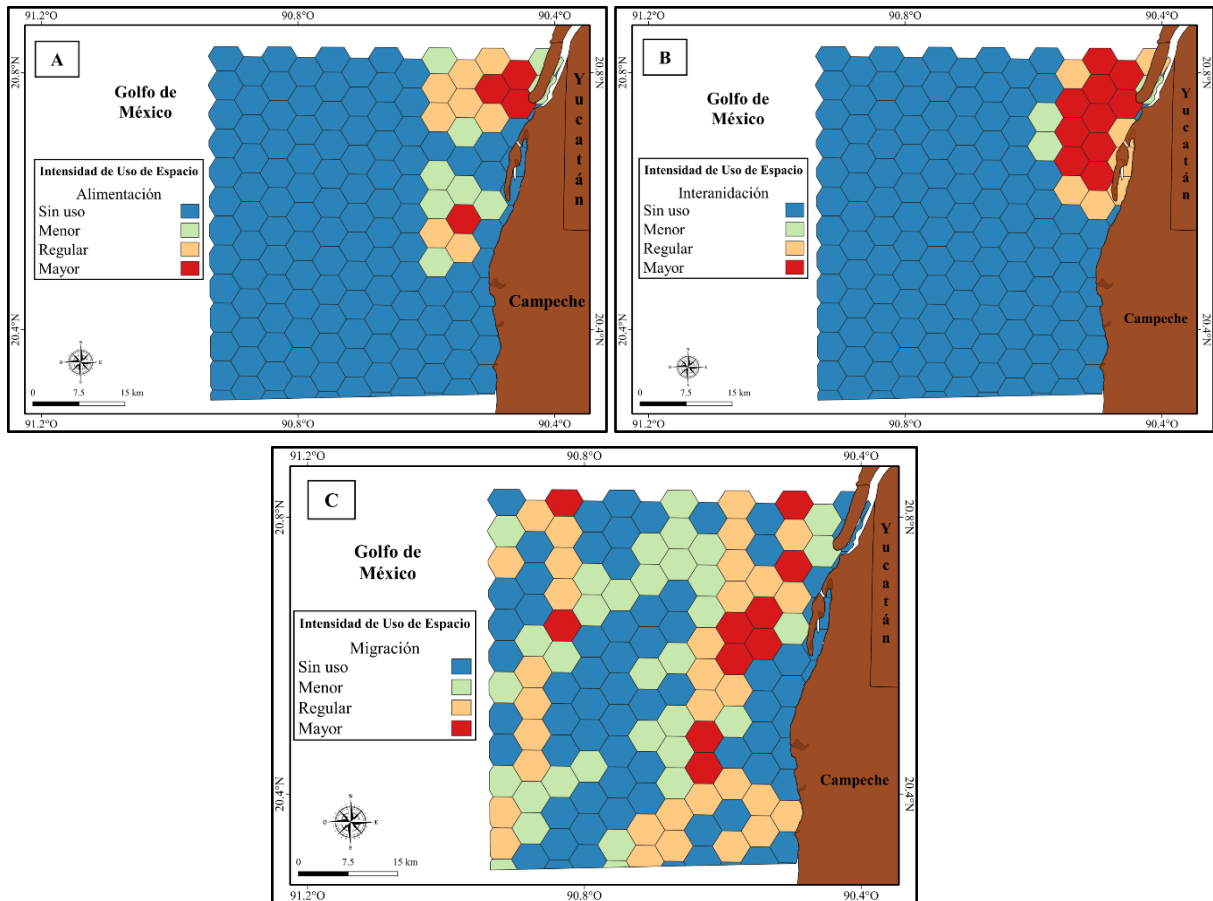


Figura 8. Intensidad de Uso de Espacio (IUE) por tortugas marinas en Isla Arena, Campeche: a) alimentación; b) interanidación y c) migración.

1.11 Hotspots de tortugas marinas en Isla Arena

Por lo que concierne a determinación de los Hotspots de tortugas marinas alrededor de Isla Arena (Fig.9) prácticamente toda el área de estudio es utilizada en alguna de las etapas, por lo que se considera como “*área de distribución*”. Existe un área grande clasificada como “*Hotspot principal*”, localizado frente a Celestún y en la entrada a la Ría Celestún, mientras que Isla Arena forma parte de un “*Hotspot secundario*” en su región este y oeste. Cabe destacar la presencia de un hexágono “*Hotspot principal*” a 4 km de distancia en la región sur de Isla Arena. El espacio que abarcan las clases de “*Hotspot principal*” y “*Hotspot secundario*” es de 15- 20 km de distancia desde la costa de Isla Arena hacia el interior del Golfo de México.

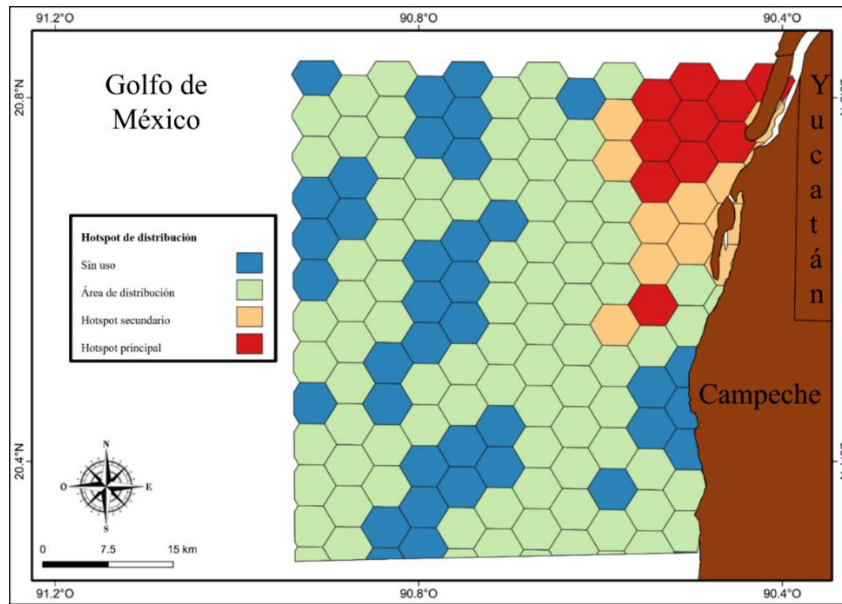


Figura 9. Hotspots de Isla Arena.

DISCUSIÓN

1.12 Hotspots e intensidad de uso de espacio

El presente estudio es el primero en diferenciar en Isla Arena el uso de espacio y su importancia, cuyos resultados ayudan a detallar la información que se tiene del sur del Golfo de México, específicamente la plataforma continental yucateca y el estado de Campeche, espacio reconocido como hábitat crítico de alimentación, importante corredor migratorio y sitio de anidación de *C. mydas*, *C. caretta*, *L. kempii*, *E. imbricata* y *D. coriacea* (Uribe-Martínez *et al.*, 2021; Cuevas *et al.*, 2020; Cuevas *et al.*, 2018; Cuevas *et al.*, 2010;) y *Hotspot* en Isla Arena, Campeche (Liceaga-Correa, 2021).

Los resultados obtenidos demuestran que Isla Arena propiamente se puede clasificar como un “Hotspot secundario”, mientras que en su región norte sucede una transición de “Hotspot secundario” a “Hotspot principal” hasta Celestún. Liceaga-Correa (2021) reporta que las costas norte y oeste de la

península de Yucatán forman un casi continuo de “Hotspots secundarios” y “principales”, por lo que tienen una funcionalidad de sus ecosistemas conveniente para las tortugas marinas, y cuya identificación regional ayuda para la conservación de *C. mydas*, *E. imbricata*, *L. kempii* y *C. caretta* en el Golfo de México y Caribe mexicano. Cuevas *et al.* (2018) identificaron Hotspots en el noroeste, noreste y suroeste de la Península de Yucatán, debido a ser un sitio crucial de alimentación para *C. mydas* que migran desde las Islas Caimán, así como para tortugas post- anidantes de *L. kempii* que migran desde Texas y *C. caretta*, además de ser un sitio importante de anidación y crianza de *E. imbricata* y *C. mydas*.

Además, de acuerdo con Uribe-Martínez *et al.* (2017), existe una alta probabilidad de idoneidad ambiental para *E. imbricata* en las plataformas continentales de Yucatán, *C. mydas* en la sonda de Campeche y arrecife Mesoamericano, y *L. kempii* en la zona oeste del banco de Campeche.

Por otro lado, Uribe-Martínez *et al.* (2021) reconocen para tortugas post-anidadoras de las mismas especies de este estudio, al oriente y norte de la península de Yucatán como hábitat crítico de alimentación e interanidación, destacando su importancia por el movimiento migratorio que conecta multinacionalmente países como EE. UU, Honduras, Nicaragua, Cuba y Belice, ya que tortugas pasan o se quedan cierto tiempo en esta área para posteriormente desplazarse hacia su residencia en alguno de estos países. Para los individuos de esta investigación, diez de estos fueron tortugas marinas post-anidantes y dos no, sin embargo, el espacio marino de Isla Arena fue utilizando para alguna de las tres etapas que realizan. Para el caso de las otras dos tortugas no post-anidantes, igualmente usaron Isla Arena como zona de alimentación, aunque

una interanidó en Veracruz y la otra permaneció alimentándose en la zona de estudio.

1.13 Ámbitos hogareños y rutas migratorias de tres especies de tortugas marinas en Isla Arena

Chelonia mydas

Referente al tamaño del ámbito hogareño de alimentación de *C. mydas*, se encontraron valores similares a los reportados por Seminoff *et al.* (2020) de 5.89 a 39.08 km² en el Golfo de California, aunque los individuos de ese estudio fueron juveniles; fueron mayores que los reportados por MacDonald *et al.* (2012) de 0.24-5.51 km² en Florida, California y Lamont *et al.* (2015), con áreas de 0.23 a 1.65 km² en el norte del Golfo de México. Los sitios de menor tamaño fueron los establecidos cerca de la costa de Isla Arena, similar a lo reportado por Seminoff *et al.* (2020), quienes lo atribuyen a que en muchas ocasiones es en esta parte donde se encuentra la mayor concentración de vegetación acuática sumergida. De la misma forma, Lamont *et al.* (2015), mencionan que la diferencia del tamaño del ámbito hogareño está influenciada por la calidad y densidad de los recursos disponibles, así como por las diferentes estrategias de alimentación (Blanco *et al.*, 2012). Un área de alimentación pequeña puede ayudar a gastar menos energía en la explotación de recursos (Wildermann *et al.*, 2019), por lo que no necesariamente un área pequeña se traduce en pocos recursos disponibles. Así mismo, MacDonald *et al.* (2012) indican que en el tamaño del ámbito hogareño no influye ni el sexo ni el año en que se realizó la transmisión, sino que las tortugas con mayor tamaño ocupan zonas núcleo más chicas por la familiaridad y eficiencia de forrajeo dentro de la zona de alimentación.

Otro factor para considerar al comparar el tamaño del ámbito hogareño es el tiempo de transmisión, ya que, en el caso de Lamont *et al.* (2015), su máximo de transmisión fue de 138 días y no fue del individuo que obtuvo el ámbito hogareño más grande, al igual que en esta investigación, donde el máximo número de días de transmisión fue de 205 días y no fue de la tortuga que tuvo el mayor ámbito hogareño, sino que el individuo con menos días de transmisión fue el que mayor ámbito hogareño de alimentación obtuvo. Esto puede atribuirse tanto a la diferencia de características de la zona de estudio, Bahía de San José, Florida, como al dispositivo de rastreo empleado, telemetría acústica, el cual sirve para evaluar patrones de movimiento a una escala más fina (Hazel *et al.*, 2013).

El tiempo que pasan las tortugas marinas de esta especie en sus sitios de alimentación e interanidación es diferente ya que, de acuerdo con Anderson *et al.* (2013), el tiempo que pasan las tortugas verde en sus sitios de alimentación es mayor que el que pasan en sus colonias, de modo que Isla Arena podría no sólo ser un sitio de alimentación, sino también de colonias de *C. mydas*; el tiempo que permanecieron en sus sitios de alimentación en este estudio fue de entre 17 a 105 días. De igual manera, Isla Arena representó un sitio de alimentación concurrido por tortugas marinas procedentes de distintas partes del Golfo de México en diferentes años.

Una característica añadida es que en el estado de Campeche se presenta la mayor distribución de vegetación acuática sumergida de todo el Golfo de México, compuesto principalmente por la presencia de pastos marinos (Pérez-Espinosa, 2019); constituyen áreas de desove, anidación, refugio y alimentación para numerosas especies marinas como peces, camarones, pulpos, y tortugas marinas (García, 2014), principalmente para *C. mydas*, y que representan su

principal fuente de alimento, lo que podría ser un indicativo de la presencia de individuos de esta especie en zonas que contengan este tipo de vegetación.

En cuanto a sus movimientos migratorios, se han marcado individuos de *C. mydas* en sus sitios de anidación y posteriormente recapturados cientos de kilómetros alejados de sus sitios de alimentación, con migraciones periódicas entre estos sitios que regularmente se encuentran alejados (Maxwell *et al.*, 2011). Al realizar los movimientos migratorios pueden seguir dos tipos distintos de ruta: la primera, cerca de la costa utilizando las concentraciones de vegetación subacuática como fuente de alimento; la segunda, por movimientos oceánicos como consecuencia de que sus zonas habituales de alimentación no están disponibles (Troëng, 2004). Para el caso de migraciones costeras, Meylan (1995) reporta que en Yucatán ciertos desplazamientos son contracorriente, con dirección a sus zonas de alimentación. Los individuos de esta investigación migraron hacia el noroeste-suroeste y norte-noroeste de la Península de Yucatán, y en donde a pesar de provenir de diferentes direcciones, estos mismos individuos establecieron en Isla Arena su sitio de alimentación.

Eretmochelys imbricata

En lo que concierne a la especie *E. imbricata*, es una especie considerada solitaria (Blumenthal *et al.*, 2009) con evidencia de cierta agresividad entre individuos. Aun así, existe evidencia de diferentes movimientos de sus poblaciones, tal como lo realizó la tortuga de esta investigación. En Campeche, las hembras que anidan en estas playas utilizan la zona marina de Yucatán como un importante corredor migratorio en dirección del oriente para llegar a sus zonas de alimentación en el Caribe mexicano; caso contrario a las que anidan en el norte de Quintana Roo y oeste de Yucatán y que utilizan este mismo corredor,

pero en dirección al poniente hacia el noroeste del Golfo de México (Cuevas-Flores *et al.*, 2010).

Para su ámbito hogareño, Cuevas *et al.* (2020) estudiaron la distribución de machos en el sur del Golfo de México, con valores (KUD 75% 100.9 km²) similares a los resultados de esta investigación. Cabe destacar que contrario al individuo de esta investigación, para “Vicky”, Campeche fue su sitio de alimentación, y de interanidación, lo que reafirma el uso de la región suroeste de la Península de Yucatán como espacio de anidación de esta especie (Cuevas-Flores *et al.*, 2010).

Por otro lado, el ámbito hogareño obtenido en esta investigación es menor a los encontrados en el caribe por Nivière *et al.* (2018) tanto en alimentación (KUD 50% 7.2-136.2 km²) como interanidación (KUD 50% 55.7-100.1 km) en el caribe, además, contrario a los resultados de este trabajo, el sitio de alimentación es menor que al de interanidación. Por otro lado, Marcovaldi *et al.* (2012) presentan un intervalo de valores de ámbito hogareño de alimentación de esta especie (KUD 50% 91.8 – 421.1 km²) al norte y noreste de Brasil, dentro de los cuales coinciden los resultados de esta investigación.

La selección de un sitio de alimentación puede deberse a que fueron encontrados durante la fase de vida pelágica, y su ubicación fue registrada como sitios potencialmente reconocibles en su vida adulta (Hays *et al.*, 2010), mientras que la variación en el tamaño de un ámbito hogareño en esta especie puede deberse a que en un espacio donde se concentre una mayor densidad de individuos, potencialmente resultaría en que un individuo se establezca en un área de alimentación más pequeña; además, esta especie busca sitios de alimentación con una alta producción para un mejor rendimiento físico (Gaos

et al., 2012). La ubicación de la ruta migratoria, ámbito hogareño de alimentación y de interanidación de “Vicky” se encuentra dentro de los resultados obtenidos por Liceaga-Correa (2021), en donde identificó corredores migratorios y hábitat críticos de residencia e interanidación en el norte, oriente y sur de la Península de Yucatán y Golfo de México.

Lepidochelys kempii

Por lo que corresponde a *L. kempii*, la mayoría de las investigaciones de tortugas loras se centran en la región este y oeste de la parte norte del Golfo de México, principalmente en sus áreas de alimentación e interanidación en playas estadounidenses y Tamaulipas. Trabajos como el de Shaver *et al.* (2005), rastrearon dos individuos de *L. kempii* que permanecieron en Tamaulipas, y cuyos valores (KUD 50% 363 – 367 km²) son similares a los resultados de este trabajo.

Por otro lado, en el noroeste del Golfo de México, Hughes y Landry Jr (2016) reporta valores mayores (KUD50% 354.5 – 1072.9 km²) a los de esta investigación, con una marcada diferencia de tamaño en ámbitos hogareños entre juveniles y machos en comparación con las hembras, ya que estas últimas establecen sitios de alimentación más grandes. Así mismo, Renaud y Williams (1997), quienes estudiaron ámbitos hogareños de *L. kempii* en Texas y Río Colorado, atribuyen a que la utilización de ámbitos hogareños pequeños es un indicativo de preferencia de hábitat debido a la protección, alimento y temperatura del lugar, además de que esta especie tiene preferencia por sitios pocos profundos.

Todos los individuos de *L. kempii* en esta investigación realizaron movimientos migratorios costeros hacia la península de Yucatán. Esta especie tiene una

amplia distribución a lo largo de la plataforma continental del Golfo de México debido a que son sitios con una gran abundancia y riqueza en cuanto a crustáceos y moluscos, los cuales se presume son su principal fuente de alimento (Seney y Landry Jr, 2011; Márquez, 1994; Meylan, 1995). Precisamente, las praderas de pastos marinos son sitios de alimentación ricos en cuanto a estos recursos, y representan un sitio donde existen reportes de captura de tortugas marinas, tal como Schmid y Barichivich (2005) reportan individuos de tortugas lora capturados en pastos marinos en occidente de Florida. En este sentido, autores como Wildermann *et al.* (2019) asocian a que las extensas migraciones de esta especie se deben precisamente a la búsqueda de áreas de alimentación más favorables y que, en muchas ocasiones, las zonas costeras albergan componentes principales de su dieta.

En lo que concierne al tiempo en que comienzan las migraciones de esta especie, Shaver *et al.* (2016) reportan el comienzo de migraciones de tortugas marinas coincidentes con las de este estudio (finales de mayo y agosto), y quienes describen que individuos rastreados en diferentes años generalmente usaban el mismo corredor migratorio, algunos con un regreso al mismo sitio de alimentación después de 2 a 4 años anidantes, por lo que esto apoya el concepto de corredor migratorio.

Cabe resaltar que, de todas las especies de este estudio, esta fue la única que presentó una tortuga que realizó un “stopover” (158068), el cual tuvo una duración de 24 días y un tamaño de 389.55 km². Referente a este concepto, Nivière *et al.* (2018) reportan este tipo de comportamiento en tortugas verdes y carey, y que está relacionado con el aprovechamiento de los recursos en las zonas neríticas para compensar la pérdida de energía durante una migración larga, descansar o alimentarse y compensar las reservas antes de llegar a sus

sitio final de alimentación. De igual manera, Uribe-Martínez *et al.* (2021) reportaron stopover de 12 días cerca de la costa en la plataforma continental, antes de continuar su migración a su sitio final de residencia. Este comportamiento sucede a la mitad o primer tercio de su migración; similar a nuestros resultados, ya que sucedió a la mitad de la migración.

CONCLUSIÓN

Isla Arena representa un sitio de migración y alimentación, principalmente para la especie *C. mydas*. A pesar del diferente uso que hacen del espacio, *E. imbricata*, *L. kempii* y *C. mydas* comparten el mismo hábitat a lo largo de diferentes años, en el que presumiblemente aprovechan las condiciones y recursos presentes en la zona, por lo que, es importante la conservación y monitoreo del hábitat acuático de las tortugas marinas en esta región.

Específicamente, la zona marina de Isla Arena representa un hábitat crítico para las tortugas marinas, debido a la presencia de especies en categoría de riesgo y las cuales utilizan este espacio para múltiples etapas de su vida acuática.

Así mismo, Isla Arena en su porción sur, oeste y norte, particularmente en la región próxima a Celestún, son zonas de gran importancia para las diferentes etapas de tortugas marinas, y que principalmente representan Hotspots.

Este trabajo es el primer trabajo que lo cuantifica y define de forma regional y a una escala fina. Del mismo modo, complementa y detalla los resultados investigaciones previas que abordan la línea de investigación de ubicación espacial de agregaciones de tortugas marinas y su importancia en la zona norte y este de Yucatán y Quintana Roo.

LITERATURA CITADA

- Abreu-Gorobois, F. (2016). Generalidades de las tortugas marinas. En Gaona, O., Barragán, A.R. (Eds.) *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación* (pp. 159-188). Ciudad de México, México. CONANP.
- Anderson, J. D., Shaver, D. J., Karel, W. J. (2013). Genetic diversity and natal origins of green turtles (*Chelonia mydas*) in the western Gulf of Mexico. *Journal of Herpetology*, 47(2), 251-257.
- Argos, C. L. S. (2008). Argos user's manual. *Worldwide tracking and environmental monitoring by satellite*.
- Bailey, H., Fossette, S., Bograd, S. J., Shillinger, G. L., Swithenbank, A. M., Georges, J. Y., Gaspar, P., Strömberg, K.H.P, Paladino, F.V., Spotila, J.R., Block, B.A., Hays, G. C. (2012). Movement patterns for a critically endangered species, the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*), linked to foraging success and population status. *PLoS One*, 7(5), e36401.
- Bjorndal, K.A., y Jackson, J.B. (2002). 10 Roles of sea turtles in marine ecosystems: reconstructing the past. En Lutz, P., Musick, A., Wyneken, J. (Ed.) *The biology of sea turtles* (Vol. 2, pp. 260-270). EE. UU: CRC press LLC.
- Blanco, G. S., Morreale, S. J., Bailey, H., Seminoff, J. A., Paladino, F. V., Spotila, J. R. (2012). Post-nesting movements and feeding grounds of a resident East Pacific green turtle *Chelonia mydas* population from Costa Rica. *Endangered Species Research*, 18(3), 233–245. doi.org/10.3354/ESR00451
- Blumenthal, J., Austin, T.J., Bell, C.D., Bothwell, J.B., Broderick, A.C., Ebanks-Petrie, G., Gibb, J., Luke, K.E., Olynik, J., Orr, M., Solomon, J.L., Godley, B.J. (2009). Ecology of Hawksbill turtles, *Eretmochelys imbricata*, on a Western Caribbean foraging ground. *Chelonian Conservation and Biology*, 8(1), 1-10.

- Burt, W. H. (1943). Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of mammalogy*, 24(3), 346-352.
- 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.
- Campbell, C.L. (2014). Wider Caribbean and Western Atlantic Region. En Campbell, C.L (Ed.) *Conservation status of hawksbill Turtles in the Wider Caribbean, Western Atlantic and Eastern Pacific regions* (p.2). Virginia, USA. IAC Secretariat Pro Tempore.
- Carr, A. (1995). Notes on the behavioral ecology of sea turtles. En Bjorndal, K.A. (Ed.) *The Biology and Conservation of Sea Turtles*. (2a. ed., pp. 20-25). Washington, E.U.A. Smithsonian Institution Press.
- Castro-Martínez, M.A. (2016). Tortuga lora. En Gaona, O., Barragán, A.R (Eds.) *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación* (pp. 119-134). Ciudad de México, México. CONANP.
- Coleman, A.T., Pitchford, J.L., Bailey, H. (2016). Seasonal movements of immature Kemp’s ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*) in the northern Gulf of Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27(1), 253-267.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA (2007). Antecedentes. En Aguilar, V., Hernández, D., Kolb, M. (Eds.) *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas* (pp. 13). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy Program México, Pronatura, A.C. México.
- Corbalá, J. A. (2010). Estudio caso: tortugas marinas en las costas de Campeche. En Villalobos-Zapata, G. J., Mendoza-Vega, J. (Eds.) *La biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado* (pp. 337-340). Campeche, México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur.

- Cuevas, E., Liceaga-Correa, M.A., Garduño-Andrade, M.G. (2007). Spatial characterization of a foraging area for immature hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) in Yucatan, Mexico. *Amphibia-Reptilia*, 28, 337-346.
- Cuevas, E., Abreu-Grobois, F.A., Guzmán-Hernández, V., Liceaga-Correa, M.A., Van Dam, R. (2008). Post-nesting migratory movements of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* in waters adjacent to the Yucatan Peninsula, Mexico. *Endangered Species Research*, 10, 123-133.
- Cuevas-Flores, E., González-Garza, B., Segovia-Castillo, A., Sosa-Escalante, J. (2010). Tortugas marinas: poblaciones y hábitat críticos. En: Durán, R., Méndez, M. (Eds.) *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán* (pp. 262-264). Yucatán, México. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Cuevas-Flores, E. (2016) Tortuga carey. En Gaona, O., Barragán, A.R (Eds.) *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación* (pp. 59-80). Ciudad de México, México. CONANP.
- Cuevas, E. (2017). Spatial and temporal dimensions of the critical habitat selection processes by sea turtles. *Revista De Biología Marina y Oceanografía*, 52(2), 187-199. doi:10.4067/s0718-19572017000200001.
- 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.
- Cuevas, E., Liceaga-Correa, M.A., Uribe-Martínez, A. (2019). Ecological vulnerability of two sea turtle species in the Gulf of Mexico: an integrated spatial approach. *Endangered Species Research*, 40, 337-356.
- Cuevas, E., Putman, N. F., Uribe-Martínez, A., López-Castro, M. C., Guzmán-Hernández, V., Gallegos-Fernández, S. A., Negrete-Phillipe, A. (2020). First spatial distribution analysis of male sea turtles in the southern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, 7, 962.

- Cumming, G. S., y Cornélis, D. (2012). Quantitative comparison and selection of home range metrics for telemetry data. *Diversity and Distributions*, 18(11), 1057-1065.
- Dawson, T. M., Formia, A., Agamboue, P. D., Asseko, G. M., Boussamba, F., Cardie, F., Maxwell, S. M. (2017). Informing Marine Protected Area designation and management for nesting olive ridley sea turtles using satellite tracking. *Frontiers in Marine Science*, 4. doi:10.3389/fmars.2017.00312
- Delgado-Trejo, C. (2016). Tortuga verde. En Gaona, O., Barragán, A.R. (Eds.) *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación* (pp. 135-158). Ciudad de México, México. CONANP.
- Eckert, S. A. (1995). Telemetry and behavior of sea turtles. En Bjorndal, K. (Ed.) *The biology and conservation of turtles* (pp. 583-584). Washington, E.U.A. Smithsonian Institution Press.
- ESRI. (1998). ESRI shapefile technical description. *Comput. Stat*, (16), 370-371.
- Fujioka, E., y Halpin, P. N. (2014). Spatio-temporal assessments of biodiversity in the high seas. *Endangered Species Research*, 24(2), 181-190. doi:10.3354/esr00591
- Galeana, P. (2014). Análisis de resiliencia socio-ecológica de la pesquería del pepino de mar en Isla Arena, Campeche. (Maestría). El Colegio de la Frontera Sur., Campeche.
- Gallegos-Fernández, S. A., Cuevas, E., Liceaga-Correa, M. A. (2018). Procesos metodológicos para la colocación de transmisores satelitales en tortugas marinas de caparazón duro en playas de anidación. *Revista de biología marina y oceanografía*, 53(2), 147-156.
- Gaos, A. R., Lewison, R. L., Wallace, B. P., Yanez, I. L., Liles, M. J., Nichols, W. J., Seminoff, J. A. (2012). Spatial ecology of critically endangered hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata*: implications for management

- and conservation. *Marine Ecology Progress Series*, 450, 181-U198. doi:10.3354/meps09591
- García, G. (2014). Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Campeche. Campeche.: Gobierno del Estado de Campeche y Pronatura Península de Yucatán. Disponible en: www.smaas.campeche.gob.mx/anp/.
- Garduño-Andrade, y M., Guzmán, V. (1999). Increases in hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) nestings in the Yucatan peninsula, Mexico, 1977–1996: data in support of successful conservation. *Chelonian Conservation and Biology*, 3(2), 286–295.
- Godley, B.J., Blumenthal, J. M., Broderick, A. C., Coyne, M. S., Godfrey, M. H., Hawkes, L. A., Witt, M. J. (2008). Satellite tracking of sea turtles: where have we been and where do we go next? *Endangered Species Research*, 4(1-2), 3-22.
- Godley, B. J., Barbosa, C., Bruford, M., Broderick, A. C., Catry, P., Coyne, M. S., Witt, M. J. (2010). Unravelling migratory connectivity in marine turtles using multiple methods. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 769-778.
- Griffin, R. B., y Griffin, N. J. (2003). Distribution, habitat partitioning, and abundance of Atlantic spotted dolphins, bottlenose dolphins, and loggerhead sea turtles on the eastern Gulf of Mexico continental shelf. *Gulf of Mexico Science*, 21(1), 23-34.
- Guzmán-Hernández, V., Escanero- Figueroa, G., Márquez-Millan, R. (2014). Programa tortuguero en el Centro Regional de Investigación Pesquera de Ciudad del Carmen, Campeche: retrospectiva, avances y perspectivas. En Márquez-Millán, R. y Garduño-Dionate, M. (Eds.) *Tortugas marinas* (pp. 55-67). México. Instituto Nacional de Pesca.
- Hart, K. M., Iverson, A. R., Fujisaki, I., Lamont, M. M., Bucklin, D., Shaver, D. J. (2018). Marine threats overlap key foraging habitat for two

imperiled sea turtle species in the Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, 5, 1-9. doi:10.3389/fmars.2018.00336

- Harvey, G. K. A., Nelson, T. A., Fox, C. H., Paquet, P. C. (2017). Quantifying marine mammal hotspots in British Columbia, Canada. *Ecosphere*, 8(7), 1-22. doi:10.1002/ecs2.1884
- Hays, G.C., Fossette, S., Katselidis, K.A., Mariani, P., Schofield, G. (2010). Ontogenic development of migration: Lagrangian drift trajectories suggest a new paradigm for sea turtles. *Journal of the Royal Society Interface*, 7, 1319-1327. doi:10.1098/rsif.2010.0009
- Hays, G.C., Ferreira, L.C., Sequeira, A.M., Meekan, M.G., Duarte, C.M., Bailey, H., Bailleul, F., Bowen, W. D., Caley, M. J., Costa, D. P., Eguíluz, V.M., Fossette, S., Friedlaender, A.S., Gales, N., Gleiss, A. C., Gunn, J., Harcourt, R., Hazen, E.L., Heithaus, M.R., Heupel, M., Holland, K., Horning, M., Jonsen, I., Kooyman, G.L., Lowe, C.G., Madsen, P.T., Marsh, H., Philips, R.A., Righton, D., Ropert-Coudert, Y., Sato, K., Schaffer, S.A., Simpfendorfer, C.A., Sims, D.W., Skomal, G., Takashi, A., Trathan, P.N., Wikelski, M., Womble, J.N., Thums, M. (2016). Key questions in marine megafauna movement ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 31, 463-475. 10.1016/j.tree.2016.02.015.
- Hays, G. C., Bailey, H., Bograd, S. J., Bowen, W. D., Campagna, C., Carmichael, R. H., Casale, P., Chiaradia, A., Costa, D. P., Cuevas, E., De Bruyn, P. J. N., Dias, M. P., Duarte, C. M., Dunn, D. C., Dutton, P. H., Esteban, N., Friedlaender, A., Goetz, K. T., Godley, B. J., Halpin, P. N., Hamann, M., Hammerschlag, N., Harcourt, R., Harrison, A. L., Hazen, E. L., Heupel, M. R., Hoyt, E., Humphries, N. E., Kot, C. Y., Lea, J. S. E., Marsh, H., Maxwell, S. M., McMahon, C. R., Di Sciara, G. N., Palacios, D. M., Phillips, R. A., Righton, D., Schofield, G., Seminoff, J. A., Simpfendorfer, C. A., Sims, D. W., Takahashi, A., Tetley, M. J., Thums, M., Trathan, P. N., Villegas-Amtmann, S., Wells, R. S., Whiting, S. D., Wildermann, N. E., Sequeira, A. M. M. (2019). Translating marine animal tracking data into conservation policy and management. *Trends in Ecology and Evolution*, 34, 459-473.

- 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. *Marine Biology*, 160(3), 617–27. doi:10.1007/s00227-012-2117-0.
- Hernández-Gallegos, O., Lopez-Moreno, A. E., Mendez-Sanchez, J. F., Rheubert, J., Mendez-de la Cruz, F. R. (2015). Home range of *Aspidoscelis cozumela* (Squamata: *Teiidae*): a parthenogenetic lizard microendemic to Cozumel island, Mexico. *Revista De Biología Tropical*, 63(3), 771-781. doi:10.15517/rbt.v63i3.15871.
- Hooge, P. N., Eichenlaub, W M., Solomon, E. K. (2001). Using GIS to analyze animal movements in the marine environment. *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.
- Hughes, C. L., y Landry Jr, A. M. (2016). Long-term movements of an adult male Kemp's ridley sea turtle (*Lepidochelys kempii*) in the Northwestern Gulf of Mexico. *Gulf of Mexico Science*, 33(2), 7.
- Isasi-Catalá, I. (2011). Los conceptos de especies indicadores, paraguas, bandera y claves: Su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia*, 36(1), 31-38.
- Iverson, A.R., Benscoter, 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.
- Koch, V., y Peckham, H. (2016) Tortuga caguama. En Gaona, O., y Barragán, A.R. (Eds.). *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación* (pp. 35-58). Ciudad de México, México. CONANP.
- Lamont, M. M., Fujisaki, I., Stephens, B. S., Hackett, C. (2015). Home range and habitat use of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) in the northern Gulf of Mexico. *Animal Biotelemetry*, 3(1), 1-12.

- Ley General de Vida Silvestre (LGVS). (2021). Artículo 63 C.F.R. Capítulo II. Hábitat crítico para la conservación de la vida silvestre. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación 20-05-21. Recuperado el 24 de junio de 2021 en https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf
- Liceaga-Correa, M. A. (2021). Hábitats críticos y hotspots de tortugas marinas. En Herzka, S.Z., Zaragoza-Álvarez, R.A., Peters, E.M., Hernández-Cárdenas, G. (Eds.) *Atlas de línea base ambiental del Golfo de México (Tomo VII)* (pp. 6-29) Tijuana, México. Consorcio de Investigación del Golfo de México.
- López-Sánchez, K. (2016). Tortuga laúd. En Gaona, O., Barragán, A.R (Eds.) *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación* (pp. 103-118). Ciudad de México, México. CONANP.
- MacDonald, B. D., Lewison, R. L., Madrak, S. V., Seminoff, J. A., Eguchi, T. (2012). Home ranges of East Pacific green turtles *Chelonia mydas* in a highly urbanized temperate foraging ground. *Marine Ecology Progress Series*, 461, 211-221.
- Marcovaldi, M. A., Lopez, G. G., Soares, L. S., López-Mendilaharsu, M. (2012). Satellite tracking of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* nesting in northern Bahia, Brazil: turtle movements and foraging destinations. *Endangered Species Research*, 17(2), 123-132.
- Márquez, M. (1994). Distribución. En Márquez, R. (Ed.) *Sinopsis de datos biológicos sobre la Tortuga Lora, Lepidochelys kempii (Garman, 1880)* (pp. 17-25). Centro Nacional de Investigación Pesquera. INAPESCA. Manzanillo, Colima.
- Márquez, R. (1996). El hombre y las tortugas. En Márquez, R. (Ed.) *Las Tortugas Marinas y Nuestro Tiempo (en línea)*: Fondo de cultura.
- Márquez-Millán, R. (2014). México y las tortugas marinas. En Márquez-Millán, R., Garduño-Dionate, M. (Eds.) *Tortugas marinas* (pp. 9). México. Instituto Nacional de Pesca.

- Maxwell, S. M., Breed, G. A., Nickel, B. A., Makanga-Bahouna, J., Pemo-Makaya, E., Parnell, R. J., Formia, A., Ngouesso, S., Godley, B.J., Costa, P., Witt, M.J., Coyne, M.S. (2011). Uso de telemetría satelital para optimizar la protección de especies marinas de vida larga: conservación de la tortuga golfina en Africa Central. *PLOS*. 1-13.
- McMahon, C. R. y Hays, G. C. (2006). Thermal niche, large-scale movements and implications of climate change for a critically endangered marine vertebrate. *Global Change Biology*, 12(7), 1330-1338. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01174.x
- 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 Oceanografía*, 48, 497-509.
- Metz, L.T., Gordon, M., Mokrech, M., Guillen, G. (2020). Movements of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) in the nearshore waters of the northwestern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, 7, 1-17 doi: 10.3389/fmars.2020.00647
- Meylan, A. (1995). Sea turtle migration—evidence from tag returns. En Bjorndal, K. A. (Ed.) *The Biology and Conservation of Sea Turtles*. (2nd. ed., pp. 91-100.). Washington, E.U.A. Smithsonian Institution Press.
- Mortimer, J.A. (1995). Feeding ecology of sea turtles. En Bjorndal, K. A. (Ed.) *The Biology and Conservation of Sea Turtles*. (2a. ed., pp. 103-107). Washington, E.U.A. Smithsonian Institution Press.
- Nivière, M., Chambault, P., Pérez, T., Etienne, D., Bonola, M., Martin, J., Dumont-Dayot, É. (2018). Identification of marine key areas across the Caribbean to ensure the conservation of the critically endangered hawksbill turtle. *Biological Conservation*, 223, 170-180.

- North, M.A. (2009). A method for implementing a statistically significant number of data classes in the Jenks algorithm. Sixth International Conference, IEEE. Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. 35-35.
- Patino-Martínez, J., Vallarino, A., González-Zuarth, C. (2014). Las especies bandera como indicadores ambientales: las tortugas marinas. En González, C., Vallarino, A., Pérez, J., Low, A. (Eds.) *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (pp. 439-450): Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Pérez-Espinosa, I., Gallegos-Martínez, M. E., Ressler, R. A., Valderrama-Landeros, L. H., Hernández-Cárdenas, G. (2019). Distribución espacial de los pastos marinos y la vegetación acuática sumergida en los Petenes, Campeche. *Terra Digitalis*, 3, 1-37.
- Plotkin, P., Lutz, P. L., Musick, J. A., Wyneken, J. (2002). Adult migrations and habitat use. En Lutz, P. J., Musick, J.A. y Wyneken, J. (Eds.) *The biology of sea turtles* (Vol. 2, pp. 225-241). Florida, U.S.A. CRC press LLC.
- Q gis. (2015). QGIS geographic information system. *Open-source geospatial Foundation project*, 1(2), 1-10.
- Reid, W.V. (1998) Biodiversity hotspots. *Trends in Ecology and Evolution*, 13(7), 275-280.
- Renaud, M. L., y Williams, J. A. (1997). Movements of Kemp's ridley (*Lepidochelys kempii*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles using Lavaca Bay and Matagorda Bay, 1996-1997. *Environmental Protection Agency*. Final Report Submitted to the Environmental Protection Agency Office of Planning and Coordination Region 6 Dallas, Texas.
- 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.

- Seminoff, J. A., Resendiz, A., Nichols, W. J. (2002). Home range of green turtles *Chelonia mydas* at a coastal foraging area in the Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 242, 253-265.
- Seney, E. E., y Landry Jr, A. M. (2011). Movement patterns of immature and adult female Kemp's ridley sea turtles in the northwestern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 440, 241-254.
- Servín, J., Bejarano, A., Alonso-Pérez, N., Chacón, E. (2014). El tamaño del ámbito hogareño y el uso de hábitat de la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en un bosque templado de Durango, México. *Therya*, 5(1), 257-269. doi:10.12933/therya-14-174.
- Shaver, D. J., Schroeder, B. A., Byles, R. A., Burchfield, P. M., Pena, J., Marquez, R., Martinez, H. J. (2005). Movements and home ranges of adult male Kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*) in the Gulf of Mexico investigated by satellite telemetry. *Chelonian Conservation Biology*, 4(4), 817-827.
- Shaver, D. J., Hart, K. M., Fujisaki, I., Rubio, C., Sartain, A. R., Pena, J., Burchfield, P.M., Gómez-Gamez, D., Ortiz, J. (2013). Foraging area fidelity for Kemp's ridleys in the Gulf of Mexico. *Ecology and Evolution*, 3(7), 2002-2012.
- Shaver, D. J., Hart, K. M., Fujisaki, I., Rubio, C., Sartain-Iverson, A. R., Pena, J., Ortiz, J. (2016). Migratory corridors of adult female Kemp's ridley turtles in the Gulf of Mexico. *Biological Conservation*, 194, 158-167. doi:10.1016/j.biocon.2015.12.014
- Stadler, M., Salomon, M., Roberts, C. (2015). Ecological correlates of green turtle (*Chelonia mydas*) abundance on the nearshore worm reefs of southeastern Florida. *Journal of Coastal Research*, 31(2), 244-254.
- Tröeng, S. (2004). Migraciones de las tortugas marinas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 28(1), 20-30.
- Uc-Espadas, M., Molina-Rosales, D., Gurri, F. D., Carlos Perez-Jimenez, J., Vázquez-García, V. (2018). Fishing activities by gender and reproductive

stage in Isla Arena, Campeche, Mexico. *Marine Policy*, 89, 34-39. doi:10.1016/j.marpol.2017.12.011

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* (pp. 379-415). Campeche, México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Campeche.

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.

Valverde, R.A., y Holzwardt, K.R. (2017). Sea turtles of the Gulf of Mexico. En Ward, C.H. (Ed.) *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: before the Deepwater Horizon oil spill* (pp. 118-1351). Texas, U.S.A Springer.

Vázquez-Cuevas, M., Cuevas, E. (2019). Hábitats críticos de tortuga blanca (*Chelonia mydas*) y carey (*Eretmochelys imbricata*) en la península de Yucatán y su coincidencia espacial con zonas de pesca artesanal. En Cuevas-Flores, E.A., Guzmán-Hernández, V., Guerra-Santos, J.J., Rivas-Hernández, G.A. (Eds.) *El uso del conocimiento de las tortugas marinas como herramienta para la restauración de sus poblaciones y hábitats asociados* (pp.57-64). México: Universidad Autónoma del Carmen. <http://www.unacar.mx/contenido/librosDigitales/tortugas.php>

Wildermann, N.E., Sasso, C.R., Stokos, L.W., Snodgrass, D., Fuentes, M.M.P.B. (2019). Habitat use and behavior of multiple species of marine turtles at a foraging area in the northeastern Gulf of México. *Frontiers in Marine Science*, 6, 1-13. doi: 10.3389/fmars.2019.00155

Worton, B. J. (1989). Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, 70(1), 164-168.

Wyneken, J. (2004). Terminología básica y características para identificación de especies. En Wyneken, J. (Ed.) *La anatomía de las tortugas*

marinas (versión en español de Wynecken, I. 2001 The anatomy of sea turtles. Pp. 1-2). US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Southeast Fisheries Science Center.

Zaldívar-Jiménez, A., Herrera-Silveira, J., Coronado-Molina, C., Alonzo-Parra, D. (2004). Estructura y productividad de los manglares en la reserva de biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 10(2), 25-35.

CAPÍTULO 2. Evaluación de condiciones ambientales y uso antrópico del hábitat de tortugas marinas mediante productos de percepción remota

RESUMEN

El Golfo de México posee características ambientales y biológicas que propician la distribución y establecimiento de diversas especies de tortugas marinas. En su litoral se han establecido comunidades costeras y ribereñas que se dedican a la pesca como una de las principales fuentes económicas, y que en muchas ocasiones esta actividad coincide con las zonas de residencia de especies marinas en alguna categoría de riesgo. En la península de Yucatán existen pocos trabajos que aborden tanto el estudio de la temperatura superficial del mar (TSM) dentro de las zonas de residencia y de rutas migratorias de tortugas marinas, así como del impacto potencial hacia estos organismos por las embarcaciones dispersas en la zona. Debido a ello, en este capítulo se analizó la variabilidad de la TSM en Isla Arena en tres diferentes épocas climáticas, al igual que en las zonas de intensidad de uso de espacio identificadas de rastreos satelitales de tres especies de tortugas marinas y *Hotspots* de Isla Arena. También, se cuantificó la densidad de embarcaciones en tres temporadas de cuatro meses cada una, y se cuantificó el impacto potencial para las etapas que realizan en la zona las tortugas marinas. Para ello, se utilizaron imágenes satelitales Landsat-8 Nivel-2 y Sentinel-2, de enero de 2017 a diciembre de 2019, para determinar la TSM en Isla Arena y para la identificación y cuantificación de embarcaciones menores. Como resultado, la época de lluvias fue la que mayor temperatura presentó ($29^{\circ}\text{C} \pm 0.97$), seguida de la época de secas ($26.7^{\circ}\text{C} \pm 0.55$). La mayor cantidad de embarcaciones (111) se presentó en la temporada uno (enero a abril), seguida de la temporada de tres (septiembre a diciembre) con 95 embarcaciones. El mayor impacto potencial para la etapa de alimentación sucedió durante la temporada uno (enero a abril) para alimentación, la temporada tres (septiembre a diciembre) para migración, y la temporada dos (mayo a agosto) para interanidación; mientras que, para los *Hotspots*, la temporada tres (septiembre a diciembre) fue la que mayor impacto potencial presentó, particularmente al norte y oeste de Isla Arena, así como en la entrada de la boca de la Ría Celestún. Por lo tanto, que se determinó que el área de estudio presenta una temperatura cálida sin diferencia térmica entre épocas climáticas, y en cuya periferia sucede un tráfico de importante de embarcaciones principalmente de septiembre a abril, que representa un riesgo potencial para las tortugas marinas que ocurren en la zona.

PALABRAS CLAVE

Impacto, embarcaciones, temperatura, temporada, Isla.

ABSTRACT

The Gulf of Mexico has environmental and biological features that favor the distribution and establishment of some species of marine flora and fauna, particularly sea turtles. Furthermore, fishing is one of the main economic sources of coastal and riverside communities, so on many occasions this activity coincides with the residence areas of species in some category of risk. In the southern region of the Gulf of Mexico, few works address the study of the sea surface temperature (SST) within the distribution area and migratory routes of sea turtles, as well as the potential impact of the dispersed vessels in the area. Thus, in this chapter the variability of the SST around Isla Arena was analyzed in three different climatic periods, as well as the quantification of smaller vessels density present in the study area. Therefore, Landsat-8 Level-2 satellite images were employed, from January 2017 to December 2019, to determine the SST in Isla Arena. Otherwise, along the same years, Sentinel-2 satellite images were applied for the identification and quantification of small vessels. This last information was integrated with data of the intensity of space use by sea turtles in Isla Arena and the hotspots in this area, to estimate the potential impact. As a result, the rainy season was the one with the highest temperature ($29^{\circ}\text{C} \pm 0.97$), followed by the low water season ($26.7^{\circ}\text{C} \pm 0.55$). Furthermore, season one (January to April) was the one with the largest number of boats (111), followed by season three (September to December) with 95 boats. Regarding the potential impact for the use of space in the different stages of sea turtles, the highest potential impact occurred during season one for feeding, season three for migration, and season two (May to August) for internesting, while for the Hotspot, season three (September to December) was the one with the greatest potential impact in north and west of Isla Arena, as well as the entrance of the mouth of the Ría Celestún. Therefore, it was determined that this study area has a warm temperature with no thermal difference between climatic seasons, and its periphery has significant boat traffic, which represents a potential risk for sea turtles that occur in the area.

KEY WORDS

Impact, boats, temperature, season, Island.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Condiciones ambientales para la distribución de tortugas marinas en el Golfo de México

El Golfo de México y Mar Caribe representan un área importante de distribución de tortugas marinas, ya que albergan algunas de las poblaciones más importantes a nivel mundial de las especies *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys kempii*, *Chelonia mydas* y *Caretta caretta*, además de individuos de *Dermochelys coriacea* (Uribe-Martínez *et al.*, 2017). Dentro de este espacio marino, las tortugas marinas realizan etapas cruciales de su ciclo de vida como 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 otras latitudes como islas Caimán, Colombia, Costa Rica y Cuba (Eckert *et al.*, 2020).

A pesar de que las tortugas marinas, a excepción de *D. coriacea*, son intolerantes a temperaturas por debajo de los 15°C para mantener sus funciones fisiológicas, en ciertas circunstancias pueden adaptarse a temperaturas más frías (Braun-McNeil, *et al.*, 2008) si la tasa de cambio es lo suficientemente lenta (Milton y Lutz, 2003). Además, la mayoría de estos animales marinos están asociados a profundidades <50 m (Uribe-Martínez *et al.*, 2021).

El estudio de la correlación de la temperatura superficial del mar (TSM) en sitios de agregación y movimientos migratorios de tortugas marinas ha sido abordado en diferentes zonas del Golfo de México y Mar Caribe. Metz *et al.* (2020), reportan que tortugas verdes (*C. mydas*) en el norte del Golfo de México migran durante el invierno hacia aguas con temperaturas mayores a los 15°C, y

que a una menor temperatura que ésta, reducen su natación y alimentación. En el Caribe y Atlántico norte, las tortugas laúd (*D. coriacea*) cuentan con adaptaciones fisiológicas que le permiten explorar aguas más frías, entre 9-33°C (McMahon y Hays, 2006) en comparación con el intervalo de tolerancia de las demás especies de tortugas marinas. En el este del Golfo de México, tortugas lora (*L. kempii*) se encuentran en aguas con temperatura por encima de los 20°C, y cuyas migraciones en parte se deben a la búsqueda de aguas cálidas sureñas durante el invierno (Schmid y Barichivich, 2004). En esta misma zona, tortugas caguama (*C. caretta*) están presentes en temperaturas con promedio de 26.3°C (Griffin y Griffin, 2003) y cuyo intervalo varía entre los 13.3-28°C (Coles y Musick, 2000). Por otro lado, Valverde y Holzwardt (2017), reportan en Florida captura de tortugas verde en aguas con temperaturas de 22.2-32.7°C, y cuyos sitios de alimentación se caracterizan por tener fluctuaciones anuales de temperatura oceánica y del aire, lo que provoca la distribución y abundancia de alimento varíe temporal y anual (Carballo *et al.*, 2002).

Para la región sur del Golfo de México existen pocas investigaciones que analizaran factores ambientales las zonas de agregación de tortugas marinas, un ejemplo de ello es el trabajo realizado por Uribe-Martínez *et al.* (2017), quienes describieron la probabilidad de idoneidad ambiental de cinco especies de tortugas marinas en el Golfo de México. Estos autores, específicamente en para la península de Yucatán, encontraron que *E. imbricata* y *C. mydas* presentan idoneidad a su plataforma continental y Sonda de Campeche, *C. caretta* presenta potencial de distribución por todas las costas y plataformas continentales del Golfo de México y *L. kempii*, que cumple la totalidad de su ciclo de vida dentro del Golfo de México, tiene idoneidad por la zona oeste del Banco de Campeche. Otro ejemplo es el trabajo realizado por Cuevas *et al.*

(2008), quienes estudiaron los movimientos migratorios de hembras post anidantes de *E. imbricata* en la península de Yucatán y la influencia de factores físicos externos en ellos, y que como resultado observaron que no existe relación entre temperatura superficial del mar con las migraciones.

Además, en la península de Yucatán se encuentran las principales playas de anidación de las tortugas carey (*E. imbricata*), además de albergar a la mayor colonia del Atlántico de esta especie (Cuevas *et al.*, 2010); y cuya preferencia de temperatura oceánica es por encima de los 20°C (SEMARNAT, 2020). Así mismo, esta región ha sido reconocida como una zona crítica para la conservación de tortugas marinas, un ejemplo son las poblaciones de tortugas verde en la región sur, cuyos pastizales son una importante zona de alimentación para esta especie (Guzmán-Hernández, 2014).

2.2 Oceanografía del Golfo de México

El Golfo de México (Fig.10) es un sistema semicerrado con una profundidad máxima de más de 3000 m en su región central. Se comunica con el Océano Atlántico por el Estrecho de Florida, y con el Mar Caribe por el Canal de Yucatán; a la plataforma continental en la península de Yucatán se le denomina Banco de Campeche, y la porción suroccidental Sonda de Campeche (Martínez-López y Parés-Sierra, 1998).

Presenta una topografía compleja de fondo marino y con zonas extendidas de plataforma continental (Uribe-Martínez *et al.*, 2017); en EE. UU tiene una dimensión de 180 km, mientras que en el territorio mexicano la plataforma es estrecha, pero gradualmente se amplía, hasta alcanzar 130 km frente a Isla del Carmen, 170 km frente a Campeche y 260 km en el extremo norte de la península de Yucatán (Toledo, 2005).

La circulación del Golfo de México está regida principalmente por dos flujos característicos: la Corriente de Lazo y un complejo sistema de giros asociados (Expósito-Díaz *et al.*, 2009). Este proceso oceánico consiste en que las aguas cálidas de la Corriente de Yucatán entran por el Estrecho de Yucatán, circulan por el Golfo y salen por el Estrecho de Florida, donde se unen a la corriente de Florida; parte de la corriente forma anillos anticiclónicos, mientras que el resto de las aguas de la corriente continúa su viaje hacia el Estrecho de la Florida (Aguirre-Gómez, 2001). La Corriente de Lazo es una corriente cálida y salina, se desplaza año tras año de forma heterogénea, forma giros ciclónicos, en los cuales asciende agua, y anticiclónicos, donde sucede un descenso de agua (De la Lanza-Espino, 2004)

Por otro lado, el principal aporte de agua dulce en la región sur del Golfo de México proviene del sistema Grijalva-Usumacinta y Papaloapan, los cuales proporcionan el 55% de las descargas fluviales en la vertiente atlántica de México (Toledo, 2005; CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007). Esto provoca una marcada diferencia en los sedimentos terrígenos costeros hacia el sur de Campeche, Tabasco y Veracruz, a diferencia de kársticos hacia el norte de Campeche y Yucatán (Yáñez-Arancibia y Day, 2004).

El estado de Campeche, que forma parte de la geología de la península de Yucatán, está compuesto por rocas calizas y carbonato de calcio que, en conjunto con la estructura tabular y horizontal y las condiciones de humedad, producen un modelo cárstico en el relieve, carente de drenaje superficial o de ríos superficiales (Ortíz, 2006). En la región oriental de la península de Yucatán, durante la primavera y el verano la corriente se intensifica y la fricción con la talud continental produce una surgencia importante (Monreal-Gómez y Salas de León, 2004).

Igualmente, este estado se encuentra en una región marina denominada Banco de Campeche, que va desde Isla Mujeres hasta Laguna de Términos, y que presenta una circulación corriente arriba (ciclónica), con flujo hacia el oeste (Zavala-Hidalgo, 2003). Esta región presenta una temperatura superficial del mar durante febrero a marzo de 22-24°C, mientras que en verano oscila entre 29-30°C (Muller-Karger *et al.*, 2015).

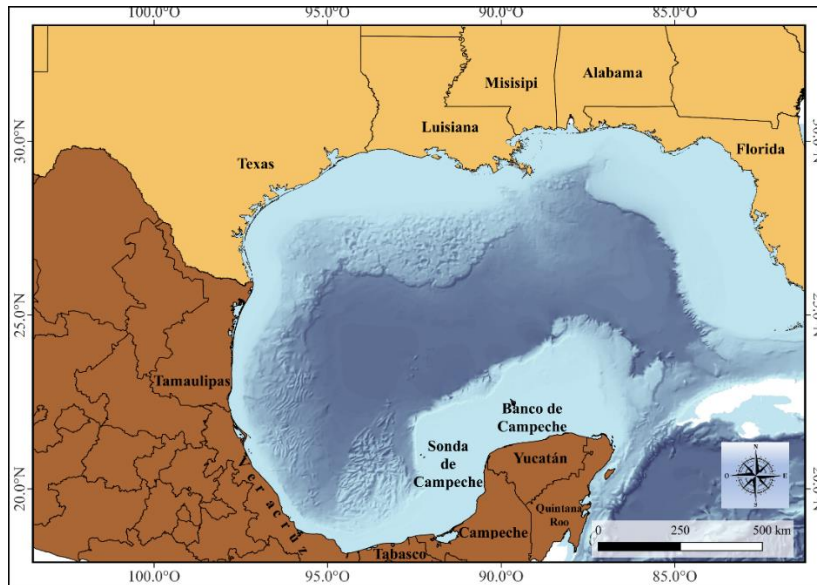


Figura 10. Ubicación geográfica del Golfo de México.

2.3 Impactos antropogénicos sobre las poblaciones de tortugas marinas en Campeche.

Las poblaciones de tortugas marinas se encuentran bajo diversas fuentes de presión a lo largo de su ciclo de vida que comprometen su integridad biológica (Lovich *et al.*, 2018). En sus ecosistemas marinos, están sometidas a amenazas como derrames de hidrocarburos, aumento en el nivel del mar, incremento de la temperatura superficial del mar, por mencionar algunas (Liceaga-Correa *et al.*, 2020); además de la captura dirigida o incidental provocadas por la pesca (Epperly, 2002), misma que se ha documentado que no sólo afecta a las tortugas

sino a muchas especies no objetivo como a mamíferos y aves marinas (Burgess *et al.*, 2018).

La pesca ocasionalmente coincide con las áreas que contienen aguas cálidas en las cuales convergen tortugas marinas (Braun-McNeill *et al.*, 2008), lo que provoca pesca incidental por el manejo de redes de arrastre, enmalle, cercos y palangre, principalmente en zonas costeras (Guzmán-Hernández *et al.*, 2014).

Trabajos como el realizado por Richardson (1995) han reportado que redes fijas de línea corta, utilizadas para pesca comercial, afectan a la tortuga caguama, verde, lora y laúd; palangres, empleadas para la captura de atún, afecta de manera incidental a tiburones, marlines, tortuga laúd y verde; las redes de cerco afectan a la tortuga caguama, laúd y verde. De igual manera, la red de arrastre es la más utilizada a nivel mundial, utilizada en aguas costeras poco profundas y la principal arte de pesca que ocasiona la mortandad de tortugas, ya sea cuando salen a respirar o se encuentran sumergidas, provocando que se ahoguen a medida que es remolcada la red (Hsiang-Wen, 2015).

En Campeche, una de las principales actividades a la que se dedica la mayoría de la población es la pesca artesanal, la cual representa al 6% a nivel nacional, distribuida en 49 comunidades como Isla Aguada, Seybaplaya, Champotón, Sabancuy, Ciudad del Carmen, Atasta, Palizada e Isla Arena (Villegas, 2012). En esta última, la pesca es una de las principales actividad económicas, mientras que el turismo recién comienza a desarrollarse (Hernández-Félix *et al.*, 2017); durante diciembre a marzo, la pesca se dirige principalmente a la pesca de escama como sierra (*Scomberomorus maculatus*), pargo rojo y mulato (*Lutjanus analis* y *Lutjanus griseus*), róbalo (*Centropomus undecimalis*), boquinete (*Lachnolaimys maximus*), picuda (*Sphyræna guachancho*), chacchí

(*Haemulon plumieri*), rubia (*Lutjanus synagris*) y pámpano (*Trachinotus carolinus*) (Sámano, 2015).

El esfuerzo pesquero es un tema que ha sido abordado por autores como Cuevas *et al.* (2018), quienes reportan al norte y oeste de la península de Yucatán como las zonas con mayor esfuerzo pesquero de toda la región de febrero a julio, pero con un abrupto descenso de agosto a octubre para nuevamente incrementar hasta enero, además de una variabilidad anual en el empleo de redes de enmalle y palangres como principales artes de pesca. Por otro lado, Liceaga-Correa *et al.* (2022) evaluaron la zonas sensibles para las tortugas marinas a impactos potenciales, donde oeste, norte y noreste de la península de Yucatán son las más sensibles para las diferentes etapas de vida de *C. mydas*, *E. imbricata*, *L. kempii* y *C. caretta*.

Debido a esto, y de acuerdo con lo mencionado por Hart *et al.* (2018), existe la necesidad de conservación marina sistemática en el Golfo de México con base en el entendimiento y alcance de las actividades humanas que aquí ocurren en los hábitat críticos de especies en conservación.

2.4 Percepción remota en el estudio de mega-vertebrados marinos y las condiciones físicas de su entorno

La percepción remota es un término que se emplea para describir el estudio de un objeto sin tener un contacto físico con él, con el propósito de identificar sus propiedades cualitativas y cuantitativas; un ejemplo de esto es la percepción remota satelital, ya que los sensores transportados en los satélites están diseñados para captar las variaciones o los cambios periódicos de los paisajes del planeta teniendo en cuenta el sol, la atmósfera y la energía reflejada para que así, las personas que trabajan en estaciones receptoras midan las

propiedades de la Tierra a través de los datos transmitidos sin tener que ir al área de interés para hacer las mediciones (Catuna, 1995; Aguirre-Gómez, 2001).

Una herramienta de trabajo con los datos obtenidos de la percepción remota son los sistemas de información geográfica (SIG), los cuales son sistemas computarizados que soportan la captura, manejo, manipulación, análisis, modelado y despliegue de datos espacialmente georreferenciados; esto, para realizar análisis espaciales mediante la información contenida en mapas que posteriormente podrán ser gestionados en diferentes formatos (Fernández, 1995). Del mismo modo, son una herramienta útil para resolver problemas complejos de planificación y gestión, con una amplia gama de aplicaciones posibles, de los cuales destacan dos tipos de modelos que permiten representar el territorio.

Mediante el empleo de productos de percepción remota, como las imágenes satelitales, ha sido posible clasificar regiones biofísicas en el suroeste del Atlántico mediante el análisis de la temperatura superficial del mar (Saraceno *et al.*, 2006), para describir las condiciones oceanográficas en el pacífico norte (Palacios *et al.*, 2006), la variabilidad de la temperatura superficial del mar en el suroeste del Golfo de México (Del Monte-Luna *et al.*, 2015), y para identificar unidades oceanográficas en el Golfo de México a partir de datos biofísicos de productos derivados de percepción remota (Uribe-Martínez *et al.*, 2019), entre otros muchos exitosos ejemplos.

Mientras tanto, para el estudio de tortugas marinas en ecosistemas marinos, se han empleado imágenes satelitales en el análisis de la temperatura superficial del mar con la distribución de *L. kempii* en Carolina del Norte (Coles y Musick, 2000), para la elaboración de un método de predicción de presencia de tortugas

marinas en la costa noreste de EE. UU (Braun-McNeil *et al.*, 2008), y para investigar la influencia de la temperatura oceánica en migraciones de *C. mydas* en costas de Texas (Metz *et al.*, 2020).

OBJETIVO

Analizar las variaciones de la temperatura superficial del mar alrededor de Isla Arena, así como la cuantificación de embarcaciones menores en la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.5 Promedio de temperatura superficial del mar

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat-8 Nivel- 2 obtenidas del portal Earth Explorer (2020) que cubrieran la zona marina de Isla Arena, Campeche (ver capítulo 1). Este sitio presenta un régimen climático que se divide en tres temporadas: secas (marzo-mayo), lluvias (junio-octubre) y nortes (noviembre-febrero) (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2004).

Las imágenes obtenidas fueron exportadas al programa QGIS (Qgis, 2015), así como shapefiles de los mapas de la división política de México, adquiridas del portal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), para una interpretación gráfica de la ubicación de las imágenes en relación con el litoral mexicano.

Se realizó una búsqueda de imágenes de enero de 2017 a diciembre de 2019, dos imágenes por mes con la menor nubosidad posible. A pesar de ello, siempre se presentaba nubosidad, por lo que por medio del programa R Studio (Team,

2018) fue necesario someter cada imagen a un proceso de enmascaramiento de acuerdo con la siguiente ecuación (Ec. 4):

$$(Ec. 4) \quad Msk = (B10_{mth} * 0.00341802 - 12.15) * (BQA_{mth} < 300)$$

donde *Msk* es la imagen enmascarada, *B10_{mth}* la imagen Banda 10 y *BQA_{mth}* la banda BQA, estas dos últimas del stock de la fecha de cada imagen. A continuación, a estas imágenes enmascaradas, mediante el programa R Studio (Team, 2018), se le hizo una conversión de NA's (valor nulo) en formato TIFF, ya que donde antes se encontraban las nubes se les asignó el valor 0 para no afectar en el cálculo del promedio.

Con las imágenes resultantes de este procedimiento, se calculó el promedio de la temperatura superficial del mar en las tres épocas climáticas de la región. Cada resultado por época climática fue sometido a una hexagonización con la rejilla del área de estudio, por medio de la herramienta de geoprocreso "intersección", y cuyos resultados finales se clasificaron con el algoritmo de Jenks (North, 2009).

2.6 Caracterización de la temperatura superficial del mar en el uso de espacio de tortugas marinas en Isla Arena

A partir de los rastreos satelitales, se identificaron los sitios de donde se obtuvo el promedio de TSM en el área de estudio. Se clasificó cada intensidad de uso de espacio por etapa (ver capítulo 1) en "*uso mayor*", "*uso menor*" y "*sin uso*" (Tabla 5) de acuerdo con sus respectivos valores, con la finalidad de realizar pruebas estadísticas con ayuda del programa Past versión 4.06 (Hammer *et al.*, 2001), para determinar si existían diferencia de temperatura entre cada uso de espacio.

Posteriormente, con ayuda del programa R Studio (Team, 2018) se elaboraron gráficos de caja y bigotes para reconocer la variabilidad térmica en cada uso de espacio. Cabe destacar que, dado a que existe una temporalidad para cada etapa de las tortugas marinas, no se contrastaron con todas las épocas climáticas.

Tabla 5. Intervalos de la intensidad de uso de espacio de tortugas marinas en Isla Arena y su clasificación.

Uso de espacio	Uso Mayor	Uso Menor	Sin uso
Alimentación	1 - 0.58	0.58 - 0.17	0.17 - 0
Interanidación	1 - 0.61	0.61 - 0.8	0.8- 0
Migración	1- 0.65	0.65 - 0.22	0.25 - 0

2.7 Identificación de embarcaciones menores en Isla Arena

Al igual que para la estimación de la TSM, con ayuda del portal Earth Explorer se obtuvieron imágenes satelitales Sentinel-2 de enero del 2017 a diciembre del 2019, con la finalidad de identificar y cuantificar la densidad de embarcaciones menores presentes en el área de estudio durante tres temporadas, de cuatro meses cada una, además de un análisis anual. La definición de estas temporadas se propuso de acuerdo con la dinámica de embarcaciones por el esfuerzo pesquero que sucede en la región descrita por Cuevas *et al.* (2018), quienes reportaron una fragmentación anual de tres a cuatro meses.

Del stock de imágenes obtenidas, sólo se utilizaron las bandas 2, 3 y 4, las cuales fueron exportadas al programa QGIS (Qgis, 2015); a su vez, y para una interpretación gráfica de la ubicación de las imágenes en relación con el litoral mexicano, se exportaron shapefiles de los mapas de la división política de

México, obtenidos del portal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Una vez exportadas las imágenes, se realizó una búsqueda exhaustiva de embarcaciones menores a lo largo de toda la zona, donde cada embarcación fue marcada con una simbología de punto, numerada y etiquetada con la fecha correspondiente de la imagen. Posteriormente se crearon shapefile por temporada, en los cuales se agruparon el número total de embarcaciones encontradas.

Con estos shapefile, se cuantificó la densidad de embarcaciones mediante una hexagonización con ayuda de la rejilla del área de estudio (ver capítulo 1), la cual contiene 170 hexágonos de aproximadamente 5 km de diámetro. Este procedimiento se realizó mediante la herramienta de geo proceso “unión”.

2.8 Impacto potencial de tortugas marinas en Isla Arena

Una vez obtenida la densidad de embarcaciones por temporada, y con los valores de la intensidad de uso de espacio (ver capítulo 1), se cuantificó del impacto potencial en el área de estudio mediante la ecuación cinco (Ec.5):

$$(Ec. 5) IP_{temp} = (IUE_{etapa} * Emb_{temp})$$

Donde IP_{temp} es el impacto potencial por temporada, IUE_{etapa} es la intensidad de uso de espacio por etapa, y Emb_{temp} es el número de embarcaciones por temporada. Así mismo, se realizó un cálculo anual, con la suma total de las embarcaciones de los tres años.

Así mismo, se calculó el impacto potencial de los Hotspots de Isla arena (IP_{HS}) con la densidad de embarcaciones por temporada de acuerdo con la ecuación seis (Ec.6):

$$\text{(Ec. 6) } IP_{HS} = (HS * Emb_{temp})$$

Donde **HS** son los Hotspot de Isla Arena y **Emb_{temp}** es la cantidad de embarcaciones por temporada.

A cada resultado se le realizó un reescalamiento por medio de la ecuación 2 (Ec.2) (ver capítulo 1). Cabe destacar que también para este procedimiento sólo se contrastaron las temporadas de embarcaciones que coinciden con la temporalidad de cada etapa de las tortugas marinas.

RESULTADOS

2.9 Temperatura superficial del mar en Isla Arena

Se obtuvieron un total de 53 imágenes Landsat, de las cuales 15 pertenecen a secas, 21 a lluvias, y 17 a nortes. La diferencia en cantidad entre épocas se debió a la disponibilidad de imágenes proporcionadas por el satélite, ya que en algunos casos no se pudieron obtener dos imágenes por mes. Además, algunas imágenes estaban cubiertas en su totalidad por nubosidad.

Para la época de secas (Fig. 11.A), la TSM promedio fue de $26.7^{\circ}\text{C} \pm 0.55$, con una zona de intercambio en la parte central de $26 - 28^{\circ}\text{C}$; precisamente en Isla Arena se encontraron temperaturas cálidas de $26.7 - 28^{\circ}\text{C}$. Se manifestaron dos patrones de temperatura, uno que viene del norte que corresponde a temperaturas relativamente más bajas, en comparación con las que se encuentran en la zona sur.

Para la época de lluvias (Fig. 11.B), la TSM promedio fue de $29^{\circ}\text{C} \pm 0.97$, la cual fue la temporada con las temperaturas más cálidas. En Isla Arena el intervalo fue de $28.6 - 31.2^{\circ}\text{C}$, mismas que se presentaron a lo largo de la costa.

Así mismo, durante esta temporada se exhibió aún más el gradiente con temperaturas bajas que parecieran envolver a las temperaturas cálidas de la región sur, con variaciones de 27.5 - 29.7°C en su porción central.

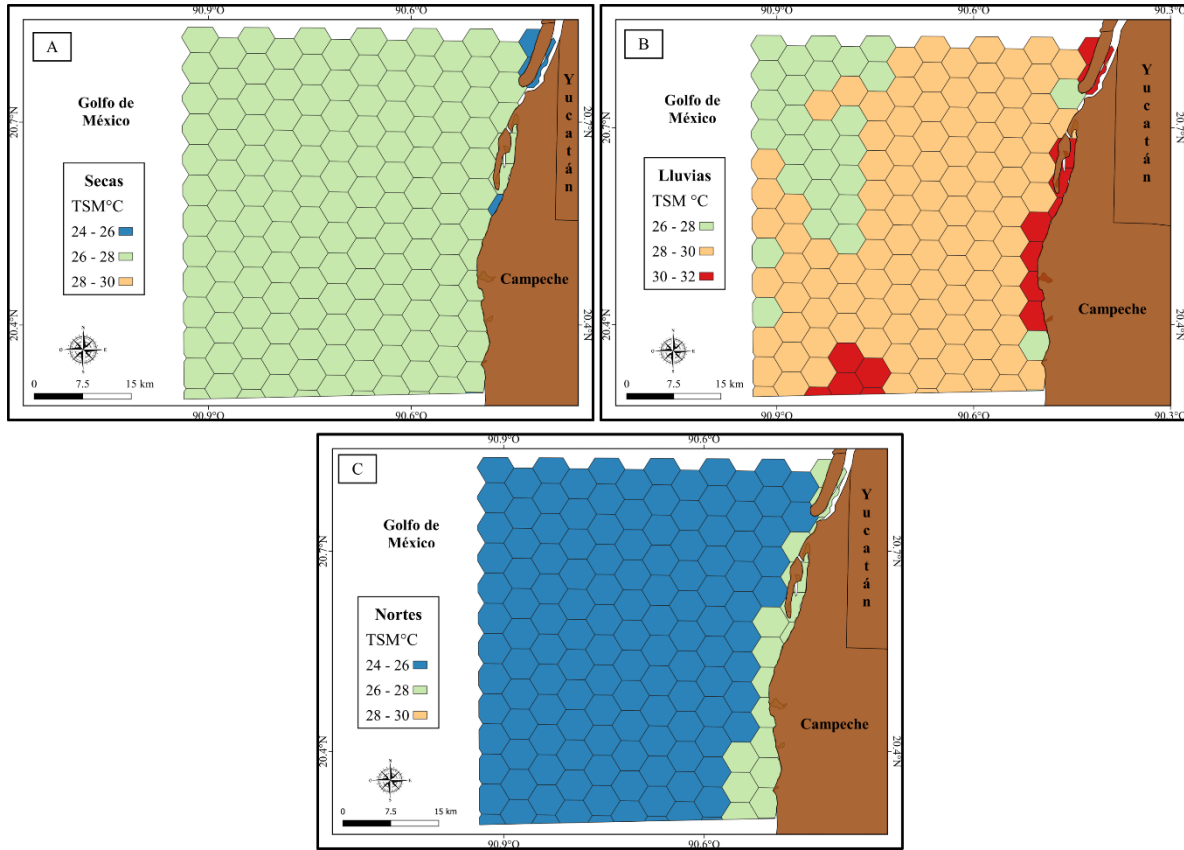


Figura 11. Temperatura Superficial del mar (TSM) en tres épocas climáticas: a) secas, b) lluvias y c) nortes.

En la época de nortes (Fig.11.C) la TSM promedio fue de $25.5^{\circ}\text{C} \pm 0.58$, y representó a la temporada con los valores más fríos de las tres épocas climáticas. En la región de Isla Arena se encontraron los valores más cálidos que van de $25.4 - 27.2^{\circ}\text{C}$. Se presentó una dominancia a lo largo del área de estudio de valores de $24.7 - 25.4^{\circ}\text{C}$, de manera paralela a temperaturas cálidas que se distribuyeron cerca de la costa; además, se observó que este gradiente de temperaturas frías está cercado por otra masa de aguas cálidas provenientes del norte.

2.10 Uso de espacio conforme al régimen climático

En el análisis de la TSM en Isla Arena con la intensidad de uso de espacio para las migraciones de *L. kempii*, *C. mydas* y *E. imbricata*, sólo se evaluó con la temporada de lluvias y nortes, y donde ninguna temporada presentó una diferencia significativa entre usos ($p > 0.05$).

En la temporada de lluvias (Fig.12.A) “*uso mayor*” presentó un rango intercuartílico térmico (RICT) de 28.33-29.43°C y una mediana (Me) de 28.81°C, “*uso menor*” un RICT de 28.25-29.39°C y Me de 28.83°C, y “*sin uso*” un RICT de 28.10-29.51°C y una Me de 29.01°C, además de que en esta etapa se presentaron valores extremos (32-33°C). Para la época de nortes (Fig.12.B) “*uso mayor*” presentó una Me de 25.56°C y un RICT de 25.43-25.71°C, mientras que “*uso menor*” (RICT 25.24-25.53°C) y “*sin uso*” (RICT 25.16-25.74°C) comparten mediana de 25.33°C, estas dos últimas épocas con valores extremos de 26.5°C y 26.9°C respectivamente.

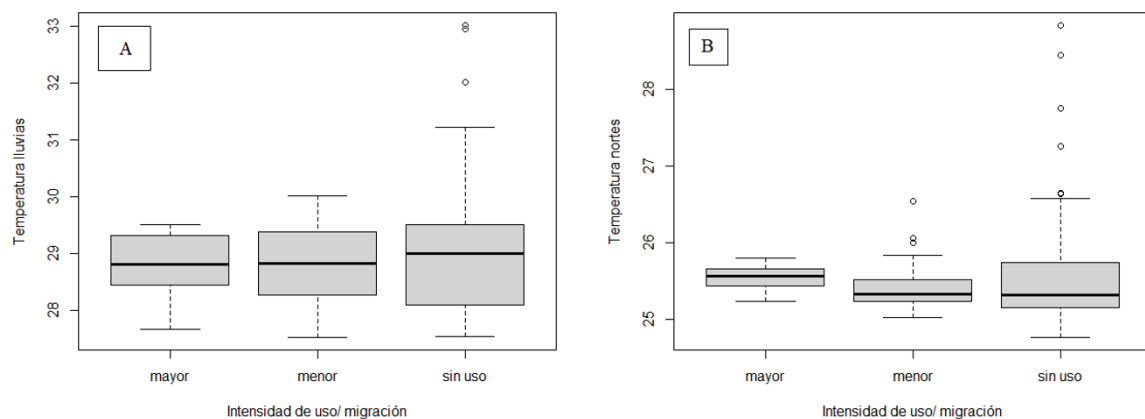


Figura 12. Variación de TSM en zonas de migración de tortugas marinas en Isla Arena. a) lluvias, b) nortes.

Para la interanidación (*E. imbricata*) (Fig.13), sólo se estimó con la temporada de lluvias, y presentó una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre todos los usos. “*Uso mayor*” presentó una Me de 29.43°C y RICT de 28.81-29.49°C, “*uso menor*” una Me de 29.55°C y RICT de 28.80-30.85°C, y “*sin uso*” Me de 28.79°C y RICT de 28.05-29.40°C.

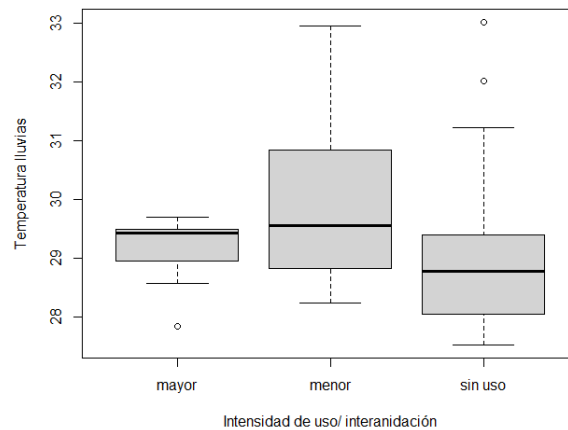


Figura 13. Variación de TSM en áreas de interanidación de tortugas marinas en Isla Arena.

En cuanto a la etapa de alimentación (*C. mydas*) (Fig.14), se contrastó con las tres temporadas establecidas. La época de secas (Fig.14.A) no presentó diferencia significativa entre el uso de espacio ($p > 0.05$), caso contrario a la época de lluvias (Fig.14.B) donde “*uso mayor*” (Me 28.88°C, RICT 28.59-29.37°C) y “*uso menor*” (Me 29.31°C, RICT 28.91-29.94°C) presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), así como “*uso menor*” y “*sin uso*” (Me 28.83°C, RICT 28.05-29.45°C). De la misma forma, para la temporada de nortes (Fig.14.C) sólo “*uso mayor*” (Me 25.51°C, RICT 25.32-25.60°C) y “*uso menor*” (Me 25.67°C, RICT 25.47-26.06°C) presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$).

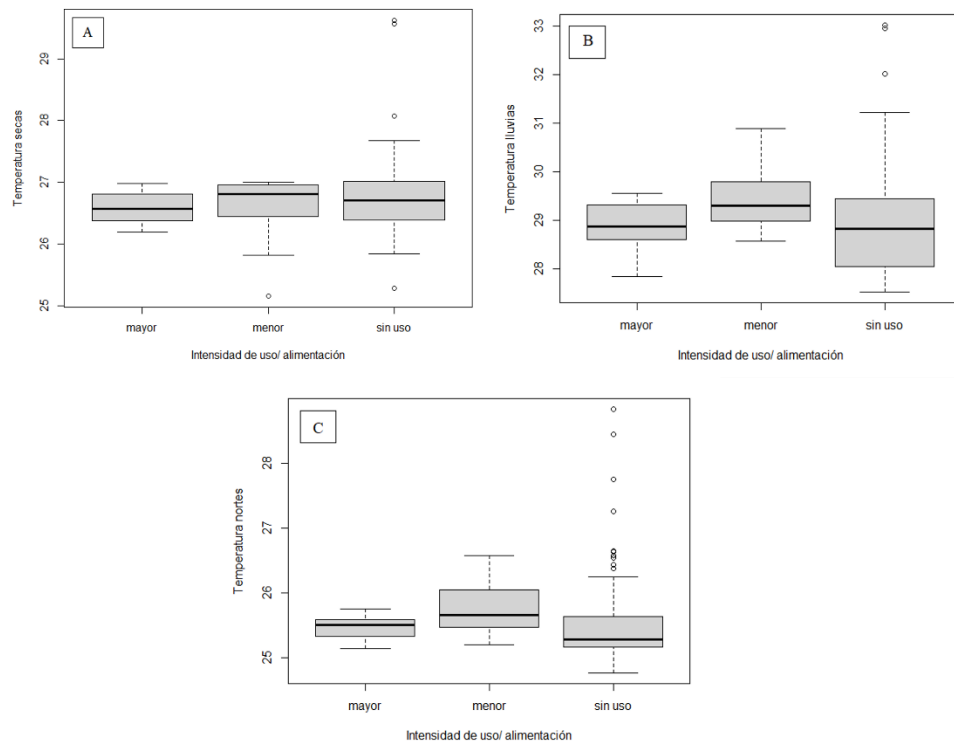


Figura 14. Variación de TSM en el espacio utilizado para alimentación de tortugas marinas en Isla Arena: a) secas, b) lluvias, c) nortes.

2.11 Cuantificación de densidad de embarcaciones

Se obtuvo un total de 144 imágenes satelitales, con la particularidad de que el área de estudio no era cubierta en su totalidad por una imagen, por lo que se requirieron de dos por cada fecha.

A lo largo de la zona marina de Campeche, se identificaron 1,810 embarcaciones, mientras que concretamente para Isla Arena se contabilizaron 256 en las tres temporadas establecidas (Fig.15 D), con la mayor agregación de embarcaciones al norte del área de estudio, y frente a sus costas con valores que van de tres a nueve, además de otra en la parte noroeste, a aproximadamente 45 km.

La temporada uno (Fig.15 A), de enero a abril, fue la que mayor cantidad de embarcaciones presentó con un total de 111. Los polígonos con mayor cantidad de éstas se encontraron frente a Isla Arena, con valores de dos a siete, al igual que en la entrada de la Ría Celestún. A lo largo de la zona de estudio se observó una distribución de polígonos con valores de uno a dos embarcaciones.

Por el contrario, la temporada dos (Fig.15 B), de mayo a agosto, fue la que menor cantidad de embarcaciones presentó con un total de 50. En Isla Arena no se encontraron polígonos con un número elevado, sin embargo, aproximadamente a ocho km hacia el este se presentaron valores de tres a seis embarcaciones, así como al norte, en la entrada a la Ría Celestún, donde se presentó la mayor aglomeración de polígonos con valores de uno a dos, y de tres a seis a 45 km de distancia hacia el oeste.

En la temporada tres (Fig.15 C), de septiembre a diciembre, el número total de embarcaciones fue de 95. La mayor aglomeración de polígonos con valores altos se presentó al norte y oeste de Isla Arena con valores de dos a seis embarcaciones, al igual que en la entrada a la Ría Celestún. Del mismo modo, destaca un conjunto de polígonos de cinco a siete a 50 km de distancia al oeste.

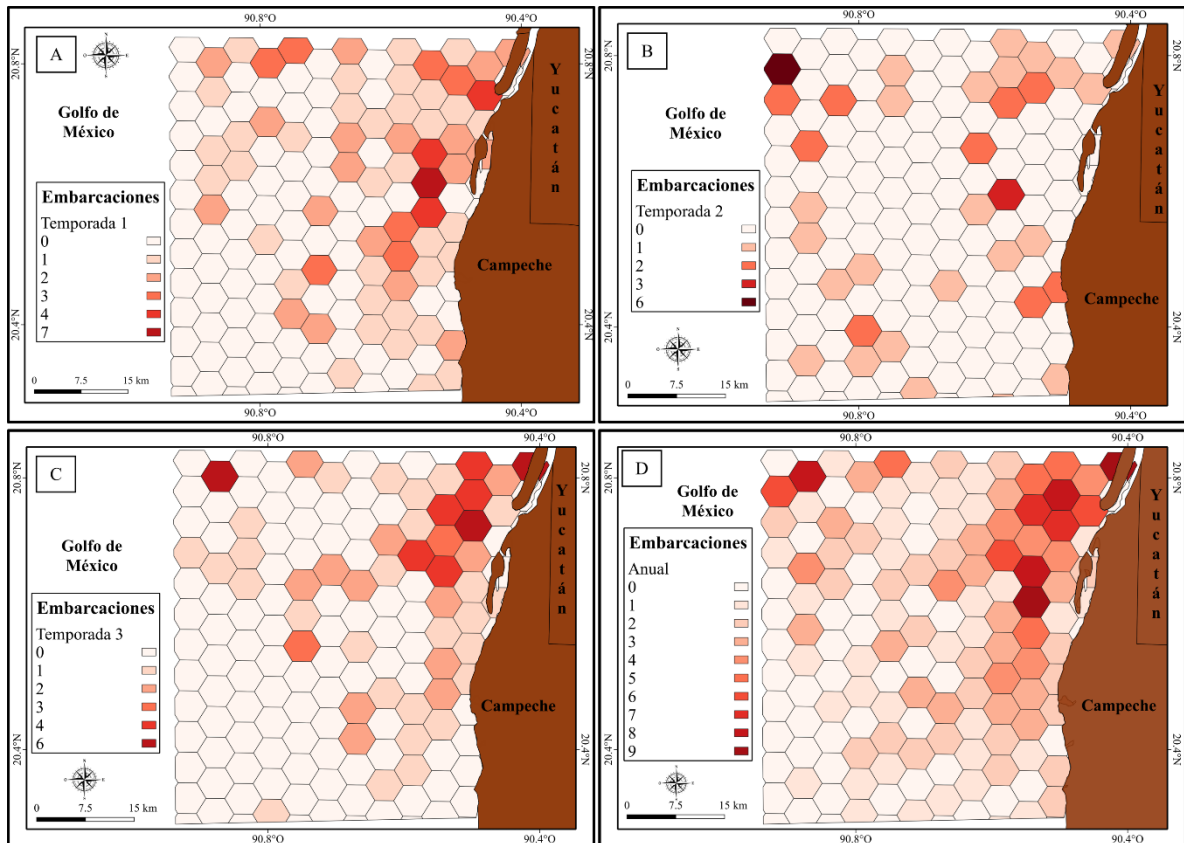


Figura 15. Densidad de embarcaciones en Isla Arena. a) temporada 1 (enero a abril), b) temporada 2 (mayo a agosto), c) temporada 3 (septiembre a diciembre), d) anual (2017-2019).

2.12 Áreas de impacto potencial en Isla Arena

Alimentación

Para la etapa de alimentación se contrastó con las tres temporadas de embarcaciones, donde el mayor impacto potencial se presentó en la temporada uno (Fig.16 A) a cinco kilómetros al norte de Isla Arena, así como frente a Celestún y en la entrada a la Ría Celestún. También, al sur y frente a las costas de Isla Arena, después de los cuatro km, presenta un impacto de “mayor” a “regular”.

La temporada dos fue la que menor impacto potencial presentó (Fig.16 B), donde se presentaron polígonos de impacto “regular” en la entrada a la Ría

Celestún y frente a Celestún; misma región que en el análisis anual (Fig.16 D), un impacto de “regular” a “mayor”, mientras que Isla Arena representó un impacto de “menor” a “regular”.

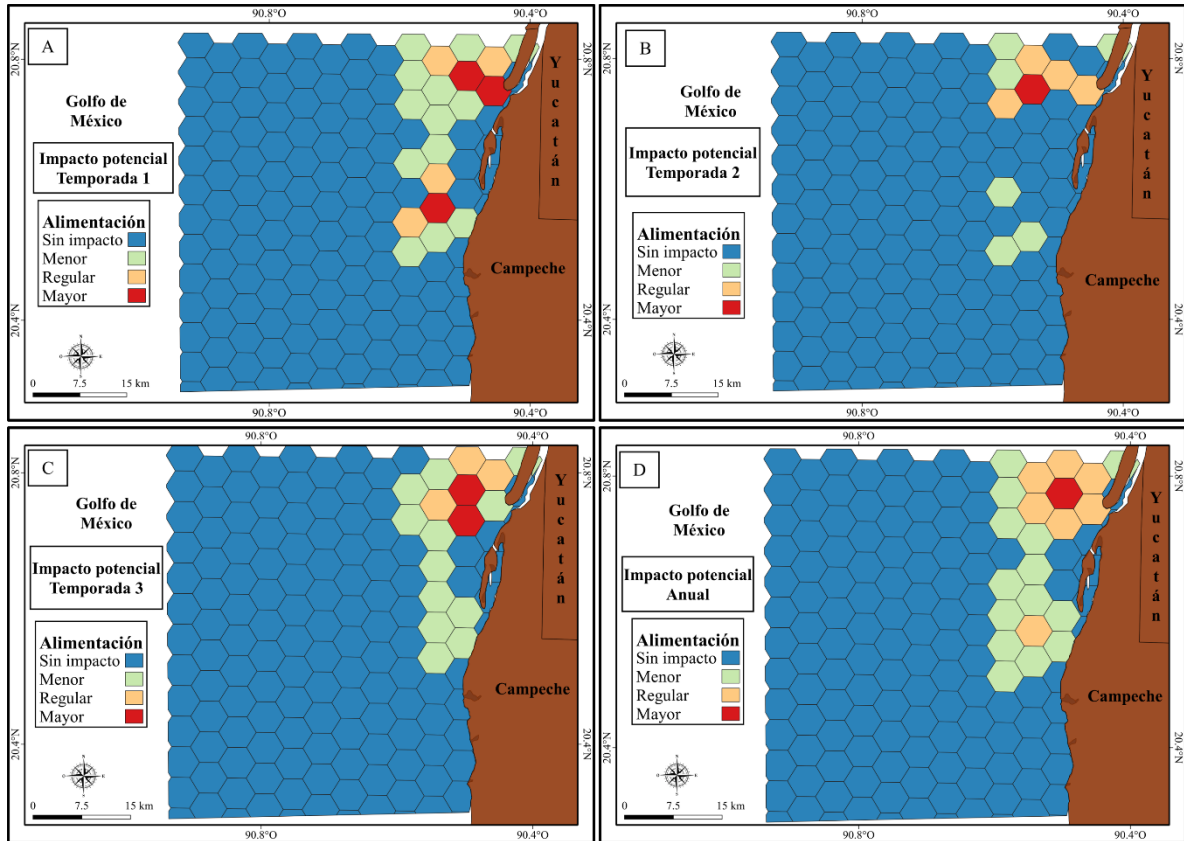


Figura 16. Impacto potencial en Isla Arena en etapa de alimentación. a) temporada 1 (enero a abril), b) temporada 2 (mayo a agosto), c) temporada 3 (septiembre a diciembre), d) anual (2017-2019).

Migración

La etapa de migración se evaluó con las temporadas dos (Fig.17 A) y tres (Fig.17 B), ésta última fue la que mayor impacto representó, concretamente frente a Isla Arena y al norte, contiguo a la entrada a la Ría Celestún con polígonos que van de “regular” a “mayor”.

La temporada dos, presentó polígonos de “menor” a “regular” frente a Celestún, mientras que en Isla Arena se encontró un polígono de “mayor” impacto a nueve kilómetros al suroeste, además de un impacto “regular” a 35-45 km al noroeste.

En el análisis anual (Fig.17 C), el “mayor” impacto potencial se presentó frente a las costas de Isla Arena, a 5 km de distancia, así como en la zona norte, y Celestún. 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 “regular”.

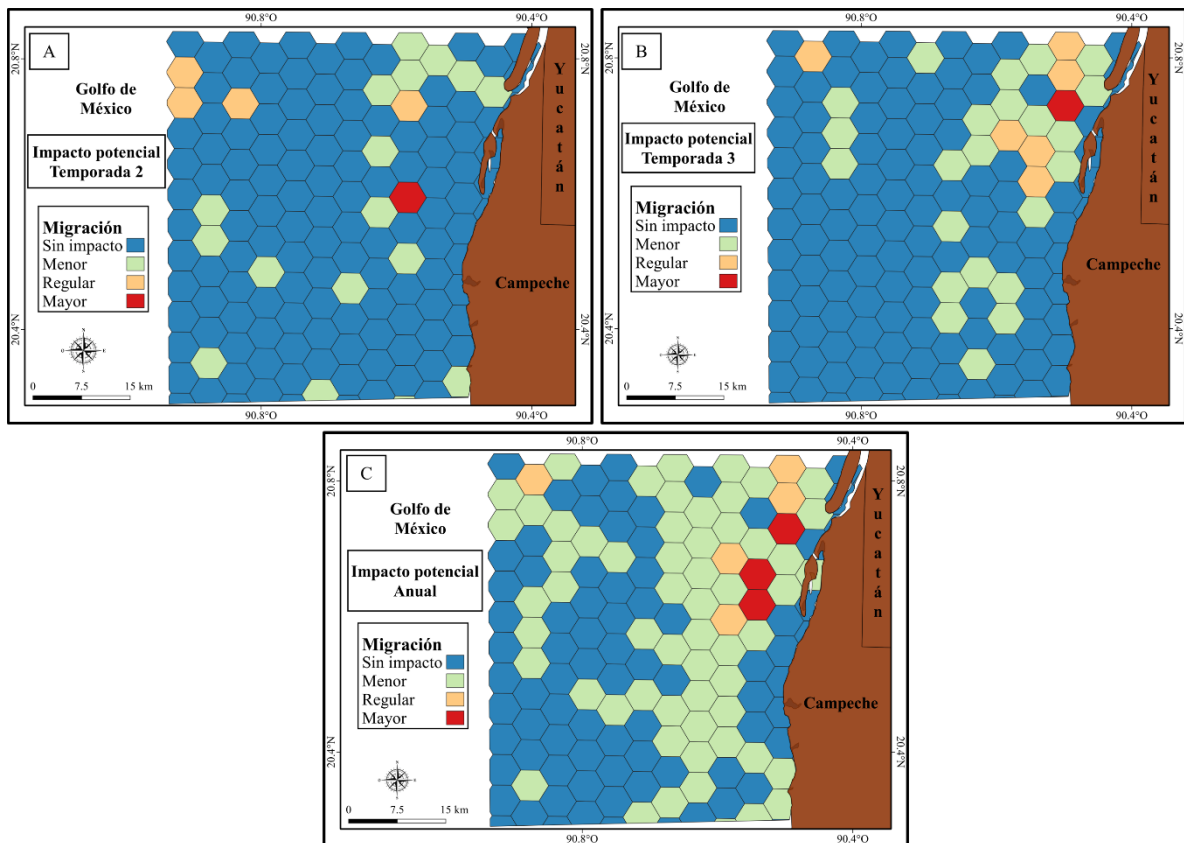


Figura 17. Impacto potencial en Isla Arena en etapa de migración. a) temporada 2 (mayo a agosto), b) temporada 3 (septiembre a diciembre), c) anual (temporadas 2 y 3 del 2017-2019).

Interanidación

Para la etapa de interanidación, sólo se estimó con la temporada dos (Fig. 18.A), en la que el mayor impacto se presentó en la entrada a la Ría Celestún y hacia el oeste de Celestún, con polígonos de “regular” a “mayor”, contrario a Isla Arena donde no se presentó un impacto potencial. En el análisis anual (Fig.18 B) Isla Arena presentó un impacto potencial de “menor” a “mayor”, mientras que en Celestún se presentó una aglomeración de polígonos de impacto “mayor” en su zona sur, en la zona adyacente a la entrada de la Ría.

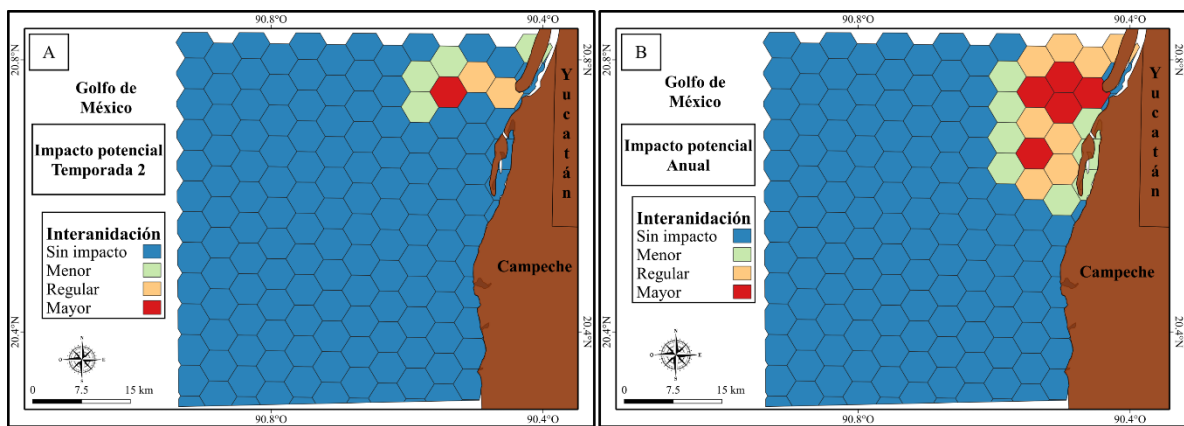


Figura 18. Impacto potencial en Isla Arena en etapa de interanidación. a) temporada 2 (mayo a agosto), b) anual (temporada 2 del 2017-2019).

Hotspots

Para los Hotspots de Isla Arena, la temporada tres (Fig. 19 C) fue en la cual mayor impacto potencial presentó, con un impacto de “menor” a “regular” frente a sus costas, mientras que polígonos de impacto “mayor” se presentaron en Celestún y la zona contigua a la entrada de la Ría Celestún. Por el contrario, la temporada dos (Fig. 19 B) fue la que menor impacto potencial representó, con una aglomeración de polígonos de “regular” en el sur de Celestún y a diez km al sur de Isla Arena. Sólo un polígono de impacto “mayor” se presentó frente a Celestún, a diez km de distancia de la costa.

La temporada uno (Fig. 19 A), presentó valores de “menor” a “regular” al oeste de Isla Arena, a cinco y diez km de distancia de la costa respectivamente, mientras que, en la entrada de la Ría Celestún así como frente a Celestún, se presentó un impacto de “menor” a “regular”.

En el análisis anual (Fig. 19 D), se presentó una cobertura de polígonos de impacto de “menor” a “regular” en la mayor parte del área de estudio, mientras la zona cercana a la costa presentó valores de “regular” a “mayor” y donde la mayor aglomeración de polígonos de impacto “mayor” se encontró en la boca de la Ría Celestún.

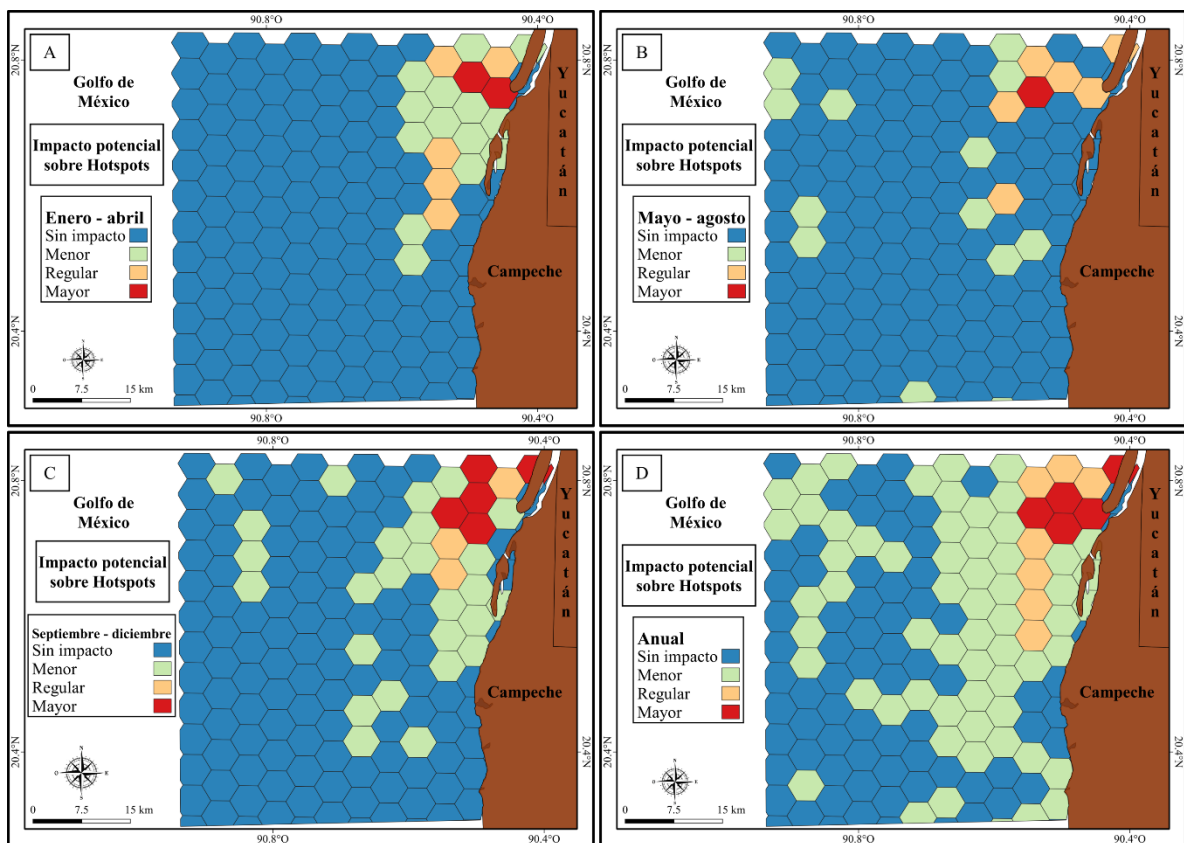


Figura 19. Impacto potencial en Hotspots de Isla Arena. a) temporada uno (enero a abril), b) temporada dos (mayo a agosto), c) temporada tres (septiembre a diciembre), d) anual (2017-2019).

DISCUSIÓN

2.13 Comportamiento oceanográfico en Isla Arena

La zona marina de Isla Arena, la cual pertenece a la región sur del Golfo de México, representa una de las zonas con menor cantidad de estudios enfocados a la variabilidad ambiental, en comparación con la zona norte del Golfo de México. Los resultados obtenidos en esta investigación presentaron una variabilidad térmica mínima, semejante a lo descrito por Byrne *et al.* (2019) en el Caribe y Golfo de México para modelos de distribución de tiburones mako, con intervalos de temperaturas cálidas de 25-31°C, con poca variación temporal y una homogeneidad espacial de recursos marinos. Así mismo, Zavala-Hidalgo *et al.* (2006), aluden a que, en el oeste de la Península de Yucatán, específicamente en Campeche, la TSM es más cálida durante el mes de junio, el cual forma parte de la época de lluvias, temporada que fue la que mayor TSM presentó. Por otro lado, Del Monte-Luna *et al.* (2015) reiteran que las temperaturas oceánicas frías en el sur del Golfo de México se atribuyen a factores oceanográficos y atmosféricos con ciclos anuales, tales como los frentes fríos que circulan en las costas sureñas durante el otoño e invierno, provenientes del noreste de EE. UU. La presencia de este fenómeno es observable en el área de estudio durante la época de nortes, época en la cual se observaron los valores más bajos de TSM.

Existen otros fenómenos, como las corrientes marinas, que están involucrados en el comportamiento térmico. La variabilidad térmica durante las tres épocas climáticas es comparable a lo descrito por Uribe-Martínez *et al.* (2019), quienes identificaron unidades oceanográficas a lo largo del Golfo de México, y donde dos son visibles en Isla Arena. La “corriente de la plataforma continental del sur”, que prevalece todo el año en la zona con concentraciones considerables de

clorofila y salinidad, se ve irrumpida durante la época de lluvias por la surgencia de Yucatán”, la cual proviene del Caribe, con una evolución del este hacia al oeste de abril a septiembre, con temperaturas ligeramente bajas, concentraciones altas de clorofila y con mayor manifestación en agosto; lo que provoca una disminución de salinidad y un aumento de clorofila en la zona durante este tiempo.

2.14 Condiciones oceánicas en la distribución y residencia de tortugas marinas

Temperatura Superficial Marina en Isla Arena

En el análisis de variables ambientales en sitios de residencia y migraciones de tortugas marinas, la temperatura es un factor importante para la sobrevivencia de estos animales marinos en los ecosistemas que habita. Se ha definido que, a escala global, tienen preferencia por rangos de temperatura lo más cálidos posible, independientemente de la temporalidad (Coles y Musick, 2002). Esta característica de temperatura cálida es propia de las aguas costeras del Golfo de México, por lo que son consideradas un importante corredor migratorio, y donde las corrientes no son tan fuertes; debido a ello, deben considerarse otros factores como la profundidad y la distancia a la costa en los análisis de distribución de estos organismos marinos (Shaver *et al.*, 2016).

Como ya se mencionó, la región sur del Golfo de México es una zona con pocos estudios de análisis térmico en la distribución de tortugas marinas, ya que la mayoría se ha enfocado en las costas de EE. UU y norte de México, no obstante, se buscó comparar los intervalos térmicos de otras investigaciones con los resultados de esta investigación.

Para tortugas lora, se tiene conocimiento de que se presentan en zonas costeras cuando la temperatura oceánica es mayor a 20°C (Schmid, 1998), sin embargo,

trabajos como el realizado por Seney y Landry (2011) reportan temperaturas de 17.1-32.6°C en el noroeste del Golfo de México durante el verano y otoño en zonas de alimentación y migraciones de hembras de tortugas lora, y donde no encontraron diferencia significativa entre estas dos épocas. Por lado, al noreste del Golfo de México, Wildermann *et al.* (2019) no encontraron diferencias significativas durante los veranos del 2014 al 2017 en zonas de residencia de *C. mydas*, *C. caretta* y *L. kempii*, por lo que asumieron que la distribución de estas especies no estuvo influenciada por la variabilidad interanual en la zona. También, en esta misma región, pero en las costas de Texas, Metz *et al.* (2020) estudiaron movimientos migratorios de *C. mydas*, donde observaron que su distribución fue principalmente en aguas cálidas por encima de los 15°C, a pesar de que se presentó un cambio térmico de verano (24°C) a invierno (16.1°C), además de no encontrar relación en las migraciones cuando la temperatura disminuyó en la zona. Por otro lado, en las costas mexicanas de Tamaulipas, Shaver *et al.* (2005) reportaron TSM de 13-33°C, sin influencia de este parámetro en movimientos migratorios y establecimiento en áreas de residencia de tortugas lora.

Además, y pese a que en Isla Arena no se estableció ningún individuo de *L. kempii*, el intervalo donde se ha encontrado esta especie es similar a los resultados de esta investigación; aun así, si se presentaron rutas migratorias y si bien no se midió la batimetría en esta investigación, se conoce que la profundidad en la zona donde se ubica Isla Arena es <5 m (Uribe- Martínez *et al.*, 2019) Del mismo modo, en contraste con los valores de temperatura en las zonas de alimentación de *C. mydas*, existen registros con intervalos de temperatura de 23 – 29.1 °C en el Golfo de California reportados por Seminoff *et al.* (2002), intervalo que coincide con los resultados de esta investigación,

principalmente de 28-29°C donde mayor uso de espacio para alimentación se realizó en Isla Arena.

Los resultados de esta investigación demuestran que sólo para migración no existió una diferencia significativa en uso de espacio respecto con la variación térmica de la zona; por el contrario, interanidación y alimentación sólo presentaron en la época de lluvias diferencia entre usos. Aun así, entre las tres épocas climáticas que predominan en la región no existió diferencia estadística, por lo que otro tipo de análisis complementario podría definir de forma más detallada si la poca variabilidad térmica en la región representa un factor que defina el establecimiento y migración de tortugas marinas en la zona.

2.15 Actividades antrópicas en sitios de agregación de tortugas marinas

Temporalidad de artes de pesca y embarcaciones

En la península de Yucatán, la pesca ribereña comúnmente se lleva a cabo mediante el empleo de palangres, líneas de anzuelos y redes agalleras, las cuales a su vez son las principales artes de pesca incidental de tortuga carey, caguama y verde, sobre todo de septiembre a diciembre, época en la que se aprovecha la corrida de peces (Guzmán-Hernández *et al.*, 2014; Guzmán-Hernández, 2010); así mismo, de acuerdo con Vega-Cendejas (2004) durante nortes y lluvias se produce la pesca de especies de mayor valor comercial. Esta temporalidad corresponde con las temporadas donde se presentaron la mayor cantidad de embarcaciones en Isla Arena y que, si bien no se determinó el arte de pesca o actividad que realizaban, representan una amenaza potencial para las tortugas marinas.

Además, el estado de Campeche destaca por la pesca de diversos recursos pesqueros de escama y camarón rosado, blanco y café, los cuales eran la fuente

principal de trabajo hasta el 2011, tiempo en el que incrementó el número de embarcaciones menores, lo que provocó sobre pesca y afectaciones para la fauna de acompañamiento (Ramírez-Rodríguez, 2015). Las zonas donde la pesca de camarón se realiza en la península de Yucatán fueron identificadas por Wakida-Kusunoki *et al.* (2016), quienes reportaron a Isla Arena y Celestún como localidades donde la pesca de camarón sucede durante todo el año, principalmente de octubre a enero, cuando más pescadores se han observado explotando este recurso, pero con máximos esfuerzos pesqueros en marzo y diciembre. Esto reafirma los resultados obtenidos de la densidad de embarcaciones, así como del impacto potencial durante las temporadas uno (enero a abril) y tres (septiembre a diciembre); a su vez, ciertas artes de pesca que se han reportado en Isla Arena son consideradas como de las principales que mayor afectación causan a las poblaciones de tortugas marinas (Hsiang-Wen, 2015).

En esta misma línea, Cuevas *et al.* (2018), identificaron Hotspots de potencial captura incidental en el oeste de la península de Yucatán, donde palangre, redes de enmalle y atarraya son las más utilizadas de abril a julio, mientras que el mayor esfuerzo pesquero es de febrero a julio, con una abrupta disminución de agosto a enero, periodo en el que coincide con la pesca de pulpo. Esto es contrario a los resultados del impacto potencial en los Hotspots de Isla Arena debido a que la temporada tres representó el mayor riesgo de impacto potencial, mientras que ellos reportan una disminución del esfuerzo pesquero de agosto hasta enero, sin embargo, Cabrera *et al.* (2012) reportan que durante la pesca de pulpo es cuando las embarcaciones artesanales son las más numerosas y dispersas.

Algo similar ocurre con otros recursos como el pepino de mar, el cual, si bien su pesca no afecta a las tortugas marinas ya que se realiza por buceo, en Isla Arena es donde se realiza la mayor pesca de este recurso de abril a mayo mediante el empleo de embarcaciones de fibra de vidrio con motor afuera de la borda, con registros de hasta más de 290 embarcaciones para su extracción (Espinoza-Tenorio *et al.*, 2012; López-Rocha *et al.*, 2020).

Trabajos como el de Mendez *et al.* (2013) indican que las flotas artesanales en la península de Yucatán operan cerca de las costas a isobatas menores a los 100 m en busca de especies comerciales, y que en ocasiones provoca captura incidental en algunas especies durante la etapa migratoria, así como vulnerabilidad en sus ámbitos hogareños. Este mismo patrón también ha sido 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 características batimétricas y bióticas.

Igualmente, Galaviz-López (2014) indica 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. Esto denota que no sólo son afectadas por la pesca incidental, sino también por golpes a causa del elevado tránsito de embarcaciones, lo que puede llegar a causarles graves daños que van desde golpes con las propelas, hasta la muerte; un ejemplo de ello es lo reportado por Hazel *et al.* (2007), quienes encontraron grandes volúmenes de embarcaciones adyacentes a los hábitats de alimentación en aguas poco profundas (~20 m), y que representan un riesgo para estos animales.

Otro estudio de este tipo es el realizado por Alió *et al.* (2010), quienes cuantificaron embarcaciones por trimestres, donde obtuvieron durante el primer

trimestre una mayor cantidad de embarcaciones camaroneras, además de observar captura de tortugas en profundidades de 12- 82 m. Así mismo, Schmid y Barichivich, (2005) reportan que la especie que más se ve afectada por este tipo de embarcaciones camaroneras es *L. kempii*, ya que en su mayoría son capturadas en los meses de abril a noviembre, tiempo que coincide con una de las temporadas donde el mayor impacto potencial se observó. Esto demuestra que no sólo las artes de pesca y el esfuerzo pesquero son un riesgo potencial que al que se enfrentan las tortugas marinas en Isla Arena, sino también las embarcaciones que pudieran realizar actividades turísticas o de otra índole, y que no precisamente se dediquen a la extracción de recursos marinos.

CONCLUSIÓN

El estudio de la variabilidad ambiental del espacio marino por medio de la percepción remota resulta ser una herramienta complementaria a los rastreos satelitales de tortugas marinas, con las cuales se pudo observar la variabilidad térmica en el espacio que ocupan en Isla Arena.

El área de estudio presenta temperatura cálida, y donde la diferencia térmica no presentó una variabilidad destacada, por lo cual, potencialmente las tortugas marinas utilizarían este espacio en sus diferentes etapas de vida marina.

La mayor densidad de embarcaciones que confluye en Isla Arena se presenta al norte, oeste y sur, zonas que, a su vez, de enero a abril y de septiembre a diciembre, representan un impacto potencial para las tortugas marinas que realizan alguna de sus etapas marinas durante este tiempo.

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

Yucatán, misma en la que se ha identificado al esfuerzo pesquero como una de las principales causas en la disminución de sus poblaciones.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Gómez, R. (2001). Color y temperatura de los mares mexicanos. En Aguirre-Gómez, R. (Ed.) *Los mares mexicanos a través de la percepción remota* (Vol. III, pp. 55-64). México. Plaza y Valdés.
- Alió, J. J., Marcano, L. A., Altuve, D. E. (2010). Incidental capture and mortality of sea turtles in the industrial shrimp trawling fishery of northeastern Venezuela. *Ciencias Marinas*, 36, 161-178.
- 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.
- Burgess, M. G., McDermott, G. R., Owashi, B., Reeves, L. E. P., Clavelle, T., Ovando, D., Costello, C. (2018). Protecting marine mammals, turtles, and birds by rebuilding global fisheries. *Science*, 359(6381), 1255-1258.
- Byrne, M. E., Vaudo, J.J., Harvey, G.C.M., Johnston, M.W., Wetherbee, B.M., Shivji, M. (2019). Behavioral response of mobile marine predator to environmental variables differs across ecoregions. *Ecography* 42, 1569-1578.
- 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.
- Carballo, J. L., Olabarria, C., Garza, O. T. (2002). Analysis of four macroalgal assemblages along the Pacific Mexican coast during and after the 1997–1998 El Niño. *Ecosystems*, 5, 749–760.
- Catuna, N. (1995). La percepción remota y el análisis del espacio geográfico. *Cuadernos de Geografía: Revista colombiana de Geografía*, 5(2), 83-106.

- Coles, W., y Musick, J. A. (2000). Satellite sea surface temperature analysis and correlation with sea turtle distribution off North Carolina. *Copeia*, 2000(2), 551-554.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA (2007). Capítulo 3. Identificación de los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad marina. En Aguilar, V., Hernández, D., Kolb, M. (Eds.) *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas* (pp. 36). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy Program México, Pronatura, A.C. México.
- Cuevas, E., Abreu-Grobois, F.A., Guzmán-Hernández, V., Liceaga-Correa, M.A., Van Dam, R. (2008). Post-nesting migratory movements of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* in waters adjacent to the Yucatan Peninsula, Mexico. *Endangered Species Research*, 10, 123-133.
- 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.
- Cuevas-Flores, E., González-Garza, B., Segovia-Castillo, A., Sosa-Escalante, J. (2010). Tortugas marinas: poblaciones y hábitat críticos. En Durán, R., Méndez, M. (Eds.) *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán* (pp. 262-264). Yucatán, México. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- De la Lanza Espino, G. (2004). Gran escenario de la zona costera y oceánica de México. *Ciencias*, 76, 4-13.
- Del Monte-Luna, P., Villalobos, H., Arreguín-Sánchez, F. (2015). Variability of sea surface temperature in the southwestern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*, 102, 73-79.
- Earth Explorer, U. E. (2020). United States Geological Survey. Satellite images.

- 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., Lagueux, C.J., Levenson, J.J., López-Castro, M.C., Moncada-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., Stapleton, 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* (pp. 14-32). California, U.S.A. Oceanic Society.
- Epperly, S. P. (2002). Fisheries-related mortality and Turtle Excluder Devices (TEDs). En Lutz, P.L., Musick, J.A., Wynecken, J. (Eds.) *The biology of sea turtles* (p. 339-353). Vol II. CRC Press, Boca Raton, Fl. U.S.A.
- Espinoza-Tenorio, A., Pech, D., Ramos, J., Peña-Puch, A. (2012). Una radiografía antes de decidir: el reto del aprovechamiento sustentable del pepino de mar en Campeche. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 4, 57-62.
- Expósito-Díaz, G., Salas-de León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., Salas-Monreal, D., Vázquez-Gutiérrez, F. (2009). Corrientes inerciales en el sur del Golfo de México. *Ciencias marinas*, 35(3), 287-296.
- Fernández, J. Q. (1995). Sistemas de Información Geográfica e impacto social de la geografía. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 5(2), 38-50.
- Griffin, R. B., y Griffin, N. J. (2003). Distribution, habitat partitioning, and abundance of Atlantic spotted dolphins, bottlenose dolphins, and loggerhead sea turtles on the eastern Gulf of Mexico continental shelf. *Gulf of Mexico Science*, 21(1), 3.
- Guzmán-Hernández, V., Escanero-Figueroa, G., Márquez-Millán, R. (2014). Programa tortuguero en el Centro Regional de Investigación Pesquera de Ciudad del Carmen, Campeche: retrospectiva, avances y perspectivas. En

- Márquez-Millán, R., Garduño-Dionate, M. (Eds.) *Tortugas marinas* (pp. 55-67). México. Instituto Nacional de Pesca.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Pelaeontologia Electronica* 4(1). 9
- Hart K. M., Iverson, A. R., Fujisaki, I., Lamont, M. M., Bucklin, D., Shaver, D. J. (2018). Marine Threats overlap key foraging habitat for two imperiled sea turtle species in the Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, 5, 1-9. doi:10.3389/fmars.2018.00336
- Hazel, J., Lawler, I. R., Marsh, H., Robson, S. (2007). Vessel speed increases collision risk for the green turtle *Chelonia mydas*. *Endangered Species Research*, 3, 105-113.
- Hernández-Félix, L., Molina-Rosales, D., Agraz-Hernández, C. (2017). Servicios ecosistémicos y estrategias de conservación en el manglar de Isla Arena. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(3), 427-449.
- Hsiang-Wen, H. (2015). Conservation Hotspots for the turtles on the high seas of the Atlantic Ocean. *Plos One*, 10, 1-20.
- Lamont, M. M., Putman, N. F., Fujisaki, I., Hart, K. M. (2015). Spatial requirements of different life-stages of the loggerhead 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.d.l.A, Uribe-Martínez, U., Cuevas, E. (2020). Vulnerabilidad ecológica de tortugas marinas ante múltiples 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.d.l.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. *Sustainability*, 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* (pp.508-535) México. Universidad de Colima.
- 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. C., Amador, F. C., Zilliacus, K. M., Pacheco, A. M., Seminoff, J. A., Lucero, J., Ocegüera, 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. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01540>
- Martínez-López, B., y Parés-Sierra, A. (1998). Circulación del Golfo de México inducida por mareas, viento y la corriente de Yucatán. *Ciencias Marinas*, 24(1), 65-93.
- McMahon, C. R. y Hays, G. C. (2006). Thermal niche, large-scale movements and implications of climate change for a critically endangered marine vertebrate. *Global Change Biology*, 12(7), 1330-1338. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01174.x
- 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 Oceanografía*, 48, 497-509.

- Metz, L.T., Gordon, M., Mokrech, M., Guillen, G. (2020). Movements of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) in the nearshore waters of the northwestern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science* 7, 1-17 doi: 10.3389/fmars.2020.00647.
- Milton, S.L., Lutz, P.L. (2003). Physiological and genetic responses to environmental stress. En: Lutz, P. L., Musick, J.A., Wynecken, J. (Eds.) *The biology of sea turtles* (p. 163-197). Vol II. CRC Press, Boca Raton, Fl. U.S.A.
- Muller-Karger, F. E., Walsh, J. J., Evans, R. H., Meyers, M. B. (1991). On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(7), 12645-12665.
- Muller-Karger, F. E., Smith, J. P., Werner, S., Chen, R., Roffer, M., Liu, Y., Muhling, B., Lindo-Atichati, D., Lamkin, J., Cerdeira-Estrada, S., Enfield, D.B. (2015). Natural variability of surface oceanographic conditions in the offshore Gulf of Mexico. *Progress in Oceanography*, 134, 54-76. <http://doi.org/10.1016/j.pocan.2014.12.007>
- Ortiz, M. A., Espino, L., Salazar, E., Carbajal, J. (2006). Litoral del Golfo de México y Mar Caribe de México. En Ortiz, M., de la Lanza-Espino, G., Enciso, S., Porfiriocoaut, M. (Eds.) *Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional*. (pp. 37-60). CDMX, México. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México
- Palacios, D. M., Bograd, S. J., Foley, D. G., Schwing, F. B. (2006). Oceanographic characteristics of biological hot spots in the North Pacific: A remote sensing perspective. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53(3-4), 250-269.
- Richardson, J. I., Hillestad, H. O., McVea, C. (1995). Worldwide incidental capture of sea turtles. En Bjorndal, K.A. (Ed.) *The Biology and Conservation of Sea Turtles*. (2a. ed., pp. 489-494). Washington, E.U.A. Smithsonian Institution Press.
- Sámano, M. G. (2015). *Unidades domésticas y pesquerías en Isla Arena, Campeche*. Tesis profesional. El Colegio de la Frontera Sur. 11p.

- Saraceno, M., Provost, C., Lebbah, M. (2006). Biophysical regions identification using an artificial neuronal network: A case study in the southwestern Atlantic. *Advances in Space Research*, 37(4), 793-805.
- Schmid, J.R. (1998). Marine turtle populations on the west-central coast of Florida: Results of tagging studies at the Cedar Keys, Florida, 1986-1995. *Fishery Bulletin* 96, 589-602.
- 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.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Programa de Acción para la Conservación de la Especie Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) (pp. 8-12). Segunda edición. SEMARNAT-CONANP.
- Seminoff, J. A., Resendiz, A., Nichols, W. J. (2002). Home range of green turtles *Chelonia mydas* at a coastal foraging area in the Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 242, 253-265.
- Seney, E. E., y Landry Jr, A. M. (2011). Movement patterns of immature and adult female Kemp's ridley sea turtles in the northwestern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 440, 241-254.
- Shaver, D.J., Schroeder, B.A., Byles, R.A., Burchfield, P. M., Peña, J., Márquez, R., Martínez, H.J. (2005). Movements and home ranges of adult male kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*) in the Gulf of Mexico Investigated by Satellite Telemetry. *Chelonian Conservation and Biology*, 4(4), 817-827.
- Shaver, D. J., Hart, K. M., Fujisaki, I., Rubio, C., Sartain-Iverson, A. R., Pena, J., Gamez, D. G., Diaz-Miron, R. D. J. G., Burchfield, P. M., Martinez, H. J., Ortiz, J. (2016). Migratory corridors of adult female kemp's ridley turtles in the gulf of mexico. *Biological conservation*, 194, 158-167.
- Toledo, O. A. (2005). Caracterización ambiental del Golfo de México. En Botello, A.V., Rojas-Galaviz, J.L., Benítez, J.A (Eds.) *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias*. (pp. 9-

- 28). Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- 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* (pp. 379-414). Campeche, México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Uribe-Martínez, A., Aguirre-Gómez, R., Zavala-Hidalgo, J., Ressi, R., Cuevas, E. (2019). Unidades oceanográficas del Golfo de México y áreas adyacentes: la integración mensual de las características biofísicas superficiales. *Geofísica internacional*, 58(4), 295-315.
- 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.
- Valverde, R.A., y Holzworth, K.R. (2017). Sea turtles of the Gulf of Mexico. En Ward, C.H (Ed.) *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: before the Deepwater Horizon oil spill* (pp. 118-1351). Texas, U.S.A Springer.
- 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.
- Villegas, J. (2012). *La pesca artesanal como estrategia de sobrevivencia: el caso de los pescadores en Ciudad del Carmen, Campeche*. Tesis profesional. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- 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.
- Wildermann, N.E., Sasso, C.R., Stokos, L.W., Snodgrass, D., Fuentes, M.M.P.B. (2019). Habitat use and behavior of multiple species of marine

turtles at a foraging area in the northeastern Gulf do México. *Frontiers in Marine Science*, 6. 1-13. doi: 10.3389/fmars.2019.00155

Yáñez- Arancibia, A., y Day, J. W. (2004). Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: The ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean and Coastal Management*, 47(11-12), 727-757. <http://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.12.010>

Zavala-Hidalgo, J., Gallegos-García, A., Martínez-López, B., Morey, S. L., O'Brien, J. J. (2006). Seasonal upwelling on the western and southern shelves of the Gulf of Mexico. *Ocean dynamics*, 56(3), 333-338.

Zerda, H. (2005). Percepción remota y SIG en la planificación y la gestión ambiental. En Giannuzo, A., y Ludueña, M. (Eds.) *Santiago del Estero: una mirada ambiental* (pp. 333-354). Santiago del Estero, Argentina. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

CAPÍTULO 3. Elaboración de una propuesta de conservación de áreas prioritarias para las tortugas marinas dirigida a autoridades encargadas de programas de conservación regional

RESUMEN

En México, se han planteado estrategias de conservación que con el paso del tiempo se han modificado y adecuado conforme al conocimiento de los ecosistemas y las necesidades de las sociedades contemporáneas. Ejemplo de ello son las Áreas Naturales Protegidas (ANP), donde el estado de Campeche cuenta con cinco ANP; una de ellas, la Reserva de la Biósfera Ría Celestún, colinda con las comunidades de Isla Arena y Ría Celestún. Pese a los programas de manejo en los cuales se promueve el uso sustentable de los recursos que ahí yacen, no se ha logrado del todo el cumplimiento de estas metas. El objetivo de este capítulo fue transferir la información de los hotspots y zonas de impacto potencial de las tortugas marinas en Isla Arena a las autoridades encargadas de políticas públicas de conservación en Campeche, organizaciones no gubernamentales y representantes de la comunidad de Isla Arena. Para ello, se realizó una reunión en la cual hubiera un acercamiento sobre el conocimiento de las zonas de mayor importancia para las diferentes especies de tortugas marinas, y los sitios de impacto potencial por la densidad de embarcaciones que suceden en la región. De igual modo, se elaboró una infografía en la cual se explicaba toda esta información acompañada de mapas e ilustraciones. Como resultado de ello, miembros de INAPESCA, directores, subdirectores y encargados de programas de conservación tanto de la Reserva de la Biósfera Ría Celestún, la Reserva de la Biósfera Los Petenes y del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, representantes de la organización no gubernamental ProNatura, así como miembros de la comunidad de Isla Arena acudieron a la reunión en la cual se hubo un intercambio de ideas que enriquecieron esta investigación. Este tipo de trabajo colaborativo destaca el interés y preocupación entre el núcleo académico, sector gubernamental y actores sociales, por la conservación de tortugas marinas en el sur del Golfo de México, con énfasis en prácticas e instrumentos amigables con el aprovechamiento de recursos naturales y la fauna con la que comparten los recursos.

PALABRAS CLAVE

Mapas, infografía, límites, gobierno, comunidad.

ABSTRACT

In Mexico, conservation strategies have been settled and modified over time according to the knowledge of ecosystems and the requirements of contemporary societies. One example of this, are the Protected Natural Areas (PNA), where the state of Campeche has five PNAs, and one of them, the Ría Celestún Biosphere Reserve, adjoin the communities of Isla Arena and Ría Celestún. Despite the management programs that promote the sustainable use of the resources that lies there, the fulfillment of these goals has not been fully achieved. The objective of this chapter was to transfer the information of the hotspots and potential impact zones of sea turtles in Isla Arena to the authorities in charge of public conservation policies in Campeche, non-governmental organizations, and representatives of the community of Isla Arena. For this, a meeting was held in which there was an approach on the knowledge of the most important areas for the sea turtles species, and the sites of potential impact due to the boats density that occur in the region. In the same way, an infographic was developed in which all this information was contained, accompanied by maps and illustrations. As a result, members of INAPESCA, directors, assistant manager, and those in charge of conservation programs of both the Ría Celestún Biosphere Reserve, the Petenes Biosphere Reserve and the Terminos Lagoon Flora and Fauna Protection Area, representatives of the non-governmental organization ProNatura, as well as members of the Isla Arena community attended the meeting in which there was an exchange of ideas that enriched this research. This type of network highlights the interest and concern among the academic nucleus, government sector and social actors, for the sea turtles conservation in the southern Gulf of Mexico, with emphasis on friendly practices and instruments with the use of natural resources and the fauna with which they share the resources.

KEY WORDS

Maps, infographic, boundaries, government, community.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 México y sus Áreas Naturales Protegidas

Desde la época precolombina en México existe la tradición ancestral de conservar la vida silvestre, ya que se buscaba emular el Tlalocan, un paraíso mítico asociado a la deidad de la lluvia (de la Maza-Elvira, 2005). Tiempo después, se postuló la primer estrategia de conservación, la cual data de 1876 para la protección del Desierto de los Leones y asegurar la conservación de 14 manantiales que abastecían de agua a la Ciudad de México, pero fue hasta 1935 que el presidente Lázaro Cárdenas estableció formalmente el Sistema Nacional de Reservas Forestales y de Parques Nacionales, para (SEMARNAT, 2011).

Tiempo después, por medio de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente (LGEEPA) (1988), se definió a las Áreas Naturales Protegidas como “las zonas del territorio nacional sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y están sujetas al régimen previsto de esta ley”, y cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Parte de las ANP abarcan zonas marinas, y se consideran un instrumento para la conservación y gestión sustentable de los recursos en los océanos y mares del mundo (González-Ocampo *et al.*, 2014), pero sólo el 35% de su superficie protegida es exclusivamente marino (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA,2007).

3.2 Reserva de la Biosfera Ría Celestún

El estado de Campeche cuenta con cinco áreas naturales decretadas como protegidas (Fig.20), cuatro de competencia federal (Reserva de la Biósfera Calakmul, Reserva de la Biósfera Los Petenes, Reserva de la Biósfera Ría

Celestún, Área de protección de flora y fauna Laguna de Términos), y una de competencia estatal (Zona sujeta a conservación ecológica Balam-kin) (Berrón-Ferrer *et al.*, 2003). Además, es uno de los principales estados en protección del litoral, donde más del 60% de está sujeto a algún tipo de régimen de protección. En lo que concierne a la conservación de las tortugas marinas, en 176 km de su litoral se distribuyen 11 campamentos tortugeros distribuidos en 4 de los 6 municipios costeros (Villalobos-Zapata, 2010).

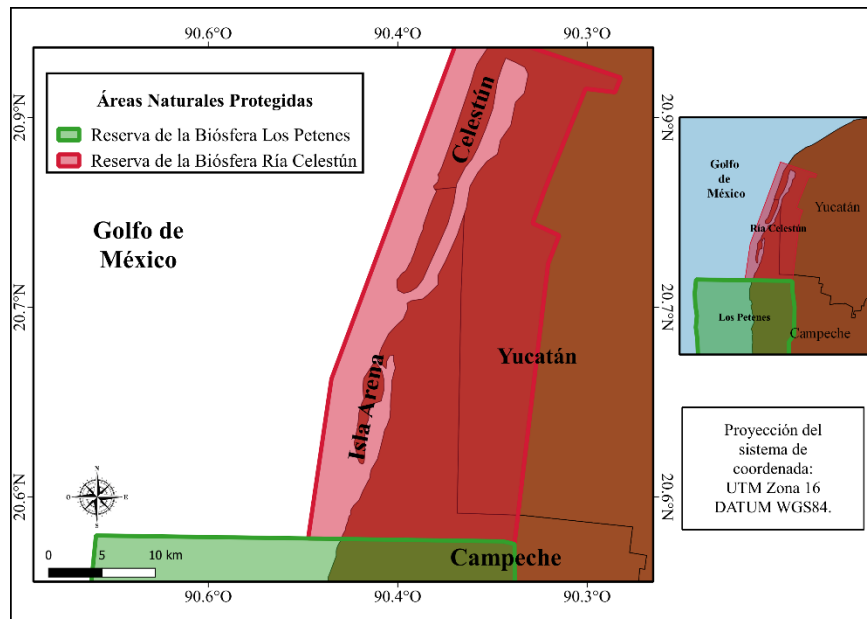


Figura 20. Áreas Naturales Protegidas cercanas a Isla Arena.

Las localidades de Isla Arena, y su vecina más próxima Celestún, colindan con la Reserva de la Biósfera Ría Celestún (RBRC), cuya extensión marina es de 195.5576 km² (SEMARNAT,2000), y que tiene como objetivo el aprovechamiento socioeconómico integral y sostenible de los recursos naturales, apoyados por la investigación y tecnología, así como de la educación ambiental (CONANP-SERMARNAT,2018). También, es un sitio Ramsar, alberga a la población más grande del flamenco rosado del Caribe, es ruta migratoria de aves que provienen de Canadá y EE. UU, es un sitio de anidación

de tortuga carey y provee servicios ecosistémicos al ser sitio de crianza y alimentación de múltiples especies de peces, moluscos, crustáceos, además de capturar y almacenar una gran cantidad de carbono (CONANP,2018).

Del mismo modo, acuerdo con la LGEEPA (1988), las reservas de la biósfera están establecidas en áreas biogeográficas relevantes a nivel nacional en los cuales habitan especies representativas de la biodiversidad nacional; en sus zonas de amortiguamiento sólo pueden realizarse actividades productivas estrictamente compatibles con los objetivos, criterios y programas de aprovechamiento sustentable de su programa de manejo.

Una de las actividades a las que se dedica principalmente Isla es la pesca, cuya organización es de persona física con permiso de pesca y equipo, pescadores que realizan esta actividad con sus propias embarcaciones, permisionarios y sociedades cooperativas de producción pesquera, aunque también existen en la ilegalidad “matriculados”, los cuales son pescadores que tienen matriculada su embarcación, pero no poseen licencia de pesca (Crespo-Guerrero y Jiménez-Pelcastre, 2017). Sin embargo, de manera paralela desde hace 25 años se han desarrollado económicamente a partir de la práctica del ecoturismo por medio de cooperativas que buscan aprovechar la observación de las parvadas de flamenco rosado. No obstante, la capacitación para los prestadores de servicios turísticos no ha sido de forma general, lo que ha provocado un daño al ecosistema en cuanto a su preservación, limpieza y descontaminación (Pinkus-Rendón y Pinkus-Rendón, 2015).

A pesar de que la CONANP publicó el Programa de Manejo de la Reserva en 2002, para promover el desarrollo de actividades productivas alternativas a la pesca y la producción de sal, para elevar el nivel de vida de la población y al

mismo tiempo, favorecer el uso racional de los recursos de esta área natural (SEMARNAT, 2000), estas metas no se han podido cumplir. Se busca que esta región sea un “paraíso del ecoturismo” para el desarrollo de la población asentada en la RBRC, pero aún es necesario un entendimiento integral de la etnografía de esta, además de la falta de infraestructura, capacitación, y una conectividad entre las dependencias gubernamentales, ONG’s e instituciones académicas involucradas en la zona (Córdoba-Azcárate, 2006).

A pesar de ello, existen casos particulares en donde la población ha realizado actividades que solucionen problemáticas sociales que afectan a los ecosistemas cercanos a su comunidad, como es el caso del centro de acopio Chen Kole ‘Lob, conformado por un grupo de mujeres que se organizó y dio solución al nulo manejo de residuos que existía en Celestún, debido a los asentamientos irregulares y excesivo consumo de plásticos, por lo que han realizado campañas de limpieza de las calles y recolección de basura para posteriormente llevar el plástico a zonas de reciclaje (Hanson, 2016).

3.3 Conservación de las tortugas marinas en la Península de Yucatán

Los primeros trabajos para la conservación de la tortuga marina en el Golfo de México fueron a través de la instauración de campamentos tortugueros en 15 estados de la República y la publicación del Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas (PNCTM), cuyos objetivos principales son la conservación de las seis especies de tortugas marinas que se encuentran en territorio marino mexicano, establecer coordinación entre ANP para monitoreo y seguimiento, desarrollar y actualizar proyectos para la incorporación de las comunidades, sociedad civil, academia, entre otros (Márquez-Millán, 2016).

En la península de Yucatán se encuentra una zona prioritaria para individuos adultos de juveniles de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), el santuario de tortugas marinas Ría Lagartos (Cuevas *et al.*,2007). Concretamente en Campeche, el comité estatal para la protección y conservación de las tortugas marinas del estado ha reintegrado al medio natural crías de *E. imbricata* y *C. mydas*, así como el cuidado de individuos solitarios de *L. kempii* y anidaciones de las diferentes especies que llegan a sus costas (Berzunza-Chio, 2010). A pesar de ello, en los últimos años las poblaciones de *C. mydas* y *E. imbricata* se han reducido a consecuencia de la captura, explotación de sus huevos, carne y derivados para consumo y comercio (Vázquez-Cuevas y Cuevas, 2019); mientras que, en los objetivos de conservación del programa de manejo de Reserva de la Biósfera Ría Celestún, se plantea la vigilancia de las playas de anidación de tortugas marinas (SEMARNAT, 2000).

Existen manifiestos como el “Programa de acción para la conservación de la especie: tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*)” el cual estipula estrategias como la inclusión de sus hábitats críticos marinos y costeros en algún esquema de conservación, exclusión de pesca temporal en hábitats críticos marinos durante alguna temporada reproductiva y de anidación, entre otras (SEMARNAT,2020). Así mismo, se han llevado a cabo proyectos como “Captura incidental de tortugas marinas, asociadas con la pesca ribereña en cinco puertos del estado de Campeche, México” en donde cuantifican la captura por unidad de esfuerzo de artes de pesca y la cantidad de tortugas capturadas incidentalmente, con la recomendación de instaurar en Isla Arena programas de recompensas para entrega de tortugas vivas y/o capturadas incidentalmente (Guzmán-Hernández *et al.*, 2009).

OBJETIVO

Transferir la información de los Hotspots de tortugas marinas y las zonas de impacto potencial de tortugas marinas en Isla Arena, a las autoridades encargadas de políticas públicas de conservación en el estado de Campeche, representantes de la comunidad y organizaciones no gubernamentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.4. Transferencia de conocimiento

Se llevó a cabo una reunión el día 13 de septiembre a las 11:00 mediante la plataforma Zoom, con diferentes autoridades encargadas de políticas públicas, organizaciones no gubernamentales y representantes de la comunidad de Isla Arena. Estos miembros fueron propuestos por el comité tutorial debido a la pertinencia que tiene el tema en las áreas y materia donde se desempeñan cada uno de ellos: al personal de PRONATURA por el involucramiento que tiene en la conservación de tortugas marinas en la región, a los involucrados en el manejo del ANP donde se encuentra Isla Arena, así como a su más vecina al sur, La Reserva de la Biósfera Los Petenes; al personal de CONAPESCA por atender a las amenazas potenciales acuáticas en las zonas de residencia de las tortugas marinas, y a los miembros de la comunidad de Isla Arena por su implicación en el uso sustentable de los recursos marinos en su litoral, en busca de afectar lo menos posible a estos organismos marinos.

A cada uno se le envió una carta invitación (Anexo 1) con la información de la reunión, día, fecha y hora, así como una solicitud de un acuse de recibido al momento de recibir la infografía (Anexo 2).

En la reunión, se expusieron de forma detallada los resultados de los análisis espaciales de los derroteros de las doce tortugas marinas, los mapas de las zonas

de intensidad de uso de espacio y los Hotspots de Isla Arena. De la misma forma, se mostraron los resultados de la densidad de embarcaciones, y la zonas y temporadas de mayor impacto potencial derivado estas. Para concluir, se manifestaron las conclusiones a las que se llegó en esta investigación. Al finalizar la exposición, se dio tiempo para expresar comentarios, dudas y observaciones, las cuales fueron atendidas e incorporadas en la infografía final para enriquecer su contenido.

3.5 Transferencia de tecnología

Se elaboró una infografía en formato PDF con ayuda de una diseñadora gráfica para asegurar la incorporación de material gráfico adecuado para la lectura de los usuarios. En ella, se plasmó información y características de las especies *L. kempii*, *E. imbricata* y *C. mydas*, la importancia de las aguas adyacentes a Isla Arena como área de residencia, interanidación y como ruta migratoria, mapas e ilustraciones de los Hotspots de Isla Arena (Ver Capítulo 1), y los sitios de impacto potencial hacia estos organismos por la densidad de embarcaciones en presentes en la zona marina (Ver Capítulo 2).

RESULTADOS

3. 6 Reunión autoridades y personal de Isla Arena.

La reunión se celebró el día 13 de septiembre, con la distinguida participación del Dr. Raúl Enrique Lara Mendoza, jefe de Departamento de Modelación y Pronóstico Pesquero en el Atlántico, INAPESCA; Lic. René Kantún Palma, Director Reserva de la Biósfera Ría Celestún, CONANP; Biol. Marco Antonio Plata Mada, Subdirector Reserva de la Biósfera Ría Celestún, CONANP; Biol. Edwin Emmanuel Uh Chay, guardaparques Reserva de la Biósfera Ría

Celestún, CONANP; Biol. David Enrique Simá Panti, Director Reserva de la Biósfera Los Petenes, CONANP; Dra. Melania López Castro, Coordinadora del Programa de Conservación de Tortugas Marinas de la Península de Yucatán de ProNatura, Península de Yucatán; Biol. Vicente Guzmán Hernández, encargado del Programa de Conservación de Tortugas Marinas del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, CONANP y la C. Verónica Cruz Yerbes, Presidenta de la Cooperativa pesquera “Las Fileteras del Petén” (Anexo 3).

Se comenzó con una breve introducción sobre la problemática a la que se enfrentan las tortugas marinas en sus ecosistemas marinos y costeros. Después, se presentaron antecedentes y objetivos de esta investigación, así como los resultados sobresalientes de los sitios de intensidad de uso de espacio, Hotspots de Isla Arena, la densidad de embarcaciones y las zonas de impacto potencial tanto en las diferentes etapas de las tortugas marinas. Posteriormente, se explicó la comparación de los resultados con otras investigaciones en el Golfo de México y la Península de Yucatán en cuanto al impacto potencial por diferentes fuentes de presión en poblaciones de tortugas marinas en la región, así como de las artes de pesca y su temporalidad relacionado con la densidad de embarcaciones.

Al finalizar la reunión, se dio un espacio para intercambio de ideas y comentarios, entre los que destacaron asuntos asociados a la metodología utilizada para el análisis de información, como la selección del tamaño y forma del polígono utilizado como unidad de análisis (hexágonos). Se explicó que el criterio para seleccionar un hexágono se debe a que reduce el sesgo de muestreo por los bordes que lo componen, además de ser preferibles para la representación de movimientos migratorios, que, en comparación de las líneas

rectas paralelas de las cuadrículas, estos presentan de forma más clara la curvatura de los patrones.

El tema de las embarcaciones fue el más destacado, donde se clarificó que estas representan un riesgo potencial para las tortugas marinas en Isla Arena, ya que evaluar el impacto potencial representa una gran dificultad, además de que no se distinguió la actividad que realizaba la embarcación en el preciso momento que se identificó, fuera turística o extractiva de recursos pesqueros, por lo que se propuso considerar a la densidad de embarcaciones como agentes de presión para la elaboración de la infografía.

Miembros de la INAPESCA y CONANP mencionaron que la información de estos agentes de presión pueden ser complementados con un análisis más detallado de las características de las embarcaciones ya sea por la observación de toldos que distinguen a las embarcaciones turísticas de las demás, o por datos de bitácoras de pesquerías explotadoras y de observadores a bordo de estas, las cuales escrutan el cumplimiento de las normas de extracción en pro de la conservación de mamíferos marinos, así como de mapas de isobatas con las cuales es posible identificar con mayor precisión el recurso pesquero que se extrae en una zona específica, para así poder comparar la interacción de estas pesquerías con la fauna marina presente.

Tiempo después de la presentación y después de atender las observaciones y comentarios de los asistentes de la reunión, se hizo entrega de una infografía (Fig.21) a cada miembro que asistió a la reunión para que estuviera disponible a todo público en cualquier rubro o dependencia, misma que se proporcionó con una solicitud de acuse de recibo.

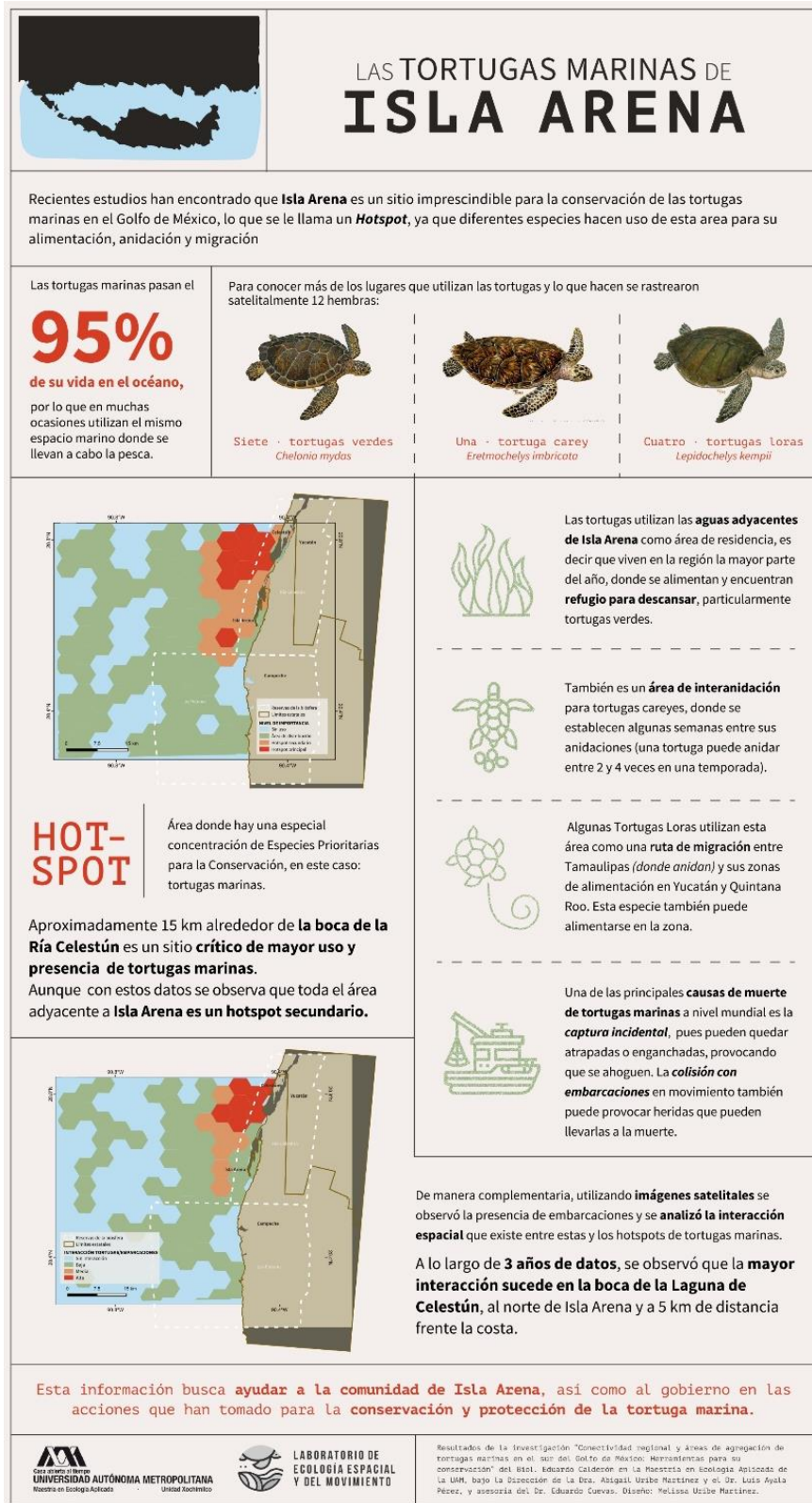


Figura 21. Infografía de tortugas marinas en Isla Arena

DISCUSIÓN

Dado los reportes de captura incidental de tortugas marinas en el sur del Golfo de México y la Península de Yucatán (Herrera-Pavón, 2010), la interacción de pesquerías con zonas importantes de distribución (Cuevas *et al.*, 2018), las zonas de mayor vulnerabilidad (Cuevas *et al.*, 2019; Liceaga-Correa *et al.*, 2022), los hábitats marinos críticos (Uribe-Martínez *et al.*, 2021) y los Hotspots de tortugas marinas (Liceaga, 2021), se busca minimizar la afectación a estos organismos marinos, sobre todo en las áreas de vital importancia para su desarrollo. En esta región, trabajos como el de Cuevas *et al.* (2007), sentaron las bases en la generación de mapas, en donde caracterizaron hábitats marinos en el santuario de tortugas marinas Ría Lagartos, que fueran de utilidad para la comunidad científica, los usuarios de esta área y los tomadores de decisiones para facilitar el manejo de estos sitios, ya que se encontró evidencia de que es un sitio importante de forrajeo y desarrollo para tortuga Carey.

Es así, que los resultados de esta investigación representan una fuente de información sobre la ubicación de las zonas de agregación y la importancia de este espacio para las diferentes especies de tortugas marinas en el Golfo de México. Tal como lo menciona Ehrenfeld (1995), es necesario incorporar ese conocimiento a los planes de conservación. Información como la identificación del hábitat de especies marinas migratorias es clave tanto para la conservación de la especie en cuestión, como para coordinar esfuerzos de manejo de la pesca en el ecosistema, y cuya información conducirá a desarrollar mejores planes en el manejo y conservación de especies (López *et al.*, 2017).

La información y mapas contenidos en la infografía son una herramienta con la cual la población y tomadores de decisiones pueden identificar las zonas de agregación, su importancia y el impacto potencial que existe en la zona por la

densidad de embarcaciones de una forma sencilla, visual y concreta, lo que garantiza la incorporación del conocimiento. A su vez, sirve como propuesta de conservación, tal como lo describen Bibby y Alder (2003), quienes reiteran la imperiosa necesidad de identificar previamente las amenazas y a los diversos actores involucrados en la problemática, para así generar planes de acción con objetivos claros y acordes al tema, y al mismo tiempo formar un grupo de trabajo para monitorear y dar seguimiento al proyecto. Así mismo, Zacharias y Gregr (2005), reiteran el interés en identificar áreas marinas sensibles y vulnerables, con la finalidad de generar resoluciones espaciales adecuadas que ayuden a los esfuerzos de manejo y conservación, mediante la elaboración de mapas basados en la identificación de áreas vulnerables cercanas a la costa, al igual que el desarrollo de metodologías para evaluar la sensibilidad y recuperación de especies marinas.

Existen investigaciones que han evaluado las zonas con mayor sensibilidad a impactos antrópicos hacia las poblaciones de tortugas marinas (Cuevas *et al.*, 2019; Liceaga *et al.*, 2022) y que, con los resultados como los obtenidos en esta investigación, podrían ya sea robustecer este tipo de información para el estado de Campeche y Golfo de México, o coadyuvar a la realización de este tipo de investigaciones en otras regiones marinas del país, como en el Pacífico mexicano.

Mayoritariamente los esfuerzos de conservación se han enfocado en la protección de las playas de anidación, sin embargo, los hábitats costeros y marinos son cruciales para la recuperación de poblaciones de tortugas marinas ya que es donde pasan la mayor parte de su vida. Crouse y Frazer (1995) especifican que un número elevado de juveniles o de crías liberadas en el mar no son forzosamente un significado de que en un futuro las poblaciones sean robustas o aumentará el número de individuos; por lo cual, los esfuerzos de

conservación deben ser considerados igual de importantes para las etapas donde las tortugas marinas han alcanzado una madurez (Žydelis *et al.*, 2009), y poder así recuperar los niveles de población.

En conjunto, la telemetría satelital utilizada en el rastreo de las tortugas marinas en este estudio es una herramienta que provee de información necesaria en materia de política conservación y mitigación de amenazas antropogénicas, cuyos resultados deben llegar a las autoridades encargadas de la conservación y generadores de políticas, y así se tenga un mayor impacto y aprovechamiento de los resultados y sus dividendos (Jeffers y Godley, 2016).

Para la RBRC, dentro de la LGEEPA (1988) se especifica que, para las reservas de la biósfera, en sus zonas de amortiguamiento sólo pueden realizarse actividades productivas estrictamente compatibles con los objetivos, criterios y programas de aprovechamiento sustentable de su programa de manejo. Además, en el Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (SEMARNAT, 2000), se describe detalladamente la delimitación de las subzonas de aprovechamiento sustentable de recursos naturales, cuyos límites corresponden a los del polígono de la RBRC, y donde se permite desarrollar actividades productivas que no impacten significativamente a los ecosistemas y los elementos que los componen, ya que aquí se localizan pastos marinos y zonas de reproducción, crianza y alimentación de múltiples especies acuáticas.

Los ámbitos hogareños y rutas migratorias de las diferentes especies de tortugas marinas en esta investigación se encuentran entre los límites de las zonas consideradas como “de uso restringido” a “aprovechamiento sustentable” de los recursos naturales. Así mismo, los resultados de esta investigación representan la importancia de este espacio por el uso que se hace de éste en diferentes etapas

por múltiples especies de tortugas marinas, además del tráfico de embarcaciones que sucede en la zona, el cual representa un impacto potencial, sin profundizar en el esfuerzo pesquero y artes de pesca perniciosas que pudieran ser utilizadas. Fuera de los límites de conservación de esta ANP, las tortugas marinas migran y establecen sus zonas de residencia, por lo que, estos sitios sustanciales quedan excluidos y sin protección, dejándolas expuestas a malas prácticas y amenazas; por tanto, de la misma manera que propone Maass (2010), el manejo de las ANP no se debe circunscribir a sus límites, sino extenderse a su área de influencia tal como lo ha planteado el Programa “Hombre y Biosfera” de la UNESCO.

A pesar de que una de las mayores amenazas para las tortugas marinas es la captura incidental (Cuevas *et al.*, 2018; Żydelis *et al.*, 2009; Guzmán *et al.*, 2009) principalmente en el oeste de la Península de Yucatán (Cuevas *et al.*, 2019), esta investigación propone a la densidad de embarcaciones como una de las principales amenazas para las poblaciones adultas y juveniles de tortugas marinas, no sólo por el perjuicio de las artes de pesca sino también por la probabilidad de colisionar con embarcaciones, propelazos y cambio en el comportamiento por interrupción en su desplazamiento.

Existen investigaciones como la realizada por Hazel *et al.* (2013), donde se reconoce que fuera de los límites de las ANP existen colisiones con la embarcaciones que provocan afectaciones y/o mortalidad para las tortugas marianas debido a la velocidad a la que navegan las embarcaciones, y el limitado tiempo de respuesta que tienen las tortugas para evitar chocar con éstas mismas. Esto se debe a que dentro de la ANP se asume que se respetan las normas establecidas, pero fuera de ella se dejan a un lado las prácticas correctas de conservación debido a que no existe vigilancia que las haga cumplir. Esto lo reafirma Uribe-Martínez *et al.* (2021), quienes reconocen que, para la RBRC,

su extensión marina es de no más de 10 km lejos de la costa, por lo que los hábitats acuáticos críticos después de este límite quedan sin protección, además de los corredores migratorios utilizados por tortugas marinas que provienen de aguas internacionales, los cuales también quedan excluidos de estos esquemas de protección pese a la NOM-059 protege a las especies nativas y fauna silvestre en alguna categoría de riesgo o peligro de extinción.

Por parte de la comunidad de Isla Arena, la representante de la organización sin fines de lucro llamado “Las fileteras del Petén”, mostró gran interés en los resultados de esta investigación, particularmente en los sitios donde mayor impacto potencial se presentó; sin embargo, recalcó el compromiso de no uso de artes de pesca que afecten a las tortugas marinas, además de una imperiosa necesidad de nueva tecnología y apoyo para su incorporación en las prácticas de la comunidad. Esta organización se involucra en iniciativas de prácticas más sostenibles en la comunidad, además de recibir talleres y actividades de divulgación en el monitoreo de tortugas marinas por parte de la Universidad Autónoma del Carmen, con subvención del “Estado de tortugas marinas en el mundo” (SWOT, por sus siglas en inglés) (Eckert *et al.*, 2020), por lo que esta investigación y sus resultados armoniza con estos objetivos.

Uno de los mayores problemas en la conservación es el costo monetario y la priorización de las necesidades de protección, por lo que Castaño-Viña (2005) propone que un criterio importante en la toma de decisiones puede ser los Hotspots dado su valioso significado para los ecosistemas; por este motivo, los Hotspots de Isla Arena representan puntos clave para la priorización de la conservación de tortugas marinas en el norte de Campeche.

CONCLUSIÓN

A pesar de las áreas naturales protegidas y los límites de su jurisdicción, el monitoreo constante para el cumplimiento de su normatividad en el aprovechamiento de sus recursos en su porción marina es un reto al que se enfrentan las autoridades dado a los requerimientos de personal y financieros. Fuera de sus límites de protección, existe un riesgo latente para la conservación de flora y fauna marina.

Existe interés y compromiso por parte de la comunidad de Isla Arena, núcleo académico y dependencias gubernamentales encargadas de la conservación, en cuanto al conocimiento de la distribución y residencia de tortugas marinas en el sur del Golfo de México, en conjunto con la correcta utilización de artes de pesca y extracción de recursos.

Los resultados de esta investigación constatan los sitios de mayor impacto potencial para tortugas marinas en Isla Arena por parte de agentes de presión que, en este caso, es la densidad de embarcaciones. Del mismo modo, la identificación espacial de los Hotspots y zonas de uso de espacio en las diferentes etapas de tortugas marinas en diversas temporadas es un instrumento que posibilita focalizar la conservación de tortugas marinas y de manera indirecta, los recursos que contiene este espacio.

LITERATURA CITADA

- Berrón-Ferrer, G. E., Arteaga-Aguilar, M., Noriega-Trejo, R., Martínez, L. R., Godínez-García, L., Vargas-Soriano, J. (2003). Las áreas naturales protegidas del estado de Campeche. *Nueva Época Revista de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 623, 24-29.
- Berzunza-Chio, J. (2010). Estudio de caso: programa estatal de protección y conservación de la tortuga marina en Campeche. En Villalobos-Zapata, G J., Mendoza-Vega, J. (Eds.) *La biodiversidad en Campeche: estudio de estado* (pp. 342-343). Campeche, México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur.
- Bibby, C. J., y Alder, C. (2003). Section 1. Why plan? En Bibby, C. J., Alder, C. (Eds.) *The conservation project manual* (pp. 1-9). Cambridge, United Kingdom.
- Castaño-Villa, G. J. (2005). Áreas protegidas, criterios para su selección y problemáticas en su conservación. *Boletín Científico, Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, 10, 79-102.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA (2007). Introducción. En Aguilar, V., Hernández, D., Kolb, M. (Eds.) *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas* (pp. 11-12). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy Program México, Pronatura, A.C. México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2011). Historia. https://www.conanp.gob.mx/quienes_somos/historia.php. Última modificación 9-11-2011 por la Dirección de Comunicación y Cultura para la Conservación.

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2018). Reserva de la Biósfera Ría Celestún. En March-Mifsut, I., Bustamante-Moreno, E.I (Eds.). *100 años de conservación en México: Áreas Naturales Protegidas de México* (180-183). Ciudad de México, México. CONANP.
- Córdoba-Azcárate, M. (2006). Between local and global, discourses and practices: rethinking ecotourism development in Celestún (Yucatan, México). *Journal of Ecotourism*, 5(1-2), 97-111.
- Crespo-Guerrero, J. M., y Jiménez-Pelcastre, A. (2017). Organización e impacto territorial de la actividad pesquera comercial ribereña en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (México). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 37(2), 297-324.
- Crouse, D.T., y Frazer, N.B. (1995). Population models and structure. En Bjorndal, K. (Ed.) *The biology and conservation of turtles* (pp. 601-603). Washington, U.S.A. Smithsonian Institution Press.
- Cuevas, E., Liceaga-Correa, M.A., Garduño-Andrade, M.G. (2007). Spatial characterization of a foraging area for immature hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) in Yucatan, Mexico. *Amphibia-Reptilia*, 28, 337-346.
- 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.
- Cuevas, E., Liceaga-Correa, M.A., Uribe-Martínez, A. (2019). Ecological vulnerability of two sea turtle species in the Gulf of Mexico: an integrated spatial approach. *Endangered Species Research*, 40, 337-356
- De la Maza Elvira, R. (2005). Una historia de las áreas naturales protegidas en México. *Gaceta ecológica*, 51, 15-34.
- 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., Lagueux, C.J., Levenson, J.J., López-Castro, M.C., Moncada-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., Stapleton, 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* (p. 14-32). California, U.S.A. Oceanic Society.
- Ehrenfeld, D. (1995). Options and limitations in the conservation of sea turtles. En Bjorndal, K. (Ed.) *The biology and conservation of turtles* (pp. 457-463). Washington, U.S.A. Smithsonian Institution Press.
- González-Ocampo, H. A., Cortés-Calva, P., Íñiguez-Dávalos, L. I., Ortega-Rubio, A. (2014). Las áreas naturales protegidas de México. *Investigación y ciencia*, 22(60), 7-15.
- Guzmán-Hernández, V. (2006). *Programa de conservación de tortugas marinas de Campeche, Mexico en 2005*. Informe final técnico. Dirección del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.
- Guzmán-Hernández, V., Velazco, J. J., García, P. (2009). *Captura incidental de las tortugas marinas asociadas con la pesca ribereña en cinco puertos del estado de Campeche, México*. Reporte final para Defenders of Wildlife. CONANP-Defender of Wildlife.
- Hanson, A. M. S. (2016). Women's ecological oral histories of recycling and development in coastal Yucatan. *Gender, Place and Culture*, 23(4), 467-483.
- 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. *Marine Biology*, 160(3). 617–27. doi:10.1007/s00227-012-2117-0.
- Herrera-Pavón, R. L. (2010). *Evaluación de la captura incidental de tortugas marinas en Quintana Roo*. Informe final. CONANP- El Colegio de la Frontera Sur.

- Jeffers, V. F., y Godley, B. J. (2016). Satellite tracking in sea turtles: How do we find our way to the conservation dividends? *Biological Conservation*, 199, 172-184.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). (1988). Artículo 2. Capítulo I. Normas preliminares. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación 11-04-2022. Recuperado el 25 de abril de 2022 en <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Liceaga-Correa, M. A. (2021). Hábitats críticos y hotspots de tortugas marinas. En Herzka, S.Z., Zaragoza-Álvarez, R.A., Peters, E.M., Hernández-Cárdenas, G. (Eds.) *Atlas de línea base ambiental del Golfo de México (Tomo VII)* (pp. 6-29) Tijuana, México. Consorcio de Investigación del Golfo de México.
- Liceaga-Correa, M.d.l.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. *Sustainability*, 14(184). 1-25.
- Lopez, J., Alvarez-Berastegui, D., Soto, M., Murua, H. (2017). Modelling the oceanic habitats of silky shark (*Carcharhinus falciformis*), implications for conservation and management. *Indian Ocean Tuna Comm*, 13-34.
- Maass, M., Jardel, E., Martínez-Yrizar, A., Calderón, L., Herrera, J., Castillo, A., Euán-Ávila, A., Equihua, M. (2010). Las áreas naturales protegidas y la investigación ecológica de largo plazo en México. *Ecosistemas*, 19(2), 69-83.
- Márquez-Millán, R. (2016). El Programa Nacional para la Conservación de Tortugas Marinas: 50 años de historia. En Gaona, O., Barragán, A.R. (Eds.) *Las tortugas marinas en México: logros y perspectivas para su conservación* (pp. 159-189). Ciudad de México, México. CONANP.
- Pinkus-Rendón, M. J., y Pinkus-Rendón, M. Á. (2015). El ecoturismo: quimera o realidad de desarrollo en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, México. *Liminar*, 13(1), 69-80.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2000). Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (p.180). Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de noviembre de 2000. Disponible en: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=54&=11>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Programa de Acción para la Conservación de la Especie Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) (p.69). Segunda edición. SEMARNAT-CONANP.
- 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.
- Vázquez-Cuevas, M., Cuevas, E. (2019). Hábitats críticos de tortuga blanca (*Chelonia mydas*) y carey (*Eretmochelys imbricata*) en la Península de Yucatán y su coincidencia espacial con zonas de pesca artesanal. En Cuevas-Flores, E.A., Guzmán-Hernández, V., Guerra-Santos, J.J., Rivas-Hernández, G.A. (Eds.) *El uso del conocimiento de las tortugas marinas como herramienta para la restauración de sus poblaciones y hábitats asociados* (p.57-62). Campeche, México. Universidad Autónoma del Carmen
- Villalobos-Zapata, G.L. (2010). Capítulo VIII Protección y conservación. En Villalobos-Zapata, G.J., Mendoza-Vega, J. (Eds.) *La biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado* (pp. 577-580). Campeche, México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur.
- Zacharias, M. A., y Gregr, E. J. (2005). Sensitivity and vulnerability in marine environments: an approach to identifying vulnerable marine areas. *Conservation Biology*, 19(1), 86-97.
- Žydelis, R., Wallace, B. P., Gilman, E. L., Werner, T. B. (2009). Conservation of marine megafauna through minimization of fisheries bycatch. *Conservation Biology*, 23(3), 608-616.

ANEXOS



Anexo 1. Carta invitación para conferencia sobre tortugas marinas en Isla Arena.



Anexo 2. Acuse de recibido de la infografía de tortugas marinas en Isla Arena.



Anexo 3. Reunión con autoridades encargadas de conservación de tortugas marinas y representantes de comunidad de Isla Arena.

Transferencia de conocimiento y tecnología

Las universidades tienen la responsabilidad, entre muchas más, de dar solución a problemáticas del sector social y empresarial (López *et al.*, 2006), además de contextualizar la ciencia, superar las divisiones entre disciplinas y, sobre todo, abrirse a la sociedad de forma completa e integrada (Nowotny *et al.*, 2001). Por lo cual, la transferencia de conocimiento es el proceso de difusión de una tecnología o producto desde su invención original a un contexto económico y social diferente (Becerra, 2004). Cuando se habla de transferencia de tecnología, el concepto de transferencia de tecnología tiene diferentes connotaciones dependiendo del órgano que lo utilice. En el caso de los organismos públicos, se refiere a la administración de la propiedad intelectual creada por dichas entidades (Rojas, 2017); para el órgano académico, es la transferencia de conocimientos desde las universidades en la determinación de la innovación tecnológica en México (Pérez-Cruz, 2019).

Transferencia de conocimiento

Para la transferencia de conocimiento, se realizó una reunión virtual el día 13 de septiembre a las 11:00 mediante la plataforma Zoom, con diferentes autoridades encargadas de políticas públicas, organizaciones no gubernamentales y representantes de la comunidad de Isla Arena. Estos miembros fueron propuestos por el comité tutorial debido a la pertinencia que tiene el tema en las áreas y materia donde se desempeñan cada uno de ellos: al personal de PRONATURA por el involucramiento que tiene en la conservación de tortugas marinas en la región, a los involucrados en el manejo del ANP donde se encuentra Isla Arena, así como a su más vecina al sur, La Reserva de la Biósfera Los Petenes; al personal de CONAPESCA por atender a las amenazas

potenciales acuáticas en las zonas de residencia de las tortugas marinas, y a los miembros de la comunidad de Isla Arena por su implicación en el uso sustentable de los recursos marinos en su litoral, en busca de afectar lo menos posible a estos organismos marinos.

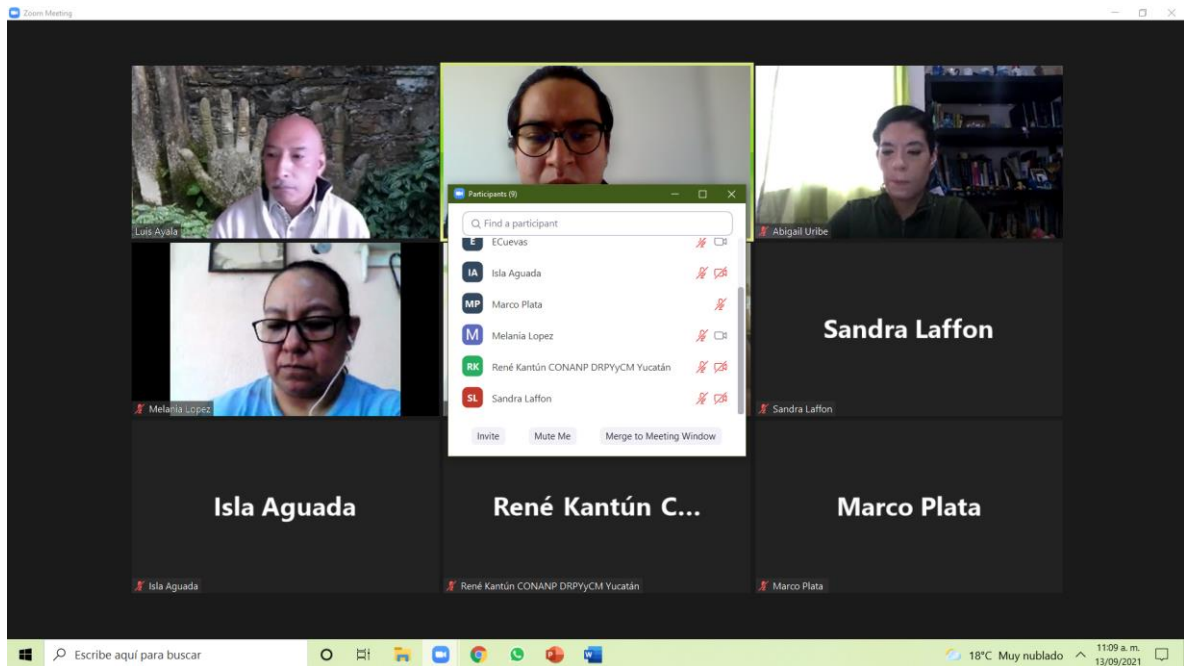
En la reunión, se expusieron de forma detallada los resultados de los análisis espaciales de los derroteros de las doce tortugas marinas, los mapas de las zonas de intensidad de uso de espacio y los Hotspots de Isla Arena. De la misma forma, se mostraron los resultados de la densidad de embarcaciones, y la zonas y temporadas de mayor impacto potencial derivado estas. Para concluir, se manifestaron las conclusiones a las que se llegó en esta investigación. Al finalizar la exposición, se dio tiempo para expresar comentarios, dudas y observaciones, las cuales fueron atendidas e incorporadas en la infografía final para enriquecer su contenido.

Producto de trabajo

Asistentes en la reunión:

- Dr. Raúl Enrique Lara Mendoza, jefe de Departamento de Modelación y Pronóstico Pesquero en el Atlántico, INAPESCA.
- Lic. René Kantún Palma, Director Reserva de la Biósfera Ría Celestún, CONANP.
- Biol. Marco Antonio Plata Mada, Subdirector Reserva de la Biósfera Ría Celestún, CONANP.
- Biol. Edwin Emmanuel Uh Chay, guardaparques Reserva de la Biósfera Ría Celestún, CONANP.
- Biol. David Enrique Simá Panti, Director Reserva de la Biósfera Los Petenes, CONANP.

- Dra. Melania López Castro, Coordinadora del Programa de Conservación de Tortugas Marinas de la Península de Yucatán de ProNatura, Península de Yucatán.
- Biol. Vicente Guzmán Hernández, encargado del Programa de Conservación de Tortugas Marinas del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, CONANP.
- C. Verónica Cruz Yerbes, Presidenta de la Cooperativa pesquera “Las Fileteras del Petén”.





Mérida, Yucatán a 3 de noviembre de 2021.

Dr. Luis Amado Ayala Pérez
Profesor Titular
Laboratorio de Ecología Aplicada
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Xochimilco

Por este conducto confirmo la recepción de la infografía *“Las tortugas marinas de Isla Arena”* generada a partir de los resultados del trabajo de investigación del *Biól. Eduardo Calderón Alvarado*. Le agradezco el envío de este documento y aprovecho para felicitarle por el gran trabajo que ha hecho Eduardo, su presentación el día 13 ha sido una de las mejores que he visto en alumnos de maestría.

Confío que el trabajo que ha realizado Eduardo bajo su tutoría y los demás miembros de su comité, será utilizado para mejorar la conservación de tortugas marinas en la zona.

Sinceramente,



Dra. Melania C. López Castro
Coordinadora
Programa para la Conservación de la Tortuga Marina
Pronatura Península de Yucatán, A.C.



GOBIERNO
DE TODOS



SEMABICC
GOBIERNO DEL ESTADO
DE CAMPECHE

Número de Oficio: SEMABICC/OT/1162/2021
Asunto: El que se indica
San Francisco de Campeche, Campeche a 05 de noviembre de 2021.

Dr. Luis Amado Ayala Pérez
Profesor Titular
Laboratorio de Ecología Aplicada
PRESENTE

Por medio de la presente confirmo que recibí el día viernes, 29 de octubre del presente, la infografía donde se sintetizan los resultados del trabajo de investigación "Conectividad regional y áreas de agregación de tortugas marinas en el sur del Golfo de México: Herramientas para su conservación" realizada por el Biol. Eduardo Calderón Alvarado, alumno de la Maestría en Ecología Aplicada, la cual será de mucha utilidad para esta secretaría.

Sin otro particular, agradezco la atención prestada y le envío un cordial saludo.

Atentamente

Dra. Sandra Martha Laffon Leal

Titular de la Secretaría de Medio Ambiente,
Biodiversidad y Cambio Climático.

c.c.p. Archivo

MAZATLÁN, SINALOA A 28 DE OCTUBRE DE 2021

DR. LUIS AMADO AYALA PÉREZ
PROFESOR TITULAR
LABORATORIO DE ECOLOGÍA APLICADA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
P R E S E N T E

Por medio del presente reciba un cordial saludo, aprovecho la ocasión para hacer el acuse de recepción correspondiente a la información que amablemente enviaron a un servidor con fines informativos, el cual consistió de una infografía que sintetiza los resultados del trabajo de investigación titulado "*Conectividad regional y áreas de agregación de tortugas marinas en el sur del Golfo de México: Herramientas para su conservación*" del Biól. Eduardo Calderón Alvarado, alumno de la Maestría en Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma Metropolitana y que fueron presentados mediante una videoconferencia el 13 de septiembre del presente.

Sin más por el momento, reitero mis felicitaciones al estudiante por su gran desempeño, así como al comité que lo asesora para su desarrollo del tema de investigación de posgrado. Les envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE



DR. RAÚL ENRIQUE LARA MENDOZA
JEFE DE DEPARTAMENTO DE MODELACIÓN
Y PRONÓSTICO PESQUERO EN EL ATLÁNTICO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN PESQUERA EN EL ATLÁNTICO
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUACULTURA

Transferencia de tecnología

Se elaboró una infografía en formato PDF con ayuda de una diseñadora gráfica para asegurar la incorporación de material gráfico adecuado para la lectura de los usuarios. En ella, se plasmó información y características de las especies *L. kempii*, *E. imbricata* y *C. mydas*, la importancia de las aguas adyacentes a Isla Arena como área de residencia, interanidación y como ruta migratoria, mapas e ilustraciones de los Hotspots de Isla Arena, y los sitios de impacto potencial hacia estos organismos por la densidad de embarcaciones en presentes en la zona marina.



LAS TORTUGAS MARINAS DE ISLA ARENA

Recientes estudios han encontrado que **Isla Arena** es un sitio imprescindible para la conservación de las tortugas marinas en el Golfo de México, lo que se le llama un **Hotspot**, ya que diferentes especies hacen uso de esta area para su alimentación, anidación y migración

Las tortugas marinas pasan el

95%

de su vida en el océano,

por lo que en muchas ocasiones utilizan el mismo espacio marino donde se llevan a cabo la pesca.

Para conocer más de los lugares que utilizan las tortugas y lo que hacen se rastrearon satelitalmente 12 hembras:



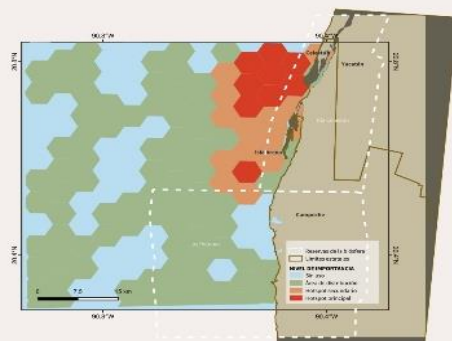
Siete · tortugas verdes
Chelonia mydas



Una · tortuga carey
Eretmochelys imbricata



Cuatro · tortugas loras
Lepidochelys kempii

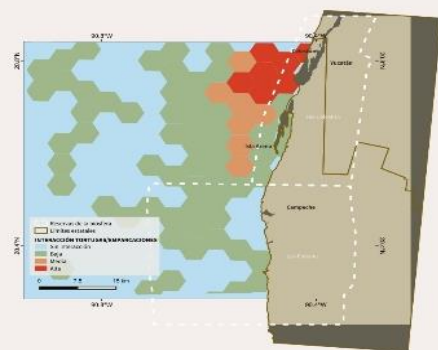


HOT-SPOT

Área donde hay una especial concentración de Especies Prioritarias para la Conservación, en este caso: tortugas marinas.

Aproximadamente 15 km alrededor de la **boca de la Ría Celestún** es un sitio **crítico de mayor uso y presencia de tortugas marinas**.

Aunque con estos datos se observa que toda el área adyacente a **Isla Arena es un hotspot secundario**.



Las tortugas utilizan las **aguas adyacentes de Isla Arena** como área de residencia, es decir que viven en la región la mayor parte del año, donde se alimentan y encuentran **refugio para descansar**, particularmente tortugas verdes.



También es un **área de interanidación** para tortugas careyes, donde se establecen algunas semanas entre sus anidaciones (una tortuga puede anidar entre 2 y 4 veces en una temporada).



Algunas Tortugas Loras utilizan esta área como una **ruta de migración** entre Tamaulipas (*donde anidan*) y sus zonas de alimentación en Yucatán y Quintana Roo. Esta especie también puede alimentarse en la zona.



Una de las principales **causas de muerte de tortugas marinas** a nivel mundial es la **captura incidental**, pues pueden quedar atrapadas o enganchadas, provocando que se ahoguen. La **colisión con embarcaciones** en movimiento también puede provocar heridas que pueden llevarlas a la muerte.

De manera complementaria, utilizando **imágenes satelitales** se observó la presencia de embarcaciones y se **analizó la interacción espacial** que existe entre estas y los hotspots de tortugas marinas.

A lo largo de **3 años de datos**, se observó que la **mayor interacción sucede en la boca de la Laguna de Celestún**, al norte de Isla Arena y a 5 km de distancia frente la costa.

Esta información busca **ayudar a la comunidad de Isla Arena**, así como al **gobierno en las acciones que han tomado para la conservación y protección de la tortuga marina**.



Resultados de la investigación "Conectividad regional y áreas de agregación de tortugas marinas en el sur del Golfo de México: Herramientas para su conservación" del Biot. Eduardo Calderón en la Maestría en Ecología Aplicada de la UAM, bajo la Dirección de la Dra. Angélica Uribe Martínez y el Dr. Luis Ayala Pérez, y asesoría del Dr. Eduardo Cuevas. Diseño: Melissa Uribe Martínez.

LITERATURA CITADA

- Becerra, M. (2004). La transferencia de tecnología en Japón. Conceptos y enfoques. *Ciencia UANL*, 2 (1), 6-15.
- López, S., Mejía, J.C., Schmal, R. (2006). Un acercamiento al concepto de la transferencia de tecnología en las universidades y sus diferentes manifestaciones. *Panorama socioeconómico*, 24 (32), 70-81.
- Nowotny, H., Scott, P., Gibbons, M. (2001). *Re-thinking science, knowledge and the public in an age of uncertainty*. Cambridge, London: Polity Press. 272 p.
- Rojas, J. L. (2017). Las oficinas de transferencia de tecnología y su papel en la estructuración de proyectos de innovación: el caso de una oficina mexicana. *Gestión de la Innovación para la competitividad. Presentada en Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica (ALTEC)*(p.1-15). Ciudad de México: XVII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica. Recuperado de http://www.uam.mx/altec2017/pdfs/ALTEC_2017_paper_55.pdf
- Pérez-Cruz, O. A. (2019). Innovación y transferencia de tecnología en México. Un análisis empírico de datos panel. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 10(19), e010. <https://doi.org/10.23913/ride.v10i19.503>.