



**UNIVERSIDAD DEL MAR**

***Campus Puerto Ángel***

**Distribución espacial y temporal de reproductores de tortuga golfina  
(*Lepidochelys olivacea*) frente a la costa central de Oaxaca durante la  
temporada de septiembre-diciembre de 2023 mediante el uso de sistemas  
aéreos no tripulados (drones)**

**TESIS**

Que para obtener el Título Profesional de

**Licenciada en Biología Marina**

Presenta

**Sandra Soé Blas Barrera**

Director de tesis

**M.A.I.A. Eduardo Juventino Ramírez Chávez**

Co-Directora:

**M.C. Samantha Gabriela Karam Martínez**

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2024.

## Resumen

El presente trabajo analiza la distribución espacial y temporal de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en la costa central de Oaxaca, utilizando sistemas aéreos no tripulados (UAS por sus siglas en inglés) durante la temporada de reproducción de septiembre a diciembre de 2023 y su relación con las variables ambientales de temperatura superficial del mar, clorofila a y velocidad de corrientes. El método incluyó vuelos de drones en seis localidades, tres dentro del Santuario Playa Escobilla y otras tres fuera del área del santuario, para recolectar fotografías. Se realizó un total de 56 horas de muestreo en campo y más de 8 horas de vuelo, produciendo datos detallados sobre la abundancia de tortugas y su distribución. Los resultados del análisis de autocorrelación espacial de Moran y los análisis de Hot and Cold Spot, indicaron una distribución agrupada de tortugas en fechas y localidades específicas, con variaciones influenciadas por las condiciones ambientales. Los datos mostraron que las áreas dentro del Santuario Playa Escobilla presentaron mayor concentración de tortugas, resaltando la importancia de las zonas protegidas para la conservación en temporada de anidación. La búsqueda de Similitud permitió identificar a la localidad de “Población” (establecida dentro del santuario) como un punto similar a través del tiempo en cuanto a las agregaciones de golfinas relacionadas a las variables ambientales: Temperatura superficial del mar, clorofila a y velocidad de corrientes. El estudio también resalta la utilidad de los UAS como herramientas eficaces para el monitoreo de especies en áreas extensas. La investigación aporta información pertinente para la conservación de la tortuga golfina, enfatizando la necesidad de integrar tecnologías avanzadas en los esfuerzos de conservación y gestión de la biodiversidad marina, con especial atención en las interacciones entre las condiciones ambientales y la distribución de especies.

Palabras clave: Tortuga golfina, Escobilla, análisis espacial, drones, hotspots.

## **Abstract**

This study analyzes the spatial and temporal distribution of the olive ridley sea turtle (*Lepidochelys olivacea*) along the central coast of Oaxaca, utilizing Unmanned Aerial Systems (UAS) during the breeding season from September to December 2023. The methodology included drone flights across six locations, three within the Escobilla Beach Sanctuary and three outside the sanctuary area, to collect photographs and analyze environmental variables such as sea surface temperature, chlorophyll-a, and current speed. A total of 56 hours of field sampling and over 8 hours of flight time were recorded, providing detailed data on turtle abundance and distribution. Results from Moran's spatial autocorrelation analysis and Hot-Cold Spot analyses suggest a clustered distribution of turtles on specific dates and locations, with variations influenced by environmental conditions. Data revealed that areas within the Escobilla Beach Sanctuary had higher concentrations of turtles, highlighting the importance of protected zones for conservation. The Similarity analysis confirms Población as a consistent point over time in terms of olive ridley aggregations related to environmental variables. The study also emphasizes the utility of UAS as effective tools for species monitoring over large areas. This research provides relevant information for the conservation of the olive ridley sea turtle, emphasizing the need to integrate advanced technologies in marine biodiversity conservation and management efforts, with a particular focus on the interactions between environmental conditions and species distribution.

Keywords: Olive ridley turtle, Escobilla, spatial analysis, drones, hotspot

## **Dedicatoria**

Para mi familia, lo más valioso que Dios me ha dado.

A mi abuelita Dolores Díaz Moreno, quien en vida me amó, cuidó y brindó sus mejores consejos y enseñanzas para ser feliz, y quien seguramente celebra conmigo desde el cielo todos mis logros.

Mis padres Jaime Blas López y Ma. Antonieta Barrera Díaz, quienes desde el primer día se mantuvieron a mi lado en este camino, apoyándome, cuidándome y recordándome que siempre estarán para brindarme sus consejos, experiencia y demás en cada uno de los procesos, metas y sueños de mi vida.

Mis tías, Gaby, Laura, Tere, Guille, Lupe, Caro, Yola, y tío Lalo, quienes me han apoyado, motivado e inspirado a pesar de la distancia, con cada uno de sus mensajes y llamadas donde me brindan palabras de aliento y bendiciones, recordándome que la familia siempre estará presente.

Mis hermanos Amy y Jimmy por creer en mí y ayudarme indirectamente a combatir el estrés y agobio universitario con las pláticas, risas, chistes y consejos compartidos durante cada estancia en casa.

Mis primos Carlos y Daniela, quienes han sido mi ejemplo para seguir a lo largo de mi crecimiento académico, de ellos he aprendido que todo esfuerzo trae recompensa, sin duda son las personas más capaces, inteligentes y perseverantes para alcanzar sus metas y sueños, que he conocido.

Y en general, dedico esta tesis a toda mi demás familia, que estuvo presente en algún momento de este camino, por su cariño y apoyo.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mis padres, por el apoyo antes, durante y después de mi carrera universitaria, sin ellos nada de esto hubiera sido posible. De igual forma, les agradezco por sus consejos, enseñanzas y regaños que me han formado en estos años y me han permitido seguir adelante en mis metas.

Mis amigas Nadia, Abby, Mich, por los momentos que hemos formado en nuestra etapa universitaria y los que seguiremos formando en el futuro, gracias por brindarme su amistad y compartir conmigo tantas risas, lagrimas, emociones y demás cosas que han forjado una amistad verdadera y duradera. Gracias también a mis amigos entre ellos Pavel y Luis, quienes también han compartido conmigo muchos recuerdos y me apoyaron en diferentes ocasiones.

A Irving L. García Guzmán, mi mejor compañía y equipo, gracias por acompañarme en este camino recorrido, por enseñarme y explicarme diversos temas, por ayudarme a estudiar y aconsejarme. Me inspiraste a sobresalir, a mejorar en lo personal y académico, me has dado seguridad, confianza y muchas cosas más. Gracias por celebrar este logro conmigo.

A mi director M. A. I. A. Eduardo Juventino Ramírez Chávez quien hizo esta meta posible, por cada uno de los días en que se dedicó y tomó el tiempo para enseñarme, por la paciencia al contestar cada pregunta o duda que surgía en el momento, por guiarme en cada análisis que elaboraba, cada frase que escribía o método que empleaba; gracias por la confianza que me tuvo al aceptar ser mi director, por compartir su conocimiento y también por la paciencia al enseñarme a volar un dron.

Mi co-directora M. C. Samantha G. Karam Martínez, quien me abrió el paso para realizar uno de mis sueños, que es trabajar con tortugas marinas, gracias por confiar en mis capacidades para desarrollarme en los temas afines, por impulsarme a seguir adelante en mis metas académicas y, al escribir esta tesis más que nada. De igual manera, gracias por todas sus enseñanzas, sus consejos y regaños que me formaron en esta área. Especialmente, quiero agradecerle por ayudarme a confirmar una vez más, que las tortugas son el grupo de organismos marinos más carismáticos para trabajar.

Mi equipo de trabajo al realizar este proyecto, revisor M. C. Alberto Montoya, por acompañarnos en las salidas a monitoreo, guiarnos al momento de realizar el diseño experimental, y tomarse el tiempo para revisar y corregir este escrito. A mi amigo Carlos

Ordoñez, por compartir conmigo la pasión por las tortugas marinas, es una aventura que comenzamos juntos y que disfruté en cada momento, por aguantarme y regañarme cuando era debido, pero también, gracias por cuidarme, aconsejarme y estar pendiente en cada uno de los vuelos con dron que realicé.

Mis revisores, Ana Torres y Antonio Serrano, por tomarse el tiempo de corregir mi borrador de tesis, por las sugerencias y comentarios pertinentes que permitieron elaborar este manuscrito. Por sus consejos en formato, escritura, citado y temas dentro de esta escrito que contribuyeron a obtener la mejor versión posible. Y en general, a todos mis compañeros y profesores que conocí dentro y fuera de la UMAR, quienes me han apoyado, enseñado y motivado a crecer profesionalmente.

Este trabajo se realizó como parte del proyecto “Distribución de adultos reproductores de tortuga golfina, en la zona marina del centro sur de Oaxaca, mediante el uso de sistemas aéreos no tripulados” del Instituto de Recursos de la UMAR con clave 2IR2306. Agradezco también al MVZ Rafael Villanueva del Santuario Playa Escobilla por las facilidades otorgadas.

## Índice

<b>Resumen</b> .....	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>iv</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>v</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1. <i>Lepidochelys olivacea</i> .....	2
1.2. <i>Sistemas Aéreos no Tripulados</i> .....	3
1.3. <i>Análisis espaciales</i> .....	3
<b>II. Antecedentes</b> .....	<b>4</b>
<b>III. Justificación</b> .....	<b>7</b>
<b>IV. Hipótesis</b> .....	<b>8</b>
<b>V. Objetivo general</b> .....	<b>9</b>
5.1 <i>Objetivos particulares</i> .....	9
<b>VI. Material y métodos</b> .....	<b>9</b>
6.1. <i>Área de estudio</i> .....	9
6.2. <i>Dinámica oceanográfica</i> .....	10
6.3. <i>Temporada de secas</i> .....	10
6.4. <i>Temporada de lluvias</i> .....	11
6.5. <i>Trabajo de campo</i> .....	12
6.6. <i>Análisis en Gabinete</i> .....	13
6.7. <i>Criterios para conteo visual y control de calidad</i> .....	14
6.8. <i>Abundancia por localidad y fecha de monitoreo</i> .....	15
6.9. <i>Variables ambientales</i> .....	15
6.10. <i>Base de datos espacial</i> .....	17
6.11. <i>Análisis de Autocorrelación espacial de Moran</i> .....	17
6.12. <i>Análisis Hot and Cold Spot (HCS)</i> .....	18
6.13. <i>Análisis de Búsqueda de Similitud</i> .....	20
<b>VII. Resultados</b> .....	<b>22</b>
7.1. <i>Esfuerzo de muestreo</i> .....	23
7.2. <i>Variación espacial y temporal de la distribución</i> .....	23
7.2.1. <i>Total de tortugas marinas registradas por localidad de muestreo</i> .....	23
7.3. <i>Mapas de abundancia</i> .....	24
7.3.1. <i>Localidad 1: Guapinol</i> .....	24
7.3.2. <i>Localidad 2: Campamento</i> .....	25

7.3.3. Localidad 3: Población .....	26
7.3.4. Localidades 4, 5 y 6: Ventanilla, Aragón y El Faro.....	27
7.4. Análisis de Autocorrelación espacial de Moran.....	30
7.4.1. Número de tortugas .....	30
7.4.2. Variables ambientales .....	31
7.5. Análisis de Hot and Cold Spot.....	33
7.5.1. Número de tortugas marinas .....	33
7.5.2. Variables ambientales .....	35
7.5.3. Relación entre los patrones de hotspot del número de tortugas marinas y variables ambientales para el 29 de septiembre de 2023 .....	48
7.5.4. Relación entre los patrones de hotspot del número de tortugas marinas y variables ambientales para el 03 de noviembre de 2023 .....	49
7.5.5. Relación entre los patrones de hotspot del número de tortugas marinas y variables ambientales para el 06 de diciembre de 2023 .....	50
7.6. Búsqueda de similitud .....	50
7.6.1. Número de tortugas marinas .....	50
7.6.2. Relación número de tortugas marinas y variables ambientales.....	52
<b>VIII. Discusión .....</b>	<b>70</b>
8.1. Distribución y abundancia .....	70
8.2. Relación entre la distribución de tortugas marinas y las variables ambientales .....	72
8.3. Búsqueda de Similitud .....	75
<b>IX. Conclusión .....</b>	<b>77</b>
<b>X. Recomendaciones .....</b>	<b>79</b>
<b>XI. Referencias.....</b>	<b>79</b>
<b>XII. Anexos .....</b>	<b>87</b>
12.1. Anexo A. Ejemplo de fotografía tomada por el dron con presencia de tortuga golfina.....	87
12.2. Anexo B. Variables ambientales.....	87
12.3. Anexo C. Tabla de parámetros del análisis de autocorrelación espacial de Moran para el resto de las fechas de tortugas y variables ambientales .....	89



## Índice de tablas

Tabla I. Ejemplo de bitácora de registro de tortugas marinas.....	13
Tabla II. La siguiente tabla muestra la relación de las fechas tomadas del análisis de Hot and Cold Spot de número de tortugas marinas y los Hot and Cold Spot de cada una de las variables ambientales.....	21
Tabla III. Número de fotos totales tomadas por el UAS.....	23
Tabla IV. Número total de tortugas marinas registradas .....	24
Tabla V. Valor de los parámetros estimados para el número de tortugas marinas en la costa central de Oaxaca del día 29 de septiembre 2023, el análisis indicó una distribución agrupada. ....	30
Tabla VI. Valor de los parámetros estimados para el número de tortugas marinas en la costa central de Oaxaca del día 03 de noviembre de 2023, el análisis indicó una distribución agrupada. ....	30
Tabla VII. Valor de los parámetros estimados para el número de tortugas marinas en la costa central de Oaxaca del día 06 de diciembre de 2023, el análisis indicó una distribución agrupada. ....	31
Tabla VIII. Valor de los parámetros estimados en el análisis de Autocorrelación espacial de Moran para la temperatura superficial del mar del día 19 de septiembre de 2023, el análisis indicó una distribución agrupada. ....	32
Tabla IX. Valor de los parámetros estimados en el análisis de Autocorrelación espacial de Moran para clorofila a del día 19 de septiembre de 2023, el análisis indicó una distribución agrupada. ....	32
Tabla X. Valor de los parámetros estimados en el análisis de Autocorrelación espacial de Moran para la velocidad de corrientes del día 19 de septiembre de 2023, el análisis indicó una distribución agrupada.....	33
Tabla XI. Relación entre los HCS de abundancia de tortugas marinas y los HCS de las variables ambientales calculados para el día 29 de septiembre de 2023 en cada localidad de muestreo de la costa central de Oaxaca. Con rojo: patrones de valores altos, azul: patrones de valores bajos y amarillos: no significativos. TSM= temperatura superficial del mar, Chl-a= Clorofila a y corrientes= velocidad de corrientes. ....	49
Tabla XII. Relación entre los HCS de abundancia de tortugas marinas y los HCS de las variables ambientales calculados para el día 03 de noviembre de 2023 en cada localidad de muestreo de la costa central de Oaxaca. Con rojo: patrones de valores altos, azul: patrones de valores bajos y amarillos: no significativos. TSM= temperatura superficial del mar, Chl-a= Clorofila a y corrientes= velocidad de corrientes. ....	49
Tabla XIII. Relación entre los HCS de abundancia de tortugas marinas y los HCS de las variables ambientales calculados para el día 06 de diciembre de 2023 en cada localidad de muestreo de la costa central de Oaxaca. Con rojo: patrones de valores altos, azul: patrones de valores bajos y amarillos: no significativos. TSM= temperatura superficial del mar, Chl-a= Clorofila a y corrientes= velocidad de corrientes. ....	50

## Índice de figuras

Figura 1. Zona de estudio.....	11
Figura 2. UAS Mavic Pro utilizado para los vuelos .....	13
Figura 3. Diagrama de flujo o de procesos para las fases dentro del análisis de gabinete. ....	14
Figura 4. Diagrama de la Autocorrelación Espacial de Moran.....	18
Figura 5. La prueba de búsqueda de similitud. ....	21
Figura 6. Mapa de la localidad Guapinol.....	25
Figura 7. Mapa de la localidad Campamento. ....	26
Figura 8. Mapa de la localidad Población.....	27
Figura 9. Mapa de la localidad Ventanilla. ....	28
Figura 10. Mapa de la localidad Aragón.....	29
Figura 11. Mapa de la localidad El Faro.....	29
Figura 12. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 29 de septiembre de 2023. ....	34
Figura 13. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 03 de noviembre de 2023.....	35
Figura 14. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 06 de diciembre de 2023.....	35
Figura 15. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 19 de septiembre de 2023. ....	36
Figura 16. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 29 de septiembre de 2023. ....	37
Figura 17. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 06 de octubre de 2023.....	37
Figura 18. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 03 de noviembre de 2023.....	38
Figura 19. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 17 de noviembre de 2023.....	38
Figura 20. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 27 de noviembre de 2023.....	39
Figura 21. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 06 de diciembre de 2023.....	39
Figura 22. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 19 de septiembre de 2023.....	41
Figura 23. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 29 de septiembre de 2023.....	41
Figura 24. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 06 de octubre de 2023.....	42
Figura 25. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 03 de noviembre de 2023.....	42
Figura 26. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 17 de noviembre de 2023.....	43
Figura 27. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 27 de noviembre de 2023.....	43
Figura 28. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 06 de diciembre de 2023.....	44
Figura 29. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 19 de septiembre de 2023.....	45
Figura 30. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 29 de septiembre de 2023.....	45
Figura 31. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 06 de octubre de 2023.....	46
Figura 32. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 03 de noviembre de 2023.....	46
Figura 33. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 17 de noviembre de 2023.....	47

Figura 34. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 27 de noviembre de 2023 .....	47
Figura 35. Mapa del análisis de Hot and Cold Spot del 06 de diciembre de 2023 .....	48
Figura 36. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas: a) 29 de septiembre contra 03 de noviembre de 2023, b) 29 de septiembre contra 06 de diciembre de 2023 y c) 03 de noviembre contra 06 de diciembre de 2023. ....	52
Figura 37. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas del 29 de septiembre contra los valores de temperatura superficial del mar de a) 29 de septiembre, b) 03 de noviembre y c) 06 de diciembre de 2023. ....	54
Figura 38. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas del 29 de septiembre contra los valores de clorofila a, de a) 29 de septiembre, b) 03 de noviembre y c) 06 de diciembre de 2023. ....	56
Figura 39. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas del 29 de septiembre contra los valores de velocidad de corrientes de a) 29 de septiembre, b) 03 de noviembre y c) 06 de diciembre de 2023. ....	58
Figura 40. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas del 03 de noviembre contra los valores de temperatura superficial del mar de a) 29 de septiembre, b) 03 de noviembre y c) 06 de diciembre de 2023. ....	60
Figura 41. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas del 03 de noviembre contra los valores de clorofila a, de a) 29 de septiembre, b) 03 de noviembre (b) y 06 de diciembre de 2023 (c).....	62
Figura 42. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas del 03 de noviembre contra los valores de velocidad de corrientes de a) 29 de septiembre, b) 03 de noviembre y c) 06 de diciembre de 2023.....	64
Figura 43. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas del 06 de diciembre contra los valores de temperatura superficial del mar de, a) 29 de septiembre, b) 03 de noviembre y c) 06 de diciembre de 2023. ....	66
Figura 44. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas del 06 de diciembre contra los valores de clorofila a, de a) 29 de septiembre, b) 03 de noviembre y c) 06 de diciembre de 2023. ....	68
Figura 45. Mapas de similitud para los valores de número de tortugas marinas del 06 de diciembre contra los valores de velocidad de corrientes de a) 29 de septiembre, b) 03 de noviembre y c) 06 de diciembre de 2023.....	70