



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR Y DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS  
POSGRADO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

## T E S I S

### RESPUESTA DE ANIDACIÓN DE LA TORTUGA GOLFINA (*Lepidochelys olivacea*) CON RELACIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES EN BAJA CALIFORNIA SUR Y OAXACA, MÉXICO

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS CON  
ORIENTACIÓN EN ECOLOGÍA MARINA

PRESENTA:

**B.M. JORGE ARMANDO VEGA BRAVO**

DIRECTORA DE TESIS:

**DRA. MARÍA MÓNICA LARA UC**

LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR

JUNIO DE 2016





# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR Y DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS  
POSGRADO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

## T E S I S

### RESPUESTA DE ANIDACIÓN DE LA TORTUGA GOLFINA (*Lepidochelys olivacea*) CON RELACIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES EN BAJA CALIFORNIA SUR Y OAXACA, MÉXICO

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS CON  
ORIENTACIÓN EN ECOLOGÍA MARINA

PRESENTA:

**B.M. JORGE ARMANDO VEGA BRAVO**

DIRECTORA DE TESIS:

**DRA. MARÍA MÓNICA LARA UC**





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR**  
Área de Conocimiento de Ciencias del Mar y de la Tierra  
Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras  
**POSGRADO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**



Fecha: 08/JUNIO/2016

**DR. ENRIQUE A. GÓMEZ GALLARDO UNZUETA**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**  
**PRESENTE.**

Los abajo firmantes, Miembros del Comité Académico Asesor del trabajo de tesis completamente terminado, titulado:

"Respuesta de anidación de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) con relación a las características ambientales en Baja California Sur y Oaxaca, México".

que presentó:

Jorge Armando Vega Bravo

Otorgamos nuestro voto **aprobatorio** y consideramos que dicho trabajo está listo para su **defensa**, a fin de obtener el **Grado de Maestro** en Ciencias Marinas y Costeras, con Orientación en Ecología Marina.

Comité Académico Asesor:

<u>Maria Mónica Larale</u>	<u>[Firma]</u>
Nombre del Director	Firma
<u>Edgar de González Rodríguez</u>	<u>[Firma]</u>
Nombre del Asesor	Firma
<u>Jorge Manuel López Calderín</u>	<u>[Firma]</u>
Nombre del Asesor	Firma

c.c.p Expediente del alumno (CIMACO)

## DEDICATORIA

*A mi familia, a mi madre y a mis dos hermanos, que gracias a ellos he logrado concluir mis estudios y alcanzar todas mis metas. Gracias por siempre estar a mi lado y darme todo su apoyo y amor incondicional durante cada día de mi vida, por ser mi inspiración, mi motivación y fortaleza para seguir adelante y conquistar mis sueños, sobre todo gracias por hacer de mí una mejor persona a través de sus valiosos consejos, enseñanzas y todo su amor.*

*¡Los amo con todo mi corazón!*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a las diferentes instituciones y organizaciones que apoyaron la realización de este trabajo, primeramente a la Universidad Autónoma de Baja California Sur, al Posgrado de Ciencias Marinas y Costeras y a todos los profesores que compartieron conmigo sus conocimientos y me guiaron para conocer las grandes maravillas de la naturaleza y del mundo marino. Agradezco a todo el personal del campamento tortuguero Asociación Sudcaliforniana de Protección al Medio Ambiente y la Tortuga Marina, al personal del Centro Mexicano de la Tortuga y al personal del Centro de Investigación Científica de Educación Superior de Ensenada Unidad La Paz, por su valiosa colaboración. Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por becarme durante mis estudios en el posgrado.

En primer lugar quiero agradecer a la Dra. Ma. Mónica Lara Uc, mi directora de tesis, por haberme dado la oportunidad de trabajar junto a ella a lo largo de estos años y sobre todo por darme su confianza, brindarme su tiempo, apoyarme siempre y por su valiosa orientación y enseñanza en mi formación como investigador. A los miembros de mi comité de tesis, a Eduardo Gonzáles Rodríguez, Jorge Manuel López Calderón, Stephanie Rousso y Juan Manuel López Vivas, por brindarme su tiempo, sabios consejos y orientación invaluable. Finalmente agradezco a mis mejores amigos por siempre estar a mi lado brindándome su apoyo y amistad incondicional que hoy me hacen una mejor persona.

# ÍNDICE

DICTAMEN DE APROBACIÓN DE TESIS TERMINADA.....	I
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
ÍNDICE .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES .....	7
JUSTIFICACIÓN .....	10
HIPÓTESIS .....	13
OBJETIVO GENERAL .....	13
OBJETIVOS PARTICULARES.....	13
MATERIAL Y MÉTODOS.....	14
Área de estudio.....	14
Registro de nidos y arribadas .....	17
Mareas, fases lunares, vientos, temperatura y humedad ambiental .....	18
Caracterización de playas de anidación en Baja California Sur y Oaxaca.....	20
Análisis de datos.....	21
RESULTADOS.....	23
Mareas, fases lunares, vientos, temperatura y humedad ambiental .....	23
Caracterización de playas de anidación en Baja California Sur y Oaxaca.....	47
DISCUSIÓN .....	61
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES .....	75
LITERATURA CITADA.....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2011 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).....	25
Tabla II. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada 2012 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).....	27
Tabla III. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada 2013 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).....	29
Tabla IV. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada 2014 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).....	31
Tabla V. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada 2015 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H).....	33
Tabla VI. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2011 al 2015 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).....	34

Tabla VII. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 y su respectivo porcentaje de noches que presentaron arribadas. Prueba de independencia de ji-cuadrada ( $\chi^2$ ), grados de libertad (g.l.) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).....	37
Tabla VIII. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016 y su respectivo porcentaje de noches en las que ocurrieron el inicio de las arribadas (tres noches por arribada). Prueba de independencia de ji-cuadrada ( $\chi^2$ ), grados de libertad (g.l.) (diferencias estadísticamente significativas en rojo). .....	40
Tabla IX. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de Oaxaca durante la temporada del 2014-2015 al 2015-2016 y su respectivo porcentaje de noches que presentaron arribadas. Prueba de independencia de ji-cuadrada ( $\chi^2$ ), grados de libertad (g.l.) (diferencias estadísticamente significativas en rojo). .....	43
Tabla X. Medias de las variables ambientales durante cada temporada de anidación y medias totales ( $\bar{x}$ ) durante todas las temporadas de estudio en B.C.S. y Oaxaca. ....	45
Tabla XI. Comparación de las variables ambientales estadísticamente significativas (Est. sig.) en las playas de B.C.S. durante las temporadas del 2011 al 2015 y en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 al 2015-2016, con su respectivo porcentaje de nidos registrados (% nidos), porcentaje de noches que presentaron arribadas (% noches) y la media total de cada variable ambiental ( $\bar{x}$ var.) .....	46
Tabla XII. Porcentajes de humedad relativa (%) de las muestras de arena tomadas en las diferentes zonas de los perfiles en playa La Escobilla, Oaxaca. ....	49

Tabla XIII. Porcentajes de humedad relativa (%) y granulometría de las muestras de arena tomadas en las diferentes zonas de los perfiles en playa San Cristóbal, B.C.S. ....	51
Tabla XIV. Porcentajes de humedad relativa (%) y granulometría de las muestras de arena tomadas en playa El Suspiro, B.C.S. ....	55
Tabla XV. Tabla de grupos homogéneos (g.h.) resultantes de la prueba de independencia de ji-cuadrada múltiple entre el número de nidos presentes en cada zona, por estación, durante cada mes de la temporada 2015 en playa San Cristóbal, B.C.S. ....	57
Tabla XVI. Tabla de grupos homogéneos (g.h.) resultantes de la prueba de independencia de ji-cuadrada múltiple entre el número de nidos presentes en cada zona, por estación, durante cada mes de la temporada 2015 en playa El Suspiro, B.C.S. ....	59
Tabla XVII. Tabla de grupos homogéneos (g.h.) resultantes de la prueba de independencia de ji-cuadrada de un criterio entre el número de nidos presentes en cada estación durante la temporada 2015 en playa San Cristóbal y El Suspiro, B.C.S. ....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de las tortugas marinas (tomada de Miller 1996).....	2
Figura 2. Características morfológicas de <i>L. olivacea</i> (tomada de Pritchard y Mortimer 2000).....	3
Figura 3. Anidación de la tortuga marina <i>L. olivacea</i> ; A) anidación en forma solitaria en las playas de B.C.S (2013); B) arribadas en las playas de Oaxaca (2014).....	11
Figura 4. Área de estudio. Playas de anidación San Cristóbal y El Suspiro, las cuales se encuentran bajo la protección del campamento ASUPMATOMA en Los Cabos, B.C.S.....	15
Figura 5. Área de estudio. Playa de anidación La Escobilla, la cual se encuentra bajo la protección del Centro Mexicano de la Tortuga en Santa María Tonameca, Oaxaca. ....	16
Figura 6. Nidos de <i>L. olivacea</i> (septiembre de 2013); A) nidos naturales ( <i>in situ</i> ) en las playas de anidación; B) nidos trasladados a los corrales ( <i>ex situ</i> ) del campamento ASUPMATOMA. ....	17
Figura 7. Fenómeno de arribada en playa La Escobilla, Oaxaca (noviembre de 2015). ....	18
Figura 8. Esquema de los diferentes sitios del perfil de playa. Infraplaya (zona que presenta influencia de la marea), mesoplaya (zona libre de la influencia de la marea) y supraplaya (zona que presenta vegetación).....	20
Figura 9. Número de nidos en las playas de B.C.S. durante las temporadas del 2011 al 2015.....	23
Figura 10. Número de anidaciones en cada arribada ocurrida en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada del 2014-2015. S/D = sin datos.....	24
Figura 11. Número de nidos con relación a (a) la dirección y (b) velocidad del viento en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2011. La dirección de las flechas indica la dirección del viento (relaciones importantes encuadradas en rojo).....	25

Figura 12. Número de nidos con relación a la temperatura ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2011 (relaciones importantes encuadradas en rojo).....	26
Figura 13. Número de nidos con relación a la temperatura ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2012. Tormenta tropical “Paul” (TT Paul) (relaciones importantes encuadradas en rojo). ....	27
Figura 14. Número de nidos con relación a la humedad ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2012. Tormenta tropical “Paul” (TT Paul) (relaciones importantes encuadradas en rojo). ....	28
Figura 15. Número de nidos con relación a (a) la dirección y (b) velocidad del viento en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2013. La dirección de las flechas indica la dirección del viento. Tormenta tropical “Ivo” (TT Ivo) (relaciones importantes encuadradas en rojo).....	29
Figura 16. Número de nidos con relación a la temperatura ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2013. Tormenta tropical “Ivo” (TT Ivo) (relaciones importantes encuadradas en rojo).....	30
Figura 17. Número de nidos con relación a la temperatura ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2014. Huracán “Odile” categoría 4 (H Odile C4) (relaciones importantes encuadradas en rojo).....	31
Figura 18. Número de nidos con relación a las fases lunares y nivel medio del mar (NMM) en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2014. ○ Luna nueva, ☾ cuarto creciente, ● luna llena, ☾ cuarto menguante. Huracán “Odile” categoría 4 (H Odile C4) (relaciones importantes encuadradas en rojo). ....	32
Figura 19. Número de nidos con relación a (a) la dirección y (b) velocidad del viento en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2014. La dirección de las flechas indica la dirección del viento. Tras el paso del huracán “Odile” categoría 4 (H Odile C4) la EMA quedo fuera de funcionamiento durante el resto de la temporada. ....	32

Figura 20. Número de nidos con relación a las fases lunares y nivel medio del mar (NMM) en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2015. ○ Luna nueva, ◐ cuarto creciente, ● luna llena, ◑ cuarto menguante.....	33
Figura 21. Dirección, velocidad y frecuencia de los vientos en las playas de B.C.S. durante cada estación del año del 2011 al 2014. La dirección de las barras indica la dirección del viento.....	35
Figura 22. Dirección, velocidad y frecuencia de los vientos en las playas de B.C.S. durante las noches de anidación de la temporada del 2011 al 2014 (velocidad media 16.9km/h). La dirección de las barras indica la dirección del viento.....	36
Figura 23. Ocurrencia de arribadas con relación a la temperatura ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 (la tortuga indica el inicio de una arribada).....	37
Figura 24. Ocurrencia de arribadas con relación a las fases lunares y el nivel medio del mar (NMM) en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015. ○ Luna nueva, ◐ cuarto creciente, ● luna llena, ◑ cuarto menguante (la tortuga indica el inicio de una arribada).....	38
Figura 25. Ocurrencia de arribadas con relación la dirección del viento en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015. La dirección de las flechas indica la dirección del viento y su magnitud (la tortuga indica el inicio de una arribada). ....	38
Figura 26. Ocurrencia de arribadas con relación la velocidad del viento en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 (la tortuga indica el inicio de una arribada).....	38
Figura 27. Ocurrencia de arribadas con relación a la humedad ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 (la tortuga indica el inicio de una arribada).....	39
Figura 28. Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación a la temperatura ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016 (la tortuga indica el inicio de una arribada).....	40

Figura 29. Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación a las fases lunares y el nivel medio del mar (NMM) en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016. ○ Luna nueva, ◐ cuarto creciente, ● luna llena, ◑ cuarto menguante (la tortuga indica el inicio de una arribada).....	41
Figura 30. Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación la velocidad del viento en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016 (la tortuga indica el inicio de una arribada).....	41
Figura 31. Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación la dirección del viento en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016. La dirección de las flechas indica la dirección del viento y su magnitud (la tortuga indica el inicio de una arribada).....	42
Figura 32. Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación a la humedad ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016 (la tortuga indica el inicio de una arribada).....	42
Figura 33. Dirección, velocidad y frecuencia de los vientos en las playas de Oaxaca durante las noches de arribadas de la temporada del 2014-15 al 2015-16 (velocidad media 11.4km/h). La dirección de las barras indica la dirección del viento.....	43
Figura 34. Dirección, velocidad y frecuencia de los vientos en las playas de Oaxaca durante cada estación del año del 2014 y 2015. La dirección de las barras indica la dirección del viento.....	44
Figura 35. Ubicación de las siete estaciones (E10-70) en las que se realizó cada perfil de playa en La Escobilla, Oaxaca.....	47
Figura 36. Perfil de playa La Escobilla, Oaxaca, de la estación 10 a 70. Distancia y elevación medida desde la base de la duna frontal (0m) a la zona del rompiente de olas. De izquierda a derecha: △ indican el final de la supraplaya y el comienzo de la mesoplaya, ◻ indican el final de la mesoplaya y el comienzo de la infraplaya.....	48
Figura 37. Cuerpos de agua dulce presentes a lo largo de playa La Escobilla, Oaxaca (febrero de 2015); A) arroyo en la estación 10; B) laguna en la estación 40.....	48

Figura 38. Arribada en playa La Escobilla, Oaxaca (enero de 2015); A) tortugas entrando y saliendo de la playa en la estación 30; B) tortugas anidando en la estación 40. ....	49
Figura 39. Ubicación de las tres estaciones (E1-3) en las que se realizó cada perfil de playa en San Cristóbal y El Suspiro, B.C.S., respectivamente y la ubicación del desarrollo costero “Cabo Diamante Beach and Golf Resort”.....	50
Figura 40. Perfil de playa de San Cristóbal, B.C.S., en la estación (a) 1, (b) 2, (c) 3. Distancia y elevación medida desde la base de la duna frontal (0m) a la zona del rompiente de olas. La numeración al final de cada perfil indica su secuencia temporal. De izquierda a derecha: $\Delta$ indican el final de la supraplaya y el comienzo de la mesoplaya, $\square$ indican el final de la mesoplaya y el comienzo de la infraplaya. ....	52
Figura 41. Desarrollo costero en playa El Suspiro, B.C.S. (julio de 2015); A) residencias presentes en la estación 2; B) campos de golf y desagües presentes en la estación 1.....	53
Figura 42. Perfil de playa de El Suspiro, B.C.S., en la estación (a) 1, (b) 2, (c) 3. Distancia y elevación medida desde la base de la duna frontal (0m) a la zona del rompiente de olas. La numeración al final de cada perfil indica su secuencia temporal. De izquierda a derecha: $\Delta$ indican el final de la supraplaya y el comienzo de la mesoplaya, $\square$ indican el final de la mesoplaya y el comienzo de la infraplaya. ....	54
Figura 43. Erosión en las playas de B.C.S. causada por el paso del huracán “Linda” (septiembre de 2015); A) erosión del frente de playa de la estación 1 en San Cristóbal; B) erosión del frente de playa de la estación 2 en San Cristóbal, limitando el acceso de las tortugas anidadoras a la playa. ....	55
Figura 44. Número de nidos en playa San Cristóbal, B.C.S., durante la temporada 2015. De izquierda a derecha: número de nidos por estaciones (E1, E2, E3) con respecto al total de nidos en la playa; número de nidos por	

zona (supraplaya, mesoplaya, infrapaya) en cada estación; número de nidos por zona en las tres estaciones de forma conjunta.....	56
Figura 45. Número de nidos en playa San Cristóbal, B.C.S., durante la temporada 2015. De arriba hacia abajo: número de nidos por estaciones (E1, E2, E3) durante cada mes con respecto al total de nidos dentro de las estaciones en conjunto durante toda la temporada; número de nidos por zona (supraplaya, mesoplaya, infrapaya) en cada estación; número de nidos por zona en las tres estaciones de forma conjunta durante cada mes.....	57
Figura 46. Número de nidos en playa El Suspiro, B.C.S., durante la temporada 2015. De izquierda a derecha: número de nidos por estaciones (E1, E2, E3) con respecto al total de nidos en la playa; número de nidos por zona (supraplaya, mesoplaya, infrapaya) en cada estación; número de nidos por zona en las tres estaciones de forma conjunta.....	58
Figura 47. Número de nidos en playa El Suspiro, B.C.S., durante la temporada 2015. De arriba hacia abajo: número de nidos por estaciones (E1, E2, E3) durante cada mes con respecto al total de nidos dentro de las estaciones en conjunto durante toda la temporada; número de nidos por zona (supraplaya, mesoplaya, infrapaya) en cada estación; número de nidos por zona en las tres estaciones de forma conjunta durante cada mes.....	59

## RESUMEN

En las costas mexicanas, incluyendo la Península de Baja California, la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* anida en forma solitaria, mientras que en playas de Michoacán y Oaxaca anida en grupos de cientos de individuos de forma sincronizada, fenómeno denominado arribada o arribazón. Los factores que determinan la preferencia de esta especie por las playas de anidación en las costas mexicanas han sido poco estudiados, por lo que el presente trabajo determinó los factores ambientales que influyen en su respuesta de anidación y sus relaciones entre su anidación solitaria y en forma de arribadas. Se determinó la influencia de las mareas, fases lunares, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad ambiental sobre su respuesta anidación en las playas de San Cristóbal y El Suspiro, Baja California Sur, durante la temporada de anidación del 2011 al 2015, y en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-15 y 2015-16. Se elaboraron perfiles de playa en ambas áreas de estudio y se relacionaron con su anidación durante la temporada del 2015. Finalmente se evaluaron estadísticamente las variables ambientales con su anidación. En las payas de B.C.S. se registró una mayor anidación durante noches con una temperatura ambiental alta superior a la media; episodios de vientos de alta magnitud superiores a la media, provenientes del oeste; y fase lunar de cuarto menguante y cuarto creciente. En las playas de Oaxaca las arribadas ocurrieron durante noches con vientos provenientes del oeste, un régimen de marea alta y fase lunar de cuarto menguante. Los perfiles de playa de B.C.S. mostraron bermas y frentes de playa con pendientes pronunciadas, con relación a los perfiles de Oaxaca. En las playas de estudio de B.C.S. se encontró que la anidación es diferente en las distintas zonas del perfil, presentándose un mayor número de nidos en la zona de la mesoplaya. Asimismo, la anidación en cada zona del perfil cambió significativamente en el tiempo durante el transcurso de la temporada de anidación, ya que los perfiles de playa se ven modificados principalmente por la ocurrencia de fenómenos meteorológicos como tormentas tropicales y huracanes, así como por el desarrollo costero presente dentro de las playas de anidación. La reproducción de estos organismos en los distintos lugares

geográficos de anidación ofrece la oportunidad de conocer mejor los aspectos de su biología reproductiva y su capacidad de adaptación en diferentes condiciones ambientales, por lo que este tipo de estudios contribuye a ampliar el conocimiento sobre la biología de estos quelonios, contribuyendo al diseño y aplicación de estrategias para su manejo y conservación.

## INTRODUCCIÓN

Las tortugas marinas son unos de los vertebrados con mayor distribución alrededor del planeta. Algunas especies pueden oscilar entre aguas tropicales, templadas y subárticas, y pueden migrar cientos o miles de kilómetros entre sus zonas de alimentación y las zonas de reproducción (Nichols *et al.*, 2000; Choi y Eckert, 2009).

En las aguas del Pacífico Oriental, incluyendo las costas del Pacífico Mexicano, se encuentran cinco de las ocho especies existentes de tortugas marinas alrededor del mundo: la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*), tortuga amarilla (*Caretta caretta*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), tortuga prieta (*Chelonia agassizii*) y la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) (López-Castro *et al.*, 2004; Sandoval, 2008; Seminoff y Wallace, 2012).

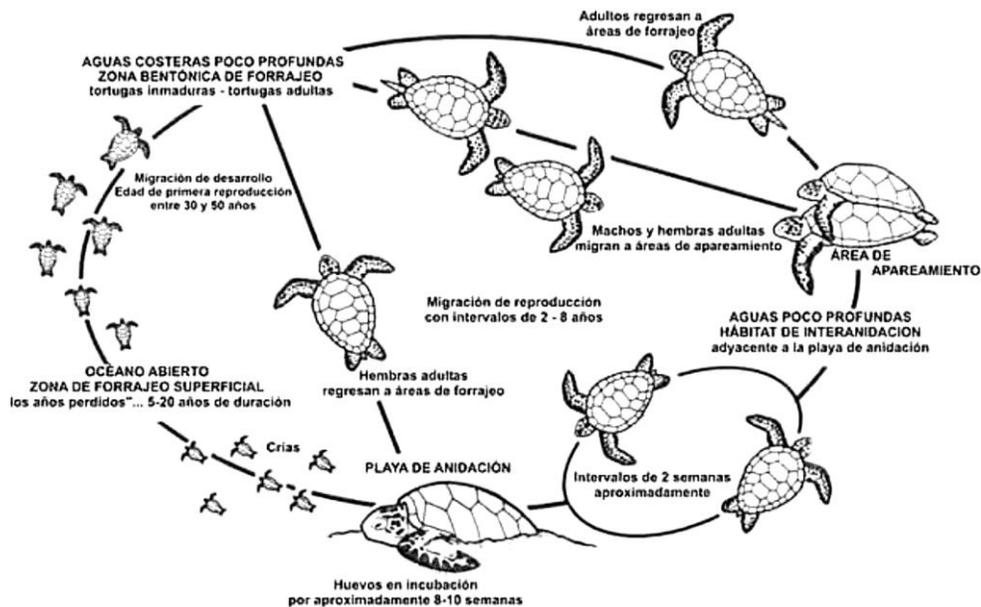
A pesar de su amplia distribución en el medio oceánico las tortugas marinas están estrechamente ligadas al medio terrestre para reproducirse. Durante la época de reproducción, y tras haber realizado extensos viajes migratorios, las hembras regresan a las playas donde nacieron para anidar y enterrar sus huevos en las playas arenosas (Briseño-Dueñas, 1980; Seminoff y Wallace, 2012).

La incubación de los huevos es extremadamente sensible a las condiciones abióticas, dentro y fuera del nido, y sólo pueden tolerar pequeñas fluctuaciones de algunas variables ambientales (Ackerman, 1997; Davenport, 1997). Por consiguiente, las playas de anidación se encuentran restringidas en comparación a la distribución de las tortugas marinas en el océano (Schroeder *et al.*, 2003). La mayoría de las anidaciones ocurren en zonas tropicales y subtropicales y limitadas en las zonas templadas. Estas áreas son críticas y representan gran importancia dentro de su ciclo de vida (Fig. 1), ya que si estos quelonios no tuvieran acceso a estas playas su reproducción no sería exitosa (Meylan *et al.*, 1990).

Históricamente el hombre ha ejercido una elevada presión sobre las poblaciones de tortugas marinas alrededor del mundo debido a una combinación de factores dentro de los cuales se incluyen la pesca comercial y artesanal en el pasado, la captura incidental y furtiva, saqueo de nidos, la degradación y la pérdida

de los hábitats de alimentación y anidación (Briseño-Dueñas, 1980; Sandoval, 2008). Como consecuencia de estos impactos la abundancia de anidación en las playas principales de anidación ha disminuido (Shanker *et al.*, 2003). Esto ha llevado al desarrollo de programas de conservación y protección en favor de estos quelonios alrededor del mundo, especialmente en México, donde además de haberse tomado medidas legales y jurídicas, cada año se instalan campamentos tortugueros a lo largo del litoral mexicano para su protección (Márquez, 2002; Sandoval, 2008).

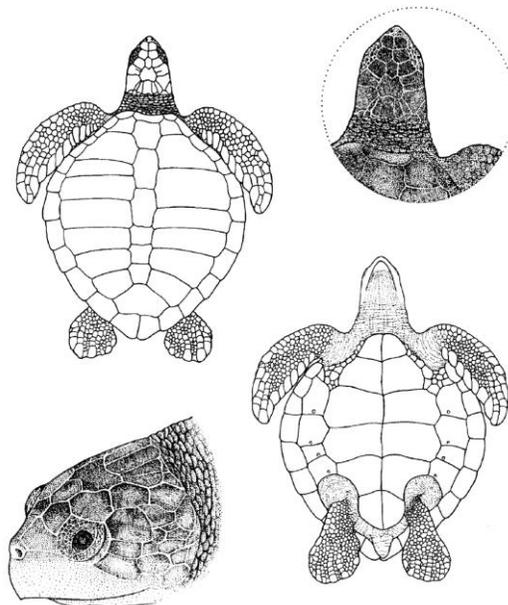
Las principales actividades que realizan los distintos campamentos tortugueros en México son patrullar y monitorear las playas de anidación y coleccionar los nidos para trasladarlos a criaderos o viveros en ciertas áreas de la playa que se encuentran protegidas. El objetivo de estas prácticas es incrementar el éxito de eclosión y reducir la mortandad de los neonatos debido a la caza furtiva, la depredación natural, así como a cambios en la playa debido a eventos meteorológicos como tormentas y huracanes (García *et al.*, 2003; Cornelius *et al.*, 2007; Van Houtan y Bass, 2007).



**Figura 1.** Ciclo de vida de las tortugas marinas (tomada de Miller 1996).

Hoy en día todas las especies de tortugas marinas en el mundo son consideradas vulnerables, amenazadas o en peligro de extinción, por lo que sin excepciones se encuentran incluidas en el Apéndice I de los acuerdos del CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna) y dentro de la Lista Roja de la IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) (Sandoval, 2008; Brusca, 2010). En México, las siete especies que se distribuyen en sus costas, están incluidas dentro de la Norma Oficial NOM-059-SEMARNAT-2010 y la NOM-162-SEMARNAT-2012 como en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010; SEMARNAT, 2012).

La tortuga golfina (*L. olivacea* Eschscholtz, 1829) (Fig. 2) es la especie más abundante en la actualidad (Pritchard, 1997; Valverde *et al.*, 2012), sin embargo se encuentra categorizada como vulnerable por la IUCN (Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN, <http://www.iucnredlist.org> [última consulta: 30.05.2016]). En el Pacífico Oriental se distribuye desde el noroeste de la Península de Baja California y el Golfo de California, hasta Chile (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2005; Brusca, 2010). Las principales zonas de anidación en el Golfo de California se encuentran en las costas de Sinaloa y en la región sur de la Península de Baja California, en Los Cabos y Todos Santos (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2005; Sandoval, 2008).



**Figura 2.** Características morfológicas de *L. olivacea* (tomada de Pritchard y Mortimer 2000).

Esta especie alcanza su edad reproductiva relativamente rápido, a los 13 años de edad aproximadamente (Zug *et al.*, 2006), en comparación con otras especies (la tortuga amarilla a los 30 años) (Snover, 2002). Su temporada de anidación en las costas mexicanas se desarrolla de junio a febrero, con un incremento en septiembre y octubre (Márquez, 2002; García *et al.*, 2003). Cada hembra pone un promedio de 105.3 huevos por nido, que se incuban por aproximadamente 45 días (Márquez, 1990). Esta especie presenta dos estrategias reproductivas, anida de forma solitaria como el resto de las especies de tortugas marinas y bajo ciertas circunstancias, aún desconocidas, llegan a anidar en grupos de cientos de individuos de forma sincronizada en un intervalo corto de tiempo, de unas horas a varios días. Este fenómeno de anidación se denomina arribada o arribazón y es un atributo exclusivo de algunas poblaciones de la tortuga golfina y de la tortuga lora (*Lepidochelys kempi*) (presente en Tamaulipas, dentro del Golfo de México), el cual sólo ocurre en algunas playas en específico en el Pacífico Oriental, Indo-Pacífico y el Atlántico Oriental. En el Pacífico Mexicano el fenómeno de las arribadas ocurre en las playas de Michoacán y Oaxaca. La playa de anidación La Escobilla, en las costas de Oaxaca, es considerada una de las más importantes del mundo (Márquez *et al.*, 1982; Jiménez-Quiroz *et al.*, 2003; Seminoff y Wallace, 2012).

Una arribada es un fenómeno caracterizado por la anidación de un número elevado de tortugas marinas en condiciones de tiempo y espacio limitados. Es decir, muchas hembras anidan en una porción de playa bien definida en un periodo de tiempo relativamente corto, lo que ocasiona una alta densidad. Este fenómeno puede transformar de un momento a otro una playa solitaria y tranquila en un sitio lleno de movimiento, donde se logran observar cientos de tortugas anidando, entrando y saliendo de la playa, albergando en la arena, a unos centímetros de profundidad, miles de huevos durante una sola noche (Albavera, 2011).

La arribada es una estrategia que para las tortugas del género *Lepidochelys* parece ser exitosa; la principal ventaja es que al poner una alta cantidad de huevos en un periodo tan corto los depredadores no podrán acabar con todos, disminuyendo de esta forma su depredación. También presenta algunas desventajas; por ejemplo, una marea alta que inunde toda la playa puede destruir la mayoría de los nidos de una

arribada. Los mecanismos involucrados con el comportamiento de este fenómeno aún se desconocen, aunque es probable que estén relacionados con factores biológicos y factores ambientales presentes en las playas (Márquez, 2002; Jiménez-Quiroz *et al.*, 2003; Honarvar, 2007; Albavera, 2011).

Las playas abiertas, aisladas, con poca pendiente, de media energía y generalmente limitadas en su parte terrestre por cuerpos de agua como arroyos, esteros o marismas, son las más visitadas por las tortugas del género *Lepidochelys*, donde anidan en espacios libres de vegetación (López-Castro *et al.*, 2004; Márquez, 2002). Se ha señalado la existencia de condiciones adecuadas de humedad, temperatura, salinidad y oxígeno para que los huevos se desarrollen adecuadamente. Estos factores tienen interacciones que pueden variar de acuerdo con las características de la playa, como es el régimen de marea, el tipo de suelo y el clima, entre otros (López-Castro *et al.*, 2004; Arzola-González, 2007).

Los ciclos reproductivos de las tortugas marinas tienden a ser anuales, bianuales o trianuales. En el caso del género *Lepidochelys* el ciclo más frecuente es el anual, de hábitos de desove nocturnos, aunque en ocasiones también anida durante el día, principalmente durante las arribadas. Esta secuencia cíclica no es definitiva, ya que puede retrasarse por un año o en ocasiones suspenderse por periodos más largos, debido a la escasez de alimento, enfermedades o cambios ambientales extraordinarios (como el efecto de las corrientes cálidas o frías producidas por el fenómeno de “El Niño” o “La Niña” respectivamente) (Márquez, 2002). El momento de anidación puede ser influido por factores ambientales, principalmente por las fases lunares, mareas, humedad, temperaturas e incluso la fuerza y dirección del viento (Pritchard y Márquez, 1973; Márquez, 2002; Arzola-González, 2007; Honarvar, 2007; Garcon *et al.*, 2009).

Las tortugas marinas son generalmente vistas como vulnerables ante el cambio climático debido al papel que juega la temperatura en la determinación del sexo de los neonatos, su larga historia de vida, la edad de maduración y su naturaleza altamente migratoria. Por millones de años han sobrevivido a los cambios del clima del pasado, incluidos los períodos glaciales y los episodios de calentamiento, por lo tanto presentan una cierta capacidad de adaptación.

Actualmente las tasas de aumento en los cambios de temperatura son muy rápidas y la capacidad de las tortugas marinas para adaptarse a este rápido cambio puede verse comprometida. Los impactos del cambio climático son complejos y pueden resultar ser tanto positivos como negativos sobre sus diferentes poblaciones (Poloczanska *et al.*, 2009).

Las temperaturas tienden a impactar directamente todas sus etapas de vida, tales como la determinación del sexo, las tasas de desarrollo y crecimiento. La alteración de los patrones de viento y corrientes oceánicas podría tener consecuencias para las crías y adultos en el océano abierto. El aumento del nivel del mar y el aumento en la intensidad de las tormentas puede impactar negativamente en las playas de anidación, sin embargo, las tormentas también pueden conducir a la acreción costera (Poloczanska *et al.*, 2009).

Los muestreos de los perfiles de playa en las zonas de anidación ayudan a estimar los índices de tendencias sobre la acreción o erosión de las playas. El monitoreo de los cambios en la posición de la línea de costa constituye una herramienta útil para la determinación de sus variaciones morfológicas, incluso para realizar evaluaciones post-tormenta de los cambios drásticos en la costa, así como de los cambios e impactos debido a los desarrollos costeros que se realicen en la zona (Rousso *et al.*, 2015).

La tortuga golfina presenta un gran número de zonas de anidación a lo largo de las costas del Pacífico Oriental, las cuales presentan diferentes características ambientales, sugiriendo que tiene una alta adaptación en relación a los sitios de anidación. Los factores que determinan porque estas playas de anidación son preferidas por esta especie en las costas del Pacífico Mexicano han sido poco estudiados, por lo que el presente trabajo determinó los factores ambientales característicos que influyen en su respuesta de anidación y sus relaciones con respecto a su anidación solitaria en la Península de Baja California y su anidación en forma de arribadas presente en Oaxaca.

## ANTECEDENTES

Pese a que la Península de Baja California es ampliamente utilizada por las tortugas marinas como zona de alimentación y en menor grado como área de reproducción, la cantidad de trabajos realizados en la región acerca de su anidación con relación a los factores ambientales presentes en las playas son escasos (López-Castro *et al.*, 2004; Rodríguez-Valencia *et al.*, 2005). Los pocos estudios se han enfocado a la distribución, abundancia, desplazamientos y uso del hábitat en lugares como Bahía de Los Ángeles, en el Golfo de California, Loreto, Punta Abreojos y Bahía Magdalena, en Baja California Sur (B.C.S.) (López-Castro *et al.*, 2004).

Un ejemplo de los estudios de anidación relacionados con los factores ambientales en el Pacífico Mexicano es el que realizó Casas-Andreu (1977), estudió la anidación de la tortuga golfinia en la playa conocida como Playón de Mismaloya, Jalisco, y playa La Escobilla, Oaxaca, así como de la tortuga lora del Golfo de México, en Barra Coma, Tamaulipas. Describió el proceso de anidación, haciendo relaciones entre las arribadas observadas y las fases lunares, condiciones de marea, los vientos y temperatura ambiente, la distancia de los nidos con respecto al nivel de máxima marea, la profundidad de los nidos, el número de huevos por nido, los periodos de incubación y horas de nacimiento de las crías.

Briseño-Dueñas (1980) describió los aspectos biológicos básicos de anidación de la tortuga golfinia en la playa El Verde, Sinaloa, en los que incluyó la densidad de la población y las relaciones observadas entre las anidaciones con parámetros ambientales como son los ciclos lunares, mareas, temperatura, humedad y los vientos durante las temporadas del 1975 al 1977. Además estableció campamentos permanentes en la zona, durante las temporadas de anidación, con el fin de proteger a las tortugas y a sus nidos, construyendo a la vez nidos artificiales, mediante diferentes técnicas, para asegurar la eclosión del mayor número de crías.

López-Castro *et al.* (2004) determinó la densidad de anidación de la tortuga golfinia en la playa de Las Barracas, Cabo Pulmo, B.C.S., así como la importancia de la humedad y temperatura de la arena en los nidos y la distancia de la línea de

marea en la selección del sitio de anidación, y sus efectos en el éxito de incubación durante la temporada del 2000.

Arzola-González (2007) analizó las relaciones de la humedad y la temperatura de la arena sobre los nidos naturales y artificiales, así como el éxito de eclosión de la tortuga golfina en la playa de anidación El Verde, Sinaloa, durante la temporada de anidación de 1992 y 1993.

Sandoval (2008) estudió la distribución de la temperatura a diferentes profundidades en los nidos de la tortuga golfina trasladados a corrales protegidos en las playas de San José del Cabo, B.C.S., en función de la temperatura ambiente, profundidad del nido y el calor metabólico de los embriones, durante las temporadas de anidación del 2004 al 2007.

Ocana *et al.* (2012) analizaron el éxito de anidación de esta especie de tortuga marina a través de una variedad de mecanismos, incluyendo la densidad de los nidos y su destrucción intra-específica, durante las arribadas presentes en la playa La Escobilla, Oaxaca.

Vega-Bravo (2014) determinó los factores ambientales que influyen en la anidación de esta especie, en las playas de anidación de Cabo San Lucas, B.C.S., durante las temporadas del 2011 y 2012, analizando estadísticamente la influencia de las mareas, fases lunares, velocidad y dirección del viento, sin embargo los resultados obtenidos no fueron lo suficientemente contundentes debido a la falta de análisis de otros factores clave como es la temperatura, la húmeda y el perfil de playa presente.

Rouso *et al.* (2015) realizaron perfiles en la playa de San Cristóbal y El Suspiro, en Los Cabos, B.C.S., relacionándolos con la densidad de nidos presente de esta especie durante la temporada del 2013, encontrando una alta dinámica en la morfología de la línea de costa la cual cambia de forma significativa debido a la influencia de intensos vientos y fuerte oleaje provocados por tormentas tropicales y huracanes, causando alteraciones en el área e impidiendo temporalmente que estos quelonios aniden en las playas hasta que fueran restauradas de forma natural. Asimismo mencionan que estos factores en combinación con el desarrollo turístico

de la zona y el cambio climático provocan una importante erosión en las playas, afectando la anidación.

Baja California Sur representa el límite noroeste del intervalo geográfico de anidación de la tortuga golfina presentando condiciones climáticas y ambientales diferentes a las del macizo continental, que influyen en la reproducción de la especie (López-Castro *et al.*, 2004), por lo que es importante realizar estudios en las áreas de anidación dentro de la región, para así conocer las preferencias de la especie por estas playas de anidación y sus posibles relaciones con el fenómeno de las arribadas que ocurren en las costas de Oaxaca.

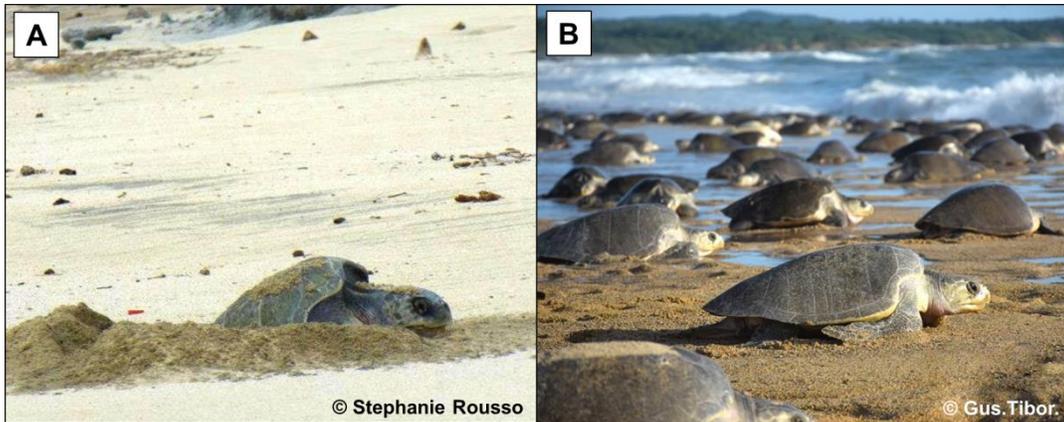
## JUSTIFICACIÓN

Estudios demuestran que los factores ambientales tienen influencia sobre la anidación de las tortugas marinas, así como en el periodo de incubación de los nidos, la supervivencia embrionaria y la determinación del sexo en las crías, sin embargo se sabe muy poco acerca de los factores ambientales que influyen en la distribución global de sus sitios de anidación.

Los pocos estudios sobre la respuesta anidación de esta especie realizados en el Pacífico Mexicano con relación a variables ambientales como la marea, fases lunares, los vientos, la temperatura y humedad ambiental presentes en los sitios de anidación se han fundamentado principalmente mediante la observación, es decir, sin el apoyo de un análisis estadístico, mientras que en la Península de Baja California estos estudios son prácticamente inexistentes.

Este estudio determinó estadísticamente los factores ambientales que tienen mayor influencia sobre la respuesta de anidación de la tortuga golfina en las playas que coordina el campamento tortuguero Asociación Sudcaliforniana de Protección al Medio Ambiente y la Tortuga Marina, A.C. (ASUPMATOMA) en Los Cabos, B.C.S., usando datos meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y mediante la elaboración de perfiles de playa.

Por otro lado, la Península de Baja California actualmente no presenta el fenómeno de arribadas, sin embargo dentro de las playas que coordina ASUPMATOMA se han reportado pequeños grupos de tortugas compuestos aproximadamente de 50 individuos saliendo a anidar en forma simultánea durante algunas noches, y aunque el comportamiento de anidación de estos quelonios durante una arribada es compleja, esto puede sugerir que anteriormente estas playas pudieron albergar este fenómeno, o que futuramente podría desarrollarse, por lo que se compararon las características ambientales de estas playas con las que coordina el Centro Mexicano de la Tortuga (CMT) en las costas de Oaxaca, para determinar las posibles relaciones que existan entre su anidación en forma solitaria y en forma de arribadas (Fig. 3).



**Figura 3.** Anidación de la tortuga marina *L. olivacea*; A) anidación en forma solitaria en las playas de B.C.S (2013); B) arribadas en las playas de Oaxaca (2014).

Las playas de anidación se caracterizan por presentar condiciones climáticas distintas, que están vinculadas a las condiciones físicas necesarias para que la incubación de los nidos se desarrolle de forma exitosa y las crías puedan dispersarse con facilidad hacia el océano. A pesar de los amplios patrones geográficos de distribución de las diferentes especies y mostrar tolerancias embrionarias similares a la temperatura y la humedad, las tortugas marinas seleccionan sus playas de anidación en diferentes áreas y nichos.

Su estrecho vínculo entre los patrones geográficos actuales de anidación y el clima, junto con la dependencia de los embriones para desarrollarse bajo el microclima presente, implica que los cambios regionales o globales en las condiciones ambientales pueden influir en la distribución diferencial de las especies de tortugas marinas. Esto podría influir en la capacidad de adaptación de las diferentes poblaciones, y la predicción de estas respuestas antes de que ocurran será importante en la mitigación de los efectos del cambio climático.

La reproducción de estos organismos en los distintos lugares geográficos de anidación ofrece la oportunidad de conocer mejor los aspectos de su biología reproductiva y su capacidad de adaptación en diferentes condiciones ambientales, principalmente con relación a su anidación, el desarrollo de sus crías y el aumento de sus poblaciones, por lo que este estudio pretende ampliar el conocimiento sobre la biología de estos quelonios, contribuyendo al diseño y aplicación de estrategias para

su manejo y conservación dentro de los campamentos tortugueros en las diferentes playas de anidación con la misión de investigar el comportamiento de las poblaciones anidadoras, sus distribuciones y los cambios que presenten a través del tiempo con respecto a los factores ambientales.

## **HIPÓTESIS**

Los factores ambientales presentes en las playas de anidación influyen en la respuesta de anidación de la tortuga golfina.

En el presente trabajo la respuesta de anidación se refiere al momento en el que los individuos de esta especie salen del mar a la playa para anidar, tomando como éxito los nidos presentes con los huevos depositados.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar y caracterizar los factores ambientales presentes en las playas de anidación de B.C.S. y Oaxaca que influyen en la respuesta de anidación de la tortuga golfina en forma solitaria y en arribadas.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Determinar y caracterizar la influencia de las mareas, fases lunares, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad ambiental sobre su respuesta de anidación solitaria en B.C.S. durante las temporadas del 2011 al 2015 y en forma de arribadas en Oaxaca durante las temporadas 2014-2015 y 2015-2016.

2. Elaborar perfiles de playa en ambas áreas de estudio, relacionarlos con su anidación y determinar la preferencia de las tortugas por anidar en los diferentes sitios del perfil durante la temporada del 2015.

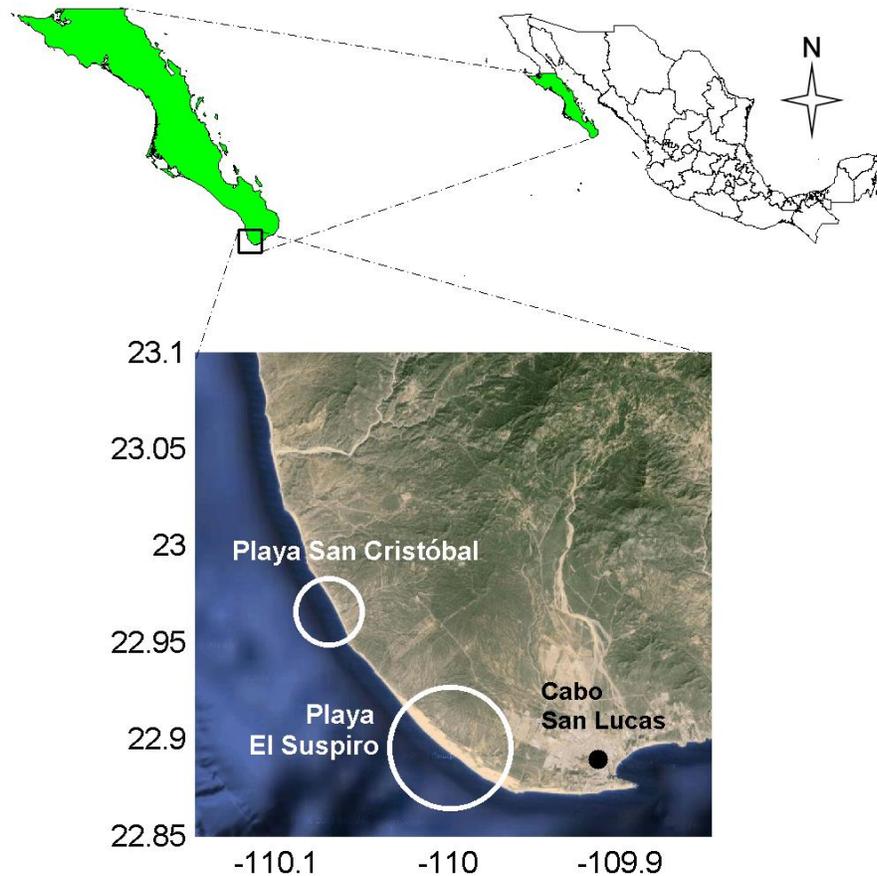
3. Evaluar estadísticamente dichos factores ambientales con su respuesta de anidación en ambas áreas de estudio y determinar las relaciones entre su anidación en forma solitaria y en arribadas.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

Las playas de anidación de estudio en B.C.S. fueron la playa de Rancho Punta San Cristóbal (22.966521, -110.066595) ubicada en el km 111 de la Carretera Federal #19 del tramo Cabo San Lucas – Todo Santos, dentro del municipio de Los Cabos, con una extensión aproximada de 5km; y la playa El Suspiro (22.891352, -109.991506) ubicada en el km 119 de la misma carretera, con una extensión aproximada de 15km (Fig. 4), en la cual actualmente al sur de esta playa se encuentra el complejo de residencias y hoteles “Cabo Diamante Beach and Golf Resort”. Ambas playas se encuentran bajo la protección de ASUPMATOMA, el cual opera desde 1995.

La ciudad de Cabo San Lucas (22.889722, -109.915556), en la parte más sur del estado y cercana a la playa de anidación, presenta un clima desértico semiseco, con una temperatura promedio anual de 26°C. La precipitación pluvial tiende a concentrarse durante agosto y septiembre. Sus playas son de arena y farallones rocosos sin vegetación. Presenta una marea mixta semidiurna. El flujo y reflujo de las corrientes van regularmente a lo largo de la costa, dependiendo de los vientos dominantes, mismos que durante la primavera y verano provienen del norte y noroeste y durante el otoño e invierno provienen del sur y sureste. Las condiciones climáticas y ambientales pueden verse modificadas por el paso de ondas tropicales, sistemas de baja presión y huracanes (DGAOHM, 2013).



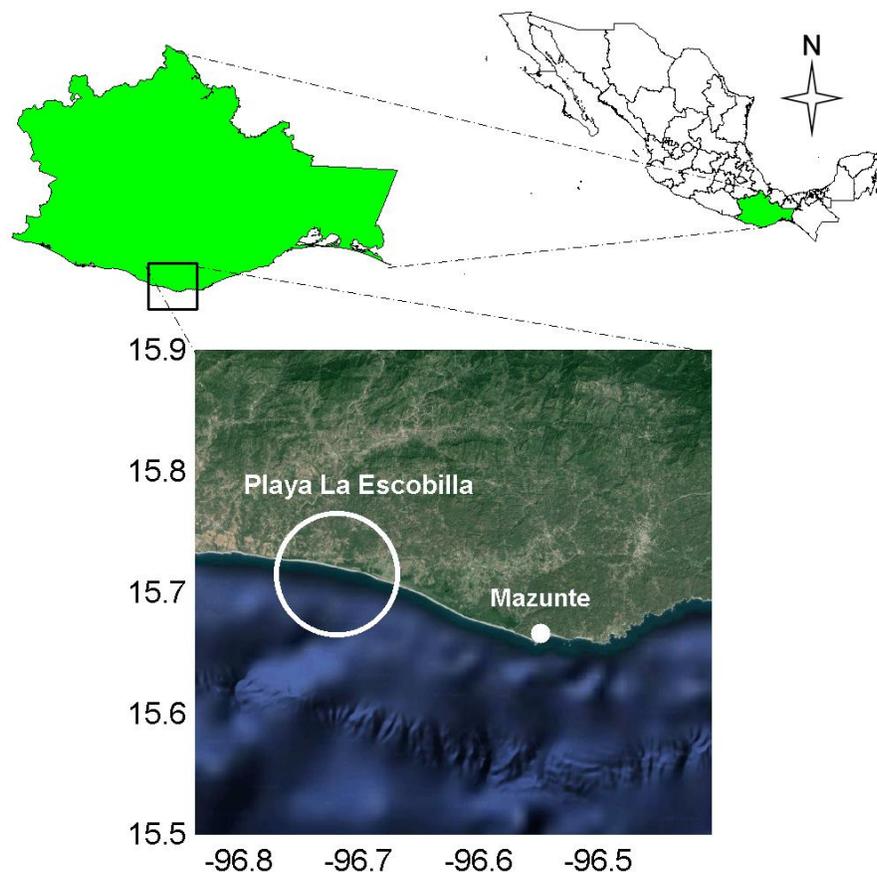
**Figura 4.** Área de estudio. Playas de anidación San Cristóbal y El Suspiro, las cuales se encuentran bajo la protección del campamento ASUPMATOMA en Los Cabos, B.C.S.

La playa de anidación de estudio en las costas de Oaxaca fue playa La Escobilla (15.727101, -96.747011), ubicada en el km 181 de la Carretera Federal #200 del tramo Puerto Escondido – Pochutla, dentro del Municipio de Santa María Tonameca (Fig. 5), con una extensión aproximada de 15km, que junto con las playas de Barra de La Cruz (15.832154, -95.949784) y Morro Ayuta (15.895689, -95.769548) se encuentran bajo la protección del CMT (15.666582, -96.551930), ubicado en el km 10 de la Carretera Federal #175 del tramo San Antonio – Puerto Ángel, en Mazunte, Oaxaca, el cual opera desde 1994 y es dependiente de la Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

Actualmente playa La Escobilla es considerada como una de la más importante del mundo debido a la gran cantidad de desoves y número de arribadas que presenta de la tortuga golfina cada temporada (más de un millón de nidos por

temporada), por lo que fue decretada como Área Natural Protegida bajo la categoría de Santuario desde el 2002 y se encuentra protegida en coordinación con la Armada de México y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

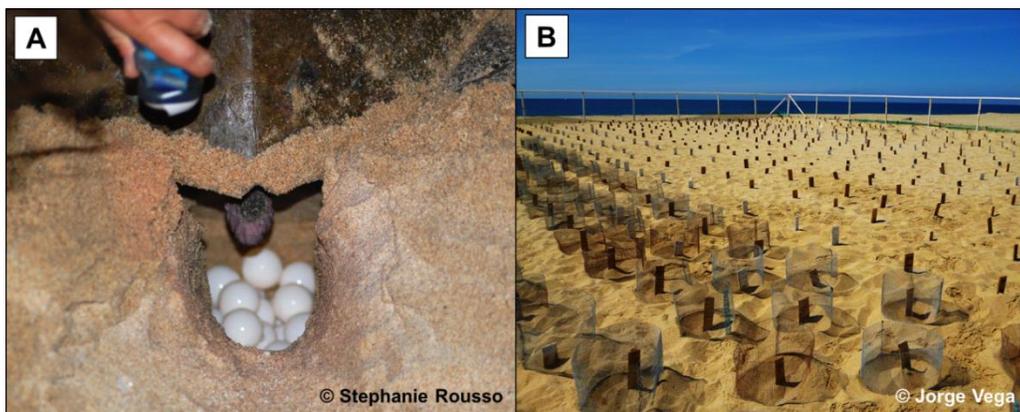
Esta playa se encuentra limitada por pequeños esteros de poca importancia y que sólo drenan al mar durante la temporada de lluvias. Presenta un régimen de marea de tipo semidiurno. El clima regional es caliente y subhúmedo. La temperatura media anual es superior a 28°C. Las lluvias se presentan generalmente entre mayo y octubre, concentrándose en el mes de septiembre, lo que denota la influencia de ciclones tropicales en esta época del año (CONANP, 2009).



**Figura 5.** Área de estudio. Playa de anidación La Escobilla, la cual se encuentra bajo la protección del Centro Mexicano de la Tortuga en Santa María Tonameca, Oaxaca.

## Registro de nidos y arribadas

Los datos de los nidos de la tortuga golfina en B.C.S. fueron proporcionados por lo campamento tortuguero ASUPMATOMA. Estos se contabilizaron y registraron por noche durante cinco temporadas de anidación, del mes de julio al mes de noviembre de los años 2011 a 2015, en los patrullajes nocturnos que se realizan en las playas (Fig. 6). Se identificaron en la arena los rastros recién hechos por esta especie para localizar sus nidos con los huevos depositados o a las tortugas en proceso de desove. Para llevar un control, los rastros y los nidos identificados se marcaron con una estaca, registrando en una bitácora la fecha, su número secuencial correspondiente, la zona de la playa donde se encontraron y su ubicación con un ayuda de un geoposicionador satelital (GPS).



**Figura 6.** Nidos de *L. olivacea* (septiembre de 2013); A) nidos naturales (*in situ*) en las playas de anidación; B) nidos trasladados a los corrales (*ex situ*) del campamento ASUPMATOMA.

En el caso de las arribadas que ocurren en las playas de Oaxaca, estas son registradas por los campamentos tortugueros que coordina el CMT (Fig. 7). Los datos de la fecha de inicio, la fecha de término y nidadas estimadas de las arribada en playa La Escobilla durante el la temporada 2014-2015 fueron proporcionados por el campamento de dicha playa; para la temporada 2015-2016 sólo se proporcionaron los datos de la fecha de inicio correspondientes al año 2015. Actualmente el número de anidaciones durante las arribadas en La Escobilla se estima aplicando el método del transecto por franjas en un tiempo (Valverde y Gates, 2000).



**Figura 7.** Fenómeno de arribada en playa La Escobilla, Oaxaca (noviembre de 2015).

### **Mareas, fases lunares, vientos, temperatura y humedad ambiental**

Las mareas y los ciclos lunares se consultaron en tablas de marea para Cabo San Lucas, B.C.S., y Puerto Ángel, Oaxaca, elaboradas por el programa MAR®, diseñado por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Las fases lunares fueron consideradas de la siguiente forma: luna llena y nueva como el día que se presentó cada fase más dos días antes y dos después de dicho día (cinco días totales respectivamente), y como luna de cuarto menguante y creciente el resto de los días entre luna llena y nueva respectivamente (Dornfeld *et al.*, 2015). Los datos de marea se presentaron en unidades de cm, con una resolución temporal de una hora tomando como referencia el nivel medio del mar (NMM). Posteriormente se realizó un promedio diario por noche de 12 horas, de las 19:00 a las 7:00 hrs, horas típicas en el que esta especie anida. Si el valor del promedio superó el NMM, se consideró como marea alta, si se encontró por debajo del NMM, se consideró como marea baja. Se relacionó la marea y la fase lunar presente con el número de nidos registrados por noche en las playas de San Cristóbal y el Suspiro (ambas playas de forma conjunta) y con las noches que presentaron arribadas en playa La Escobilla (de la fecha de inicio a la fecha de término). Si no se contó con la fecha de término de la arribada, se relacionaron tres noches por arribada, tiempo promedio que corresponde la duración de una arribada (la noche de inicio más las dos noches siguientes).

Los datos de la velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad ambiental fueron proporcionados por la Estación Meteorológica Automática (EMA) de Cabo San Lucas (22.881111, -109.926667) y Puerto Ángel (15.671111, -96.497222), pertenecientes al SMN. Los datos de los vientos se presentaron en unidades de km/h y grados horarios (giro en sentido de las manecillas del reloj) donde los 0° es el norte verdadero, con una resolución temporal de 10 min, se realizó un promedio por hora y posteriormente se realizó un promedio diario por noche de 12 horas, de las 19:00 a las 7:00 hrs. Se calculó la media total de la velocidad del viento con los vientos que se presentaron durante las noches de las cinco temporadas de anidación de estudio de forma conjunta para B.C.S., y durante las noches que presentaron arribadas en las dos temporadas de anidación de estudio de forma conjunta para Oaxaca. Si el valor del promedio por noche superó la media, se consideró como viento de alta magnitud, si no fue así, se consideró como viento de baja magnitud. La dirección del viento se dividió en cuatro grupos principales: los vientos provenientes del norte (entre 315° y 45°), este (entre 45° y 135°), sur (entre 135° y 225°) y oeste (entre 225° y 315°). Los datos de temperatura y humedad ambiental se presentaron en unidades de °C y % respectivamente, con una resolución temporal de 10 min. Sus medias totales se calcularon de la misma forma en la que se calculó la media de la velocidad del viento, así como los diferentes intervalos para ambas variables (temperatura baja y alta, porcentaje de humedad bajo y alto), realizando el mismo promedio diario por noche de 12 horas. Finalmente las variables ambientales presentes se relacionaron con el número de nidos registrados por noche en las playas de estudio de B.C.S. y con las noches que presentaron arribadas en la playa de estudio de Oaxaca.

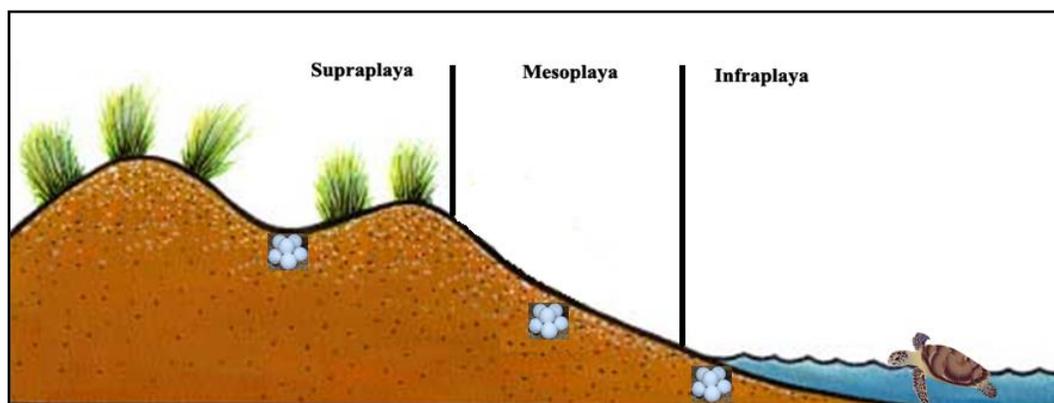
Se manejó un promedio diario de 12 horas nocturnas debido a que no se contó con el registro de la hora exacta en la que las tortugas salieron a la playa para anidar, por lo que no fue posible obtener los datos puntuales de las condiciones ambientales presentes en dicho momento, sin embargo este método mantiene la tendencia en los cambios que presentan dichas variables ambientales dentro de las series de tiempo analizadas (Vega-Bravo, 2014). Esta misma metodología se aplicó durante las arribadas para lograr realizar una comparación con respecto a esta forma de anidación.

## Caracterización de playas de anidación en Baja California Sur y Oaxaca

Para caracterizar las playas de anidación se elaboraron perfiles de playa en ambas áreas de estudio a lo largo del año 2015, los cuales registraron los siguientes aspectos: localización geográfica, longitud, ancho y pendiente de la playa (complementario a esto, se lograron obtener datos de la humedad relativa y granulometría de la arena en algunos perfiles).

Se determinó la preferencia de las tortugas por anidar en los diferentes sitios de los perfiles elaborados en las playas de estudio de B.C.S., registrando la ubicación de los nidos durante la temporada del 2015. Las coordenadas geográficas y la ubicación de los nidos se obtuvieron con un GPS. Los perfiles se realizaron siempre bajo condiciones de marea baja y en secciones o estaciones de la playa que presentaron diferencias morfológicas.

Dichos perfiles se elaboraron usando un nivel Abney y un estadal graduado en cm a lo largo de un transecto, desde la base de la duna frontal hasta la zona del rompiente de olas (UNESCO, 2005), dividiendo la playa en tres zonas principales: infraplaya (zona que presenta influencia de la marea), mesoplaya (zona libre de la influencia de la marea y la vegetación) y supraplaya (zona que presenta vegetación) (Fig. 8). La división de la playa en estas tres zonas es utilizada por el campamento ASUPMATOMA en sus monitoreos y registros de nidos.



**Figura 8.** Esquema de los diferentes sitios del perfil de playa. Infraplaya (zona que presenta influencia de la marea), mesoplaya (zona libre de la influencia de la marea) y supraplaya (zona que presenta vegetación).

En cuanto a la humedad relativa de la arena, las muestras de arena se tomaron a una profundidad de 30 a 40 cm (de 200 a 300 g) en los tres diferentes sitios de cada perfil (infraplaya, mesoplaya, supraplaya), se colocaran en bolsas herméticas etiquetadas, registrando el peso húmedo *in situ*, para después secarlas en el laboratorio de oceanografía de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) y el laboratorio del CMT, obteniendo la humedad relativa, calculada como el porcentaje que representa el peso del agua contenido en la muestra con respecto al peso seco (peso húmedo menos peso seco de la arena) (McGehee, 1979). La granulometría de la arena se determinó haciendo pasar cada muestra a través de una serie de tamices de diferente luz de malla (3.4mm, 84 $\mu$ m y 42 $\mu$ m) (Fowler, 1979). El tamaño de grano se clasificó de acuerdo a la luz de malla de cada tamiz: el grano acumulado en el tamiz de 3.4mm se clasificó como “grano grande”, el de 84 $\mu$ m como “grano medio”, el de 42 $\mu$ m como “grano chico” y la arena restante del tamizado como “grano fino”.

Finalmente, en las playas de estudio de B.C.S., se contabilizó el número de nidos presentes en cada zona (infraplaya, mesoplaya, supraplaya) durante la temporada del 2015, registrados por el personal del campamento ASUPMATOMA durante los monitoreos. Posteriormente se contabilizaron y relacionaron los nidos con los diferentes perfiles de playa, durante cada mes de la temporada de anidación, utilizando la ubicación registrada por el GPS de cada nido y la ubicación registrada de cada perfil. Sí el perfil contó con datos de humedad relativa y granulometría de la arena durante su tiempo de elaboración, estos se relacionaron con la anidación en dichos perfiles.

### **Análisis de datos**

Para determinar la existencia de diferencias significativas en los valores por medias o rangos y las distribuciones de frecuencias observadas, y relacionar las características ambientales de las playas de anidación de B.C.S. y Oaxaca con la anidación de la especie, se realizaron pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas, pues algunos grupos de datos analizados no cumplieron con el

supuesto de normalidad según la prueba realizada de Shapiro-Wilk (Zar, 2010). Todas las pruebas se realizaron con un nivel de significancia de 0.05.

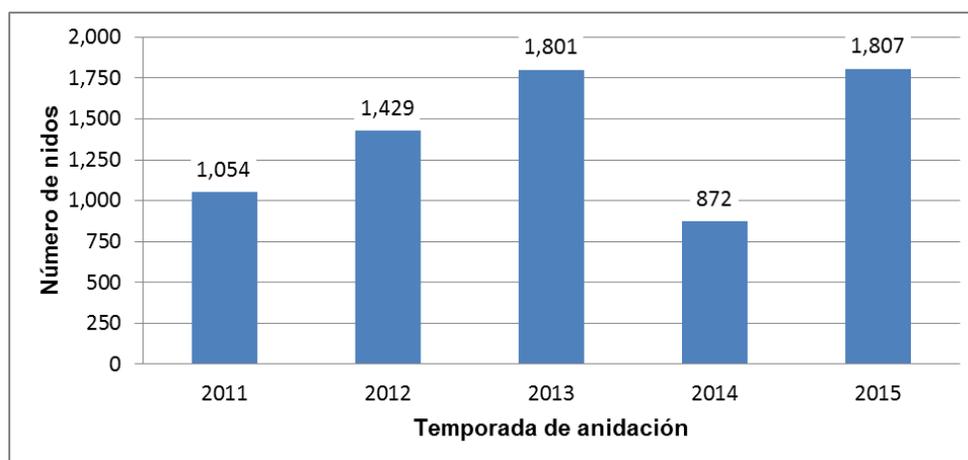
Para conocer la dependencia entre el número de nidos con las mareas, fases lunares, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad ambiental durante las temporadas de anidación en las playas de B.C.S., se utilizó una de dos pruebas no paramétricas según variable ambiental correspondiente: la prueba de suma de rangos de Mann-Whitney (U) (mareas, velocidad del viento, temperatura y humedad ambiental) o la prueba de varianza por rangos de Kruskal-Wallis (H) (fases lunares y dirección del viento). Para conocer la relación entre el número de nidos y las variables ambientales se utilizó un análisis no paramétrico de correlación por rangos de Spearman ( $r_s$ ) (Zar, 2010). Estas pruebas fueron analizadas en el programa SigmaPlot®. Para conocer la dependencia entre la ocurrencias de las arribadas con cada una de estas variables ambientales en las playas de Oaxaca, se utilizó la prueba de independencia de ji-cuadrada ( $\chi^2$ ) de un criterio (Daniel, 1980).

Los datos de los diferentes perfiles de playa fueron capturados y analizados en el programa Excel®. Para conocer la dependencia entre el número de nidos presentes en cada zona (infraplaya, mesoplaya, supraplaya) se utilizó la prueba de independencia de ji-cuadrada de un criterio (nidos vs zona), así como para conocer la dependencia entre el número de nidos que se presentaron de forma general dentro de cada perfil (nidos vs perfil). Para conocer la dependencia del número de nidos presentes en cada zona con respecto a los diferentes perfiles elaborados se utilizó la prueba de independencia de ji-cuadrada de dos criterios (nidos vs zona y perfil). Finalmente, para conocer la dependencia del número de nidos en cada zona, por perfil, durante cada mes de la temporada de anidación del 2015, se utilizó la prueba de independencia de ji-cuadrada de tres criterios o múltiple (nidos vs zona, perfil y mes) (Daniel, 1980).

## RESULTADOS

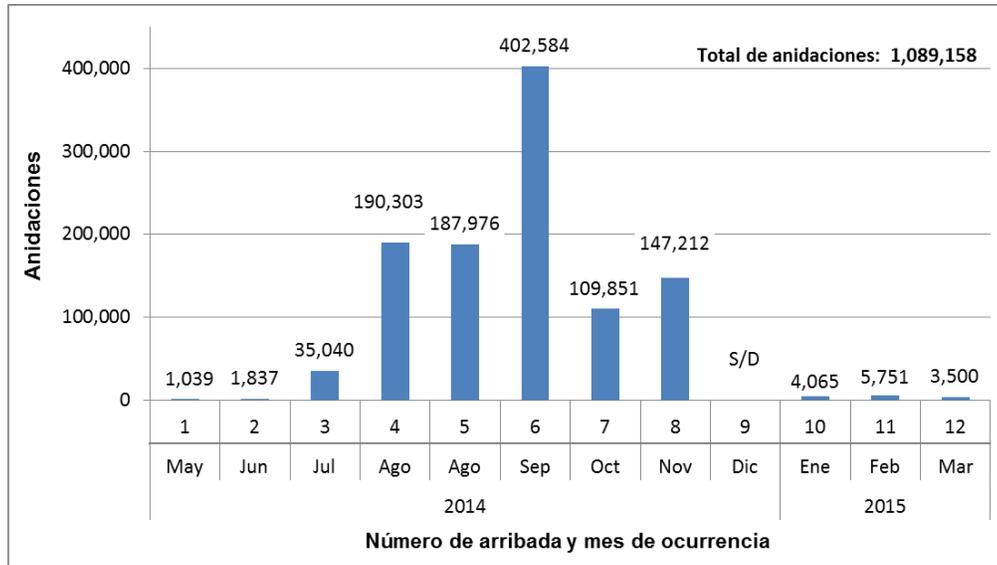
### Mareas, fases lunares, vientos, temperatura y humedad ambiental

En B.C.S. el número de nidos registrados en las playas de San Cristóbal y El Suspiro fue aumentando de la temporada del 2011 al 2015, encontrando un máximo de hasta 1807 nidos. Durante la temporada del 2014 el número de registros disminuyó a 872 nidos (Fig. 9), mismo año en el que ocurrió el paso del huracán “Odile”, categoría 4 en la escala Saffir-Simpson, al sureste de Cabo San Lucas el día 14 de septiembre. El mayor número de registros de nidos durante cada temporada ocurrieron durante el mes de septiembre, con excepción de la temporada 2014.



**Figura 9.** Número de nidos en las playas de B.C.S. durante las temporadas del 2011 al 2015.

Por otro lado, en playa La Escobilla se registraron hasta 12 arribadas durante la temporada del 2014-2015, ocurriendo aproximadamente una arribada cada mes, presentándose más de un millón de anidaciones durante toda la temporada, en la cual la arribada número seis ocurrida durante el mes de septiembre registro el máximo con más de 400 mil anidaciones (Fig. 10).

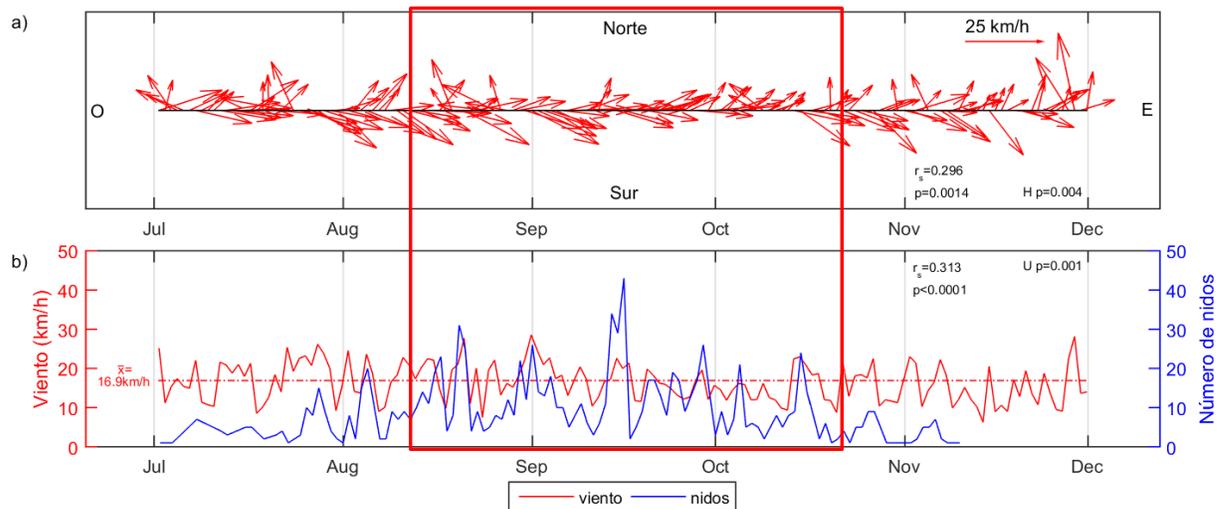


**Figura 10.** Número de anidaciones en cada arribada ocurrida en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada del 2014-2015. S/D = sin datos.

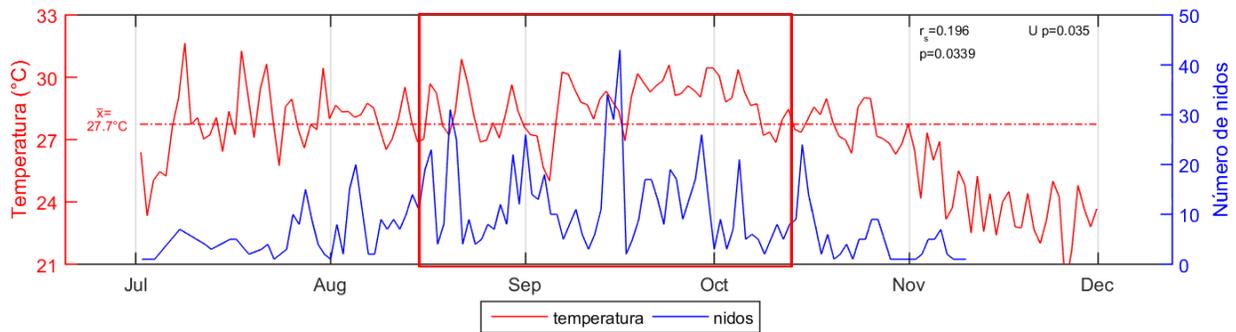
Las variables ambientales que presentaron diferencias estadísticamente significativas con relación al número de nidos presentes en las playas de estudio de B.C.S. durante la temporada del 2011 fueron los vientos de alta magnitud superiores a la media ( $\bar{x}=16.9\text{km/h}$ , 66.4% de los nidos presentes), provenientes del oeste (entre  $225^\circ$  y  $315^\circ$ , 88.8% de los nidos) (Fig. 11) y la temperatura ambiental alta superior a la media ( $\bar{x}=27.7^\circ\text{C}$ , 68.2% de los nidos) (Fig. 12). La mayoría de los nidos se presentaron durante una humedad ambiental alta superior a la media ( $\bar{x}=66.6\%$ , 51.9% de los nidos), marea baja por debajo del NMM (51.0% de los nidos) y fase lunar de cuarto menguante (37.6% de los nidos), sin embargo no se encontraron diferencias significativas con ninguna de estas variables (Tabla I).

**Tabla I.** Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2011 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).

Variable ambiental	Correlación	Prueba U y H	Porcentaje de nidos	%
Velocidad del viento	$r_s=0.313$	U	Magnitud baja	33.6
	$p<0.001$	$p=0.001$	Magnitud alta	66.4
Dirección del viento	$r_s=0.296$	H	Proveniente del norte	0.0
			Proveniente del este	3.1
			Proveniente del sur	8.1
			Proveniente del oeste	88.8
Temperatura	$r_s=0.196$	U	Baja	31.8
	$p=0.033$	$p=0.035$	Alta	68.2
Humedad	$r_s=0.050$	U	Baja	48.1
	$p=0.590$	$p=0.590$	Alta	51.9
Marea	$r_s=0.005$	U	Baja	51.0
	$p=0.952$	$p=0.954$	Alta	49.0
Fase lunar	$r_s=0.022$	H	Nueva	19.0
			Cuarto creciente	28.6
			Llena	14.7
			Cuarto menguante	37.6



**Figura 11.** Número de nidos con relación a (a) la dirección y (b) velocidad del viento en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2011. La dirección de las flechas indica la dirección del viento (relaciones importantes encuadradas en rojo).

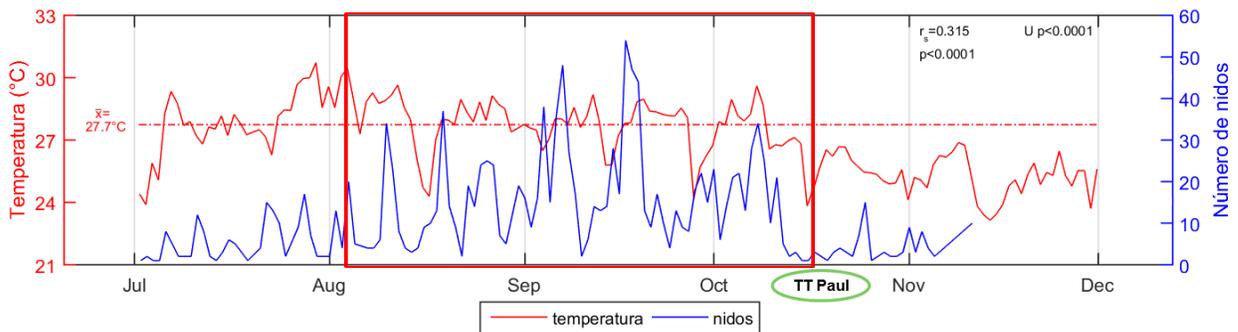


**Figura 12.** Número de nidos con relación a la temperatura ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2011 (relaciones importantes encuadradas en rojo).

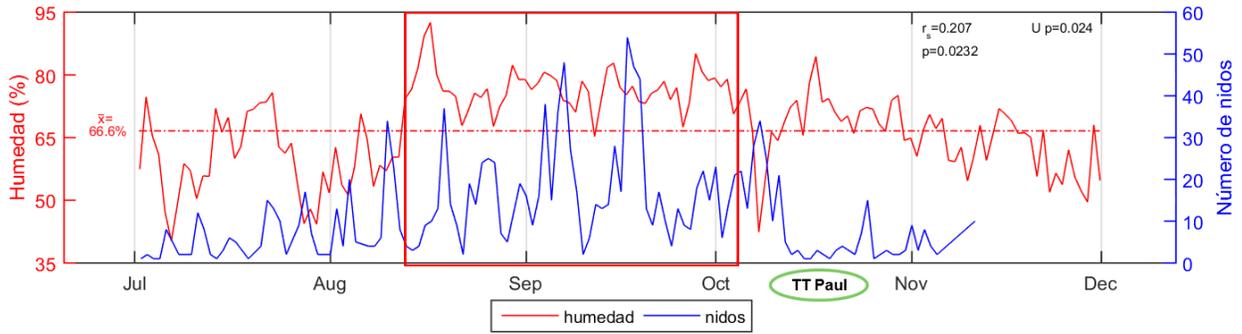
Las variables ambientales que presentaron diferencias estadísticamente significativas con relación al número de nidos presentes en B.C.S. durante la temporada del 2012 fueron la temperatura ambiental alta superior a la media (66.5% de los nidos) (Fig. 13) y la humedad ambiental alta superior a la media (75.4% de los nidos) (Fig. 14). La mayoría de los nidos se presentaron durante vientos de alta magnitud (52.1% de los nidos), provenientes del oeste (74.2% de los nidos), marea baja (52.4% de los nidos) y fase lunar de cuarto menguante (41.3% de los nidos), sin embargo no se encontraron diferencias significativas con ninguna de estas variables (Tabla II). Durante del mes de octubre se presentó el paso de la tormenta tropical “Paul” en la zona.

**Tabla II.** Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada 2012 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).

Variable ambiental	Correlación	Prueba U y H	Porcentaje de nidos	%
Velocidad del viento	$r_s=0.084$	U	Magnitud baja	52.1
	$p=0.360$	$p=0.360$	Magnitud alta	47.9
Dirección del viento	$r_s=0.078$	H	Proveniente del norte	0.0
			Proveniente del este	5.4
			Proveniente del sur	20.4
	$p=0.394$	$p=0.650$	Proveniente del oeste	74.2
Temperatura	$r_s=0.315$	U	Baja	33.5
	$p<0.001$	$p<0.001$	Alta	66.5
Humedad	$r_s=0.207$	U	Baja	24.6
	$p=0.023$	$p=0.024$	Alta	75.4
Marea	$r_s=0.081$	U	Baja	52.4
	$p=0.375$	$p=0.375$	Alta	47.6
Fase lunar	$r_s=0.138$	H	Nueva	16.2
			Cuarto creciente	29.2
			Llena	13.4
	$p=0.132$	$p=0.280$	Cuarto menguante	41.3



**Figura 13.** Número de nidos con relación a la temperatura ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2012. Tormenta tropical “Paul” (TT Paul) (relaciones importantes encuadradas en rojo).

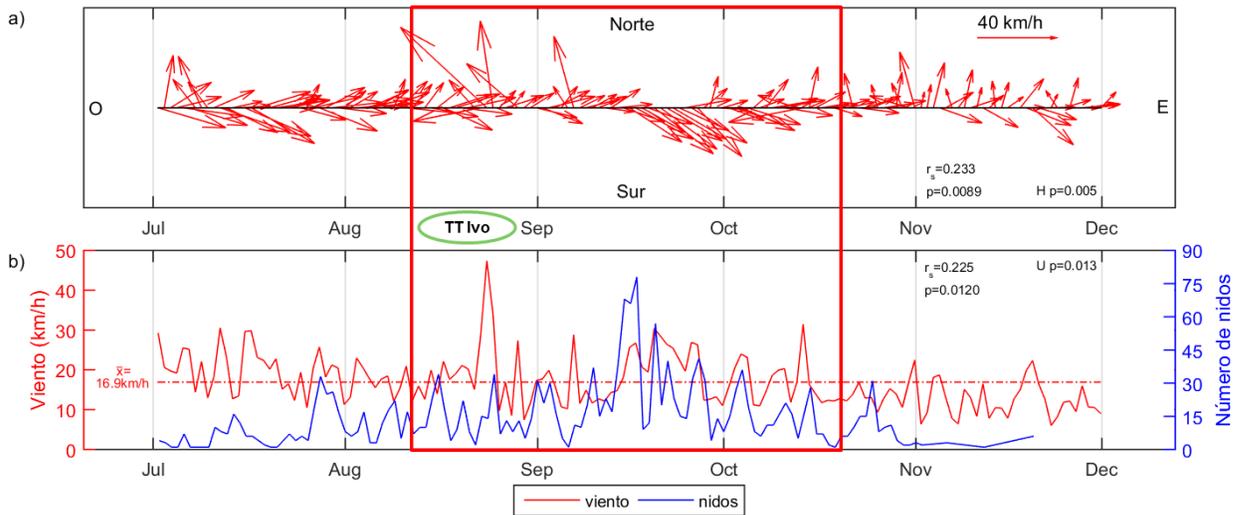


**Figura 14.** Número de nidos con relación a la humedad ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2012. Tormenta tropical “Paul” (TT Paul) (relaciones importantes encuadradas en rojo).

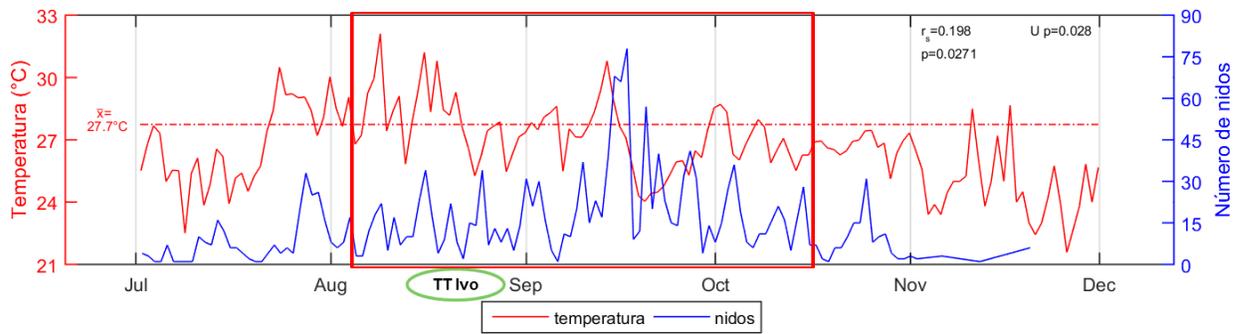
Las variables ambientales que presentaron diferencias estadísticamente significativas con relación al número de nidos presentes en B.C.S. durante la temporada del 2013 fueron los vientos de alta magnitud superiores a la media (64.6% de los nidos), provenientes del oeste (84.3% de los nidos) (Fig. 15) y la temperatura ambiental baja inferior a la media (66.2% de los nidos) (Fig. 16). La mayoría de los nidos se presentaron durante una humedad ambiental baja (51.4% de los nidos), marea baja (57.7% de los nidos) y fase lunar de cuarto menguante (37.6% de los nidos), sin embargo no se encontraron diferencias significativas con ninguna de estas variables (Tabla III). Durante del mes de agosto se presentó el paso de la tormenta tropical “Ivo” en la zona.

**Tabla III.** Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada 2013 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).

Variable ambiental	Correlación	Prueba U y H	Porcentaje de nidos	%
Velocidad viento	$r_s=0.225$	U	Magnitud baja	35.4
	$p=0.012$	$p=0.013$	Magnitud alta	64.6
Dirección viento	$r_s=0.233$	H	Proveniente del norte	2.3
			Proveniente del este	3.3
			Proveniente del sur	10.1
			Proveniente del oeste	84.3
Temperatura	$r_s=0.198$	U	Baja	66.2
	$p=0.027$	$p=0.028$	Alta	33.8
Humedad	$r_s=-0.002$	U	Baja	51.4
	$p=0.976$	$p=0.978$	Alta	48.6
Marea	$r_s=-0.131$	U	Baja	57.7
	$p=0.145$	$p=0.145$	Alta	42.3
Fase lunar	$r_s=0.162$	H	Nueva	13.2
			Cuarto creciente	35.0
			Llena	14.3
			Cuarto menguante	37.6



**Figura 15.** Número de nidos con relación a (a) la dirección y (b) velocidad del viento en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2013. La dirección de las flechas indica la dirección del viento. Tormenta tropical “Ivo” (TT Ivo) (relaciones importantes encuadradas en rojo).

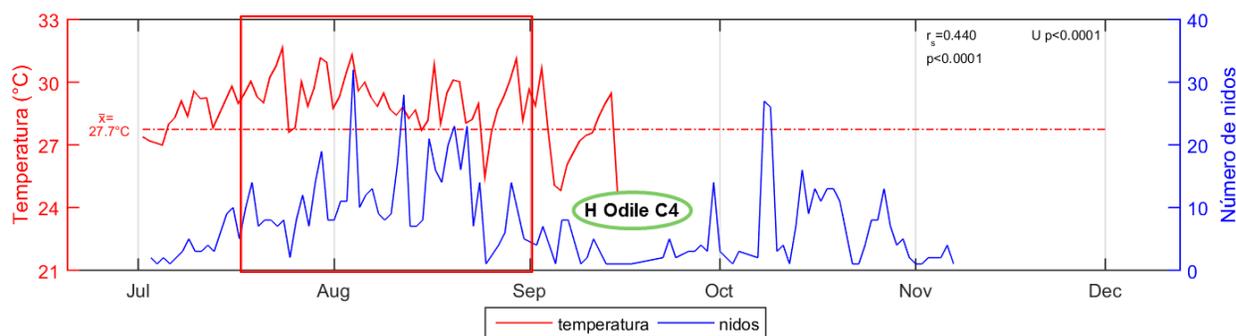


**Figura 16.** Número de nidos con relación a la temperatura ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2013. Tormenta tropical “Ivo” (TT Ivo) (relaciones importantes encuadradas en rojo).

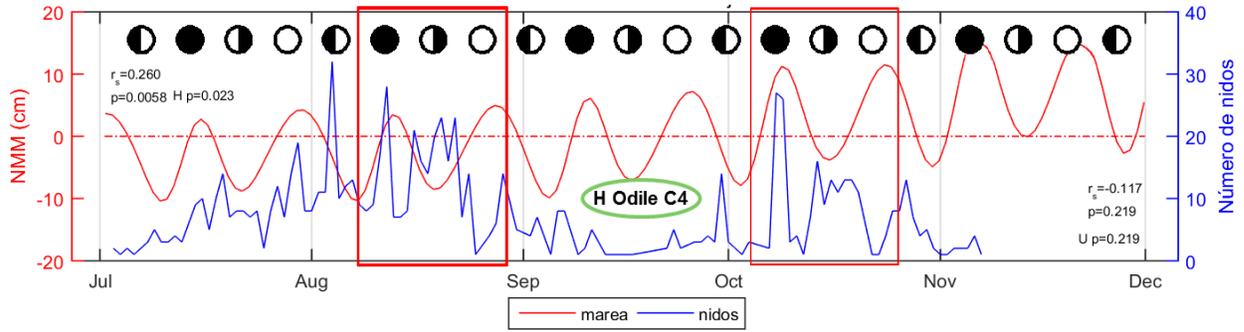
Las variables ambientales que presentaron diferencias estadísticamente significativas con relación al número de nidos presentes en B.C.S. durante la temporada del 2014 fueron la temperatura ambiental alta superior a la media (93.2% de los nidos) (Fig. 17) y la fase lunar de cuarto menguante (39.2% de los nidos) (Fig. 18). La mayoría de los nidos se presentaron durante vientos de baja magnitud (82.8% de los nidos), provenientes del oeste (61.5% de los nidos) (Fig. 19), una humedad ambiental baja (52.8% de los nidos) y marea baja (57.5% de los nidos), sin embargo no se encontraron diferencias significativas con ninguna de estas variables (Tabla IV). Por otro lado, se destaca que durante el mes de septiembre se presentó el paso del huracán “Odile” categoría 4 en la zona, afectando y disminuyendo de forma considerable la anidación. De la misma forma afecto el servicio de la EMA de Cabo San Lucas, dejándola fuera de funcionamiento durante el resto del año, afectando el análisis debido a la falta de datos.

**Tabla IV.** Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada 2014 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).

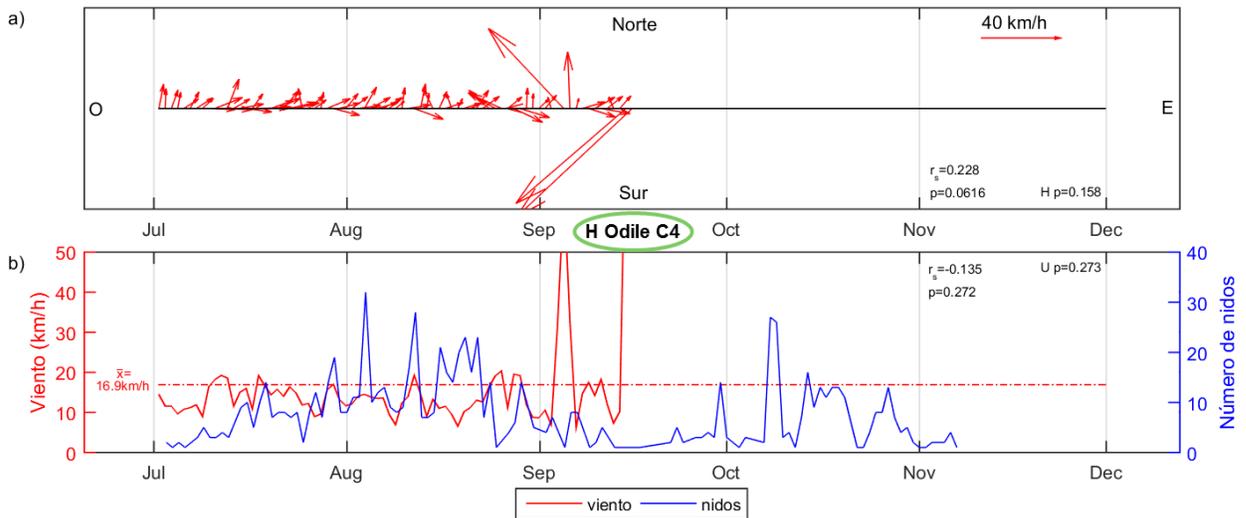
Variable ambiental	Correlación	Prueba U y H	Porcentaje de nidos	%
Velocidad del viento	$r_s = -0.135$	U	Magnitud baja	82.8
	$p = 0.272$	$p = 0.273$	Magnitud alta	17.2
Dirección del viento	$r_s = 0.228$	H	Proveniente del norte	0.0
			Proveniente del este	2.7
	$p = 0.061$	$p = 0.158$	Proveniente del sur	35.8
			Proveniente del oeste	61.5
Temperatura	$r_s = 0.440$	U	Baja	6.8
	$p < 0.001$	$p < 0.001$	Alta	93.2
Humedad	$r_s = -0.212$	U	Baja	52.8
	$p = 0.0824$	$p = 0.84$	Alta	47.2
Marea	$r_s = -0.117$	U	Baja	57.5
	$p = 0.219$	$p = 0.219$	Alta	42.5
Fase lunar	$r_s = 0.260$	H	Nueva	10.9
			Cuarto creciente	30.4
			Llena	19.5
	$p = 0.005$	$p = 0.023$	Cuarto menguante	39.2



**Figura 17.** Número de nidos con relación a la temperatura ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2014. Huracán “Odile” categoría 4 (H Odile C4) (relaciones importantes encuadradas en rojo).



**Figura 18.** Número de nidos con relación a las fases lunares y nivel medio del mar (NMM) en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2014. ○ Luna nueva, ◐ cuarto creciente, ● luna llena, ◑ cuarto menguante. Huracán “Odile” categoría 4 (H Odile C4) (relaciones importantes encuadradas en rojo).



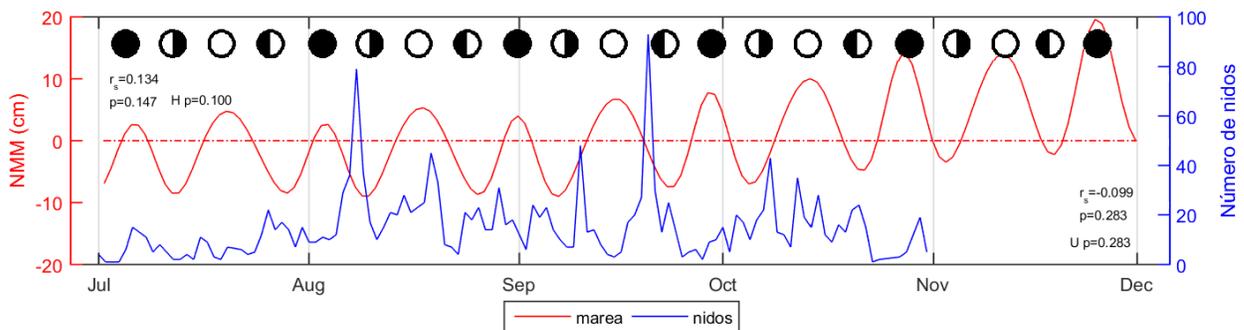
**Figura 19.** Número de nidos con relación a (a) la dirección y (b) velocidad del viento en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2014. La dirección de las flechas indica la dirección del viento. Tras el paso del huracán “Odile” categoría 4 (H Odile C4) la EMA quedó fuera de funcionamiento durante el resto de la temporada.

No fue posible realizar los análisis correspondientes con respecto a la velocidad y dirección del viento y la temperatura y humedad ambiental durante la temporada del 2015 debido a que la EMA de Cabo San Lucas continuó fuera de funcionamiento durante todo el 2015 hasta el mes de diciembre. Las variables ambientales que se analizaron con relación al número de nidos presentes fueron la

marea y la fase lunar. La mayoría de los nidos se presentaron durante marea baja (57.7% de los nidos) y la fase lunar de cuarto creciente y menguante (37.9% y 37.3% de los nidos respectivamente) (Fig. 20), sin embargo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas con estas variables (Tabla V).

**Tabla V.** Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada 2015 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H).

Variable ambiental	Correlación	Prueba U y H	Porcentaje de nidos	%
Marea	$r_s = -0.099$	U	Baja	57.7
	$p = 0.283$	$p = 0.283$	Alta	42.3
Fase lunar	$r_s = 0.134$	H	Nueva	14.6
			Cuarto creciente	37.9
	$p = 0.147$	$p = 0.100$	Llena	10.2
			Cuarto menguante	37.3



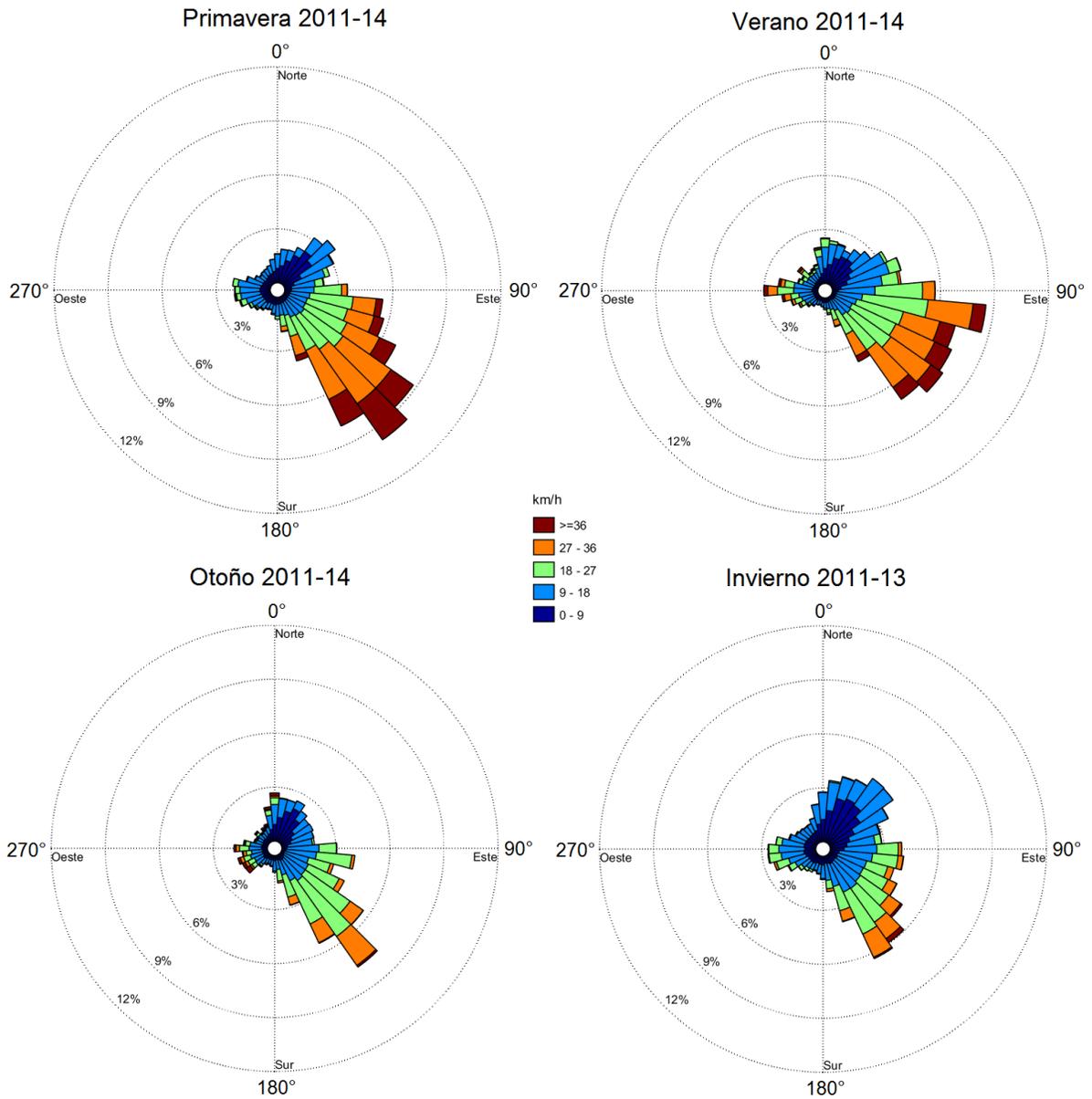
**Figura 20.** Número de nidos con relación a las fases lunares y nivel medio del mar (NMM) en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2015. ○ Luna nueva, ◐ cuarto creciente, ● luna llena, ◑ cuarto menguante.

Los análisis estadísticos sobre la relación de las diferentes variables ambientales con el número de nidos presentes en B.C.S. durante las cinco temporadas de anidación en conjunto (del 2011 al 2015) se presentan en la Tabla VI, mostrando que la humedad ambiental y la marea fueron las variables que no presentaron diferencias significativas. La rosa de los vientos muestra que durante todo el año los vientos presentaron en general una dirección paralela a la costa, con una proveniencia del noroeste (Fig. 21), mientras que durante las noches de

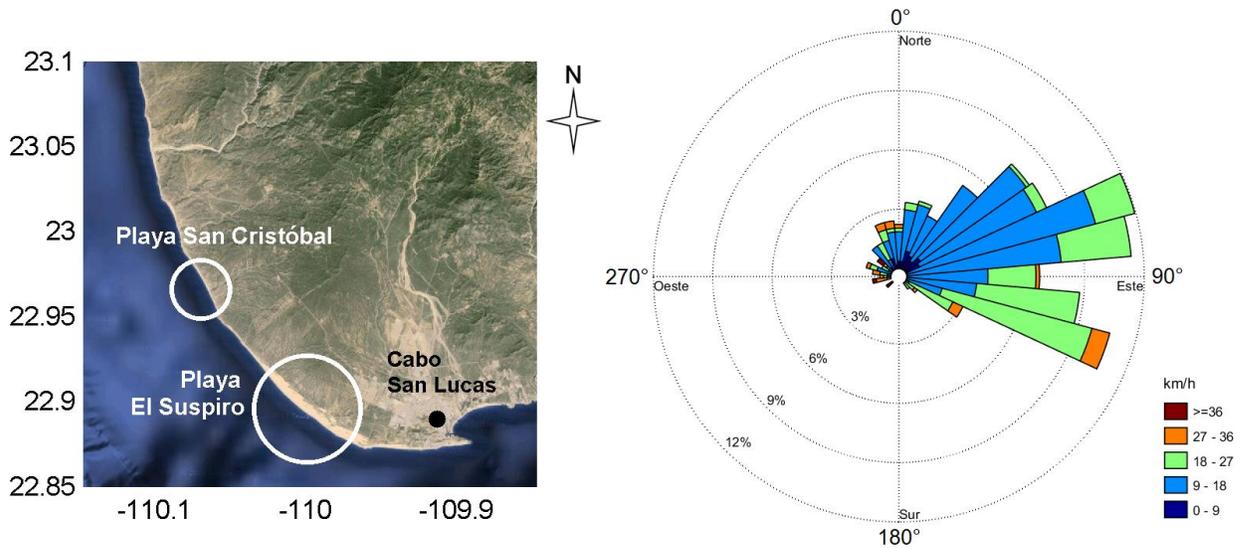
anidación de las temporadas de estudio los vientos (promediados por noche) soplaron de mar abierto hacia la costa (Fig. 22).

**Tabla VI.** Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de B.C.S. durante la temporada del 2011 al 2015 y su respectivo porcentaje de nidos registrado. Correlación de Spearman ( $r_s$ ), Mann-Whitney (U), Kruskal-Wallis (H) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).

Variable ambiental	Correlación	Prueba U y H	Porcentaje de nidos	%
Velocidad del viento	$r_s=0.171$	U	Magnitud baja	45.7
	$p<0.001$	$p<0.001$	Magnitud alta	54.3
Dirección del viento	$r_s=0.191$	H	Proveniente del norte	0.8
			Proveniente del este	3.8
			Proveniente del sur	15.8
			Proveniente del oeste	79.5
Temperatura	$r_s=0.186$	U	Baja	42.0
			$p<0.001$	$p<0.001$
Humedad	$r_s=0.034$	U	Baja	43.0
			$p=0.479$	$p=0.479$
Marea	$r_s=-0.038$	U	Baja	55.6
			$p=0.346$	$p=0.346$
Fase lunar	$r_s=0.153$	H	Nueva	14.7
			Cuarto creciente	33.0
			Llena	13.8
			$p<0.001$	$p<0.001$



**Figura 21.** Dirección, velocidad y frecuencia de los vientos en las playas de B.C.S. durante cada estación del año del 2011 al 2014. La dirección de las barras indica la dirección del viento.



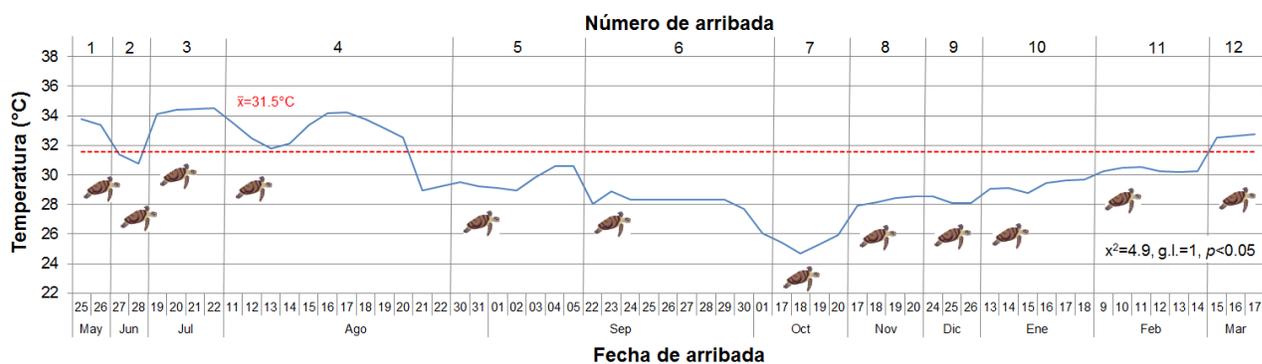
**Figura 22.** Dirección, velocidad y frecuencia de los vientos en las playas de B.C.S. durante las noches de anidación de la temporada del 2011 al 2014 (velocidad media 16.9km/h). La dirección de las barras indica la dirección del viento.

Las arribadas en playa La Escobilla, Oaxaca, presentaron una duración de una a seis noches, aunque las ocurridas en los meses de agosto y septiembre pueden llegar a tener una duración de más de una semana, como es el caso de la temporada 2014-2015 la cual presentó arribadas con una duración de hasta 11 noches. En dicha temporada se registraron un total de 12 arribadas, mientras que para la temporada 2015-2016 se contaron con nueve registros de arribadas.

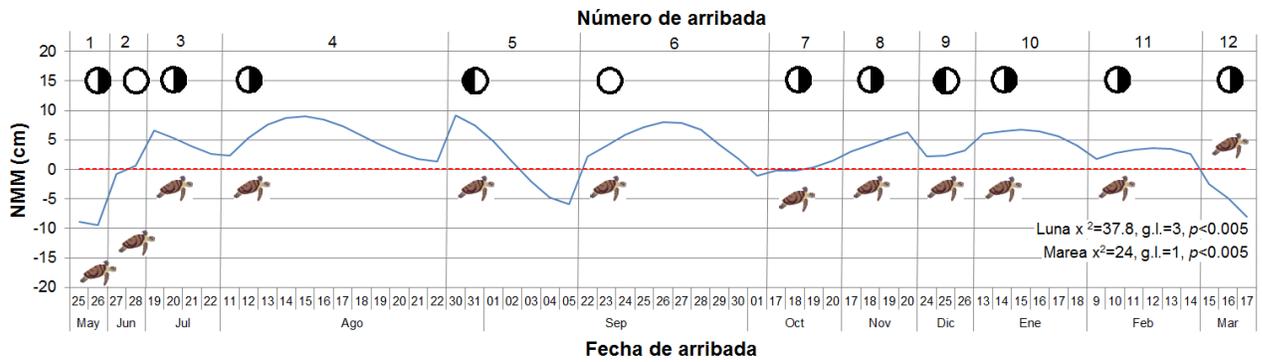
Las variables ambientales que presentaron diferencias estadísticamente significativas con relación a las arribadas registradas en Oaxaca durante la temporada 2014-2015 fueron la temperatura ambiental baja inferior a la media ( $\bar{x}=31.5^{\circ}\text{C}$ , 67.5% de las noches en las que presentaron arribadas) (Fig. 23), la marea alta por arriba del NMM (84.3% de las noches), la fase lunar de cuarto menguante (55.8% de las noches) (Fig. 24) y los vientos provenientes del oeste (entre  $225^{\circ}$  y  $315^{\circ}$ , 45.1% de las noches) (Fig. 25). La mayoría las arribadas se presentaron durante vientos de baja magnitud inferior a la media ( $\bar{x}=11.4\text{km/h}$ , 51% de las noches) (Fig. 26) y una humedad ambiental baja inferior a la media ( $\bar{x}=75.2\%$ , 53.8% de las noches) (Fig. 27), sin embargo no se encontraron diferencias significativas con ninguna de estas variables (Tabla VII).

**Tabla VII.** Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 y su respectivo porcentaje de noches que presentaron arribadas. Prueba de independencia de ji-cuadrada ( $\chi^2$ ), grados de libertad (g.l.) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).

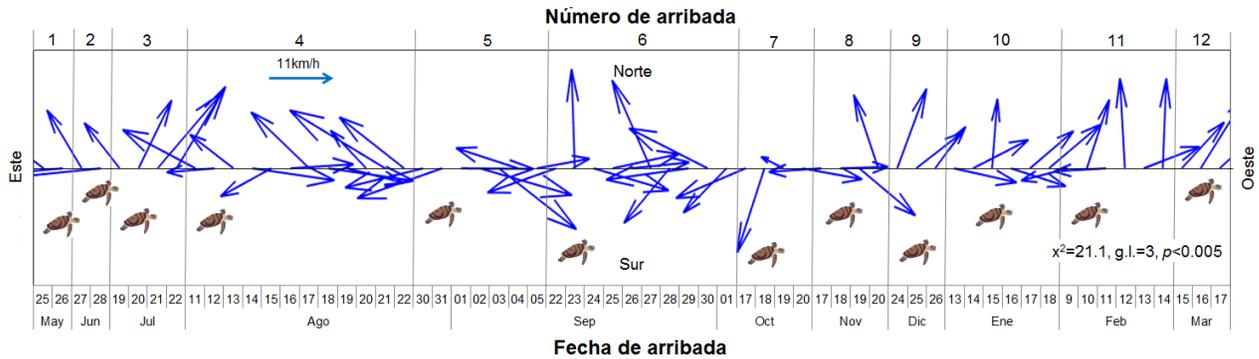
Variable ambiental	Prueba $\chi^2$	Porcentaje de noches	%
Velocidad del viento	$\chi^2=0.02$ , g.l.=1 $p>0.10$	Magnitud baja	51.0
		Magnitud alta	49.0
Dirección del viento	$\chi^2=21.07$ , g.l.=3 $p<0.005$	Proveniente del norte	2.0
		Proveniente del este	33.3
		Proveniente del sur	19.6
		Proveniente del oeste	45.1
Temperatura	$\chi^2=4.9$ , g.l.=1 $p<0.05$	Baja	67.5
		Alta	32.5
Humedad	$\chi^2=0.23$ , g.l.=1 $p>0.10$	Baja	53.8
		Alta	46.2
Marea	$\chi^2=24.01$ , g.l.=1 $p<0.005$	Baja	15.7
		Alta	84.3
Fase lunar	$\chi^2=37.86$ , g.l.=3 $p<0.005$	Nueva	11.8
		Cuarto creciente	27.5
		Llena	2.0
		Cuarto menguante	58.8



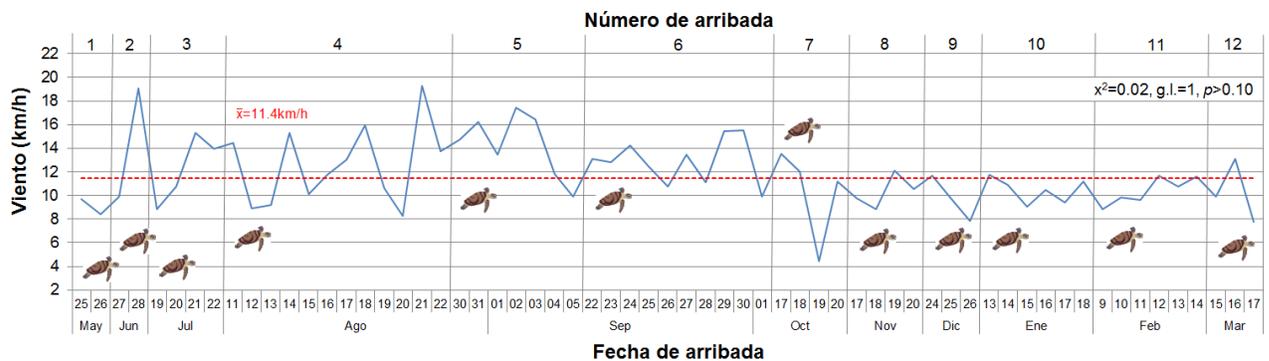
**Figura 23.** Ocurrencia de arribadas con relación a la temperatura ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 (la tortuga indica el inicio de una arribada).



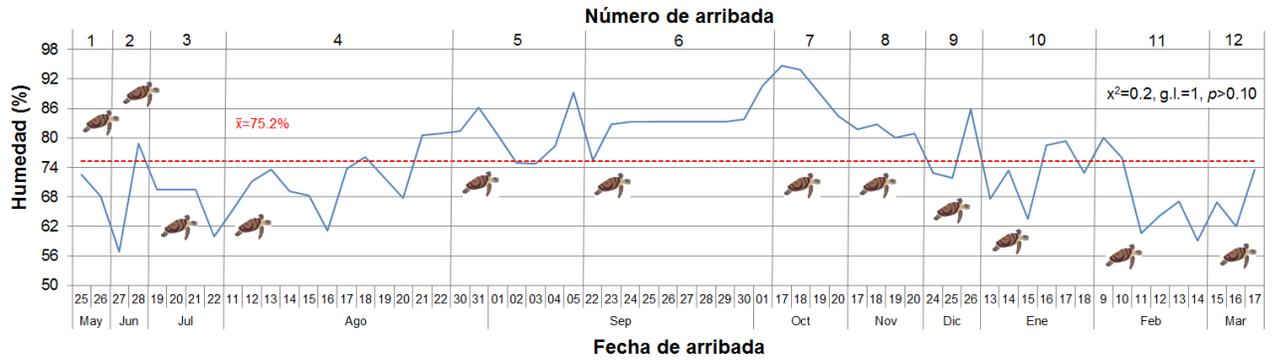
**Figura 24.** Ocurrencia de arribadas con relación a las fases lunares y el nivel medio del mar (NMM) en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015. ○ Luna nueva, ☾ cuarto creciente, ● luna llena, ☾ cuarto menguante (la tortuga indica el inicio de una arribada).



**Figura 25.** Ocurrencia de arribadas con relación la dirección del viento en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015. La dirección de las flechas indica la dirección del viento y su magnitud (la tortuga indica el inicio de una arribada).



**Figura 26.** Ocurrencia de arribadas con relación la velocidad del viento en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 (la tortuga indica el inicio de una arribada).

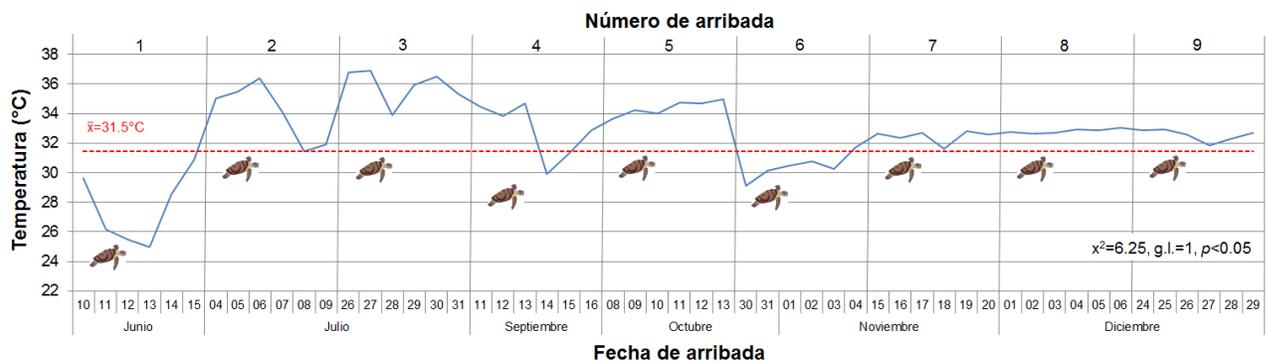


**Figura 27.** Ocurrencia de arribadas con relación a la humedad ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 (la tortuga indica el inicio de una arribada).

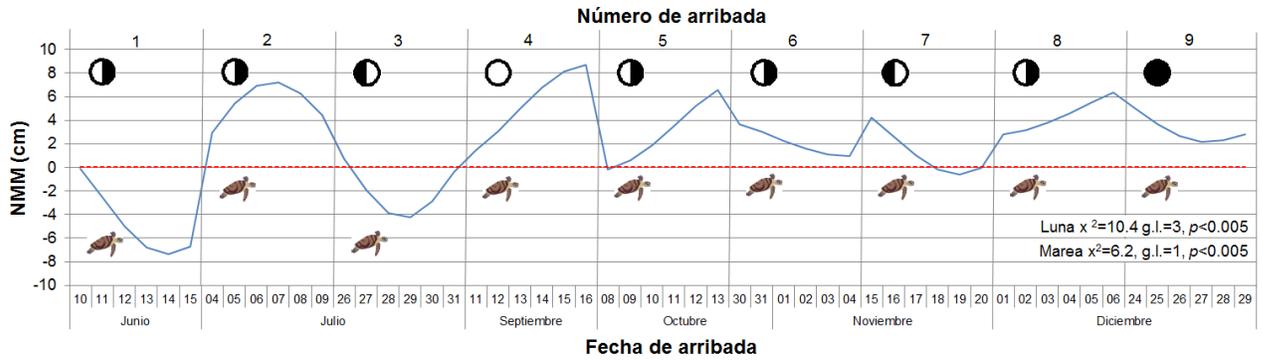
Las variables ambientales que presentaron diferencias estadísticamente significativas con relación al inicio de las arribadas registradas en Oaxaca durante la temporada 2015-2016 fueron la temperatura ambiental alta superior a la media ( $\bar{x}=31.5^{\circ}\text{C}$ , 74.1% de las noches en las que ocurrieron el inicio de las arribadas) (Fig. 28), la marea alta por arriba del NMM (74.1% de las noches), la fase lunar de cuarto menguante (51.9% de las noches) (Fig. 29) y los vientos de baja magnitud superiores a la media ( $\bar{x}=11.4\text{km/h}$ , 74.1% de los nidos presentes) (Fig. 30), provenientes del oeste (entre  $225^{\circ}$  y  $315^{\circ}$ , 66.7% de las noches) (Fig. 31). La mayoría las arribadas se presentaron durante una humedad ambiental baja ( $\bar{x}=75.2\%$ , 59.3% de las noches) (Fig. 32), sin embargo no se encontraron diferencias significativas con dicha variable (Tabla VIII).

**Tabla VIII.** Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016 y su respectivo porcentaje de noches en las que ocurrieron el inicio de las arribadas (tres noches por arribada). Prueba de independencia de ji-cuadrada ( $\chi^2$ ), grados de libertad (g.l.) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).

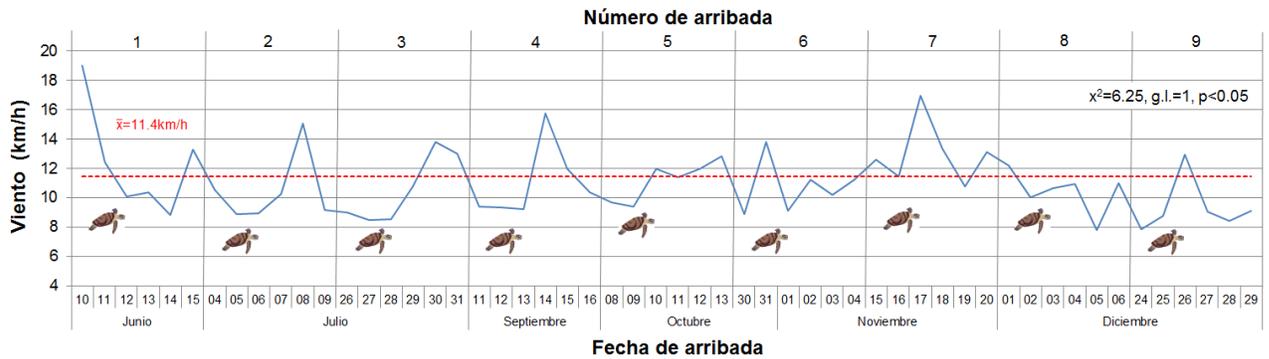
Variable ambiental	Prueba $\chi^2$	Porcentaje de noches	%
Velocidad del viento	$\chi^2=6.25$ , g.l.=1 $p<0.05$	Magnitud baja	74.1
		Magnitud alta	25.9
Dirección del viento	$\chi^2=27.66$ , g.l.=3 $p<0.005$	Proveniente del norte	0.0
		Proveniente del este	11.1
		Proveniente del sur	22.2
		Proveniente del oeste	66.7
Temperatura	$\chi^2=6.25$ , g.l.=1 $p<0.05$	Baja	25.9
		Alta	74.1
Humedad	$\chi^2=0.92$ , g.l.=1 $p>0.10$	Baja	59.3
		Alta	40.7
Marea	$\chi^2=6.25$ , g.l.=1 $p<0.005$	Baja	25.9
		Alta	74.1
Fase lunar	$\chi^2=10.48$ , g.l.=3 $p<0.005$	Nueva	14.8
		Cuarto creciente	18.5
		Llena	14.8
		Cuarto menguante	51.9



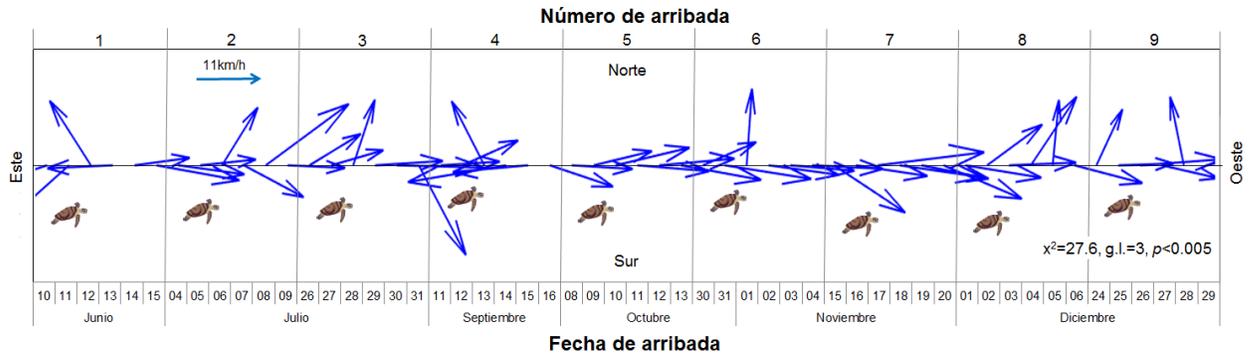
**Figura 28.** Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación a la temperatura ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016 (la tortuga indica el inicio de una arribada).



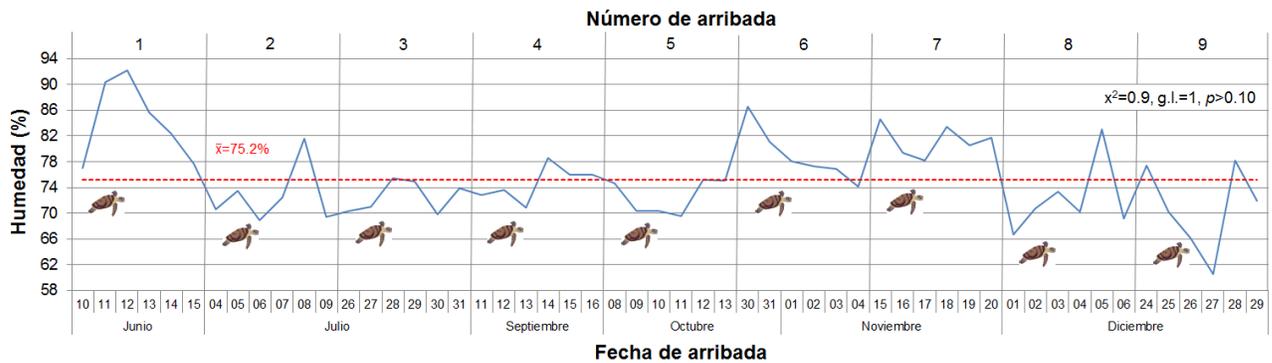
**Figura 29.** Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación a las fases lunares y el nivel medio del mar (NMM) en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016. ○ Luna nueva, ◐ cuarto creciente, ● luna llena, ◑ cuarto menguante (la tortuga indica el inicio de una arribada).



**Figura 30.** Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación la velocidad del viento en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016 (la tortuga indica el inicio de una arribada).



**Figura 31.** Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación la dirección del viento en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016. La dirección de las flechas indica la dirección del viento y su magnitud (la tortuga indica el inicio de una arribada).

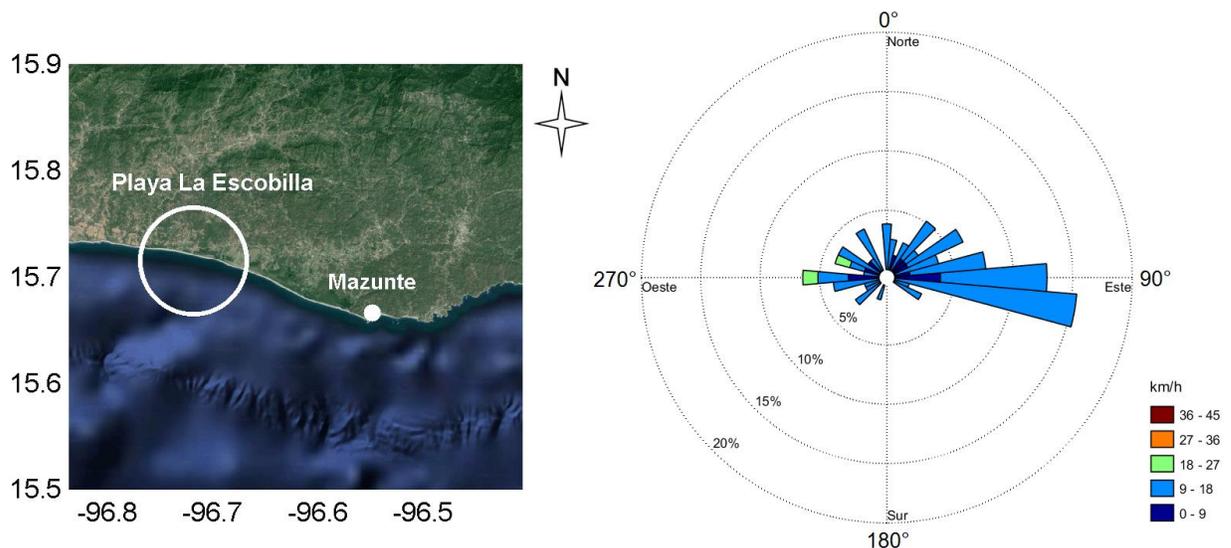


**Figura 32.** Ocurrencia de arribadas en su inicio con relación a la humedad ambiental en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2015-2016 (la tortuga indica el inicio de una arribada).

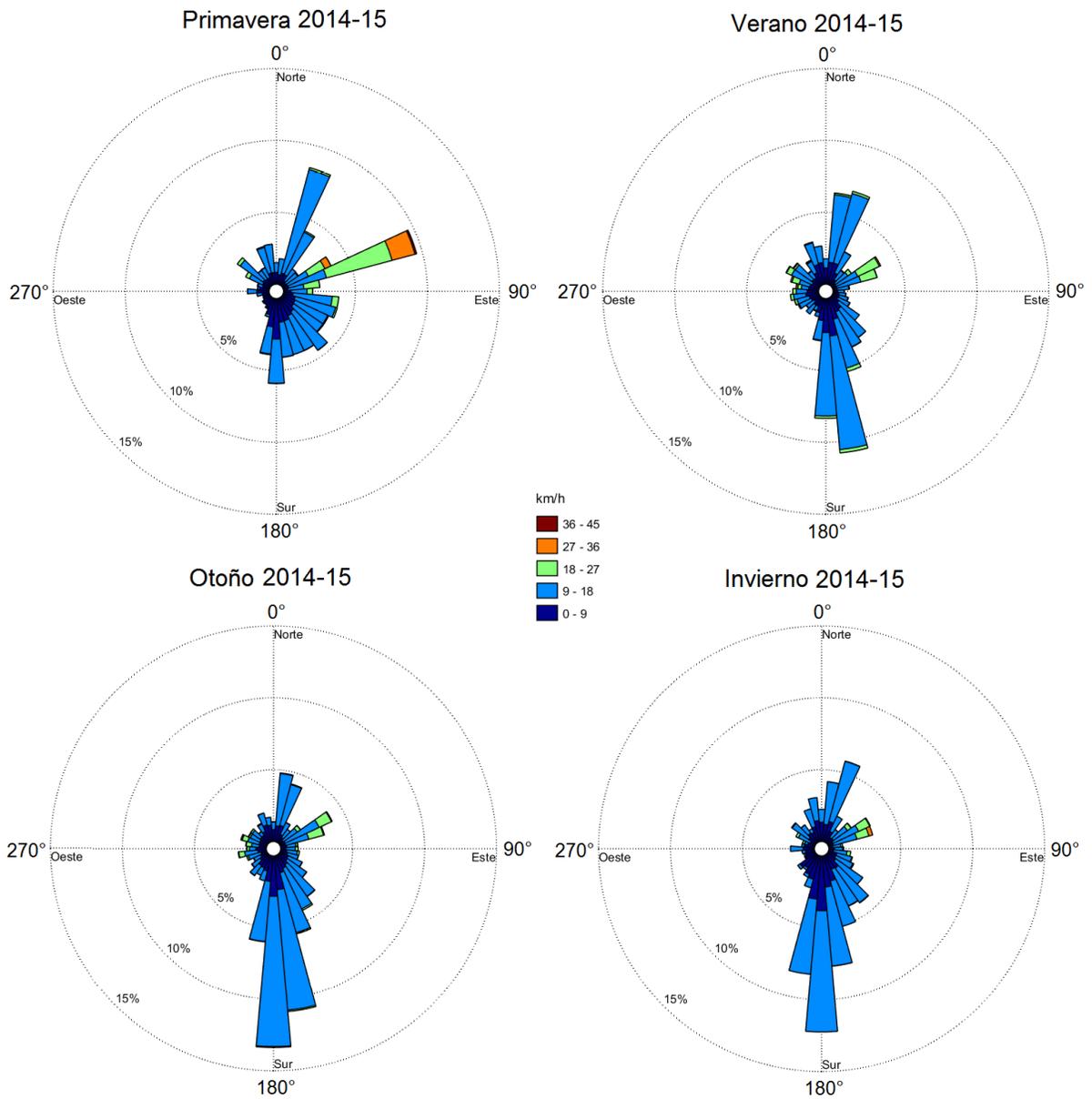
Los análisis estadísticos sobre la relación de las diferentes variables ambientales con las noches que presentaron arribadas en Oaxaca durante las dos temporadas de anidación en conjunto (2014-2015 y 2015-2016) se presentan en la Tabla IX, mostrando que la temperatura ambiental, la marea, fase lunar y la dirección del viento presentaron diferencias estadísticamente significativas. La rosa de los vientos muestra que durante las noches en las que se presentaron arribadas, en ambas temporadas de estudio, los vientos (promediados por noche) soplaron de forma paralela a la costa (Fig. 33), mientras que durante todo el año los vientos presentaron en general una dirección hacia el mar abierto, con una proveniencia del norte (Fig. 34).

**Tabla IX.** Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para cada variable ambiental en las playas de Oaxaca durante la temporada del 2014-2015 al 2015-2016 y su respectivo porcentaje de noches que presentaron arribadas. Prueba de independencia de ji-cuadrada ( $\chi^2$ ), grados de libertad (g.l.) (diferencias estadísticamente significativas en rojo).

Variable ambiental	Prueba $\chi^2$	Porcentaje de noches	%
Velocidad del viento	$\chi^2=2.51$ , g.l.=1 $p>0.10$	Magnitud baja	59.0
		Magnitud alta	41.0
Dirección del viento	$\chi^2=41.89$ , g.l.=3 $p<0.005$	Proveniente del norte	1.3
		Proveniente del este	25.6
		Proveniente del sur	20.5
		Proveniente del oeste	52.6
Temperatura	$\chi^2=0.01$ , g.l.=1 $p<0.05$	Baja	50.7
		Alta	49.3
Humedad	$\chi^2=0.96$ , g.l.=1 $p>0.10$	Baja	56.1
		Alta	43.9
Marea	$\chi^2=29.53$ , g.l.=1 $p<0.005$	Baja	19.2
		Alta	80.8
Fase lunar	$\chi^2=46.2$ , g.l.=3 $p<0.005$	Nueva	12.8
		Cuarto creciente	24.4
		Llena	6.4
		Cuarto menguante	56.4



**Figura 33.** Dirección, velocidad y frecuencia de los vientos en las playas de Oaxaca durante las noches de arribadas de la temporada del 2014-15 al 2015-16 (velocidad media 11.4km/h). La dirección de las barras indica la dirección del viento.



**Figura 34.** Dirección, velocidad y frecuencia de los vientos en las playas de Oaxaca durante cada estación del año del 2014 y 2015. La dirección de las barras indica la dirección del viento.

Las medias de las variables ambientales durante cada temporada de anidación y las medias totales durante todas las temporadas de estudio para las playas de B.C.S. y Oaxaca se muestran en la Tabla X. En cuanto a fenómenos climáticos extraordinarios, según la NOAA (National Oceanic and Atmospheric

Administration, <http://www.cpc.noaa.gov> [última consulta: 30.05.2016]) el año 2011-12 se presentó como un año “Niña” de baja intensidad, mientras que el 2015-16 se presentó como un año “Niño” de alta intensidad, el resto de los años de estudio fueron años “Neutros”.

Comparando las variables ambientales presentes en ambas áreas de estudio durante las respectivas temporadas de anidación analizadas, se encontró que los vientos provenientes del oeste y la fase lunar de cuarto menguante coinciden al mostrar diferencias estadísticamente significativas en ambas áreas. La media de la velocidad del viento, la temperatura y humedad ambiental fueron diferentes en cada área de estudio; la primera fue mayor en B.C.S. y las dos últimas fueron mayores en Oaxaca. La única variable que no mostró significancia en las dos áreas fue la humedad ambiental (Tabla XI); sin embargo, como se mostró anteriormente, al analizar las variables ambientales durante cada temporada de anidación (un análisis por temporada), estas pueden mostrar o no diferencias estadísticamente significativas.

**Tabla X.** Medias de las variables ambientales durante cada temporada de anidación y medias totales ( $\bar{x}$ ) durante todas las temporadas de estudio en B.C.S. y Oaxaca.

Variable ambiental	B.C.S.				$\bar{x}$	OAX		$\bar{x}$
	2011	2012	2013	2014		2014-15	2015-16	
Velocidad del viento (km/h)	16.8	16.7	17.5	16.3*	16.9	11.9	10.9	11.4
Temperatura (°C)	28.0	27.4	26.8	28.7*	27.7	30.5	32.5	31.5
Humedad (%)	66.2	68.7	63.9	67.5*	66.6	74.8	75.6	75.2

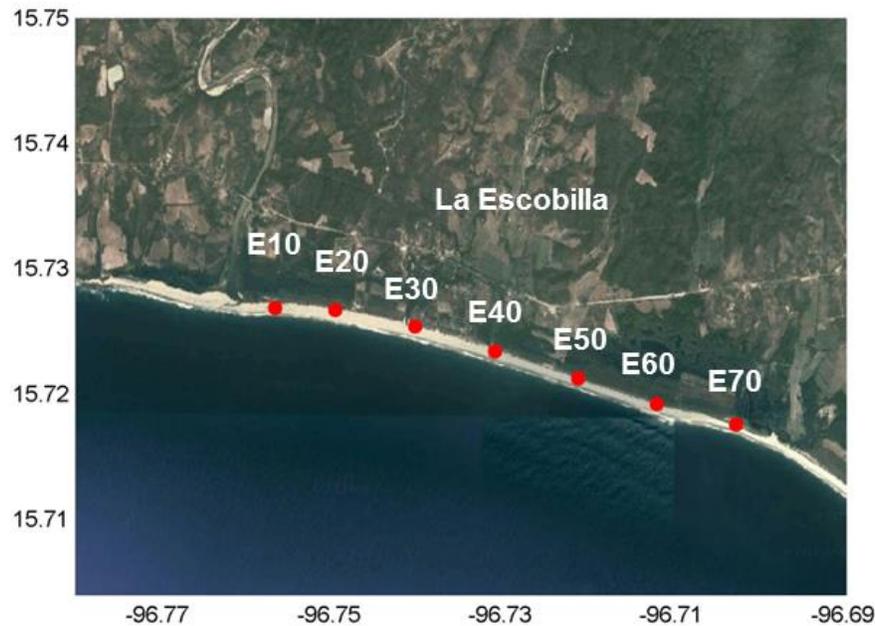
\*Datos del 1 de julio al 14 de septiembre

**Tabla XI.** Comparación de las variables ambientales estadísticamente significativas (Est. sig.) en las playas de B.C.S. durante las temporadas del 2011 al 2015 y en playa La Escobilla, Oaxaca, durante la temporada 2014-2015 al 2015-2016, con su respectivo porcentaje de nidos registrados (% nidos), porcentaje de noches que presentaron arribadas (% noches) y la media total de cada variable ambiental ( $\bar{x}$  var.).

Variable ambiental		B.C.S.			OAX		
		% nidos	Est. sig.	$\bar{x}$ var.	% noches	Est. sig.	$\bar{x}$ var.
Velocidad del viento	Magnitud baja	45.7		16.9km/h	59.0		11.4km/h
	Magnitud alta	54.3	X		41.0		
Dirección del viento	Proveniente del norte	0.8		—	1.3		—
	Proveniente del este	3.8			25.6		
	Proveniente del sur	15.8			20.5		
	Proveniente del oeste	79.5	X		52.6	X	
Temperatura	Baja	42.0		27.7C°	50.7		31.5C°
	Alta	58.0	X		49.3		
Humedad	Baja	43.0		66.6%	56.1		75.2%
	Alta	57.0			43.9		
Marea	Baja	55.6		—	19.2		—
	Alta	44.4			80.8	X	
Fase lunar	Nueva	14.7		—	12.8		—
	Cuarto creciente	33.0	X		24.4		
	Llena	14.7			6.4		
	Cuarto menguante	38.5	X		56.4	X	

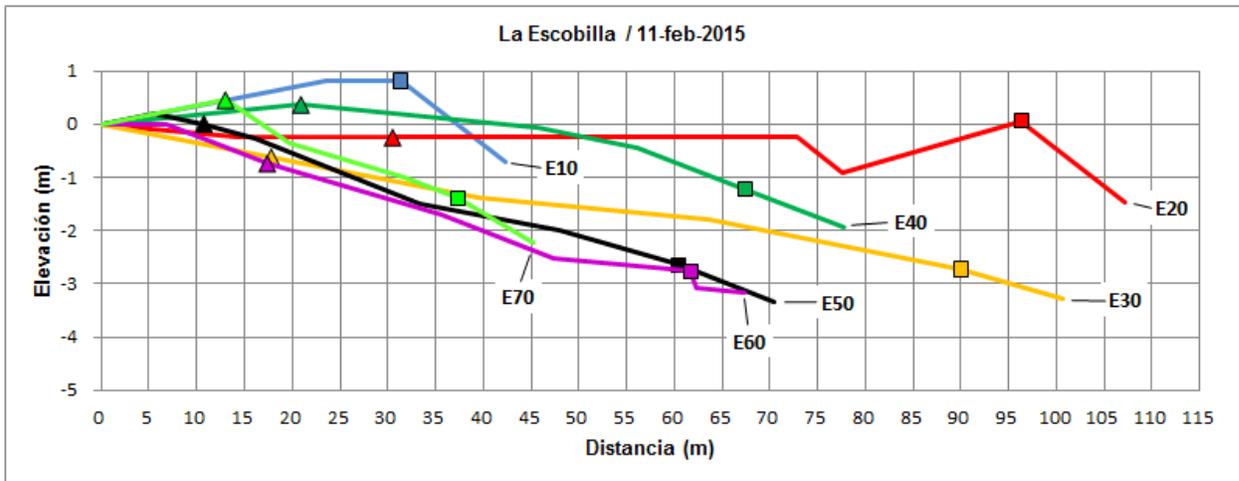
## Caracterización de playas de anidación en Baja California Sur y Oaxaca

En playa La Escobilla se realizaron un total de siete perfiles únicos, en la estación (E) de la playa 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 establecidas por el CMT, el día 11 de febrero del 2015, los cuales cubrieron el área de la playa que presenta mayor ocurrencia de arribadas durante todo el año (Fig. 35).



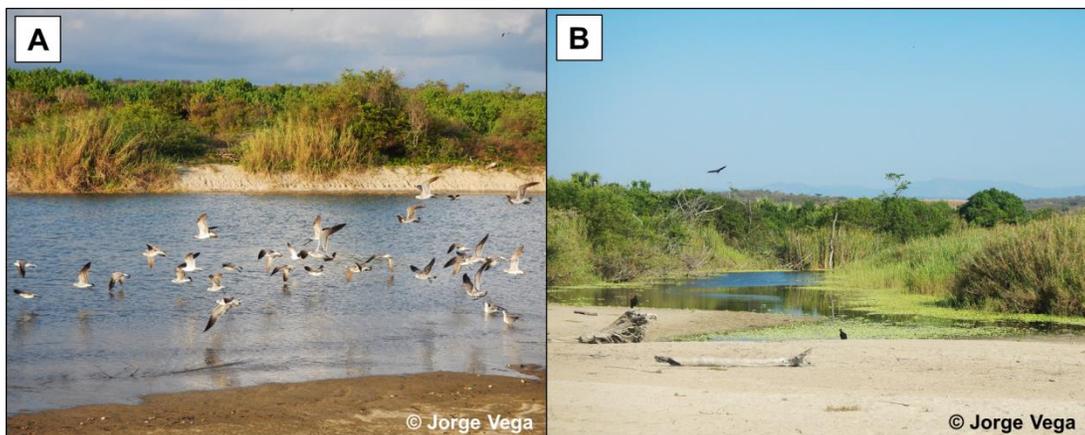
**Figura 35.** Ubicación de las siete estaciones (E10-70) en las que se realizó cada perfil de playa en La Escobilla, Oaxaca.

A lo largo de la playa se presentó un cambio gradual en su morfología, principalmente debido a la presencia de arroyos (E10, E20) y lagunas (E40) que erosionaron y limitaron el área de la playa (Fig. 326). La mayoría de los perfiles de playa mostraron bermas casi horizontales seguidas de un frente de playa de poca pendiente, a excepción de la estación 10 y 20, área donde se presentó una erosión de forma paralela al mar debido a la desembocadura de un arroyo (Fig. 37). Conforme el caudal del arroyo disminuyó, el ancho de la playa aumento, encontrando en la estación 20 y 30 las distancias máximas de los perfiles y las cuales disminuyeron gradualmente conforme se aproximaron a la estación 70. Fue en las estaciones 20, 30 y 40 donde se presentó la mayor ocurrencia de arribadas, que son las áreas cercanas a los arroyos y lagunas (Fig. 38)



**Figura 36.** Perfil de playa La Escobilla, Oaxaca, de la estación 10 a 70. Distancia y elevación medida desde la base de la duna frontal (0m) a la zona del rompiente de olas. De izquierda a derecha:  $\Delta$  indican el final de la supraplaya y el comienzo de la mesoplaya,  $\square$  indican el final de la mesoplaya y el comienzo de la infraplaya.

Los resultados de las muestras de arena analizadas que se tomaron en las diferentes zonas de los perfiles en playa La Escobilla, el día 11 de febrero del 2015, se muestran en la Tabla XII. Para estas muestras sólo fue posible realizar el análisis correspondiente a la humedad de la arena, debido a cuestiones técnicas.



**Figura 37.** Cuerpos de agua dulce presentes a lo largo de playa La Escobilla, Oaxaca (febrero de 2015); A) arroyo en la estación 10; B) laguna en la estación 40.

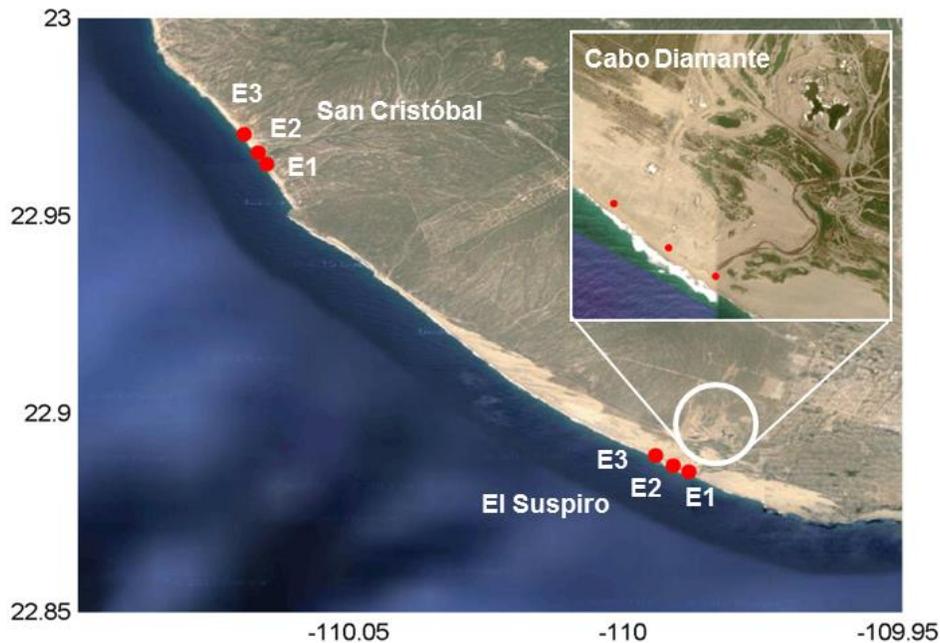


**Figura 38.** Arribada en playa La Escobilla, Oaxaca (enero de 2015); A) tortugas entrando y saliendo de la playa en la estación 30; B) tortugas anidando en la estación 40.

**Tabla XII.** Porcentajes de humedad relativa (%) de las muestras de arena tomadas en las diferentes zonas de los perfiles en playa La Escobilla, Oaxaca.

<b>Zona</b>	<b>%</b>
Infraplaya	1.34
Mesoplaya	2.65
Supraplaya	9.27
<b>Promedio total</b>	<b>4.42</b>

En las playas de B.C.S. se realizaron un total de seis perfiles cubriendo áreas de las playas que presentan diferencias morfológicas, estableciendo tres diferentes estaciones en San Cristóbal y tres en El Suspiro; en esta última playa actualmente se encuentra un desarrollo costero de residencias y complejos hoteleros llamado “Cabo Diamante Beach and Golf Resort” (Fig. 39). Dichos perfiles se elaboraron en las siguientes fechas del año 2015: 17-18 de abril, 15 de mayo, 12 de septiembre, 10-11 de octubre y 21-22 de noviembre. Los perfiles del 15 de mayo se realizaron 12 días después de presentarse un mar de fondo a lo largo de las costas del Pacífico Mexicano. Estos perfiles sólo se elaboraron en San Cristóbal ya que no se pudo acceder a El Suspiro por cuestiones técnicas. Los perfiles del 12 de septiembre se realizaron cuatro días después de presentarse el huracán “Linda”, categoría 3 en la escala Saffir-Simpson, al suroeste de Cabo San Lucas.



**Figura 39.** Ubicación de las tres estaciones (E1-3) en las que se realizó cada perfil de playa en San Cristóbal y El Suspiro, B.C.S., respectivamente y la ubicación del desarrollo costero “Cabo Diamante Beach and Golf Resort”.

Estas playas también se vieron modificadas por la presencia de arroyos dentro del área (San Cristóbal E1, E3), así como por el desarrollo costero (El Suspiro E1, E3, E3), y el paso de tormentas y huracanes.

Al igual que en playa La Escobilla, el perfil de playa de la estación 1 de San Cristóbal presentó una erosión de forma paralela al mar debido a la desembocadura de un arroyo, la cual disminuye con el paso del tiempo. La estación 3 también muestra la presencia de un arroyo, sin embargo la erosión en esta área no es considerable como el caso de la estación 1.

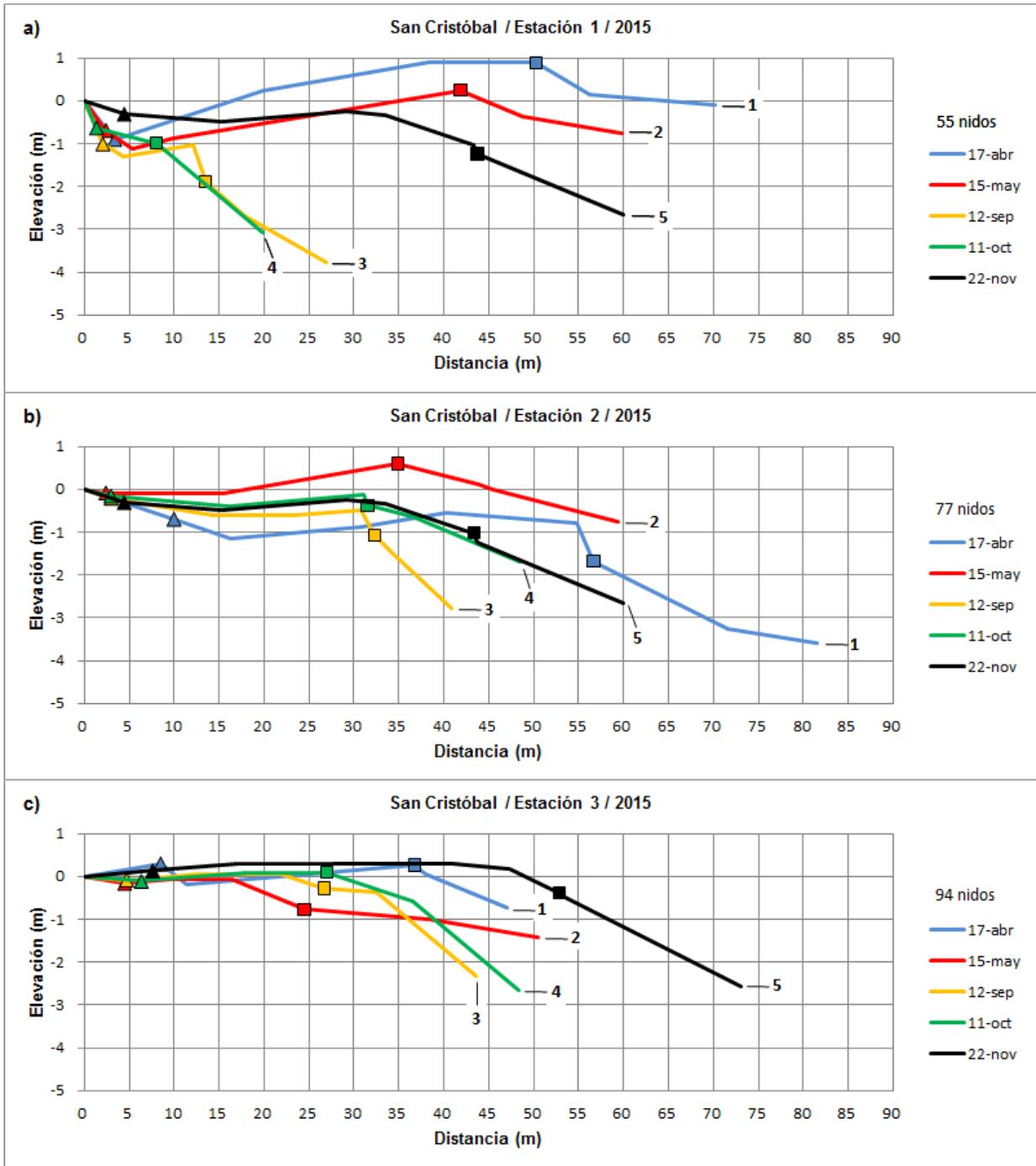
Los perfiles de San Cristóbal mostraron cambios considerables a través del tiempo. En la estación 1 y 3, los perfiles realizados en mayo mostraron una erosión en el área con respecto a los perfiles realizados en abril, mientras que en la estación 2 mostró una acreción. En septiembre las tres estaciones mostraron una importante erosión que disminuyó el ancho de la playa, presentando bermas y frentes de playa con pendientes pronunciadas, principalmente en la estación 1. En octubre estas pendientes disminuyeron y el ancho de sus áreas empezó a recuperarse. En

noviembre los perfiles mostraron una acreción considerable y la playa empezó a tomar la morfología que presentó antes de los perfiles realizados durante el mes de septiembre. En general la zona de la supraplaya no varió temporalmente en su área dentro de las tres estaciones, por otro lado, el área de la mesoplaya sí varió en cada estación debido a la dinámica de erosión y acreción de la zona de la infraplaya. Los cambios en la morfología de los perfiles a través del tiempo mostraron ser más evidentes dentro de la estación 1, el cual presentó un total de 55 nidos durante la temporada de anidación. La estación 3 mostró una menor dinámica en su morfología a través del tiempo, presentando un total de 94 nidos durante la temporada (Fig. 40).

Los resultados de las muestras de arena analizadas que se tomaron en las diferentes zonas de los perfiles en playa San Cristóbal, el día 22 de noviembre del 2015, se muestran en la Tabla XIII. La humedad promedio total de la arena, así como el porcentaje de humedad de la infraplaya, fue considerablemente mayor en estos perfiles con respecto a la humedad presente en los perfiles de La Escobilla, Oaxaca.

**Tabla XIII.** Porcentajes de humedad relativa (%) y granulometría de las muestras de arena tomadas en las diferentes zonas de los perfiles en playa San Cristóbal, B.C.S.

Humedad relativa		Grano	Granulometría			Promedio total
Zona	%		% por zona			
			Infraplaya	Mesoplaya	Supraplaya	
Infraplaya	14.50					
Mesoplaya	8.82	Fino	40.97	47.56	43.71	44.19
Supraplaya	16.96	Chico	42.36	38.00	42.77	40.95
<b>Promedio total</b>	13.42	Medio	15.05	12.31	10.34	12.57
		Grande	1.62	2.12	3.17	2.30



**Figura 40.** Perfil de playa de San Cristóbal, B.C.S., en la estación (a) 1, (b) 2, (c) 3. Distancia y elevación medida desde la base de la duna frontal (0m) a la zona del rompiente de olas. La numeración al final de cada perfil indica su secuencia temporal. De izquierda a derecha:  $\Delta$  indican el final de la supraplaya y el comienzo de la mesoplaya,  $\square$  indican el final de la mesoplaya y el comienzo de la infraplaya.

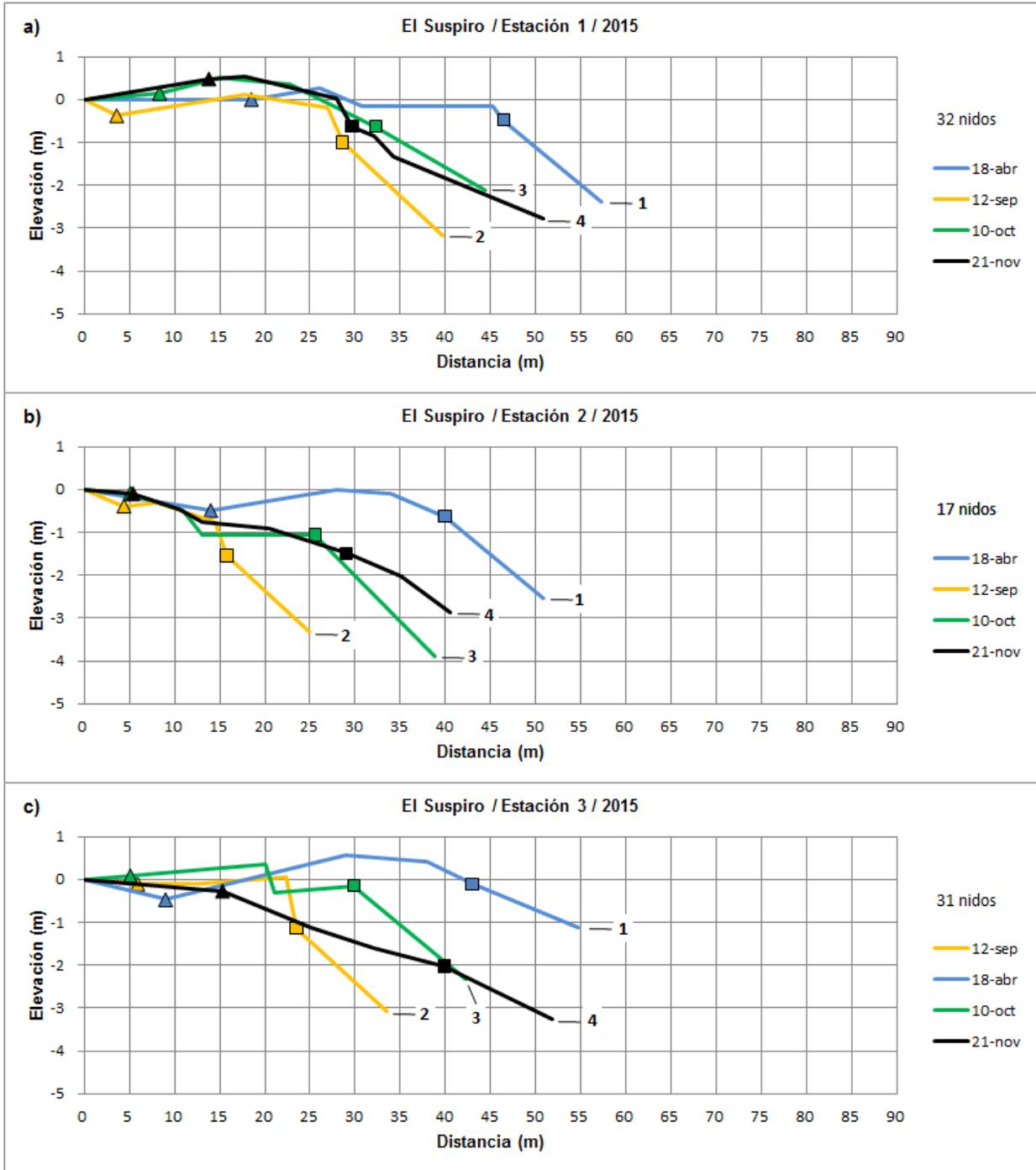
En playa El Suspiro se observó que el presente desarrollo costero ha generado cambios considerables en su morfología, erosionando y originando barreras a lo largo de la playa, lo que limita el acceso de las tortugas anidadoras, así como el traslado de las crías hacia el mar después de eclosionar (Fig. 41).



**Figura 41.** Desarrollo costero en playa El Suspiro, B.C.S. (julio de 2015); A) residencias presentes en la estación 2; B) campos de golf y desagües presentes en la estación 1.

Los perfiles de El Suspiro igualmente mostraron cambios considerables a través del tiempo. En las tres estaciones, los perfiles realizados en septiembre muestran una erosión muy importante, presentando bermas y frentes de playa con pendientes pronunciadas. Durante el mes de octubre y noviembre se muestran una transición de recuperación en su morfología con respecto a la que presentó antes de los perfiles realizados en septiembre. En este caso la zona de la supraplaya sí varió temporalmente su área dentro de cada estación, al igual que la mesoplaya. En general los perfiles entre las tres estaciones muestran una misma morfología, presentando frentes de playa con una mayor pendiente con respecto a la playa de San Cristóbal (Fig. 42).

Los resultados de las muestras de arena analizadas que se tomaron en las diferentes zonas de los perfiles en playa El Suspiro, el día 21 de noviembre del 2015, se muestran en la Tabla XIV. La humedad promedio total de la arena, así como el porcentaje de humedad de la infraplaya, fue menor en estos perfiles con respecto a la humedad presente en los perfiles de San Cristóbal, mientras que la arena de grano fino predominó en las tres diferentes zonas de cada perfil en ambas playas de B.C.S.



**Figura 42.** Perfil de playa de El Suspiro, B.C.S., en la estación (a) 1, (b) 2, (c) 3. Distancia y elevación medida desde la base de la duna frontal (0m) a la zona del rompiente de olas. La numeración al final de cada perfil indica su secuencia temporal. De izquierda a derecha:  $\Delta$  indican el final de la supraplaya y el comienzo de la mesoplaya,  $\square$  indican el final de la mesoplaya y el comienzo de la infraplaya.

**Tabla XIV.** Porcentajes de humedad relativa (%) y granulometría de las muestras de arena tomadas en playa El Suspiro, B.C.S.

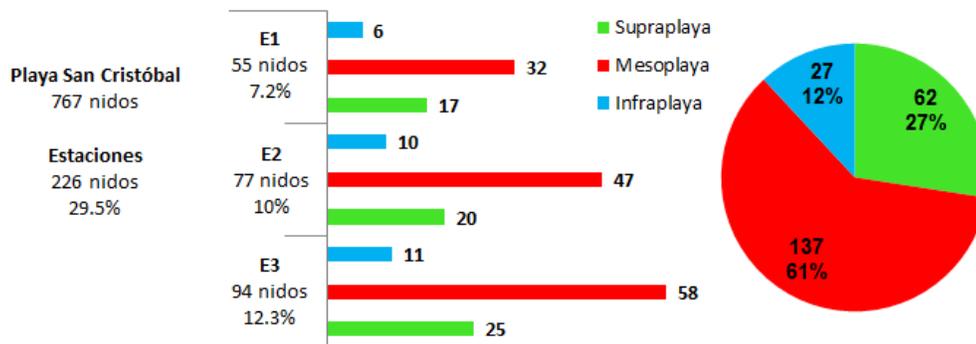
Humedad relativa		Grano	Granulometría			Promedio total
Zona	%		% por zona			
Infraplaya	1.40		<b>Infraplaya</b>	<b>Mesoplaya</b>	<b>Supraplaya</b>	
Mesoplaya	3.61	Fino	46.40	35.44	55.22	45.88
Supraplaya	4.70	Chico	43.64	46.05	37.53	42.34
<b>Promedio total</b>	<b>3.24</b>	Medio	9.11	17.16	6.18	10.69
		Grande	0.85	1.35	1.07	1.08

En playa La Escobilla se observó que al presentar bermas casi horizontales y un frente de la playa con poca pendiente, las tortugas mostraron facilidad por acceder a toda la playa, mientras que en las playas de B.C.S. algunas bermas y ciertas pendientes del frente de playa mostraron ser un obstáculo o barrera para que estos quelonios accedieran a la playas, limitando su desove en la zona de la infraplaya, principalmente después del paso el huracán “Linda” a inicios de septiembre, influyendo en la pérdida de nidos *in situ* dentro de esta zona, e incluso en la mesoplaya, debido a la inundación por el fuerte oleaje (Fig. 43). Por otro lado, durante las arribadas en La Escobilla, el número de tortugas que llega a desovar alcanza cifras altas (más de 12 mil individuos en una noche, en febrero del 2015), por lo que al momento de construir sus nidos llegar destruir otros previamente elaborados en el mismo sitio.



**Figura 43.** Erosión en las playas de B.C.S. causada por el paso del huracán “Linda” (septiembre de 2015); A) erosión del frente de playa de la estación 1 en San Cristóbal; B) erosión del frente de playa de la estación 2 en San Cristóbal, limitando el acceso de las tortugas anidadoras a la playa.

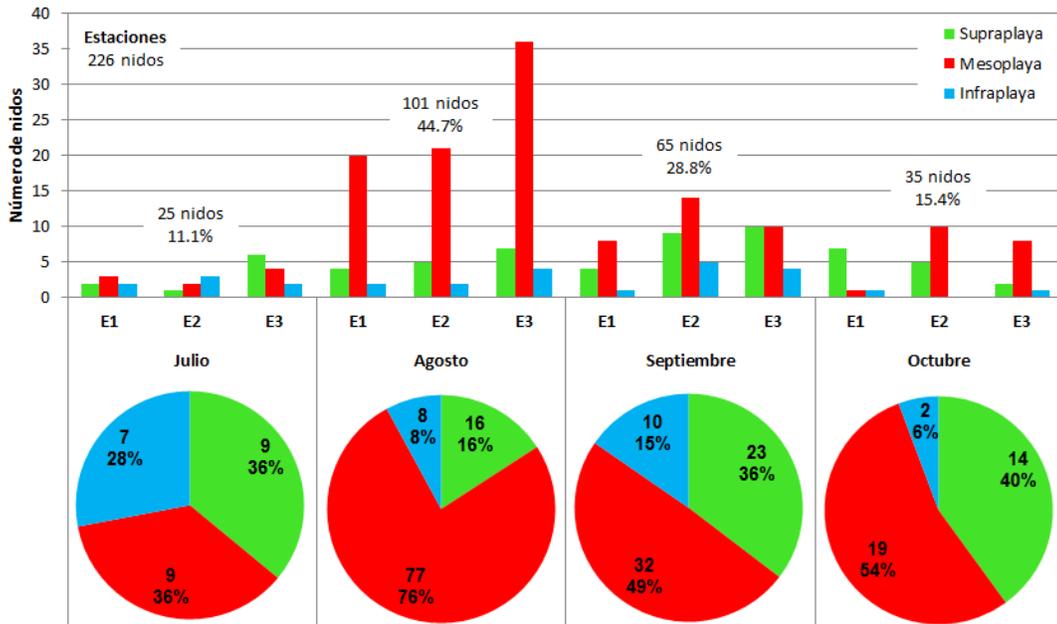
El número de nidos que se registró en las tres diferentes estaciones de playa San Cristóbal fue un total de 226, representando el 29.5% de nidos de toda la playa durante la temporada de anidación del 2015. El número de nidos en cada estación y en cada una zona del perfil se muestra en la Figura 44. De acuerdo al análisis estadístico, el número de nidos por zona dentro de las tres estaciones en conjunto mostró diferencias significativas ( $\chi^2=37.82$ , g.l.=2,  $p<0.005$ ), resultando ser las tres zonas independientes entre sí, presentando mayor número de nidos en la mesoplaya con el 61% del total de nidos dentro de las estaciones, seguido de la supraplaya con un 27%. El número de nidos en cada zona con respecto a cada estación no mostraron diferencias significativas ( $\chi^2=5.57$ , g.l.=4,  $p>0.95$ ), es decir, el número de nidos por zona es igual en las tres estaciones.



**Figura 44.** Número de nidos en playa San Cristóbal, B.C.S., durante la temporada 2015. De izquierda a derecha: número de nidos por estaciones (E1, E2, E3) con respecto al total de nidos en la playa; número de nidos por zona (supraplaya, mesoplaya, infrapaya) en cada estación; número de nidos por zona en las tres estaciones de forma conjunta.

El número de nidos registrados temporalmente en las tres diferentes estaciones de playa San Cristóbal durante cada mes de la temporada de anidación del 2015 se muestra en la Figura 45. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre el número de nidos presentes en cada zona, por estación, durante cada mes ( $\chi^2=51.7$ , g.l.=28,  $p<0.005$ ), resultando dos grupos homogéneos (Tabla XV), siendo el número de nidos presentes en agosto mayor e independiente al resto, pero presentando una conexión con septiembre, mes en el que se presentó el paso del huracán “Linda”. Se observa que en septiembre el número de nidos en la

mesoplaya disminuyó mientras que en la infraplaya y supraplaya aumentó con respecto al mes anterior. En octubre los nidos disminuyeron en la infraplaya y aumentaron en la mesoplaya y supraplaya.

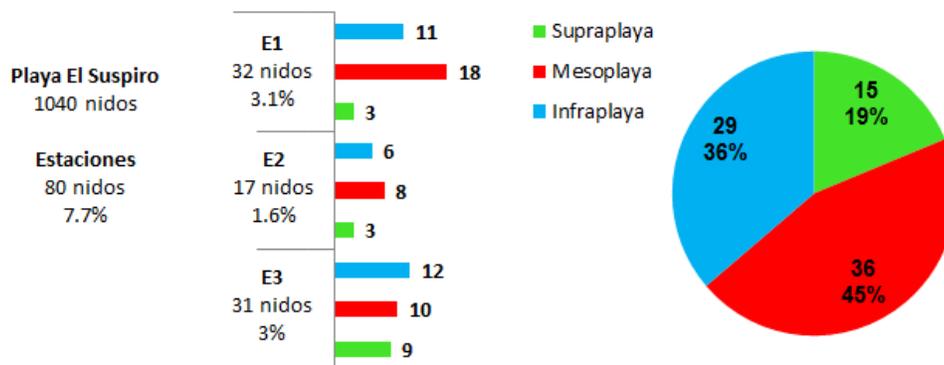


**Figura 45.** Número de nidos en playa San Cristóbal, B.C.S., durante la temporada 2015. De arriba hacia abajo: número de nidos por estaciones (E1, E2, E3) durante cada mes con respecto al total de nidos dentro de las estaciones en conjunto durante toda la temporada; número de nidos por zona (supraplaya, mesoplaya, infrapaya) en cada estación; número de nidos por zona en las tres estaciones de forma conjunta durante cada mes.

**Tabla XV.** Tabla de grupos homogéneos (g.h.) resultantes de la prueba de independencia de ji-cuadrada múltiple entre el número de nidos presentes en cada zona, por estación, durante cada mes de la temporada 2015 en playa San Cristóbal, B.C.S.

Mes	Nidos	g.h.
Jul	25	*
Ago	101	*
Sep	65	*
Oct	35	*

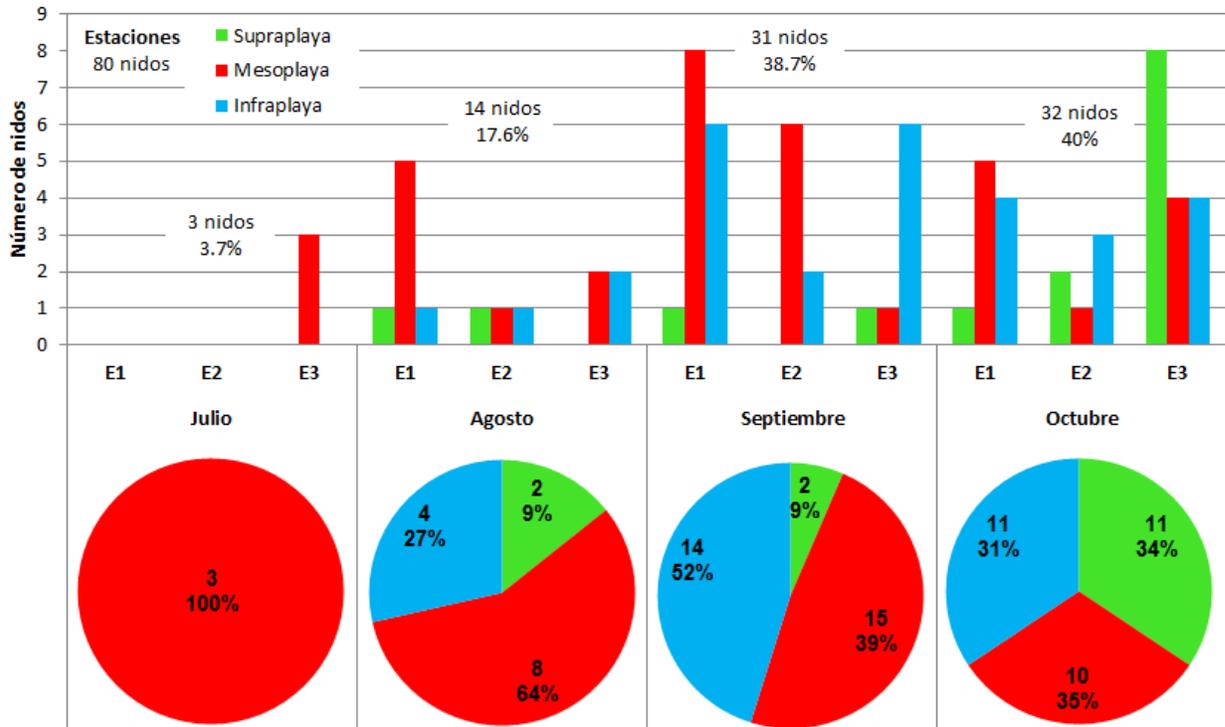
El número de nidos que se registró en las tres diferentes estaciones de playa El Suspiro fue un total de 80, representando el 7.7% de nidos de toda la playa durante la temporada de anidación del 2015, porcentaje menor al de San Cristóbal. El número de nidos en cada estación y en cada una zona de la playa se muestra en la Figura 46. El número de nidos por zona dentro de las tres estaciones en conjunto también mostró diferencias significativas ( $\chi^2=10.46$ , g.l.=2,  $p<0.005$ ), resultando ser las tres zonas independientes entre sí y presentando mayor número de nidos en la mesoplaya con el 45% del total de nidos dentro de las estaciones, seguido de la infraplaya con un 36%. El número de nidos en cada zona con respecto a cada estación no mostraron diferencias significativas ( $\chi^2=5.38$ , g.l.=4,  $p>0.95$ ), siendo iguales en las tres estaciones.



**Figura 46.** Número de nidos en playa El Suspiro, B.C.S., durante la temporada 2015. De izquierda a derecha: número de nidos por estaciones (E1, E2, E3) con respecto al total de nidos en la playa; número de nidos por zona (supraplaya, mesoplaya, infrapaya) en cada estación; número de nidos por zona en las tres estaciones de forma conjunta.

El número de nidos registrados temporalmente en las tres diferentes estaciones de playa El Suspiro durante cada mes de la temporada de anidación del 2015 se muestra en la Figura 47. El análisis estadístico también mostró diferencias significativas entre el número de nidos presentes en cada zona, por estación, durante cada mes ( $\chi^2=47.6$ , g.l.=28,  $p<0.025$ ), resultando dos grupos homogéneos (Tabla XVI), siendo el número de nidos del mes de julio y agosto menor e independiente al de septiembre y octubre. Se observa que en septiembre, durante y tras el paso del

huracán “Linda”, el número de nidos en la mesoplaya y supraplaya disminuyó mientras que en la infraplaya aumentó con respecto al mes anterior. En octubre los nidos disminuyeron en la infraplaya y mesoplaya mientras que en supraplaya aumentaron, mostrando un porcentaje similar entre las tres zonas.



**Figura 47.** Número de nidos en playa El Suspiro, B.C.S., durante la temporada 2015. De arriba hacia abajo: número de nidos por estaciones (E1, E2, E3) durante cada mes con respecto al total de nidos dentro de las estaciones en conjunto durante toda la temporada; número de nidos por zona (supraplaya, mesoplaya, infraplaya) en cada estación; número de nidos por zona en las tres estaciones de forma conjunta durante cada mes.

**Tabla XVI.** Tabla de grupos homogéneos (g.h.) resultantes de la prueba de independencia de ji-cuadrada múltiple entre el número de nidos presentes en cada zona, por estación, durante cada mes de la temporada 2015 en playa El Suspiro, B.C.S.

Mes	Nidos	g.h.
Jul	3	*
Ago	14	*
Sep	31	*
Oct	32	*

Finalmente, el número de nidos presentes en cada estación dentro de ambas playas de B.C.S. en conjunto durante toda la temporada de anidación mostró tener diferencias significativas ( $\chi^2=87.41$ , g.l.=4,  $p<0.005$ ), resultando dos grupos homogéneos (Tabla XVII), siendo el número de nidos de las estaciones de San Cristóbal independiente a las de El Suspiro, además que las estaciones de San Cristóbal están conectadas entre sí mediante la estación 2. El menor número de nidos se presentó en El Suspiro, playa que presenta la influencia del desarrollo costero.

**Tabla XVII.** Tabla de grupos homogéneos (g.h.) resultantes de la prueba de independencia de ji-cuadrada de un criterio entre el número de nidos presentes en cada estación durante la temporada 2015 en playa San Cristóbal y El Suspiro, B.C.S.

Estación	Nidos	g.h.	
San Cristóbal E3	94	*	
San Cristóbal E2	77	*	*
San Cristóbal E1	55		*
El Suspiro E1	32		*
El Suspiro E3	31		*
El Suspiro E2	17		*

## DISCUSIÓN

El ciclo de vida de las tortugas marinas es un fenómeno complejo, en el cual la etapa terrestre implica una serie de eventos que inician desde el momento en el que las hembras arriban a las playas a desovar, hasta que las pequeñas tortugas eclosionan, emergen de los nidos y se desplazan hacia el mar (Acuña, 1980; Miller, 1996). El momento de anidación y desarrollo de los embriones es crítica en su ciclo de vida, por lo que las hembras deben anidar en un sitio apropiado que presente condiciones ambientales favorables para que los huevos se desarrollen (Gulko y Eckert, 2004).

Lo anterior conlleva a que la supervivencia de la nidada dependa de la habilidad de la hembra para ubicar el nido en una zona segura de la playa y de la capacidad misma de la nidada para soportar y adaptarse a los constantes cambios de los factores abióticos del medio de incubación desde el momento de la anidación y hasta que las crías eclosionen (Miller, 2000). Cambios importantes en los factores ambientales podrían verse reflejados de manera directa en la viabilidad de los huevos, lo que determinara el éxito de la incubación. La humedad y la temperatura, aun cuando son factores ambientales independientes, están íntimamente relacionados e inician su efecto combinado sobre los huevos desde el momento de la anidación (Arzola-González, 2007).

La temperatura dentro del medio de incubación de los nidos es importante ya que a partir de esta se determina el sexo de las crías (Arzola-González, 2007; Chacón *et al.*, 2007). Las fluctuaciones drásticas en las temperaturas sobre la nidada podrían llevarla a alcanzar los rangos térmicos o umbrales máximos (34°C) y mínimos (24°C) que detienen el desarrollo de los huevos hasta matarlos (Márquez, 2002; Chacón *et al.*, 2007). Al igual que la temperatura, la humedad es un factor significativo que influye en el desarrollo de los embriones. Se ha reportado que ante un nivel excesivo o escaso de humedad disminuye la capacidad de intercambio de agua entre los huevos y el sustrato, lo que puede generar la pérdida del nido (Arzola-González, 2007).

En la actualidad, la probabilidad de experimentar cambios de temperatura y humedad en el medio es mayor, debido al efecto directo del cambio climático que se ha evidenciado principalmente en las costas. Este se refleja en el aumento de la temperatura ambiental, en el aumento del nivel del mar y en eventos de precipitación de mayor intensidad, como huracanes y tormentas tropicales (Miller, 1996; Drews y Fonseca, 2009).

Las tortugas marinas se ven afectadas por la temperatura ambiental durante la etapa de anidación, este fenómeno hace que estos quelonios sean sensibles a las variaciones en la temperatura (Abella, 2010). La temperatura ambiental puede variar significativamente a lo largo del año y durante la temporada de anidación. La temperatura de la arena dentro del nido (a 40cm de profundidad) sigue un patrón similar a la temperatura ambiental, manteniéndose en un promedio de 1°C a 2°C mayor a la ambiental (durante el día y la noche), después del momento del desove y aproximadamente hasta el segundo tercio del periodo de incubación, dependiendo de la ubicación del nido en la playa y la variación estacional, después esta temperatura variara dependiendo del calor metabólico de los huevos (Márquez, 2002; Sandoval, 2008; Abella, 2010).

El sexo de las tortugas marinas se determina por la temperatura durante el segundo tercio del periodo de incubación (Sieg, 2010), en la tortuga golfina este se determina aproximadamente 15 días después del desove. La temperatura pivote (temperatura critica determinante del sexo) varía entre las diferentes especies de tortugas marinas, incluso entre distintas poblaciones, pero se encuentra alrededor de los 29°C y 29.5°C en promedio. Si se presentan temperaturas por debajo de ese rango, se produce una razón superior de machos y con temperaturas superiores se produce una razón superior de hembras (Sieg, 2010; Dornfeld *et al.*, 2015).

La media total de la temperatura ambiental por la noche en las playas de estudio de B.C.S. fue de 27.7°C, encontrando una preferencia de las tortugas por anidar de forma significativa durante noches con temperaturas superiores a esta media. Lo anterior sugiere que después del momento de la anidación, la temperatura dentro de los nidos se encontró próxima al rango de la temperatura pivote, por lo que si la temperatura dentro del nido se mantuvo constante durante los primero 15 días

de incubación, dependiendo de la humedad y la estacionalidad de la temporada, se produjeron crías con una razón próxima de 50% hembras y machos. Durante la temporada de anidación, la temperatura dentro de los nidos se encuentra por encima de la temperatura pivote entre agosto a octubre (López-Castro *et al.*, 2004).

El aumento de temperatura causado por el cambio climático puede resultar en una producción total de hembras (Limpus y Nicholls, 1987; Sieg, 2010). En playa La Escobilla, Oaxaca, la media total de la temperatura ambiental por la noche fue de 31.5°C. Durante la temporada 2014-2015 se presentó una temperatura ambiental media de 30.5°C; temporada en la cual las tortugas mostraron una preferencia significativa por anidar en arribadas durante noches con temperaturas por debajo de la media total. Durante la temporada 2015-2016 la media de la temperatura ambiental fue mayor, siendo de 32.5°C; esta vez las tortugas mostraron una preferencia significativa por anidar en arribadas durante noches con temperaturas superiores a la media total. Esto sugiere que durante el mes de octubre de la primera temporada de estudio, la temperatura dentro de los nidos después del momento de la anidación fue menor al rango de la temperatura pivote, mientras que en la segunda temporada sólo lo fue durante junio, por lo que si la temperatura dentro de los nidos se mantuvo constante durante los primeros 15 días de incubación, se produjeron crías con una razón superior al 50% de hembras durante las dos temporadas. Por otro lado, durante el mes de julio a octubre de la segunda temporada de estudio, al presentarse el fenómeno de “El Niño” y al subir la temperatura media 2°C con respecto a la temporada anterior, los nidos se encontraron a una temperatura cercana a la umbral máxima (34°C), pudiendo haber afectado de forma negativa el desarrollo de los huevos y comprometiendo el éxito de la nidada (Ocana *et al.*, 2012).

La anidación de forma solitaria de la tortuga golfina hace una importante contribución a sus poblaciones, ya que los nidos de las tortugas que anidan de forma solitaria son incubados a temperaturas cercanas al rango pivote. Estas playas presentan temperaturas más bajas que las presentes en las playas en las que ocurren arribadas, por lo que las playas de anidación solitaria, como las de B.C.S., son de gran importancia en el reclutamiento de machos dentro de las poblaciones (Dornfeld *et al.*, 2015). Durante la temporada del 2013 en B.C.S., las tortugas

mostraron una preferencia significativa por anidar durante noches con una temperatura ambiente inferior a la media total, sugiriendo que en esta temporada se produjeron crías con una razón superior al 50% de machos. Esta temporada registró la media mínima de la temperatura ambiental, que fue de 26.8°C. Asimismo las playas de anidación solitaria tienen un mayor éxito de eclosión con respecto a las playas que presentan anidación en forma de arribadas, debido a las altas temperaturas que presentan estas últimas playas (Dornfeld *et al.*, 2015), además de presentar una alta destrucción intra-específica de los nidos debido a la alta densidad de nidos acumulados durante las arribadas, entre otros factores (Ocana *et al.*, 2012).

Durante la temporada de anidación del 2012 en B.C.S. las tortugas mostraron una preferencia significativa por anidar durante noches con una humedad relativa ambiente superior a la media total (66.6%). Esta temporada registró la media máxima de humedad ambiental, que fue de 68.7%; esto se explica debido a que en esta temporada se registró el máximo de precipitación en las playas, que fue de 272.7mm durante la temporada (según los datos de la EMA), la cual se concentró en los meses de agosto y septiembre, afectando la humedad ambiental así como la humedad de la arena. Esto se presentó después de haber ocurrido el fenómeno de “La Niña” del año 2011-12; donde la temporada del 2011 registró el mínimo de precipitación, que fue de 4.6mm. La carencia de humedad en la arena de la playa puede causar que la cámara del nido se colapse cuando la hembra lo está construyendo y ante el fracaso de la anidación la hembra generalmente se mueve hacia otro sitio y comienza de nuevo el proceso (Bustard y Greenham, 1968; Mortimer, 1990), por lo que la selección del sitio anidación asociado con las apropiadas condiciones de humedad aumenta el éxito del desove (Márquez, 2002). Además, las tortugas aprovechan la humedad de la arena causada por las lluvias para anidar ya que esta tiene un efecto positivo en el desarrollo de los huevos, evitando su desecación (Arzola-González, 2007). Esto adquiere una gran relevancia sobre el clima desértico y semiseco que se presenta en la región de B.C.S. (López-Castro *et al.*, 2004).

Las tortugas marinas en general salen a la playa para anidar durante, o justo antes de marea alta (Chen y Cheng, 1995; Pitcher y Al-Merghani, 2000). Las especies de tortugas marinas de mayor tamaño, como es el caso de la tortuga laúd y la tortuga

verde, aprovechan el efecto transportador de las mareas altas para acceder a las playas ya que sus movimientos terrestres son más lentos e involucran mayor gasto metabólico, mientras que las especies de menor tamaño, como la carey o las del género *Lepidochelys*, no presentan las mismas limitantes por acceder a las playas debido a su talla, por lo que sus ascensos pueden producirse durante un diferente régimen de marea (Azanza *et al.*, 2003; Law *et al.*, 2010; Vega-Bravo, 2014).

La anidación de la tortuga golfinia está influenciada por factores asociados con la marea y las fases lunares (Hughes y Richard, 1974; Márquez *et al.*, 1982). En el Pacífico Mexicano el máximo de anidamientos generalmente corresponden al cambio de mareas (Márquez *et al.*, 1982; Vega-Bravo, 2014). Las anidaciones dentro de las playas de Los Cabos, B.C.S., presentan esta misma relación (Vega-Bravo, 2014). Por otro lado, las playas de anidación en las que se presentan arribadas como es La Escobilla, Oaxaca, y El Verde, Sinaloa, la ocurrencia de las arribadas presenta una relación con las mareas altas (Casas-Andreu, 1977; Briseño-Dueñas, 1980).

En las playas de B.C.S., durante el presente estudio, las tortugas no mostraron una preferencia por anidar en algún régimen de marea en específico. En playa La Escobilla, las arribadas ocurrieron de forma significativa durante un régimen de marea alta. Durante este fenómeno las tortugas aprovechan el efecto transportador de las mareas para acceder a la playa facilitando su anidación. Este patrón de anidación durante las arribadas logra que los nidos sean colocados en áreas de la playa alejados de la línea máxima de marea, aumentando el éxito de la nidada, ya que si los nidos se colocan muy cerca del agua aumenta la posibilidad de inundación o la pérdida de huevos por erosión (Witherington, 2000; López-Castro *et al.*, 2004). Este patrón ubica los nidos en sitios más seguros, aumentando el éxito de la nidada dentro de una playa en la cual se compite por el espacio para desovar, debido al gran número de tortugas que se presentan durante las arribadas.

Los patrones lunares, solares y las mareas están estrechamente vinculados e interactúan entre sí. Cuando se presenta luna llena o luna nueva la amplitud de la marea es grande generando mareas vivas superiores o inferiores al nivel medio del mar. Durante el primer y último cuarto lunar la amplitud de la marea es inferior a la media generando las mareas muertas. La marea mixta semidiurna se caracteriza por

presentar dos pleamares y dos bajamares cada día o un ciclo de marea por día dependiendo de la inclinación de la luna sobre la Tierra (Law *et al.*, 2010).

La actividad de las tortugas marinas está relacionada por la fase lunar, tanto por su efecto en las mareas, como por las diferencias de la intensidad de la luz (Chavez, 1994). En las costas del Pacífico Oriental la anidación de forma solitaria de la tortuga golfina ocurre durante cuarto menguante o cuarto creciente (Márquez *et al.*, 1982; Dornfeld *et al.*, 2015). Su anidación en forma de arribadas en las mismas costas, incluyendo el Pacífico Mexicano, ocurre principalmente durante el cuarto menguante (Casas-Andreu, 1977; Márquez *et al.*, 1982; Dornfeld *et al.*, 2015).

En las playas de B.C.S. las tortugas resultaron mostrar una preferencia significativa por anidar durante las fases de cuarto menguante y cuarto creciente. En playa La Escobilla, las arribadas mostraron un patrón similar, ocurriendo de forma significativa durante el cuarto menguante. Las tortugas anidan varias veces durante la temporada, y presentan ciclos de re-anidación de diez a quince días, por lo que su siguiente salida a la playa coincidirá con el siguiente cuarto lunar (Chavez, 1994; Márquez, 2002); esto no sucede durante las arribadas debido a que su periodo de ocurrencia es de aproximadamente una vez por mes a lo largo de la temporada. En el periodo de cuarto menguante a luna nueva, disminuye la cantidad de luz reflejada por la luna, por lo que disminuye la identificación visual de las presas por los depredadores nocturnos. La claridad lunar estimula la actividad de los depredadores (Pitcher y Al-Marghani, 2000). Las tortugas aprovechan estas condiciones de poca luz para anidar y disminuir la depredación de los nidos. En las playas solitarias la depredación es menor debido a la baja densidad de tortugas anidadoras y nidos que se presentan con respecto a las arribadas, por lo que en estas playas la anidación puede ocurrir durante una fase lunar distinta al cuarto menguante (Dornfeld *et al.*, 2015). Por otro lado, esta especie presenta un periodo de incubación de aproximadamente 45 días (Márquez, 2002), por lo que sí el momento de la anidación se realizó durante la fase de cuarto menguante a luna nueva las crías eclosionaron en el periodo de cuarto creciente a luna llena, mismo periodo en que la luz de la luna es clara facilitando la orientación de las crías hacia el mar, guiándose por el reflejo de la luz en el mar (Chavez, 1994).

Las áreas de anidación con una exposición alta a los vientos están relacionadas con la distribución y los sitios de selección para anidar, encontrando diferencias entre las diferentes especies de tortugas marinas. La exposición de los vientos puede cambiar espacial y temporalmente en distintas áreas geográficas y esto influye en las diferentes especies o poblaciones de formas distintas (Garcon *et al.*, 2009; Fuentes *et al.*, 2011; Vega-Bravo, 2014). En las playas de anidación de Los Cabos, B.C.S., las tortugas responden por anidar durante vientos de alta magnitud provenientes del oeste (Vega-Bravo, 2014). La ocurrencia de las arribadas igualmente está relacionada con los vientos, dependiendo del lugar geográfico en el que se encuentran las playas (Pritchard y Márquez, 1973; Hirth, 1980).

En general, la reproducción y anidación exitosa de las tortugas dependerá de la capacidad de los machos y las hembras en realizar a tiempo sus migraciones para reunirse en las áreas de reproducción; y de las características oceanográficas y costeras que faciliten la salida de las hembras a las playas de anidación (Miller, 1996; Hamann *et al.*, 2002; Chung *et al.*, 2009). Existe una relación entre las características físicas de las playas de anidación y los procesos de las zonas costeras para mantener de forma exitosa la anidación, así como el reclutamiento de las crías y su dispersión hacia mar abierto (Mortimer, 1990). El oleaje, las corrientes oceánicas y las corrientes costeras están relacionados con los vientos, y estas variables influyen en la migración de las tortugas adultas a las zonas de reproducción, así como en sus movimientos y dispersión en las aguas costeras, las cuales puede facilitar la salida de las tortugas a las playas de anidación (Wang *et al.*, 1998; Chung *et al.*, 2009; Garcon *et al.*, 2009).

Durante el presente estudio, en las playas de B.C.S. las tortugas mostraron una preferencia significativa por anidar durante vientos de alta magnitud superiores a la media total (16.9km/h), provenientes del oeste, los cuales presentaron una dirección hacia la costa. Lo anterior sugiere que en estas playas las tortugas anidaron al aprovechar las corrientes y el oleaje de las aguas costeras que favorecieron sus salidas a las playas, causadas por la alta magnitud de los vientos que soplaron de mar abierto hacia la costa. En playa La Escobilla, la ocurrencia de las arribadas se relacionó significativamente con vientos provenientes del oeste, y

con vientos de baja magnitud durante la segunda temporada de anidación, los cuales presentaron una dirección paralela a la costa. En esta playa las tortugas anidaron en arribadas evitando las corrientes y oleajes desfavorables causados por los vientos que soplaron hacia el mar abierto, e incluso anidaron durante vientos de baja magnitud los cuales reduce la intensidad de las corrientes que se presentan en contra para salir a la playa. Por otro lado, en las playas de anidación solitaria los fuertes vientos ayudan a las tortugas a ocultar con mayor rapidez los rastros que dejan impresos en la arena durante sus salidas a la playa, así como a disipar los rastros de olor, por lo que los depredadores tendrán menos probabilidades de encontrar los nidos (Pritchard y Márquez, 1973), durante las arribadas esto resulta complicado debido al gran número de tortugas que salen a anidar a las playas.

Las playas de anidación presentan características que las hacen diferentes unas de otras, e incluso dichas características difieren dentro de una misma playa. Factores como el perfil de playa, la vegetación, la presencia de cuerpos de agua, tipo de arena, así como su temperatura y humedad, son importantes para la selección de sitio de anidación y el nacimiento de las crías. En general, las características que debe presentar una playa de anidación son: que sea accesible desde el mar; que sea suficientemente alta para prevenir la inundación de los nidos por las mareas o las aguas subterráneas; que presente sustratos que faciliten la difusión de los gases; y que presente sustratos húmedos y finos para prevenir que la cámara del nido colapse durante su construcción (Maloney, 1990; Mortimer, 1990; Bolongaro *et al.*, 2010). La humedad de la arena, que representa un papel importante en la construcción de los nidos y el desarrollo de la nidada, varía con las características de la arena, principalmente con el tamaño de grano (Demetropoulos, 2000; López-Castro *et al.*, 2004). La temperatura de la cámara del nido también varía con la profundidad y la naturaleza de la arena, las playas con arenas gruesas tienen temperaturas más alta que las de arenas finas (Demetropoulos, 2000).

El perfil de playa de La Escobilla mostró en general bermas casi horizontales seguidas de un frente de playa de poca pendiente, además de presentar en algunas áreas cuerpos de agua, como la desembocadura de arroyos y lagunas. Fueron los perfiles con estas características donde se presentó la mayor ocurrencia de

arribadas. La playa, al no presentar desniveles o pendientes importantes en su morfología, facilita el acceso de las tortugas para anidar durante las arribadas (Witherington, 2000; Bolongaro *et al.*, 2010). La temperatura de la arena en esta playa es superior a la temperatura pivote (29°C a 29.5°C) y muy cercana al umbral máxima (34°C). Las áreas de la playa cercanas a los arroyos o lagunas presentan una menor temperatura, por lo que las anidaciones en estas áreas favorecen la incubación de los nidos. Por otro lado, esta playa muestra una alta depredación hacia los huevos debido a que presenta una gran abundancia de escarabajos. La abundancia de estos escarabajos disminuye en las áreas cercanas a los cuerpos de agua, por lo que los nidos que se encuentran en estos sitios tendrán menor probabilidad de ser depredados por estos organismos (Ocana *et al.*, 2012). Las muestras de arena mostraron una mayor humedad en la zona de la supraplaya y una menor humedad en la zona de la infraplaya. La supraplaya, al presentar la influencia de las mareas y el oleaje, presenta una mayor humedad, por lo que los nidos que se encuentran en el área cercana a la línea de marea máxima presentaran un mayor éxito en su desarrollo.

Como se mencionó anteriormente, existe una alta destrucción intra-específica de los nidos durante las arribadas debido a su acumulación por la gran cantidad de tortugas que desovan en la playa. Después de una arribada, se pueden encontrar hasta ocho nidos por metro cuadrado, mientras que la probabilidad de que una tortuga destruya un nido en la siguiente arribada es de 21%. En general se puede presentar una destrucción de los nidos del 23.1% de una arribada a otra (Ocana *et al.*, 2012). Por otro lado, este fenómeno muestra una estrategia para combatir la depredación, ya que debido a la gran abundancia de huevos en la playa, los depredadores se sacian rápidamente durante las primeras noches de las arribadas, dando oportunidad a que los nidos de la próxima arribada no sean depredados (Casas-Andreu, 1978; Eckrich y Owens, 1995).

Los perfiles de playa de B.C.S. mostraron bermas y frentes de playa con pendientes pronunciadas, siendo notablemente mayores en la playa de El Suspiro. En general, en ambas playas, se presentó un mayor número de nidos en la zona de la mesoplaya. Debido a las pendientes pronunciadas que presentan los frentes de las

playas, si los nidos se colocan en la zona de la infraplaya, aumenta la probabilidad de que estos se pierdan por erosión e inundación, efecto de la marea y el oleaje; mientras que si se colocan en la zona de la supraplaya aumenta la probabilidad de desecación de la nidada y desorientación de las crías al momento de eclosionar y dirigirse al mar (Witherington, 2000; López-Castro *et al.*, 2004). En ambas playas las muestras de arena mostraron que en promedio la arena con grano “fino” fue predominante en las tres diferentes zonas de la playa, mientras que el menos predominante fue el grano “grueso”. Sin embargo, la humedad de la arena varió considerablemente entre ambas playas. Una menor humedad de la arena en la playa de El Suspiro, puede ser explicada debido a la constante erosión que presenta el área debido al desarrollo costero. La erosión se muestra principalmente a la zona de la infraplaya y supraplaya; la primera por la presencia de diversas estructuras hechas por el hombre que erosionan de forma considerable el frente de la playa; la segunda por la presencia de diferentes construcciones y residencias, así como por la remoción de las dunas y su vegetación, las cuales de estar presentes se tendría una mayor retención de humedad en dicha zona (Witherington, 2000; Bolongaro *et al.*, 2010; Vega-Bravo, 2014).

En la playa de San Cristóbal se mostró una erosión importante por parte de la desembocadura un arroyo en la estación 1 durante el transcurso de la temporada de anidación, por lo que se encontró asociado a él un menor número de nidos. Asimismo, la estación 3 mostró la influencia de un arroyo, pero este no causó una erosión importante, por lo que se encontró asociado a él un mayor número de nidos. Las condiciones de humedad asociada en la estación 3 pudieron haber favorecido el desarrollo de las nidadas (Witherington, 2000; López-Castro *et al.*, 2004; Arzola-González, 2007).

La ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes, fuertes oleajes causados por el fenómeno del mar de fondo, así como las estructuras hechas por el hombre, erosionan y modifican drásticamente la línea de costa, afectando la anidación de las tortugas (López-Castro *et al.*, 2004; Bolongaro *et al.*, 2010). La erosión y la acreción son parte de la naturaleza de las playas, pero cuando estos procesos se convierten en un problema importante las tortugas pueden experimentar dificultades durante la

anidación y los huevos que depositan pueden quedar al descubierto, inundados o arrojados fuera del nido. Cuando la pendiente de la zona erosionada es muy pronunciada o cuando la vegetación de las dunas es destruida y se acumula en la playa, se reduce el acceso para la anidación. Mientras que cuando la acreción es severa, se puede depositar arena sobre los nidos de tal manera que las crías no pueden emerger del nido o llegar al mar (Witherington, 2000; Márquez *et al.*, 2007).

Actualmente el cambio climático se ve reflejado en el aumento del nivel del mar y en eventos meteorológicos de mayor intensidad, tales como las tormentas tropicales y huracanes, así como en la intensificación de fenómenos climáticos con una mayor escala de tiempo, como es “El Niño” y “La Niña” (Miller, 1996; Magaña *et al.*, 2004). El fenómeno de “El Niño” constituye la fase caliente del ENSO (El Niño Southern Oscillation), el cual consiste en un desacoplamiento entre el océano y la atmósfera. Ocurre cuando los vientos alisios se debilitan y cambian de sentido, soplando de oeste a este sobre Pacífico Ecuatorial, aumentando la temperatura superficial del mar en el Pacífico Oriental. Como contraparte a este fenómeno ocurre “La Niña”, que es la fase fría del ENSO (Magaña *et al.*, 2004; Brenes y Bonilla, 2012). Durante “El Niño”, en el Pacífico Mexicano, se presentan un mayor número de tormentas tropicales y huracanes o estos se presenten con una mayor intensidad, la temperatura superficial del mar y del aire aumenta, mientras que las lluvias de verano se vuelven escasas y las de invierno se vuelven intensas. Lo contrario ocurre durante el fenómeno de “La Niña” (Magaña *et al.*, 2004).

El cambio climático acelera los procesos de erosión al presentarse un aumento en el nivel medio del mar y una mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos. Durante las diferentes temporadas de anidación en las playas de B.C.S., las diversas tormentas tropicales y huracanes afectaron la anidación de la tortuga golfina. Durante septiembre de la temporada del 2014 se presentó el huracán “Odile” categoría 4, el cual afectó de forma considerable la anidación. Asimismo, durante septiembre de la temporada del 2015, y al presentarse el fenómeno de “El Niño”, ocurrió el paso del huracán “Linda” categoría 3, el cual erosionó de forma importante las playas de anidación, disminuyendo el área de la mesoplaya, originando bermas y frentes de playa con pendientes pronunciadas,

creando como resultado barreras físicas que mostraron ser obstáculos para las tortugas al momento de acceder las playas para anidar. Debido a lo anterior, las tortugas se vieron obligadas a anidar en la zona de la infraplaya, o en la supraplaya si lograron acceder a la playa, disminuyendo la anidación en la zona de la mesoplaya. Si a esto se le suman los impactos generados por la erosión debida a causas antropogénicas, se obtiene una fuerte erosión costera y la pérdida de grandes extensiones de playa, disminuyendo y afectando de forma crítica la anidación (Salazar-Vallejo, 1998; Bolongaro *et al.*, 2010).

Las poblaciones de tortugas marinas presentan diferencias en su respuesta de anidación relacionadas con los factores ambientales. La selección de las playas y sitios de anidación, así como el éxito de anidación, es resultado de la biología de cada especie y la evolución de sus patrones de respuesta de las diferentes poblaciones ante las variables ambientales que se presentan (Azanza *et al.*, 2003; Garcon *et al.*, 2009; Vega Bravo, 2014).

Las recomendaciones de conservación para aumentar la capacidad de adaptación de las poblaciones de tortugas marinas ante el cambio climático deben incluir el aumento de resistencia de sus diferentes poblaciones, por ejemplo, el uso de dispositivos de exclusión de tortugas en la pesca, la protección y conservación de las playas de anidación, y el aumento de los esfuerzos internacionales para proteger las tortugas en las regiones donde existe una alta pesquería no reglamentada o ilegal (incluyendo la captura de tortugas marinas). Los crecientes esfuerzos de investigación sobre los procesos críticos que influyen en el número de sus población, tales como la identificación de “hotspots” o agregaciones en las zonas de forrajeo y reproducción, los procesos que involucran sus migraciones y la selección de las playas de anidación en los diferentes lugares geográficos, nos brindara la información y herramientas para gestionar estrategias en favor de su conservación ante las condiciones ambientales que se presenten por el cambio climático (Poloczanska *et al.*, 2009).

## CONCLUSIONES

Las poblaciones nidadoras de la tortuga golfina de B.C.S. y Oaxaca presentan algunas similitudes en su respuesta de nidación relacionadas con los factores ambientales presentes en las diferentes playas.

La temperatura ambiental se relacionó con la respuesta de nidación de esta especie en ambas áreas de estudio. En promedio la temperatura ambiental en las playas de nidación solitaria de B.C.S. es menor a la presente en las playas de nidación de Oaxaca que presentan arribadas. Lo anterior sugiere que en las playas de nidación solitaria se produce un mayor número de machos, representando una gran importancia en el reclutamiento dentro de las poblaciones, mientras que en las playas de Oaxaca sucede lo contrario, el reclutamiento de hembras es mayor. Asimismo, las playas de nidación solitaria tienen un mayor éxito de eclosión con respecto a las playas que presentan nidación en forma de arribadas, esto debido a las altas temperaturas que presentan estas últimas playas.

En ambas áreas de estudio la fase lunar de cuarto menguante se relacionó con su respuesta de nidación, lo que disminuye la depredación de los nidos debido a la poca luz que es reflejada por la luna durante esta fase. En las playas de B.C.S. su respuesta de nidación no se relacionó con algún régimen de marea, sin embargo si se relacionó con la velocidad del viento y su dirección hacia la costa el cual influye en el oleaje y las corrientes de las aguas costeras, lo que facilita la salida de las tortugas a la playa. Por otro lado, en las playas de Oaxaca, la ocurrencia de arribadas se relacionó con un régimen de marea alta, y en este caso sólo con la dirección del viento, donde las tortugas evitaron anidar durante noches con vientos en dirección a mar abierto, por lo que el oleaje de la marea resultó significativo durante las arribadas.

Los perfiles de playa de Oaxaca presentaron bermas casi horizontales y frentes de playa de poca pendiente, por lo que durante las arribadas las tortugas no mostraron dificultades al acceder a la playa para anidar. La mayoría de las arribadas se concentraron en áreas de la playa cercanas a arroyos o lagunas, esto debido a que la temperatura de la arena dentro de estas áreas es menor, favoreciendo la

incubación de los nidos. Por otro lado, los perfiles de playa de B.C.S. presentaron bermas y frentes de playa con pendientes pronunciadas, con relación a los de Oaxaca, por lo que las tortugas mostraron algunas dificultades al acceder a las playas para anidar, especialmente después del paso de tormentas tropicales y huracanes que erosionan de forma importante las playas debido al fuerte oleaje. Asimismo, el desarrollo costero presente en esta zona modifica considerablemente la morfología de las playas dificultando aún más la anidación de estos quelonios. Lo anterior sugiere que las playas de estudio de B.C.S. no podrían mantener de forma exitosa el fenómeno de las arribadas debido a las características morfológicas que presentan las playas y la constante erosión de su línea de costa.

## RECOMENDACIONES

Para futuros estudios se recomienda tomar datos de la temperatura y humedad de la arena dentro de los nidos durante el momento del desove y el periodo de incubación para relacionarlos junto con la temperatura y humedad ambiental presente en las playas de anidación. Tomar datos del oleaje y las corrientes costeras presentes en las playas de anidación para relacionarlos junto con los vientos locales y estacionales de la zona. Realizar muestreos de los perfiles de playa durante más años para estimar los índices de tendencias sobre la acreción y erosión en las diferentes zonas de anidación. Finalmente se recomienda analizar playas de anidación que estén presentes en diferentes regiones geográficas para comparar las relaciones entre las formas de anidación de esta especie, así como entre la anidación de las diferentes especies de tortugas marinas, con respecto a las diferentes condiciones ambientales y climáticas que se puedan presentar.

## LITERATURA CITADA

- Abella E. 2010. Factores ambientales y de manejo que afectan al desarrollo embrionario de la tortuga marina *Caretta caretta*. Implicaciones en programas de incubación controlada. Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España. 212 p.
- Ackerman RA. 1997. The nest environment and the embryonic development of sea turtles. 83-106 p. En: Lutz PL y JA Musick (eds.). The Biology of Sea Turtles, Volumen 1. CRC Press, U.S.A. 448 p.
- Acuña R. 1980. Aspectos de la fase terrestre de la tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*). Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 115 p.
- Albavera PE. 2011. No es una, no son diez... es la arribada. En: Angulo L (ed.) Las tortugas marinas de México: retos de conservación y subsistencia. CONANP, Centro Mexicano de la Tortuga. 20 p.
- Arzola-González JF. 2007. Humedad y temperatura en nidos naturales y artificiales de tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschsholtz 1829). Revista de Biología Marina y Oceanografía. 42:377-383.
- Azanza J, ME Ibarra, G Espinosa, R Díaz y G González-Sansón. 2003. Conducta de anidación de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en las playas Antonio y Caleta de Los Piojos de La Península de Guanahacabibes, Pinar del Río, Cuba. Revista de Investigaciones Marinas. 24:231-240.
- Bolongaro Crevenna Recaséns A, AZ Márquez-García, V Torres-Rodríguez y A García-Vicario. 2010. Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche. 73-96 p. En: Botello AV, S Villanueva-Fragoso, J Gutiérrez y JL Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche, México. 514 p.

- Brenes A y A Bonilla. 2012. La Niña 2010-2012: Estudio de caso Costa Rica. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR), Global Assessment Report, Santiago de Cali, Colombia. 24 p.
- Briseño-Dueñas R. 1980. Aspectos biológicos y protección de la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz), en la playa El Verde, Sinaloa (temporadas 1975-1977). Tesis de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar, La Paz, B.C.S., México. 88 p.
- Brusca R. 2010. The Gulf of California, biodiversity and conservation. The University of Arizona Press and the Arizona-Sonora Desert Museum, U.S.A. 354 p.
- Bustard HR y P Greenham. 1968. Physical and chemical factors affecting in green sea turtle *C. mydas*. Ecology. 49:269-276.
- Casas-Andreu G. 1977. Análisis de la anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 5:141-158.
- Chacón D, J Sánchez, J Calvo y J Ash. 2007. Manual para el manejo y la conservación de las tortugas marinas en Costa Rica; con énfasis en la operación de proyectos en playa y viveros. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Gobierno de Costa Rica, San José. 103 p.
- Chavez A. 1994. Efecto de la luna en la actividad de los animales. Lunario 2002. CIENTEC. Costa Rica.
- Chen TH y IJ Cheng. 1995. Breeding biology of the green turtle, *Chelonia mydas* (Reptilia: Cheloniidae) on Wanan Island, Penghu Archipelago, Taiwan. I. Nesting ecology. Marine Biology. 124:9-15.
- Choi G y K Eckert. 2009. Manual de Mejores Prácticas para la Protección de las Playas de Anidación de Tortugas Marinas. Red de Conservación de Tortugas Marinas en el Gran Caribe (WIDECAST), Informe Técnico No. 9, Ballwin, Missouri. 96 p.
- Chung CF, NJ Pilcher, M Salmon y J Wyneken. 2009. Offshore migratory activity of hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) hatchlings and quantitative analysis of

- activity, with comparisons to green turtles (*Chelonia mydas*). *Chelonian Conservation and Biology*. 8(1):28–34.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2009. Estudio previo justificativo para establecer el área natural protegida en categoría de Santuario Playa de Escobilla, Santa María Tonameca, Oaxaca. México D.F. 78 p.
- Cornelius SE, R Arauz, J Fretey, MH Godfrey, R Márquez y K Shanker. 2007. Effect of landbased harvest of *Lepidochelys*. 231-251 p. En: Plotkin PT (ed.). *Biology and Conservation of Ridley Sea Turtles*. The Johns Hopkins University Press, Maryland, U.S.A. 368 p.
- Daniel WW. *Bioestadística, base para el análisis de las ciencias de la salud*. Editorial Limusa, México. 485 p.
- Davenport J. 1997. Temperature and the life-history strategies of sea turtles. *Journal of Thermal Biology*. 22:479–488.
- Demetropoulos A. 2000. Impact of tourism development on marine turtle nesting: strategies and actions to minimise impact. *Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats*, Strasbourg. 130 p.
- Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de México (DGAOHM). 2013. Cabo San Lucas, Baja California Sur. <http://digaohm.semarn.gob.mx/cuestionarios/cnarioCabosnlucas.pdf>; última consulta: 30.05.2016.
- Dornfeld TC, JN Robinson, PS Tomillo y FV Paladino. 2015. Ecology of solitary nesting olive ridley sea turtles at Playa Grande, Costa Rica. *Marine Biology*. 162(1):123-139.
- Drews C y A Fonseca. 2009. Rising sea level due to climate change at Playa Grande, Las Baulas National Park, Costa Rica: inundation simulation based on a high resolution, digital elevation model and implications for park management. Informe Técnico WWF/ Stereocarto. San José, Costa Rica. 20 p.
- Eckrich CE y DWM Owens. 1995. Solitary versus arribada nesting in the olive ridley sea turtles *Lepidochelys olivacea* a test of the predator-satiation hypothesis. *Herpetologica*. 51:349-354.

- Flowler L. 1979. Hatching success and nest predation in the green sea turtle, *Chelonia mydas*, at tortuguero, Costa Rica. *Ecology*. 60: 946-955.
- Fuentes M, J Maynard, M Guinea, I Bell, P Werdell y M Hamann. 2009. Proxy indicators of sand temperature help project impacts of global warming on sea turtles in northern Australia. *Endanger Species Research*. 9:33-40.
- Garcia A, G Ceballos y R Adaya. 2003. Intensive beach management as an improved sea turtle conservation strategy in Mexico. *Biological Conservation*. 111:253-261.
- Garcon J, A Grech, J Moloney y M Hamman. 2009. Relative Exposure Index: an important factor in sea turtle nesting distribution. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 20:140–149.
- Gulko D y K Eckert. 2004. *Sea turtles: An ecological guide*. Mutual Publishing, Honolulu, Hawaii. 128 p.
- Hamann M, D Owens y CJ Limpus. 2002. Reproductive cycles in male and female sea turtles. 135-161 p. En: Lutz PL y JA Musick (eds.). *The Biology of Sea Turtles*, Volumen 1. CRC Press, U.S.A. 448 p.
- Hirth H. 1980. Some aspects of the nesting behavior and reproductive biology of sea turtles. *American Zoologist*. 20:507-523.
- Honarvar S. 2007. Nesting ecology of olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) turtles on arribada nesting beaches. Tesis Doctoral. Drexel University, U.S.A. 101 p.
- Hughes DA y JD Richard. 1974. The nesting of the Pacific ridley turtle *Lepidochelys olivacea* on Playa Naneite, Costa Rica. *Marine Biology*. 24:97-107.
- Jiménez-Quiroz MC, R Márquez-Millán, J Díaz-Flores y AS Leo-Peredo. 2003. Características de las arribaciones de la tortuga marina lora en Rancho Nuevo (Tamaulipas-México). *Oceánides*. 18(2):69-81.
- Law A, T Clovis, GR Lalsingh y JR Downie. 2010. The Influence of Lunar, Tidal and Nocturnal Phases on the Nesting Activity of Leatherbacks (*Dermochelys coriacea*) in Tobago, West Indies. *Marine Turtle Newsletter*. 127:12-17.
- Limpus CJ y N Nichols. 1987. The southern oscillation regulates the annual numbers of green turtles (*Chelonia mydas*) breeding around northern Australia. *Australian Journal of Wildlife Research*. 15:157-161.

- López-Castro MC, R Carmona y WJ Nichols. 2004. Nesting characteristics of the olive Ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) in Cabo Pulmo, southern Baja California. *Marine Biology*. 145:811-820.
- Magaña V, JL Pérez, JL Vázquez, E Carrisoza y J Pérez. 2004. El Niño y el Clima. 23-68 p. En: Magaña V (ed.). *Los Impactos del Niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación, México. 229 p.
- Maloney JE, C Darian-Smith, Y Takahashi y CJ Limpus. 1990. The environment for development of the embryonic loggerhead turtle (*Caretta caretta*) in Queensland. *Copeia*. 1990:378.
- Márquez GAZ, V Pérez, E Márquez y Z Flores. 2007. Cambios en el tamaño de los sedimentos de las playas del litoral del Municipio de Solidaridad por efectos climáticos estacionales. *Revista de la Universidad del Caribe*. 59-68.
- Márquez R. 1990. *FAO Species Catalogue. Sea turtles of the World. An annotated and illustrated catalogue of sea turtle species known to date*. *FAO Fisheries Synopsis*. 11(125).
- Márquez R. 2002. *Las tortugas marinas y nuestros tiempos*. La Ciencia para Todos, México. 199 p.
- Márquez R, A Villanueva, C Peñaflores y D Ríos. 1982. Situación actual y recomendaciones para el manejo de las tortugas marinas en la costa occidental mexicana, en especial la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*). *Ciencias Pesqueras*. 83-91.
- McGehee M. 1979. Effects of moisture on eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). Department of Biological Sciences, University of Central Florida. *Herpetology*. 3: 251-258.
- Meylan AB, B Schroeder y A Mosier. 1995. Sea turtle nesting activity in the state of Florida, 1979–1992. *Florida Marine Research Publications*. 52:1-51.
- Miller JD. 1996. Reproduction in sea turtles. 52-71 p. En: Lutz PL y JA Musick (eds.). *The Biology of Sea Turtles, Volumen 1*. CRC Press, U.S.A. 448 p.
- Miller JD. 2000. Determinación del tamaño de la nidada y el éxito de eclosión. 143-149 p. En: Eckert KL, KA Bjorndal, FA Abreu-Grobois y M Donnelly (eds.).

- Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4, Washington D.C. 278 p.
- Mortimer JA. 1990. The influence of beach sand characteristics on the nesting behavior and clutch survival on green turtles (*Chelonia mydas*). *Copeia*. 802–817.
- Nichols WJ, A Resendiz, J Seminoff y B Resendiz. 2000. Transpacific migration of a loggerhead turtle monitored by satellite telemetry. *Bulletin of Marine Science*. 67:937-947.
- Ocana M, M Harfush-Melendez y S Heppell. 2012. Mass nesting of olive ridley sea turtles *Lepidochelys olivacea* at La Escobilla, Mexico: linking nest density and rates of destruction. *Endangered Species Research*. 16:45-54.
- Pilcher NJ y M Al-Merghani. 2000. Reproductive biology of the green turtle *Chelonia mydas* at Ras Baridi, Saudi Arabia. *Herpetological Review*. 32:142-149.
- Poloczanska ES, JC Limpus y GC Hays. 2009. Vulnerability of Marine Turtles to Climate Change. *Advances in Marine Biology*. 56:152-191
- Pritchard PCH y R Márquez. 1973. Kemp's Ridley Turtle or Atlantic Ridley *Lepidochelys kempi*. *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources Monograph (Marine Turtle Series)*. 2:1-30.
- Pritchard PCH y JA Mortimer. 2000. Taxonomía, Morfología Externa e Identificación de las Especies. 23-41 p. En: Eckert KL, KA Bjorndal, FA Abreu-Grobois y M Donnelly (eds.). *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4, Washington D.C. 278 p.
- Putman NF, CS Endres, MF Lohmann y KJ Lohmann. 2011, Longitude perception and bicoordinate magnetic maps in sea turtles. *Current Biology*. 21:463-466.
- Rodríguez-Valencia JA, MA Ángeles-Monrroy y D Vasconcelos. 2005. Registro de una anidación de tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en el Municipio de Guaymas, Sonora, México (Playa “La Manga II”). Reporte para WWF. 12 p.
- Rousso E, C Cristina-Sánchez y CD Lara-Oregón. 2015. Quantifying sea turtle nesting habitat: using beach profiling and nest distribution as a conservation

- tool. 79-100 p. En: Lara-Uc MM, JM Rodríguez-Baron & R Riosmena-Rodríguez (eds.). Successful conservation strategies for sea turtles: achievements and challenges. Nova Science Publishers Inc., U.S.A. 199 p.
- Sandoval S. 2008. Pronóstico de la temperatura de los nidos de tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en función de la temperatura ambiente, la profundidad y el calor metabólico. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar, La Paz, B.C.S., México. 71 p.
- Schroeder BA, AM Foley y DA Bagley. 2003. Nesting patterns, reproductive migrations, and adult foraging areas of loggerhead turtles. 114–124 p. En: Bolten AB y BE Witherington (eds.). Loggerhead sea turtles. Smithsonian Books, Washington DC.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 2010 (30 de diciembre). [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf). Última consulta: 30.05.2016.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. Norma Oficial Mexicana NOM-162-SEMARNAT-2012. Que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas en su hábitat de anidación. Diario Oficial de la Federación 2013 (1 de febrero). <http://207.248.177.30/mir/uploadtests/28375.177.59.2.NOM162SEMARNAT%202012.pdf>. Última consulta: 30.05.2016.
- Seminoff J y B Wallace. 2012. Turtles of the Eastern Pacific, advances in research and conservation. The University of Arizona Press, U.S.A. 376 p.
- Shanker K, B Pandav y BC Choudhury. 2003. An assessment of the olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) nesting population in Orissa, India. Biological Conservation. 115:149-160.

- Sieg AE. 2010. Physiological constraints on the ecology of activity-limited ectotherms. Tesis Doctoral. Universidad Drexel, Estados Unidos.
- Snover ML. 2002. Growth and ontogeny of sea turtles using skeletochronology: methods validation and application to conservation. Ph.D. Dissertation. Duke University, Durham, North Carolina, U.S.A. 144 p.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 2005. Introduction to Sandwatch: An educational tool for sustainable development. Coastal region and small island papers 19, UNESCO, Paris. 91 p.
- Valverde RA y CE Gates. 2000. Estudios de Poblaciones en Playas de Arribadas. 64-69 p. En: Eckert KL, KA Bjorndal, FA Abreu-Grobois y M Donnelly (eds.). Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4, Washington D.C. 278 p.
- Valverde RA, CM Orrego, MT Tordoir, FM Gómez, DS Solís, RA Hernández, GB Gómez, LS Brenes, JP Baltodano, LG Fonseca y JR Spotila. 2012. Olive ridley mass nesting ecology and egg harvest at Ostional Beach, Costa Rica. Chelonian Conservation and Biology. 11:1-11.
- Van Houtan KS y OL Bass. 2007. Stormy oceans are associated with declines in sea turtle hatching. Current Biology. 17:590-591.
- Vega-Bravo JA. 2014. Influencia de las mareas, fases lunares y los vientos en la anidación de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en Los Cabos, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México. 53 p.
- Wang JH, JK Jackson y KJ Lohmann. 1998. Perception of wave surge motion by hatchling sea turtles. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 229:177-186.
- Witherington BE. 2000. Reducción de las Amenazas al Hábitat de Anidación. 204-210 p. En: Eckert, K. L., K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois y M. Donnelly (eds.). Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4, Washington D.C. 278 p.

Salazar-Vallejo SI. 1998. Calentamiento global y efectos costeros. RAvacient. 25:10-20.

Zar JH. Biostatistical Analysis, fifth edition. Pearson Prentice Hall, U.S.A. 944 p.

Zug GR, M Chaloupka y GH Balazs. 2006. Age and growth in Olive Ridley Sea Turtles (*Lepidochelys olivacea*) from the north-central Pacific: a skeletochronological analysis. Marine Ecology. 27:263-270.

