

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN  
SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**



---

**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS  
EN ECOLOGÍA MARINA**

---

**Anidación y conservación de la tortuga golfina  
(*Lepidochelys olivacea*) en dos playas de la costa occidental  
de Baja California Sur, México: 1995-2013**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

Maestro en Ciencias  
Presenta:

**Abilene Giseh Colin Aguilar**

Ensenada, Baja California, México  
2015

Tesis defendida por  
**Abilene Giseh Colin Aguilar**

y aprobada por el siguiente Comité

---

Dra. Elena Solana Arellano  
Codirector del Comité

---

Dr. Volker Koch  
Codirector del Comité

---

M. en C. Vicente Ferreira Bartrina  
Miembro del Comité

---

Dr. José Gómez Valdez  
Miembro del Comité

---

Dr. David Rivas Camargo  
Coordinador del Posgrado en  
Ecología Marina

---

Dr. Jesús Favela Vara  
Director de la Dirección de Estudios  
de Posgrado

Julio 2015

Resumen de la tesis que presenta **Abilene Giseh Colín Aguilar** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

**Anidación y conservación de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en dos playas de la costa occidental de Baja California Sur, México: 1995-2013**

Resumen elaborado por:

---

Abilene Giseh Colin Aguilar

Baja California Sur representa el límite de anidación nortero para la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) y exhibe condiciones ambientales no habituales para la especie. El estudio de tendencias de la población y la influencia de factores ambientales en sus parámetros reproductivos son elementos necesarios para comprender de manera integral su estado de su conservación en la zona. En este estudio, se describieron los parámetros reproductivos de la colonia de anidación de las tortugas golfinas basado en 19 años de seguimiento de la playa de San Cristóbal (SC) y 15 años para la playa de El Suspiro (ES). Se utilizaron Modelos Lineales Generalizados (MLG) para analizar la influencia de factores de escala grande (Chl-a, TSM, TSM-Anomalías) y de escala local (precipitación, huracanes y temperatura) en el éxito reproductivo de la tortuga golfina, teniendo en cuenta cuatro parámetros como indicadores: número de nidos, número de crías y los porcentajes de eclosión y emergencia. Para el MLG de de número de nidos y crías, los factores más importantes fueron TSM, Anomalías y Chl-a, que en conjunto representaron >70% de la varianza. En el GML para porcentajes de eclosión y emergencia, Chl-a y Temperatura, fueron las variables más importantes que explicaron >60% de la varianza. Esto demuestra que incluso en una playa de anidación con condiciones consideradas extremas, los factores ambientales locales sólo explican parcialmente la variabilidad interanual del éxito reproductivo, y en su lugar, las condiciones oceanográficas del período anterior a la anidación pueden explicar esta variabilidad, especialmente la diferencia en abundancia de alimento (Chl-a fue utilizado como un proxy de la disponibilidad de alimentos), y por lo tanto la condición corporal de las hembras y el aporte de proteínas de los huevos. Adicionalmente, se estimó la proporción de sexos en ambas playas para la temporada de 2013 mediante un modelo de temperatura. La proporción sexual para los machos fue de 0,47 para la SC y de 0,57 para ES, que son hasta ahora los valores más altos reportados para el Pacífico mexicano y denota la importancia de las áreas de anidación marginales para la producción de machos a la población. Con el presente estudio, ambas playas cumplen con los requisitos para la designación como sitio de anidación clave de la tortuga golfina, lo cual puede ayudar a dirigir mayores esfuerzos de conservación en esta zona de anidación.

Palabras clave: ***Lepidochelys olivacea*, Anidación, Baja California Sur, Factores Ambientales, Éxito Reproductivo**

Abstract of the thesis presented by **Abilene Giseh Colin Aguilar** as a partial requirement to obtain the Master of Science Degree in Marine Ecology.

**Nesting and conservation of the olive ridley sea turtle (*Lepidochelys olivacea*) in two beaches of the western coast of Baja California Sur, Mexico: 1995-2013**

Abstract by:

---

Abilene Giseh Colin Aguilar

Baja California Sur is the northernmost nesting area of the olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) and presents non-habitual environmental conditions to the species. Nesting trends and the influence of environmental factors on their reproductive parameters are elements needed to understand holistically their state of their conservation in the area. In this study, were described the reproductive parameters of the nesting colony of olive ridley turtles based on 19 years of monitoring for San Cristobal beach (SC) and 15 years for El Suspiro beach (ES). Generalized Linear Models (GLM) were used to analyze the influence of large (Chl-a, SST, SST-anomalies) and local scale environmental factors (Precipitation, Hurricanes and Temperature) on the reproductive success of the olive ridley turtle, considering four parameters as indicators: number of nests, number of hatchlings and percentages of hatching and emerging. For GLM's of number of nests and hatchlings, the most important factors were TSM, Anomalies and Chl-a, which together accounted >70% of the variance. In the GML's for percentages of hatching and emerging, Chl-a and Temperature, were the most important variables explaining > 60% of the variance. This shows that even at a nesting beach with conditions considered extreme, local environmental factors only partially explain the interannual variability of reproductive success, and instead, the oceanographic conditions of the pre-nesting period may explain this variability, especially the different abundance of food (Chl-a was used as a proxy for food availability), and therefore the body condition of females and the contribution of protein to eggs. Additionally, the sex ratio in both beaches for the 2013 season was estimated using a temperature model. Sexual proportion for males was 0.47 for SC and 0.57 for ES, which are until now the highest values reported for the Mexican Pacific and underlines the importance of marginal nesting areas for the production of males to the population. With the present study, both beaches meet the requirements for designation as key nesting site of the olive ridley turtle, which can help to lead greater conservation effort in this nesting area.

**Keywords:** *Lepidochelys olivacea*, Nesting, Baja California Sur, Environmental Factors, Reproductive Success

## Dedicatoria

***A mi familia,  
especialmente a mi mamá,  
maestra de sueños,  
guerrera incansable,  
y quien me impulsó a volar***

## Agradecimientos

A CICESE por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente y a CONACYT por hacerlo realidad mediante la beca económica. A todo el personal académico que enriqueció mi formación. Mi admiración para aquellos que además de la investigación, dedican parte de su tiempo a la labor docente.

Gracias a Elizabeth Farías, a Karina Ortiz y a Reyna Román por desempeñar con excelencia su labor, la cual no sólo se limitó a lo administrativo pues también ejercieron funciones de psicólogas, amigas, consejeras, guías, y mamás regañonas ☺. Gracias por su calidez, ustedes hacen que en CICESE uno se sienta en familia. ‘

Al sr. René Pinal y la sra. Gabriela Juárez, por su confianza desde el primer momento que inicié esta tesis. Su apoyo fue algo invaluable. Gracias a ASUPMATOMA A.C. y a todos los que han colaborado a lo largo de estos 20 años para que esta tesis pueda hoy ser una realidad.

A los campamentos tortugeros de B.C.S (Don Manuel Orantes) y de Sinaloa (Estrella de Mar y Ceuta) por facilitarme sin inconvenientes los datos de anidación de sus playas.

Al Dr. José Gómez y MC. Vicente Ferreira por sus valiosos aportes para enriquecer mi trabajo. Por las charlas amenas y por motivarme a ser autocrítica.

Gracias a mis directores Volker (“el alemán”) y Elena (“la mayestra”), porque con ustedes encontré la receta perfecta para el éxito. No sólo me demostraron su excelencia en lo académico sino también en su calidez humana, verdaderamente ha sido un orgullo ser su hija académica y espero haberles correspondido bien.

Al laboratorio de Ecología Matemática. No puede haber un nombre más ñoño que ese y eso es porque ustedes le hacen honor. Gracias por lo que aprendí y compartí con ustedes, por tantas horas de algarabía, música, risas, estrés y comida: Olga, Luis, JuanMa, Edgar, Juan Carlos, Beto, Lupita, Selene, Arturo y Erika.

A mis compañeros de maestría, de los cuales pude aprender cosas tan importantes como la disciplina y lo gratificante que es compartir tu conocimiento, pero más allá de eso por su compañerismo y buena vibra. En especial, a Karen Michoacana y Karen local, Vero, Luz, Laurita, Aidé, Pau y Celia por los buenos momentos que permanecerán.

A mi familia, mamá, papá, Hazz y Nidy, y a mis primas, tíos, y a mi familia paceña por las constantes palabras de aliento. A Juanito, por ser mi familia en Ensenada, por siempre tener las palabras correctas para calmarme, aún en el peor escenario. Gracias por ser incondicional.

## Tabla de contenido

<b>Resumen español</b> .....	ii
<b>Resumen inglés</b> .....	iii
<b>Dedicatoria</b> .....	iv
<b>Agradecimientos</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	ix
<b>Lista de tablas</b> .....	xiii
<b>1. Introducción y Antecedentes</b> .....	1
1.1. Generalidades de las tortugas marinas.....	1
1.2. Ciclo de vida de las tortugas marinas.....	2
1.3. La tortuga golfina ( <i>Lepidochelys olivacea</i> ).....	2
1.4. Sitios de anidación y alimentación de la tortuga golfina en el Océano Pacífico Oriental.....	6
1.5. Factores ambientales que influyen en el éxito reproductivo de la tortuga golfina.....	9
1.6. Importancia de Baja California Sur como sitio de anidación de la tortuga golfina.....	12
1.7. Programa de conservación de la tortuga golfina en ASUPMATOMA A.C.....	14
<b>2. Justificación</b> .....	15
<b>3. Objetivos</b> .....	16
3.1. General.....	16
3.2. Específicos.....	16
<b>4. Hipótesis</b> .....	17
<b>5. Metodología</b> .....	18
5.1. Área de estudio.....	18
5.2. Metodología en campo.....	20
5.3. Análisis de datos: parámetros reproductivos.....	22
5.3.1. Tendencia del número de nidos.....	23
5.3.2. Distribución temporal de los nidos.....	24
5.3.3. Distribución espacial y densidad de anidación.....	24
5.3.4. Largo Curvo del Caparazón y Tamaño de nidada.....	24
5.3.5. Prácticas de manejo: éxito de eclosión y emergencia.....	25
5.3.6. Prácticas de manejo: periodo de incubación.....	26
5.3.7 Prácticas de manejo: efecto de la separación de nidadas sobre los porcentajes de eclosión y emergencia.....	26

## Tabla de contenido (continuación)

5.4. Modelos Lineales Generalizados (MLG) .....	26
5.4.1. Factores ambientales introducidos en los MLG .....	28
5.4.2. MLG para número de nidos y número de crías .....	29
5.4.3. MLG para porcentajes de eclosión y de emergencia.....	32
5.5. Estimación de la proporción sexual de tortuga golfina en condiciones de vivero.....	34
5.6. Indicadores del éxito de programa de conservación.....	35
5.6.1. Tendencia de la colonia anidadora.....	37
5.6.2 Costo de producción por cría.....	37
5.6.3 Incremento del número de visitantes.....	38
<b>6. Resultados .....</b>	<b>39</b>
6.1 Tendencias generales de los parámetros reproductivos .....	43
6.2 Distribución temporal de los nidos.....	43
6.3 Distribución espacial y densidad de anidación .....	43
6.4 Relación Largo Curvo del Caparazón con tamaño de nidada .....	45
6.5 Prácticas de manejo .....	46
6.5.1.Éxito de eclosión y emergencia en condiciones de vivero.....	46
6.5.2 Periodo de incubación .....	48
6.5.2 Efecto de la separación de nidadas.....	47
6.5.2 Comparación de la densidad de anidación y porcentajes de eclosión en las playas de estudio respecto a otras playas de anidación solitaria y con una playa de anidación masiva .....	50
6.6 Modelación de los factores ambientales que influyen en los parámetros reproductivos de la colonia anidadora de tortuga golfina en Los Cabos, México .....	52
6.6.1 Eliminación de la tendencia de incremento en el número de nidos y crías .....	53
6.6.2. Modelación de los factores ambientales que influyen en el número de nidos.....	54
6.6.3 Modelación de los factores ambientales que influyen en el número de crías.....	60
6.6.4 Modelación de los factores ambientales que influyen en el porcentaje de eclosión y porcentaje de emergencia.....	65
6.7 Proporción sexual en condiciones de vivero .....	72
6.8 Evaluación del éxito del programa de conservación .....	76
6.8.1. Tendencia de la colonia anidadora.....	76
6.8.2.Costo de producción por cría.....	76
6.8.3. Incremento del número de visitantes.....	78

## Tabla de contenido (continuación)

<b>7. Discusión</b> .....	79
7.1 Tendencia y estado actual de la colonia anidadora.....	79
7.2 Distribución temporal del esfuerzo reproductivo.....	80
7.3 Diferenciación de las playas por densidad de anidación .....	80
7.3 Parámetros reproductivos de la colonia anidadora .....	82
7.3.1 Relación LCC-tamaño de nidada.....	82
7.3.2 Éxito de eclosión y de emergencia .....	82
7.3.3. Periodo de incubación .....	83
7.3.4. Efecto de la separación de nidadas en los porcentajes de eclosión y emergencia.....	84
7.4 Relevancia de la anidación en playa SC y playa ES a nivel local (BCS) y regional (Noroeste) .....	82
7.5. Principales factores ambientales que influyen en el número de nidos y número de crías de la colonia anidadora de BCS .....	84
7.6. Principales factores ambientales que influyen en los porcentajes de eclosión y de emergencia de la colonia anidadora de BCS.....	90
7.7. Proporción sexual de las crías de tortuga golfina en una playa marginal.....	94
7.8. Evaluación del programa de conservación ASUPMATOMA, A.C. ....	95
7.9. Propuesta de designación de playa SC y playa ES como sitio índice de la anidación de tortuga golfina en México .....	99
<b>8. Conclusión</b> .....	101
<b>9. Recomendaciones</b> .....	102
<b>Lista de referencias</b> .....	103
<b>Apéndices</b> .....	115

## Lista de figuras

Figura	Página	
1	Ciclo de vida generalizado de las tortugas marinas (Modificado de Lanyon <i>et al.</i> , 1989).....	3
2	Tortuga golfina ( <i>Lepidochelys olivacea</i> ).....	3
3	Distribución (sombreado en color gris) de la tortuga golfina en el Océano Pacífico Oriental. Los íconos rojo y amarillo indican el límite norteño (B.C.S, México) y sureño (Norte de Perú) de anidación.....	
4	Tortugas golfinas avistadas en el Océano Pacífico Oriental durante el periodo 1990-2002. Tortugas vivas: 13,385; muertas: 443; total: 13,828. Los contornos en el mapa indican los niveles de esfuerzo durante el período, medidos en número de lances (Tomado de IATCC, 2004).....	4
5	Área de estudio: playa San Cristóbal (5 Km) y playa El Suspiro (13 Km) en Cabo San Lucas, B.C.S. México.....	18
6	Tendencias de los parámetros reproductivos de la colonia anidadora de tortuga golfina en las playas San Cristóbal y El Suspiro: temporadas 1995-2013. ....	41
7	Número de nidos observados (N=3408) y estimados (N=4162) para playa San Cristóbal en el periodo 1995-2013. Las barras indican intervalos de confianza al 95%.....	42
8	Número de nidos observados (N=6939) y estimados (N=8630) para playa El Suspiro en el periodo 1999-2013. Las barras indican intervalos de confianza al 95%.....	42
9	Distribución mensual de nidos de tortuga golfina en playa San Cristóbal y playa El Suspiro: Temporadas 1995-2013. En cada barra se muestra el porcentaje de nidos por mes, tomando en cuenta 100% como el número total de nidos. Las líneas verticales representan desviación estándar.....	43
10	Distribución espacial de nidos y arqueos en playa S. Cristóbal: temporadas 2011-2013.....	44
11	Distribución espacial de nidos y arqueos en playa El Suspiro: temporadas 2012-2013.....	44

## Lista de figuras (continuación)

12	Densidad de anidación (nidos/km) en playa San Cristóbal y playa El Suspiro: temporadas 1999-2013. ....	45
13	Largo curvo del caparazón y tamaño de nidada de tortuga golfina anidando en playa San Cristóbal (círculos grises) y playa El Suspiro (triángulos blancos). La línea continua indica la regresión lineal (N=632).....	46
14	Comparación del éxito de eclosión para los dos sitios de estudio. El promedio de playa San Cristóbal (SC) es de 77.78% y de playa El Suspiro es de 77.31% (ES). Los cuadrados negros representan la media, los rectángulos el error estándar y las líneas los intervalos de confianza.....	47
15	Comparación del éxito de emergencia para los dos sitios de estudio. El promedio de playa San Cristóbal (SC) es de 69.50% y de playa El Suspiro es de 77.26% (ES). Los cuadrados negros representan la media, los rectángulos el error estándar y las líneas los intervalos de confianza.....	47
16	Periodo de incubación por mes para playa SC y playa ES tomando en cuenta las 19 temporadas de monitoreo. Los cuadros blancos representan la media y las barras la desviación estándar.....	48
17	Comparación del periodo de incubación entre los dos sitios de estudio. Los cuadrados representan la media y las líneas verticales indican intervalos de confianza al 95%.....	49
18	Comparación de la densidad de anidación (nidos/Km) de las playas de estudio (San Cristóbal y El Suspiro) con otras playas de anidación solitaria. ....	51
19	Número de nidos observados y predichos por un modelo de regresión lineal y un modelo no lineal cúbico para las temporadas 1995-2013 en playa San Cristóbal.....	53
20	Número de nidos de tortuga golfina observados y ajustados* mediante MLG para playa San Cristóbal. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías. ....	55

## Lista de figuras (continuación)

21	Número de nidos de tortuga golfina observados y ajustados mediante MLG para playa El Suspiro. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.....	57
22	Número de nidos de tortuga golfina observados y ajustados mediante MLG para ambas playas. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.....	59
23	Número de crías de tortuga golfina observado y ajustado mediante MLG para playa SC. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.....	61
24	Número de crías de tortuga golfina observado y ajustado mediante MLG para playa ES. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.....	63
25	Número de crías de tortuga golfina observado y ajustado mediante MLG para ambas playas. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.....	64
26	Éxito de eclosión (porcentaje) observado y ajustado mediante MLG para playa SC.....	67
27	Éxito de eclosión (porcentaje) observado y ajustado mediante MLG para playa ES.....	68
28	Éxito de emergencia (porcentaje) observado y ajustado mediante MGL para playa SC.....	70
29	Éxito de emergencia (porcentaje) observado y ajustado mediante MGL para playa ES.....	71
30	Patrón de temperaturas (dentro del nido) en playa ES durante la temporada 2013. Línea roja indica temperatura letal superior (35°C); línea azul: temperatura letal inferior (23°C); línea rosa: temperatura feminizante (32°C); línea verde: temperatura masculinizante (28°C); línea amarilla con sombra: temperatura pivote (29.99°C). .....	73

## Lista de figuras (continuación)

31	Patrón de temperaturas (dentro del nido) en playa ES durante la temporada 2013. Línea roja indica temperatura letal superior (35°C); línea azul: temperatura letal inferior (23°C); línea rosa: temperatura feminizante (32°C); línea verde: temperatura masculinizante (28°C); línea amarilla con sombra: temperatura pivote (29.99°C).....	73
32	Distribución mensual de los nidos para la temporada 2013 en playa San Cristóbal (SC) y playa El Suspiro (ES). El mes hace referencia al momento en el que se llevó a cabo el periodo de determinación sexual de cada nido (segundo tercio de incubación).....	75
33	Proporción mensual de machos para la temporada 2013 en playa S. Cristóbal (SC) y El Suspiro. (ES).....	
34	Número de visitantes en ASUPMATOMA. Se muestran sólo algunas temporadas. Los visitantes corresponden a personas de todas las edades.....	78

## Lista de tablas

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1 Cronograma de actividades de los campamentos San Cristóbal y El Suspiro.....	21
2 Variables ambientales utilizadas en el análisis de Modelos Lineales Generalizados.....	30
3 Número de nidos protegidos y no protegidos en playa SC (temporadas 1995-2013) y playa ES (temporadas 1999-2013).....	39
4 Comparación de los porcentajes de eclosión y emergencia en nidos separados y no separados para playa SC y ES. Dentro del paréntesis se muestra el promedio $\pm$ desviación estándar y el valor p de la prueba t.....	50
5 Comparación del porcentaje de eclosión entre algunas playas de anidación solitaria y una playa de anidación en arribada Temporadas: 2009-2013.....	51
6 Análisis de correlación de Pearson para las variables ambientales introducidas a los modelos. Los colores rojos indican significancia con un $p < 0.05$ y un $r > 0.50$ .....	53
7 Análisis de devianza del MLG final para número de nidos en playa San Cristóbal. En negritas y color gris se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.....	55
8 Análisis de devianza del MLG final para número de nidos en playa El Suspiro. En negritas y color gris se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.....	56
9 Análisis de devianza del MLG final para número de nidos en ambas playas. En negritas se y color gris se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.....	58
10 Análisis de devianza del MLG final para número de crías en playa SC. En negritas se y color gris se muestran las variables con mayor porcentaje de varianza explicada. ....	60
11 Análisis de devianza del MLG final para número de crías en playa ES. En negritas se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.....	62
12 Análisis de devianza del MLG final para número de crías en ambas playas. En negritas y color gris se muestran las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.....	64

## Lista de tablas (continuación)

13	Análisis de devianza del MLG final para porcentaje de eclosión en playa SC. En negritas y color gris se muestran las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.....	66
14	Análisis de devianza del MLG final para porcentaje de eclosión en playa ES. En negritas y color gris se muestran las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.....	68
15	Análisis de devianza del MLG final para porcentaje de emergencia en playa SC. En negritas se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.....	69
16	Análisis de devianza del MLG final para porcentaje de emergencia en playa ES. En negritas y color gris se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.....	71
16	Proporción de machos en playa S. Cristóbal y El Suspiro durante la temporada 2013.....	74
17	Costo por producción de cría de tortuga golfina en B.C.S y en Sinaloa.	76
18	Gastos de operación en ASUPMATOMA A.C. durante las temporadas 2011-2013. En rojo se indican los rubros de mayor gasto en cada temporada (en porcentaje). En azul se marca los rubros de mayor variación en las tres temporadas. ....	77

# 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

---

## 1.1. Generalidades de las tortugas marinas

Las tortugas marinas son animales ancestrales que han habitado la tierra por al menos 200 millones de años (Pough *et al.*, 1996). Se han reconocido seis familias, más de 50 géneros y casi 100 especies de tortugas marinas. Han sido un grupo diverso y ampliamente distribuido (Pritchard, 1997); sus representantes vivientes se encuentran agrupados en dos familias, seis géneros y siete especies (Meylan y Meylan, 2000).

De las siete especies de tortugas marinas del mundo, cinco habitan en el Pacífico Oriental: la tortuga negra (*Chelonia mydas*), la tortuga amarilla (*Caretta caretta*), la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) y la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) (Cliffon *et al.*, 1982). Hasta hace un par de siglos, las poblaciones de tortugas marinas eran abundantes, algunas de las cuales se conformaban por millones de individuos (Bjorndal *et al.*, 2000). En las décadas de 1950-1980, la mayoría de las especies estuvieron sometidas a una fuerte explotación, lo cual redujo sus tamaños poblacionales a un punto crítico (Márquez, 1990). Además, otros factores como la captura incidental, la destrucción de hábitats críticos y la contaminación de los mares también amenazan su supervivencia (IUCN, 2010).

A raíz de la notable disminución de las poblaciones de tortuga marina y debido a su carácter migratorio, fue necesario iniciar acciones que frenaran el deterioro de las poblaciones. A nivel internacional se estableció el Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES) para prohibir su comercio entre países que firmen el acuerdo. Así mismo, todas las especies se encuentran catalogadas en diferentes niveles de riesgo de extinción en el Libro Rojo de Datos de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN). En México, además de esos acuerdos, todas las especies de tortugas marinas se encuentran protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010; CITES, 2014; IUCN, 2014).

## 1.2. Ciclo de vida de las tortugas marinas

Durante su ciclo de vida (Fig. 1), las tortugas marinas dependen de diferentes ambientes marinos y terrestres. Como reptiles amnióticos, su fase reproductiva está ligada a las playas, en donde las hembras depositan sus huevos, los cuales no reciben cuidado parental. Una vez transcurrido el tiempo de incubación (45-60 días), las crías eclosionan y se dirigen al mar (Miller, 1997). Durante su desarrollo, pasan por los estadios juvenil, subadulto y adulto, dependiendo de ambientes oceánicos y neríticos hasta llegar a la madurez sexual (Musick y Limpus, 1997). Para continuar con su ciclo de vida, recorren miles de kilómetros desde sus áreas de alimentación hacia sus áreas de anidación (Hays *et al.*, 1999; Girard *et al.*, 2006) donde machos y hembras se congregan para realizar la cópula. Sólo las hembras regresan a la playa para desovar, repitiendo este acto varias veces por temporada (Márquez, 1990). Una hembra puede tardar de 1-3 años en volver a anidar a la playa entre temporadas sucesivas de anidación, proceso conocido como intervalo de migración (Carr y Carr, 1970). Aunque existen variaciones de especie a especie, se sabe que las hembras de tortugas marinas tienden a regresar al mismo ambiente terrestre en donde nacieron, y por ello se les reconoce como especies filopátricas (Meylan *et al.*, 1990).

## 1.3. La tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*)

La tortuga golfina (Fig. 2) es una de las especies de tortuga marina más pequeña. Su peso promedio es de 38 Kg con un máximo de 50 Kg, mientras que la longitud curva del caparazón (LCC) va de los 67 cm a los 72 cm (INP, 2000). Exhibe una de las tasas de crecimiento más rápidas, alcanzando la madurez sexual aprox. a los 62 cm y a los 10 años de edad (Márquez, 1996), aunque estudios esqueletocronológicos recientes sugieren un promedio de 13 años, con un intervalo de 10-18 años (Zug *et al.*, 2006).

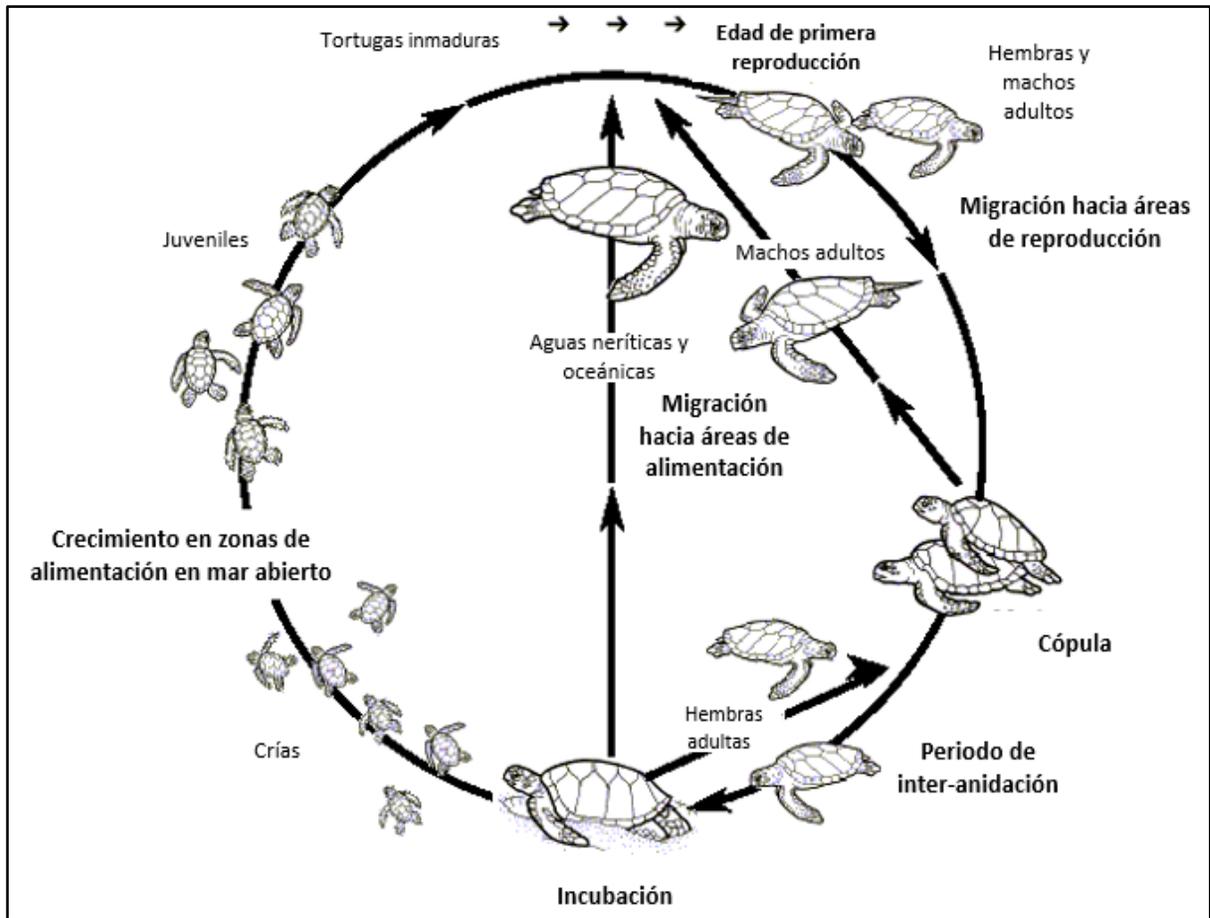


Figura 1. Ciclo de vida generalizado de las tortugas marinas (Modificado de Lanyon *et al.*, 1989)

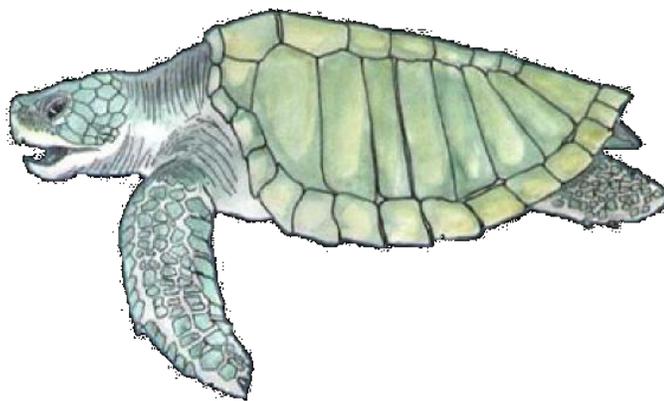


Figura 2. Tortuga golfinia (*Lepidochelys olivacea*)

Es una especie pantropical habitando principalmente el hemisferio Norte con límites de distribución en las isotermas de 20° C. Su distribución en el Océano Pacífico Oriental (OPO, Fig. 3) va del sur de California al norte de Perú (Márquez, 1990), con raros avistamientos en el Golfo de Alaska que coinciden en años con anomalías climáticas positivas del fenómeno El Niño-Southern Oscillation “ENSO” (Hodge y Wing, 2000).



**Fig. 3** Distribución (sombreado en color gris) de la tortuga golfina en el Océano Pacífico Oriental (OPO). Los íconos rojo y amarillo indican el límite norteño (B.C.S, México) y sureño (Norte de Perú) de anidación.

La tortuga golfina presenta un ciclo reproductivo predominantemente anual, más del 60% anida todos los años, el 29% cada dos años y el 11% cada tres años (Márquez, 1990). El periodo de anidación ocurre comúnmente en verano y otoño, variando con la latitud y el clima; para México, se lleva a cabo de junio a diciembre, con picos en agosto y septiembre. La frecuencia de anidación de las hembras es de dos a tres veces por temporada, con intervalos de 12 a 15 días (Casas-Andreu, 1978). La incubación de los nidos dura 45 días al inicio de la temporada, y se prolonga hasta 60 días o más al final de la misma (Márquez, 1990). Durante el segundo tercio de incubación, la temperatura repercute sobre la determinación sexual de las crías. Se ha registrado que los huevos incubados a temperaturas de 28°C producirán 100 % de machos y los incubados a 32 °C producirán 100 % de hembras (McCoy *et al.*, 1983). La temperatura de incubación en la cual la proporción sexual resultante de la nidada es 1:1 es llamada temperatura pivote y para la tortuga golfina es de 29.13°C (Ackerman, 1997).

Las tortuga golfinas forrajean típicamente fuera de costa y se alimentan de una variedad de especies bentónicas y pelágicas (Márquez, 1990). Varios estudios indican que tiene una dieta oportunista y omnívora, dependiente del hábitat usado para alimentarse (Jones y Seminoff, 2013). En el Pacífico Oriental Tropical, Kopitsky *et al.* (2004) capturaron 20 individuos (5 hembras, 4 machos y 11 juveniles) en un área oceánica (desde 18 hasta 780 km fuera de costa) y mediante lavado estomacal investigaron sus preferencias alimenticias. Todos los individuos presentaron una dieta dominada por organismos gelatinosos, principalmente cnidarios y ctenóforos. Así mismo, análisis de los contenidos estomacales de ejemplares capturados frente a la costa de México revelaron que cnidarios y cangrejos fueron los mayores componentes en 20 hembras capturadas frente a Guerrero, mientras que hembras capturadas frente a Colima contenían invertebrados bentónicos, principalmente cangrejos, moluscos bivalvos y gasterópodos (Bjorndal, 1997).

## 1.4 Sitios de anidación y de alimentación de la tortuga golfina en el Océano Pacífico Oriental

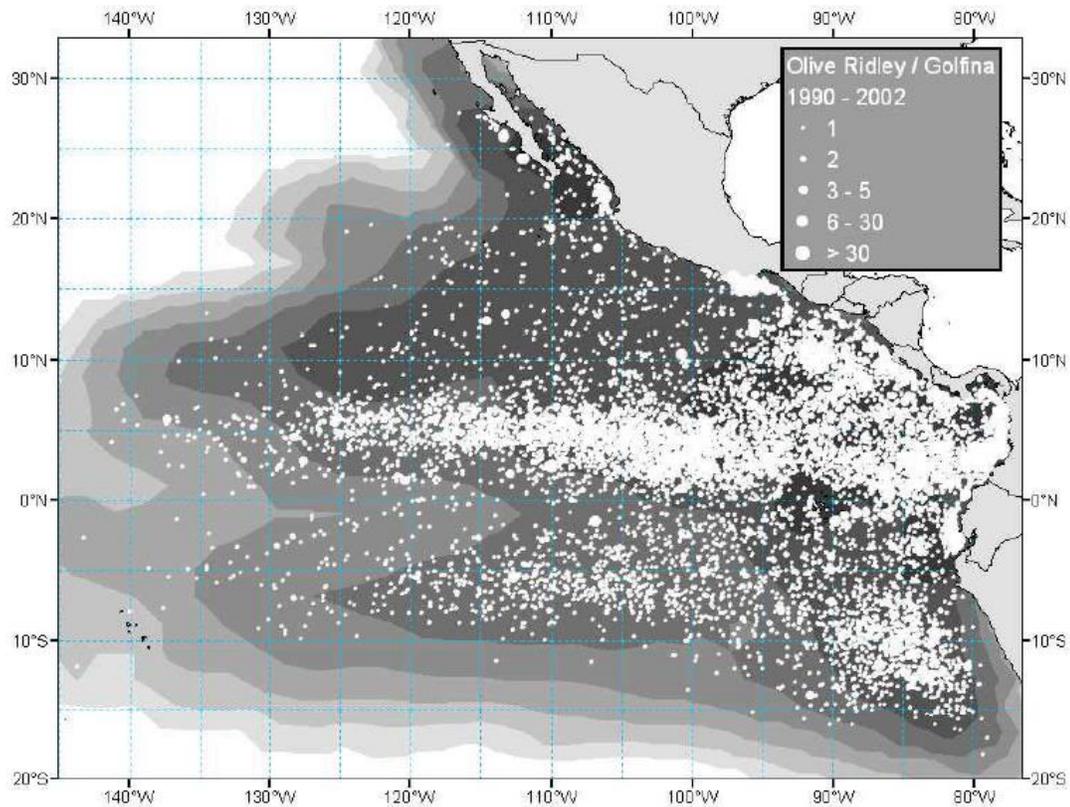
La anidación en el Pacífico Oriental va desde el norte de Perú, en el límite sureño y al hacia el sur de la Península de Baja California, en el límite norteño (Fig. 3). México y Costa Rica representan los países con mayor anidación de la especie, ya que en algunas playas de estos sitios ocurre el fenómeno de “arribada”, en el que un gran número de hembras anidan en sincronía y alta densidad (Valverde y Gates, 2000). Sin embargo, este comportamiento reproductivo, aunque muy peculiar, es menos frecuente que el comportamiento de anidación “solitaria”, en el que grupos pequeños de hembras anidan de forma asincrónica y dispersa en una playa. Al día de hoy, no se conoce con exactitud los factores que determinan que algunas poblaciones presenten uno u otro tipo de comportamiento reproductivo, pero se reconoce que este puede influir en el crecimiento poblacional (Bernardo y Plotkin, 2007), en los niveles de paternidad múltiple (Jensen *et al.* 2006), y en la diversidad genética (Rodríguez-Zárte, 2008).

Como sucede con otras especies de tortugas marinas, las zonas de alimentación han sido menos estudiadas que las zonas de anidación, debido principalmente a que los monitoreos resultan muy costosos y logísticamente complicados (Bjorndal, 2000). Sumado a ello, el comportamiento “nómada” de la tortuga golfina ha dificultado aún más esta labor. Plotkin *et al.* (2010) estudiaron mediante rastreo satelital los movimientos post-anidación de 20 hembras y 9 machos capturados en Costa Rica entre 1990 y 1993. Los resultados indican que, a diferencia de las otras especies de tortugas marinas, las cuales permanecen en un sitio de alimentación hasta la siguiente temporada de anidación, la tortuga golfina es altamente migratoria, navegando en todo el Océano Pacífico Tropical.

Datos colectados por observadores a bordo de barcos atuneros de cerco desde 1990-2002, muestran que la tortuga golfina se distribuye ampliamente a través del Océano Pacífico Oriental desde los 30°N a los 15°S (Fig. 4). “Hot-spots” de abundancia se encuentran a lo largo de las costas de Centroamérica, en aguas ecuatoriales y en aguas fuera de la costa de Perú donde machos y juveniles, pero en su mayoría hembras, son vistos con frecuencia a más de 1,200 millas de la costa. La mayoría de los avistamientos,

ocurren en una banda a lo largo de 5°N, pero hay varias zonas costeras con concentraciones elevadas de individuos. De enero a marzo, varios meses antes de la temporada de anidación, ocurre una gran concentración justo al este del Golfo de Tehuantepec y otro grupo más difuso se observa frente a Perú. En abril-mayo ocurren agregaciones frente a Colombia mientras que para agosto-septiembre los picos ocurren frente a Costa Rica, coincidente con el máximo de las arribadas (IATCC, 2004).

Los estudios de movimientos post-anidación de hembras que anidan en México indican que las tortugas golfinas migran hacia aguas ecuatoriales al término de la temporada de anidación. Durante el periodo entre 1968-1982, fueron marcadas (con grapas de acero) hembras que anidaron en La Escobilla, Oaxaca. Una parte de ellas fueron recapturadas en varios estados del Pacífico mexicano, desde Baja California Sur hasta Chiapas, y otra parte en algunos países de Centro y Sudamérica hasta Ecuador y Colombia (Márquez *et al.*, 2007). Años después, en 1999, se colocaron transmisores de satélite a dos hembras que anidaron en condiciones de arribada en la misma playa en Oaxaca. Ambas tortugas viajaron hacia el sureste rodeando el Golfo de Tehuantepec, para luego volver a aproximarse a la costa hasta llegar a Centro y Sudamérica. Esto supuso que dichas áreas funcionan como sitios de alimentación (Vasconcelos *et al.*, 2004) ya que aunque no se les pudo observar alimentándose, otro estudio previo había confirmado que las tortugas golfinas alimentándose en aguas Ecuatoriales tenían marcas de acero colocadas durante su anidación en playas de Costa Rica, Nicaragua y México (Cornelius y Robinson, 1986).



**Figura 4. Tortugas golfinas avistadas en el Océano Pacífico Oriental durante el periodo 1990-2002. Tortugas vivas: 13,385; muertas: 443; total: 13, 828. Los contornos en el mapa indican los niveles de esfuerzo durante el período, medidos en número de lances (Tomado de IATCC, 2004).**

Generalmente se les concibe por separado, pero es importante recordar que tanto las zonas de alimentación como las zonas de anidación forman parte del ciclo de vida de la tortuga marina. La variabilidad inherente de las zonas de alimentación podrían ser una clave importante para explicar la variabilidad interanual del éxito reproductivo debido a que la productividad del océano afecta las condiciones de alimentación de las tortugas (Solow *et al.*, 2002), lo cual se vería reflejado en su capacidad de migrar, anidar y en una mayor o menor probabilidad de sobrevivencia de las crías.

## **1.5. Factores ambientales que influyen en el éxito reproductivo de la tortuga golfina**

El ciclo de vida de las tortugas marinas transcurre entre áreas de alimentación y áreas de anidación (Fig. 1). Durante la fase de anidación, el nido queda expuesto a factores ambientales locales que influyen en el éxito reproductivo, con la temperatura siendo uno de los más importantes (Márquez, 1990). El ambiente térmico del nido es vital para que el desarrollo embrionario se lleve a cabo con éxito. Con base en experimentos controlados y de campo, se ha indicado que el rango de temperatura adecuada para el desarrollo de los embriones en tortugas se encuentra entre 25-35 °C, al acercarse a los límites entre 24°C y 34°C la mortalidad incrementa (Ackerman, 1997). Por debajo de los 23 °C y por arriba de los 35°C se considera letal para los embriones (Mrosovsky, 1980).

La temporada de anidación coincide con la temporada ciclónica, lo cual aumenta la probabilidad de que ocurran eventos de destrucción total o parcial de nidos y huevos o la interrupción del desarrollo embrionario al alcanzar temperaturas letales frías, afectando los porcentajes de eclosión y emergencia (Ragotzkie, 1959; Kraemer y Bell, 1980; Brenes, 2011). Altas tasas de mortalidad de los embriones ocurren debido a la inundación de los nidos ya que al quedar expuestos al exceso de agua, se produce la inhibición del intercambio de oxígeno entre los huevos y el sustrato adyacente (Lutz, 1994). Van Houtan y Bass (2007) registraron que el éxito de eclosión de nidos de tortuga verde y amarilla disminuyó debido al impacto de tormentas y huracanes en la costa de Florida; el éxito fue aún más pequeño en años con huracanes de mayor intensidad, disminuyendo el porcentaje de eclosión por más de 50%. No obstante, la precipitación también puede beneficiar la incubación del nido al contrarrestar las altas temperaturas de algunos sitios, manteniendo la humedad relativa adecuada (aprox. 14%) para el desarrollo del embrión, lo cual además facilita a las hembras la construcción del nido (Bustard y Greenham, 1968).

Por otra parte, durante la fase de alimentación, las tortugas se encuentran sometidas a una serie de factores ambientales de escala grande y de entre los cuales se ha propuesto que la Temperatura Superficial del Mar (TSM) funciona como regulador de la frecuencia reproductiva de las hembras. Al respecto, se ha indicado que el intervalo de remigración está influenciado por las condiciones ecológicas en los sitios de alimentación (Carr y Carr 1970; Limpus y Nicholls 2000; Broderick *et al.*, 2001; Chaloupka, 2001; Solow *et al.*, 2002). Las hembras maduras requieren un nivel específico de reservas de energía para poder migrar hacia las playas de anidación, para la vitelogenénesis (formación del huevo) y para anidar exitosamente. Si estos requerimientos energéticos no se cumplen, la anidación será retrasada hasta que las condiciones de alimentación mejoren (Solow *et al.*, 2002).

Saba *et al.* (2007) analizaron la influencia de las anomalías de TSM de la región ecuatorial (95-156°W, 8°N-8°S) en el intervalo de remigración de tortugas laúd que anidan en Costa Rica, utilizando los 13 meses previos a la temporada de anidación. Encontraron que anomalías negativas de TSM (La Niña) correspondieron a altas probabilidades de remigración mientras que bajas probabilidades se asociaron a anomalías positivas (El Niño). Esto fue atribuido a las condiciones de alimentación, las cuales se consideran óptimas durante los periodos fríos y no óptimas durante periodos cálidos. Durante episodios La Niña, la termoclina del Océano Pacífico Oriental se eleva, hay un incremento de magnitud de las surgencias y el acarreo de agua fría y rica en nutrientes provoca un aumento en la productividad. Lo contrario ocurre durante episodios El Niño, en los cuales la productividad disminuye al haber un aumento de temperatura superficial, la cual provoca el hundimiento de la termoclina y que los nutrientes no alcancen la superficie (Huyer *et al.*, 1987; Lehodey *et al.*, 1997; Chávez *et al.*, 1999).

De acuerdo con lo anterior, las hembras que se hayan alimentado durante periodos más productivos, habrán alcanzado el umbral de condición corporal necesario para poder migrar hacia sus áreas de anidación mientras que durante periodos menos productivos esa capacidad disminuye (Solow *et al.* 2002). Reina *et al.* (2009) registraron un mayor número de hembras de tortuga laúd anidando en playas del Pacífico (Costa Rica) después de un año La Niña mientras que Limpus y Nichols (2000) registraron la

disminución de la producción de huevos y número de nidos de la tortuga verde en el Indo-Pacífico (Australia y región sudeste de Asia) en relación a periodos El Niño (Limpus y Nichols, 2000).

Sin embargo, aunque en estos trabajos se ha discutido la productividad del océano, en ninguno se ha evaluado una variable que refleje más cercanamente las condiciones de disponibilidad de alimento. En el presente estudio se propone considerar la variable clorofila a (Chl-a) como proxy de la disponibilidad de alimento, lo cual puede ayudar a explicar la variabilidad interanual en el éxito reproductivo. Altas reservas energéticas adquiridas por las hembras en sus sitios de alimentación pueden reflejarse en un alto número de nidos puestos, pero también debe reflejarse en los porcentajes de eclosión y emergencia, ya que huevos con mayor contenido energético tendrían mayor probabilidad de sobrevivir a las oscilaciones climáticas (Lutcavage y Lutz, 1986; Dial, 1987).

Hasta ahora, cada uno de los factores ambientales han sido evaluados por separado. Sin embargo, es importante conocer cuál es la influencia de cada factor en el éxito reproductivo de las hembras que anidan. Contrario a otras playas de anidación localizadas a la misma latitud, con alta humedad y cercanas a ríos o estuarios, B.C.S presenta condiciones climáticas extremas, diferentes a las habituales para la especie, con alta temperatura y baja humedad (Frits *et al.*, 1982), lo cual supone fuertes repercusiones en el éxito reproductivo. Si factores de gran escala como la TSM afectan la frecuencia reproductiva de las hembras ¿podrían también afectar el éxito reproductivo? ¿Podrían estos factores tener un efecto más relevante que los factores ambientales locales?

## 1.6. Importancia de Baja California Sur como sitio de anidación de la tortuga golfina

Baja California Sur (B.C.S.) representa el límite norteño de anidación para la especie (Fritts *et al.*, 1982). El número de nidos por temporada (aprox. 1500) es pequeño en comparación con las playas principales en México como son Escobilla (aprox. 900,000 nidos por temporada) y Morro Ayuta (aprox. 800,000 nidos por temporada) en Oaxaca e Ixtapilla (250,000 nidos por temporada) en Michoacán (CONANP, 2012); sin embargo, las áreas cerca de los límites de distribución de una especie pueden ser importantes por varias razones.

Las colonias de anidación solitaria tienen un papel fundamental en el aporte de crías a la población. Estudios realizados en playas de arribada demuestran que el porcentaje de natalidad suele ser muy bajo, de entre 1-8%. La destrucción masiva de los huevos fomenta la producción de hongos, bacterias y algunos insectos los cuales afectan directamente el desarrollo embrionario y por ende, las tasas de eclosión y emergencia (Cornelius *et al.*, 1992; López y Harfush, 2000). En contraste, las playas de anidación solitaria pueden estar favorecidas por bajas tasas de depredación, poca contaminación y baja densidad de nidos, lo cual en conjunto favorece porcentajes más altos, de alrededor del 80%, lo cual destaca la contribución de este tipo de anidación al mantenimiento de la población de tortuga golfina (Castro, 1986).

El aporte de crías puede no ser sólo importante en número sino también en la viabilidad de la población. Algunos estudios sugieren que el calentamiento global está disminuyendo a la producción de machos, y en consecuencia afectando a la conservación de las tortugas en muchas áreas a causa de la feminización de la población (Janzen 1994; Hays *et al.*, 2001; Glen y Mrosovsky 2004; Hawkes *et al.*, 2007; Poloczanska *et al.*, 2009). Debido al efecto directo de la temperatura sobre la determinación del sexo de las crías, estas áreas podrían ser claves para mantener la diversidad genética de la especie (Hawkes *et al.*, 2007). Existe la hipótesis en la que, al ser la temperatura de incubación más baja en playas en zonas marginales, estas podrían tener un papel importante en el reclutamiento de machos a la población. Por el contrario, las playas de anidación al

centro de su distribución, estarían produciendo más hembras al tener temperaturas más altas (Whibbels, 2003).

Otras investigaciones han señalado que el cambio climático puede estar influyendo en los límites de distribución, aumentando el rango geográfico impuesto por las temperaturas (Chaloupka *et al.*, 2008, Mazaris *et al.*, 2008, Witt *et al.*, 2010). Tal modificación se vería reflejada más fácilmente en áreas marginales de anidación, validándolas como indicadores del cambio de límite de anidación. De esta manera, los sitios de anidación en los extremos de la distribución de la especie, podrían ganar más importancia en el tiempo, favorecidos por el cambio climático.

Sumado a lo anterior, estudios recientes demuestran que la colonia anidadora de Baja California Sur tiene una diversidad genética significativamente menor respecto a las colonias continentales del Pacífico mexicano, lo cual le confiere cierto grado de vulnerabilidad. Los autores mencionan que existe evidencia suficiente para clasificar a la colonia de B.C.S como una unidad de manejo independiente, y como consecuencia, su conservación y manejo debe adecuarse a ello, basándose en las condiciones del sitio en las que se efectúa la anidación, en las tendencias poblacionales y en el éxito reproductivo (López-Castro y Rocha-Olivares, 2005; Rodríguez-Zárate, 2008; Bárcenas-Ibarra, 2009). Estos dos últimos factores son sumamente importantes en la creación y/o adecuación de planes de manejo de los sitios de anidación (Eckert, 2000), pero hasta hoy día no han sido evaluados en la zona.

Debido a la variabilidad natural en el número de anidaciones entre temporadas, el uso de los datos de una investigación debe asegurar el seguimiento de al menos una generación; en el caso de la tortuga golfina de al menos 10 años. Además, cualquier análisis que busque evaluar la condición de una población de tortugas marinas debería tomar en cuenta los factores ambientales que repercuten en los parámetros biológicos de cada colonia, tomando en cuenta las condiciones locales de cada playa (Richardson, 2000).

## 1.6 Programa de conservación de tortuga golfina en ASUPMATOMA

ASUPMATOMA A.C. (Asociación Socaliforniana para la Protección del Medio Ambiente y la Tortuga Marina) es una asociación civil que desde hace 20 años monitorea y protege la colonia de tortuga golfina en Los Cabos, B.C.S. En 1991, inició labores en el campamento playa San Cristóbal, levantando censos ocasionales en conjunto con trabajadores de la SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), pero fue hasta 1995 cuando se constituyó legalmente y comenzó con trabajos de conservación. En el campamento de playa El Suspiro las prospecciones se realizaron entre 1997 y 1998 pero el programa inició formalmente hasta el año 1999. Desde entonces, la asociación ha tenido un trabajo ininterrumpido de 20 años y es el campamento tortuguero con la trayectoria más larga en B.C.S (*com. pers.* René Pinal, presidente de la asociación).

Ambas playas se encuentran alejadas de la comunidad, y son poco visitadas en comparación con otras playas del estado, pero existen algunos contrastes que pueden ser importantes para el manejo de la especie. Actualmente, en playa ES existe saqueo de huevos y tortugas, sin embargo la principal amenaza es la construcción de desarrollos turísticos, con lo cual la perturbación antropogénica ha aumentado (Rousso *et al.* 2015). Por otro lado SC es una playa relativamente prístina y con baja perturbación, lo cual puede ser una ventaja para proteger un mayor número de hembras y nidos.

Los programas de conservación, como el establecido en ASUPMATOMA A.C., requieren por un lado, la participación de actores sociales diversos, y por otro, la implementación de proyectos múltiples con objetivos que atienden aspectos ecológicos, sociales y económicos relacionados con la conservación del capital natural y el desarrollo sustentable (Mathevet y Mauchamp, 2005). Es por esta tarea multidisciplinaria que su evaluación se torna difícil y compleja. No obstante, Margouillis y Salafsky (2001) proponen que ninguno de esos tres aspectos debe dejar de ser considerados en las evaluaciones y para que sean útiles, deben servir como indicadores a futuro. El objetivo final al identificar debilidades y fortalezas es generar bases más certeras para la toma de decisiones que ayuden a soportar la permanencia del programa.

## 2. Justificación

---

Conocer el efecto de factores ambientales sobre los parámetros reproductivos más relevantes de las poblaciones de tortugas marinas así como el análisis de sus tendencias, son elementos necesarios para comprender de una manera integral el estado en el que se encuentra la colonia anidadora en cierta zona. Debido a que el periodo de incubación de los nidos transcurre en las playas de anidación, el número de crías emergidas en el transcurso de una temporada se ha asociado exclusivamente a factores climáticos locales. Sin embargo, factores oceanográficos (de escala grande) también han sido señalados por tener influencia en la periodicidad y éxito reproductivo de las tortugas marinas. Por lo tanto, la variabilidad interanual y estacional del éxito reproductivo puede estar en función de factores de diferente índole.

Baja California Sur representa el límite norte de anidación de la especie; tiene condiciones ambientales muy particulares y genéticamente, la colonia de tortuga golfina que anida en esta zona constituye una unidad de manejo independiente, lo que en suma, podría hacer de los sitios una zona clave para la conservación de la especie.

La meta global de cualquier plan de conservación para tortugas marinas es promover la recuperación de las poblaciones y su supervivencia a largo plazo, incluyendo la protección de hábitats críticos (Eckert, 2000). Aspectos importantes para el manejo de la especie, así como las tendencias de la población y el éxito reproductivo no han sido evaluados para esta zona. Conocer dichos parámetros y los factores ambientales que los influyen, así como algunos indicadores de éxito, podrá ayudar a evaluar el programa de conservación y posiblemente, replantear el plan de manejo de la colonia de tortuga golfina en estas playas.

## **3. Objetivos**

---

### **3.1. Objetivo General**

Evaluar la influencia de variables ambientales en parámetros reproductivos de la colonia de tortuga golfina, así como indicadores de éxito de 19 años de conservación en dos playas en el límite norteño de anidación en Los Cabos, BCS, México.

### **3.2. Objetivos Específicos**

- 1.- Describir la biología reproductiva de la anidación de la tortuga golfina en playa San Cristóbal y El Suspiro con base en 19 temporadas (1995-2013) de monitoreo.
- 2.- Analizar el efecto de factores ambientales sobre la variación estacional e interanual en el número de nidos, producción total de crías y porcentajes de eclosión y emergencia de crías, con base en las temporadas 1995-2013.
- 3.- Estimar la proporción de sexos de las crías de tortuga golfina en condiciones de vivero para la temporada 2013.
- 4.-Evaluar el programa de conservación utilizando tres indicadores: tendencias de la colonia anidadora, costos de producción por cría e incremento en el número de personas recibiendo beneficios indirectos del programa.

## 4. Hipótesis

---

Las hipótesis de trabajo son:

-El número de nidos y número de crías son mayormente influenciados por variables oceanográficas de escala espacial grande que por variables ambientales locales.

-Los porcentajes de eclosión y de emergencia son mayormente influenciados por variables ambientales locales que por variables oceanográficas de escala grande.

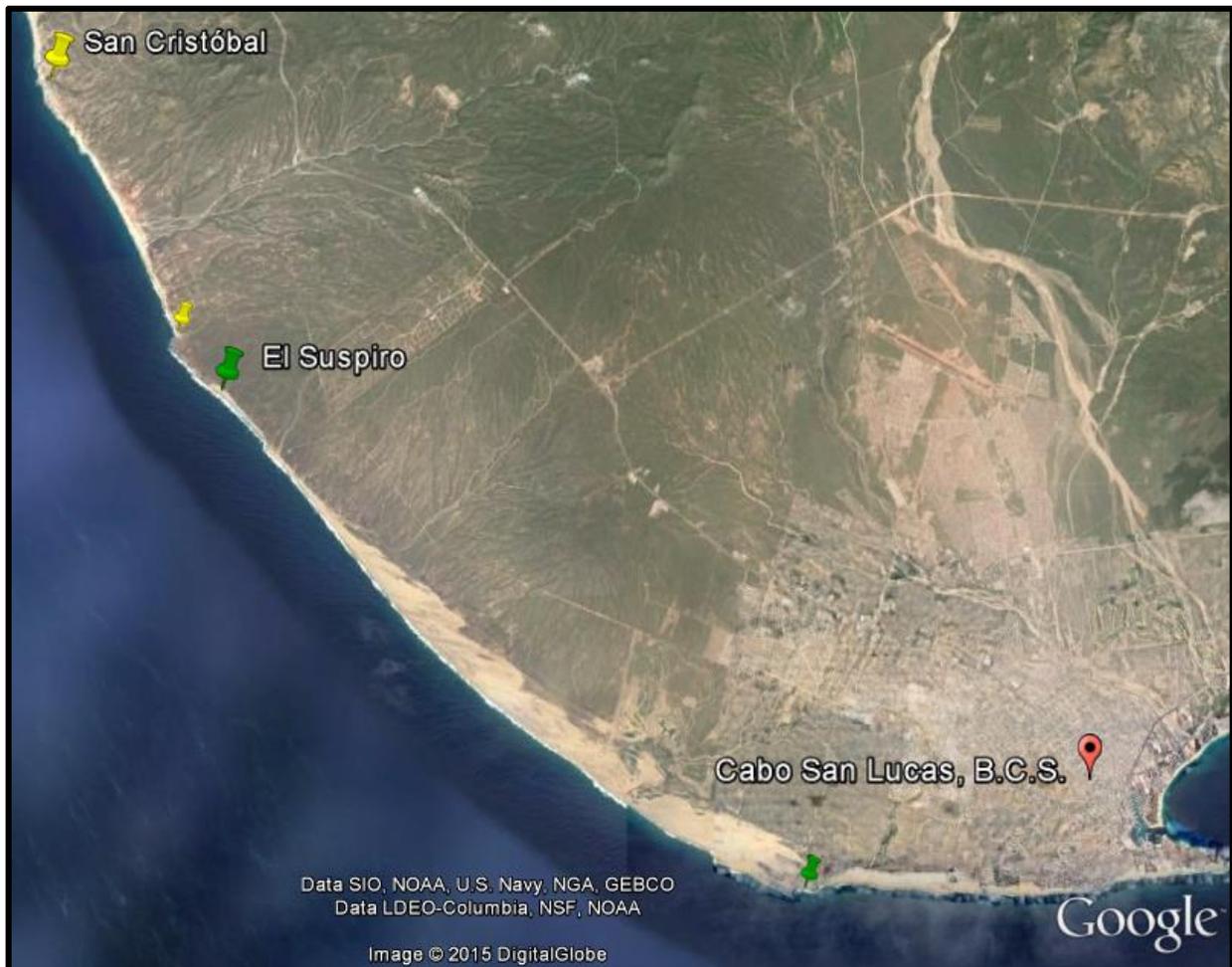
-Debido a que la determinación sexual de las crías está determinada por la temperatura, y que las playas en los extremos de anidación son más frías que las playas ubicadas al centro, los neonatos de playa San Cristóbal y El Suspiro tienen una proporción sexual más alta de machos en comparación con las playas al centro de anidación.

## 5. Metodología

---

### 5.1. Área de estudio

Los dos sitios de estudio se encuentran ubicados en el municipio de Cabo San Lucas, Baja California Sur, México (Fig.5)



**Figura 5. Área de estudio: playa San Cristóbal (5 Km) y playa El Suspiro (16 Km) en Cabo San Lucas, B.C.S. México. Los íconos delimitan la extensión de cada playa.**

Playa "San Cristóbal" (SC) se localiza a la altura del Km. 111 de la carretera No.19 en su tramo Todos Santos-Cabo San Lucas, entre Punta El Cardoncito (22° 57' 32" Latitud Norte y 110° 05' 06" Longitud Oeste) y Punta San Cristóbal (22° 57' 08" Latitud Norte y 110° 03' 40" Longitud Oeste).

Playa "El Suspiro" (ES) se localiza en el Km. 119 de la misma carretera, entre Punta San Cristóbal (22° 56' 75" Latitud Norte y 110° 03' 70" Longitud Oeste) y Cabo Falso (22° 52' 40" Latitud Norte y 109° 57' 40") Longitud Oeste. Esta playa se encuentra muy cercana a playa SC, separadas por 1.5 Km en los que no se patrulla debido a que la costa es principalmente rocosa y por la dificultad de acceso.

El clima que predomina en la zona es seco y cálido, con precipitaciones en verano. Presenta una temperatura media anual de 23.7 ° C y una precipitación anual promedio de 262.7 mm, siendo septiembre el mes de mayor precipitación pluvial. En los meses de octubre hasta abril, la temperatura típica es de 26°C durante el día y rondando los 15.5°C en la noche, mientras que de mayo a septiembre, las temperaturas suben hasta los 37°C durante el día, y los 25 a 27°C en la noche (INEGI, 2000).

Playa SC tiene una longitud de aprox. 4.5 Km y llega a alcanzar 150 m de ancho. Se caracteriza por una plataforma amplia compuesta de arena fina y escasa vegetación (García, 1973; INEGI, 2000). Playa ES tiene 13 Km de extensión y su plataforma puede alcanzar los 250 m de ancho. Al igual que en playa SC la vegetación es escasa, pero los suelos están conformados por arena gruesa y grava fina (García, 1973; INEGI, 2000).

Playa ES recibe una mayor influencia de agua de arroyos y canales y se encuentra más expuesta a condiciones de viento debido que la estructura morfológica de la playa es casi lineal. Por su parte, playa SC se encuentra rodeada por cerros tanto en el extremo norte como en el sur, y al tener una forma más cóncava está más protegida del viento, pero debido a la pequeña inclinación de la playa, está sujeta a inundaciones frecuentes por la acción de tormentas y mareas altas (Rousso *et al.*, 2015).

Ambas playas están influenciadas por aguas frías de la Corriente de California, un sistema de circulación tipo oriental caracterizado por surgencias costeras, las cuales se

presentan más intensas en primavera. Durante la temporada de anidación de la tortuga golfina en la zona, de julio a octubre, se registra una temperatura superficial del mar superior a los 25°C, siendo septiembre cuando ocurren las temperaturas más altas (28°C). Durante este tiempo, toda la entrada del Golfo de California presenta características tropicales. Para el mes de noviembre se observa una rápida transición de temperaturas calientes a frías, la cual culmina con el inicio del invierno; las temperaturas más bajas (23°C) ocurren en enero y las aguas tropicales se desplazan hacia al sur, a 18°N. La influencia de agua tropical y subtropical provoca que ambas playas están expuestas a tormentas y huracanes tropicales durante el verano y parte del otoño (Durazo *et al.*, 2010), periodo que coincide con los meses de anidación de la tortuga golfina en la zona.

## **5.2. Metodología en campo**

La labores de monitoreo de ambos campamentos se basan en métodos estandarizados de acuerdo con el Manual de Técnicas de Investigación y Manejo de las Tortugas Marinas de Eckert *et al.* (2000).

El monitoreo consiste en censos, patrullajes, reubicación de nidos y liberaciones de crías de tortuga golfina, llevándose a cabo por temporada entre junio y febrero (Tabla 1).

A principios del mes de junio, se realizan recorridos una vez a la semana haciendo únicamente conteos de rastros, los cuales se van registrando en una hoja de campo. Al observarse y contarse más de dos nidos a la semana, comienzan a realizarse los patrullajes nocturnos. Para el campamento SC se hace sólo un patrullaje, iniciando normalmente a las 4:00 am, en tanto para el campamento ES se realizan dos patrullajes, el primero a las 10 pm y el segundo a las 4 am, con el fin de evitar el robo de huevos. Consisten en el recorrido de la playa por la noche en los meses de julio a octubre (fecha de anidación de la tortuga golfina para la zona). La frecuencia con que se realizan los patrullajes puede variar cada temporada ya que depende de presupuesto y personal con que cuente el campamento.

**Tabla 1. Cronograma de actividades de los campamentos San Cristóbal y El Suspiro.**

	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
Censos	X	X				X	X	X	X
Patrullaje		X	X	X	X				
Liberación				X	X	X	X	X	X

Si se observan tortugas durante el patrullaje, se toman medidas del Largo Curvo del Caparazón (LCC) y Ancho Curvo del Caparazón (ACC) con una cintra métrica. Así mismo se hacen anotaciones de las hembras que presentan señas particulares tales como: mordidas, caparazón roto, exceso de algas u otros ectoparásitos y se observa si presentan marcas metálicas con el fin de conocer si la hembra proviene de una playa de monitoreo diferente. Todo esto se anota en una ficha de campo.

Los huevos son colectados en bolsas de plástico y son transportados al respectivo campamento en donde son sembrados en un corral de incubación. El corral es construido con malla ciclónica y medidas de 10 x 20 m para el campamento SC y para el campamento ES de 20 x 30 m. Los corrales son ubicados de acuerdo con varios criterios: deben estar en la zona principal de anidación de cada playa, suficientemente alejados del mar para que el oleaje y la marea no los alcancen y se inunden, así como alejados de la vegetación, para evitar que las raíces rompan los huevos y/o sean un obstáculo para la emergencia. La finalidad de utilizar un corral es proteger a los huevos de la depredación por animales, saqueo por humanos y evitar pérdidas por erosión de mareas. De la temporada 1999 a la temporada 2008, los nidos se sembraron en el mismo corral en playa SC. De la temporada 2009 en adelante, los campamentos se separaron y se colocó un corral en cada playa.

Una parte de los nidos son protegidos *in situ* cuando son localizados después de 8 horas desde el desove de la hembra, y ya no es recomendable su reubicación; esto es, cuando presentan una mancha blanca, lo cual indica que ya ha iniciado el desarrollo del embrión o cuando por algún factor como huracán o lluvias no es posible reubicarlos a tiempo.

Los nidos se siembran con una separación de 50 cm y a una profundidad de 45 cm; se agrega una marca con el día de recolección y fecha tentativa de eclosión (45 días aprox.). A partir de 2003 las nidadas con 120 huevos o más se comenzaron a dividir en dos partes, con el objetivo de disminuir la muerte de las crías durante la eclosión y salida del nido.

Al aproximarse la fecha de eclosión, se colocan trampas circulares de malla galvanizada alrededor de los nidos para poder cuantificarla las crías y evitar que se escapen o sean depredadas (por cangrejos, aves, perros, coyotes). Pasado el periodo de incubación de los huevos (45 días en verano y más de 60 en invierno), y una vez eclosionadas el 50% o más de las crías, los nidos son excavados y revisados, rescatando así a las crías rezagadas y contabilizando la producción total del nido: crías eclosionadas, vivas o y muertas, huevos con o sin desarrollo y cascarones. Cada año, el corral se mueve de lugar, ya que el anterior sitio queda con un mayor riesgo de que haya plagas debido a la cantidad de nutrientes y materia orgánica que adquirió con los huevos rotos o los que se encuentran en estado de descomposición.

### **5.3 Análisis de datos: parámetros reproductivos**

Los datos empleados para este trabajo fueron generados por ASUPMATOMA A.C. en Cabo San Lucas, BCS a través de 19 temporadas (1995-2013) de monitoreo continuo.

Se realizó una depuración de la base de datos de las 19 temporadas para ambas playas, eliminando los datos con error de cálculo o de muestreo. Ej: porcentaje de eclosión del 120%, Largo Curvo del Caparazón superior al máximo, nidos sembrados con menos de 5 huevos en un nido. Estos, entre otros, fueron considerados como errores y fueron eliminados.

Los análisis fueron realizados en el programa Státistica versión 7.0 o en el entorno de programación R 3.1.1, con un  $\alpha = 0.05$

### 5.3.1 Tendencia del número de nidos

Con el fin de obtener un mejor estimado del número de nidos por temporada y su varianza asociada, se realizó un remuestreo mediante bootstrap para cada temporada.

Bootstrap es una técnica de remuestreo que consiste en generar un elevado número de muestras como base para estudiar el comportamiento de determinados estadísticos y permite entre otras cosas, obtener intervalos de confianza para el estadístico. Bootstrap no representa un estadístico en sí mismo, sino un enfoque sobre cómo usar los estadísticos de cara a hacer inferencias acerca de los parámetros (Gil-Flores, 2005).

- a) Se eligió un estadístico de interés (media de nidos por año)
- b) A partir de la muestra original  $\{X_1, X_2 \dots X_n\}$  se extrae una nueva muestra  $\{X_1^*, X_2^*, \dots X_n^*\}$ , por medio de un muestreo con reposición.
- c) Para la muestra obtenida se calcula el valor del estadístico determinado (media) que se utiliza como estimador del parámetro poblacional  $\mu$ .
- d) Se repiten los incisos a) y b) (simulaciones = 1000) hasta obtener un número elevado de estimaciones de la media.
- e) Una vez generadas las distintas muestras bootstrap, se obtienen los valores de la media de las simulaciones planteadas para el modelo (1,000 para este caso). Después se construye la distribución empírica del estadístico, la cual representa una buena aproximación a la verdadera distribución de probabilidad del número de nidos.
- f) Finalmente para obtener un estimado del número de nidos por temporada, los estadísticos generados se multiplicaron por el número de semanas de la temporada para obtener una media del número de nidos por año (Efron y Tibshirani, 1994; Gil- Flores, 2005).

Posteriormente, se realizó un análisis Mann-Kendall para evaluar si existe o no, un incremento en la tendencia del número de nidos. Estos análisis fueron realizados con el entorno de programación R versión 3.1.1.

### **5.3.2 Distribución temporal de los nidos**

Se estimó el número de nidos para cada mes de la temporada tomando en cuenta las 19 temporadas de monitoreo. Esto permitió detectar el patrón temporal de los nidos así como el pico de anidación para cada playa.

### **5.3.3 Distribución espacial y densidad de anidación**

Con el número nidos estimado mediante el análisis de bootstrap, se calculó la densidad de nidos por kilómetro para cada temporada, dividiendo el número total de nidos entre el número de kilómetros de cada playa: 4.5 Km para San Cristóbal y 16 Km para El Suspiro.

Para examinar la distribución espacial, se contabilizó el número de arqueos (salidas no exitosas de una hembra) y nidos (salidas exitosas) por kilómetro. La ficha de campo contiene el dato del kilómetro en el que se encontró el nido o arqueo. Cabe mencionar que el análisis sólo pudo ser realizado tomando en cuenta las temporadas 2011-2013 para playa SC y 2012-2013 para playa ES, ya que en temporadas previas este dato no era registrado. Este análisis permitió obtener información acerca de las zonas más importantes de anidación dentro de las playas.

### **5.3.4. Largo Curvo del Caparazón (LCC) y tamaño de nidada**

Tomando en cuenta las 19 temporadas, se integró una base de datos con las medidas de LCC de hembras de tortuga golfina para cada playa y el tamaño de nidada de cada hembra. Con estos datos, se aplicó un análisis de regresión lineal simple para conocer si existe relación entre el LCC y el tamaño de nidada de las hembras reproductoras de tortuga golfina en estas playas.

### 5.3.5. Prácticas de manejo (condiciones de vivero): éxito de eclosión y emergencia

El éxito (porcentaje) de eclosión se define como el número de crías que eclosionan o rompen su cascarón (Miller, 2000) y se calcula:

$$\text{Éxito de eclosión (\%)} = \frac{\text{número de crías vivas} + \text{número de crías muertas}}{\text{número de huevos sembrados}} \quad (1)$$

El éxito (porcentaje) de emergencia se refiere al número de crías que alcanzan la superficie de la playa (Miller, 1990) y se calcula:

$$\text{Éxito de emergencia (\%)} = \frac{\text{número de crías liberadas vivas}}{\text{número de huevos sembrados}} \quad (2)$$

Con las fórmulas 1 y 2, se calculó el porcentaje de eclosión y de emergencia para cada nido de todas las temporadas. Una vez corroborado el supuesto de normalidad, se realizó una prueba t para analizar si existen diferencias en porcentaje de eclosión y emergencia entre playas.

Cabe mencionar que no se pudieron realizar comparaciones entre porcentajes de eclosión y emergencia en condiciones de vivero vs condiciones *in situ* debido a que la mayor parte de los nidos *in situ* son depredados por animales ó erosionados por marea alta (Anexo VI), por lo que el seguimiento hasta el día de la eclosión se lleva a cabo en muy pocos casos.

### **5.3.6. Prácticas de manejo: periodo de incubación en condiciones de vivero**

El periodo de incubación se define como el número de días transcurridos desde el día de desove hasta el día de eclosión de las crías (Márquez, 1990). Para obtener información acerca del periodo de incubación de cada playa, se calculó el promedio del periodo de incubación tomando en cuenta los nidos incubados en todas las temporadas de monitoreo (19 temporadas) y los nidos incubados por temporada para cada playa.

Posteriormente se aplicó una prueba ANOVA o su equivalente no paramétrico Kruskal-Wallis (Daniel, 1997) para hacer comparaciones de los periodos de incubación entre playas para cada temporada. Esto permitió inferir si las condiciones físicas de cada playa impactan de forma diferente la producción de crías.

### **5.3.7. Prácticas de manejo: efecto de la separación de nidadas sobre eclosión y emergencia de las crías**

Para analizar si la técnica de separación de nidadas grandes (mayores a 120 huevos) incrementa significativamente los porcentajes de eclosión y emergencia, se realizaron pruebas t de Student o su equivalente no paramétrico, Mann-Wittney (Daniel, 1997). Se tomaron en cuenta todos los nidos de las temporadas 2004-2013 para cada playa, separándolos en el rango de 120-125 huevos. Se eligieron nidos separados y no separados de cada temporada, para finalmente hacer comparaciones por porcentaje de eclosión y por porcentaje de emergencia en cada playa.

## **5.4 Modelos Lineales Generalizados (MLG)**

Los MLG son una extensión de los modelos lineales que permiten utilizar distribuciones no normales de los errores (binomiales, poisson, gamma, etc.) y varianzas no constantes. Tienen tres componentes:

**Componente aleatoria:** corresponde a la variable  $y$  que sigue una distribución de la familia exponencial (normal, log-normal, gamma, etc.).

**Componente sistemática o predictor lineal:** se denota por  $\eta$  y corresponde al vector de  $n$  componentes siendo cada una de ellas igual a:  $\sum_{j=1}^p \beta_j X_{ji} = X_i' \beta$

**Función de vínculo:** la relación entre la variable respuesta y la(s) variable(s) independiente(s) no es siempre lineal. La función de vínculo se encarga de linealizar la relación entre la variable dependiente y la(s) variable(s) independiente(s) mediante la transformación de la variable respuesta:  $\eta_i = \vartheta(\mu_i) \quad i = 1$

(McCullagh y Nelder, 1989)

Una función liga logarítmica fue usada para aproximar la estructura de errores dependiendo de la distribución de cada conjunto de datos.

El MLG quedó formulado de la siguiente manera:

(3)

$$\ln(E[Y_i]) = \beta_0 + \sum X_{ij} \beta_j + \varepsilon_i$$

Donde:

$Y_i$  = número de observaciones de la variable independiente

$X_{ij}$  = valor de la variable predictora  $j$  para la observación  $i$ , el cual se puede incluir en términos de efectos principales y de interacciones

$\beta_j$  = coeficiente de la variable predictora

$\beta_0$  = coeficiente para un término constante

$\varepsilon_i$  = error

Una ventaja de utilizar MLG's es la incorporación de interacciones entre las variables independientes (McCullagh *et al.*, 1984) por lo cual, para cada modelo se realizó un análisis de correlación de Pearson con el objetivo de determinar las interacciones que pudieran ser significativas al tener correlaciones altas (>0.50) y de esta manera justificar su posible entrada en el modelo como otra variable.

El ajuste del MLG se realizó mediante un procedimiento por pasos que consistió en ajustar un modelo inicial o nulo el cual contiene todas las variables e interacciones posibles, de las cuales se eliminaron aquellas cuyos parámetros resultaron no

significativas y se seleccionaron sólo aquellas que tuvieron un nivel  $p < 0.05$ . Después se volvió a correr el modelo con las variables seleccionadas y se observó nuevamente el nivel de significancia del parámetro asociado. En este punto ya no se eliminaron variables, sino que, se utilizó el criterio de Akaike más bajo para la selección del modelo final, el cual es un índice que evalúa tanto el ajuste del modelo a los datos como la complejidad del modelo (McCullagh *et al.*, 1983). Es decir, variables que resultaran no significativas en el procedimiento por pasos, podrían estar incluidas en el modelo final debido a que el índice elige el modelo que minimiza la pérdida de información, sin embargo, no ofrece un valor de significancia de las variables.

Para cada modelo se obtuvieron los coeficientes de los parámetros incluidos en el modelo final. Así mismo, se calculó la devianza, la cual ofrece una idea de la cantidad de varianza explicada por el modelo y se calcula:

$$D^2 = \frac{\text{devianza del modelo nulo} - \text{devianza residual}}{\text{devianza del modelo nulo}} \times 100$$

(4)

Finalmente, cada modelo fue validado mediante el diagnóstico del cumplimiento de los supuestos de los residuales: media cero, normalidad, varianza constante, independencia y ausencia de puntos extremos. Todos los modelos fueron analizados con el entorno de programación R versión 3.1.1.

#### **5.4.1 Factores ambientales introducidos en los MLG**

Mediante Modelos Lineales Generalizados (MLG) se analizó el efecto de variables ambientales sobre cuatro parámetros reproductivos de la tortuga golfina, eligiendo para cada uno, la función de distribución y la función de vínculo más adecuada.

Tomando en cuenta que los factores ambientales pudieran estar afectando de forma diferente los parámetros reproductivos de tortuga golfina en playa SC y en playa ES, para cada variable de repuesta se corrió un modelo individual por playa, y otro modelo para las dos playas en conjunto. Esto suma tres modelos por variable de respuesta y un total

de 12 modelos analizados. Para cada modelo se identificaron los factores ambientales que, de acuerdo a antecedentes de otros estudios, pudieran influir en la variable de respuesta. Los datos fueron obtenidos de diferentes fuentes de información y cada factor recibió un tratamiento previo al análisis (Tabla 2).

#### **5.4.2. MLG para el número de nidos y número de crías**

El número de nidos/crías presenta una tendencia positiva a lo largo de las 19 temporadas de monitoreo (Fig. 7), lo cual en parte se atribuye al esfuerzo que se ha incrementado al paso del tiempo (Anexo I). El utilizar los datos con tendencia, podría dejar en duda la relación entre las variables dependientes (nidos/crías) y los factores ambientales, al atribuir el resultado a la tendencia de incremento. Por el contrario, al utilizar los datos sin tendencia, se asegura que la relación se debe a la variabilidad natural del número de nidos/crías y no a su incremento.

Como consecuencia de la variabilidad observada en el número de nidos/crías, una regresión lineal no representa el mejor ajuste para la variabilidad observada, por lo cual se ajustaron distintos polinomios (de segundo a quinto grado) con el fin de elegir el más adecuado y que se ajustara mejor a los datos. Se eligió el polinomio con el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) más alto y que cumpliera los supuestos de los residuales. Una vez realizado el ajuste, los residuales del modelo (ya sin tendencia) fueron empleados como variable dependiente en el MLG nulo.

El efecto de variables ambientales sobre el número de nidos/crías fue evaluado para ambos casos mediante un modelo lineal generalizado con una distribución *gaussiana* de la variable de respuesta y la función de vínculo *log*, la cual permite linearizar la relación entre la variable dependiente y las variables independientes mediante la transformación de la variable respuesta.

**Tabla 2. Variables ambientales utilizadas en el análisis de Modelos Lineales Generalizados (MLG)**

Nombre de la variable	Tipo de variable (en el modelo)	Descripción	Escala	Sitio	Tratamiento	Periodo	Fuente
1. Temperatura del aire	Discreta	Grado de calor específico del aire en un momento y lugar determinado.	Menor (local)	Cabo San Lucas, BCS, México	Temperatura mensual (promedio julio-diciembre)*	1998-2013	CONAGUA Cabo San Lucas BCS, Estación 3005
1.1 Temperatura letal fría/caliente	Discreta	Mínima/Máxima temperatura de tolerancia para los embriones	Menor (local)	Cabo San Lucas, BCS, México	Porcentaje de días del periodo Ago-Dic que estuvieron por debajo de 23° C/ arriba de 32° C	1998-2013	CONAGUA Cabo San Lucas BCS, Estación 3005
2. Precipitación	Discreta	Caída de agua sólida o líquida por la condensación del vapor sobre la superficie terrestre	Menor (local)	Cabo San Lucas, BCS, México	Precipitación mensual (promedio julio-diciembre)*	1998-2013	CONAGUA Cabo San Lucas BCS, Estación 3005
3. Incidencia de ciclones tropicales	Discreta	Sistema de tormentas caracterizado por una circulación cerrada alrededor de un centro de baja presión	Menor (local)	Cabo San Lucas, BCS, México	Ciclones que se hayan acercado o incidido en las costas de Cabo San Lucas, BCS **	1998-2013	Boletines del Servicio Meteorológico Nacional <a href="http://smn.cna.gob.mx/boletin/avisos/pacifico">http://smn.cna.gob.mx/boletin/avisos/pacifico</a>
4. Temperatura superficial del mar	Continua	Temperatura de la superficie del mar, desde 1 mm hasta 5 metros dependiendo del método de medición	Grande	Región El Niño 3 5°N- 5°S 90°W-150°W	Promedio de los 9 meses previos a la temporada de anidación (Octubre-Junio)	1997-2012	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov">www.cpc.ncep.noaa.gov</a>
5. Temp. superficial del mar-anomalías	Continua	Desviación de la temperatura del mar respecto al valor esperado para un lugar y tiempo. Anomalías negativas representan episodios fríos y	Grande	Región El Niño 3 5°N- 5°S 90°W-150°W	Promedio de los 9 meses previos a la temporada de anidación (Octubre-Junio)	1997-2012	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov">www.cpc.ncep.noaa.gov</a>
6. Clorofila (proxy de la disponibilidad de alimento)	Continua	Medida de la concentración de clorofila en un metro cúbico de agua de mar	Grande	Región El Niño 3 5°N- 5°S 90°W-150°W	Promedio de los 9 meses previos a la temporada de anidación (Octubre-Junio)	1997-2012	<a href="http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset">http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset</a>

\* Se realizó una categorización del año más fresco/seco al más lluvioso/húmedo tomando en cuenta el promedio de la temporada (Julio-Noviembre)

\*\*Se realizó una categorización del huracán de menor a mayor impacto, tomando en cuenta fuerza (vientos), duración (días) y distancia al sitio de estudio (Km)

Las siguientes son las variables ambientales elegidas y se describe su justificación para alimentar el MLG:

*-Concentración de clorofila como proxy de la disponibilidad de alimento (Chl-a):*

Las hembras dejan las playas de anidación entre octubre-noviembre para dirigirse hacia sus áreas de alimentación. Durante los siguientes nueve meses (octubre-junio), las hembras necesitan alcanzar un umbral de condición corporal para poder realizar la migración y reproducción la siguiente temporada (Broederick *et al.*, 2001).

La disponibilidad y acumulación del alimento en los meses previos a la temporada reproductiva, puede ser un factor limitante para que un cierto número de hembras llegue a anidar y por lo tanto, para la cantidad de nidos puestos y crías producidas en la temporada (julio-octubre).

*-Temperatura Superficial del Mar (TSM):*

La TSM está relacionada con el intervalo de remigración de las hembras, condicionando la probabilidad de que regresen a anidar entre temporadas (Solow *et al.*, 2002). De acuerdo a las condiciones térmicas, una hembra tendrá mayor probabilidad de remigrar después de un periodo frío que después de un periodo cálido, y si esto es cierto, el número de nidos y crías también debe variar conforme a dichos patrones.

*-Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (ANOM):*

Episodios cálidos de TSM son asociados con baja productividad del océano y lo contrario pasa en episodios fríos (Chávez *et al.*, 1999). Por lo tanto, la disponibilidad de alimento y por ende, la condición corporal de las hembras, se verá afectada/beneficiada conforme a dichos periodos durante los meses en los que las hembras se están alimentando (Saba *et al.*, 2007; Broederick *et al.*, 2001) y como consecuencia, el número de nidos y crías debe estar por debajo del promedio después de un periodo cálido y por arriba del promedio durante el promedio después de un periodo frío.

*-Precipitación (PRECIP) e Incidencia de huracanes (HUR)*

Abundante precipitación y el impacto de tormentas oceánicas en las playas de anidación o cercanas a ellas, puede provocar que las hembras eviten la zona para desovar o que incluso no puedan acceder al sitio debido a la formación de paredones a lo largo de la playa. No obstante, la ausencia de precipitación también puede afectar la anidación, debido a que la pérdida de humedad en la arena dificulta la formación del nido (Peterson y Bishop 2005; Brenes, 2011).

**5.4.3. MLG para porcentajes de eclosión y de emergencia**

En este caso las variables de respuesta son variables de conteo expresadas como porcentaje, por lo cual pueden calificarse como variables binomiales. Así, se definió *éxito* como el porcentaje de crías vivas/emergidas y *fracaso* como el porcentaje de crías muertas/no emergidas (incluidos huevos sin desarrollo, huevos con desarrollo no eclosionados y huevos depredados).

La distribución de la variable de respuesta fue del tipo *binomial* y la función de vínculo fue *log*. Las variables ambientales elegidas para alimentar el modelo fueron:

*-Concentración de clorofila como proxy de la disponibilidad de alimento (Chl-a):*

Altas reservas energéticas adquiridas por las hembras en sus sitios de alimentación deben reflejarse tanto en un alto número de nidos puestos en el siguiente año (Solow *et al.*, 2002; Saba *et al.*, 2007; Reina *et al.*, 2009) pero también, debe reflejarse en los porcentajes de eclosión y emergencia, ya que huevos con mayor contenido energético tendrían mayor probabilidad de sobrevivir a las oscilaciones climáticas. Por el contrario, los años en donde la alimentación no fue óptima, se verían reflejados en porcentajes más bajos de eclosión y emergencia.

*-Temperatura Superficial del Mar (TSM):*

La disponibilidad de alimento en el océano depende en parte de la TSM, ya que esta afecta directa e indirectamente la productividad primaria: directamente interviene en los procesos enzimáticos de respiración del fitoplancton e indirectamente por la formación

de gradientes verticales en la columna de agua, aislando la capa superficial eufótica de la capa afótica o profunda rica en nutrientes, lo cual limita el crecimiento del fitoplancton. La condición corporal de depredadores es afectada por la productividad primaria local debido a que condiciona la disponibilidad de presas en cierta área (Labocha *et al.*, 2014). Episodios cálidos de TSM han sido asociados con una disminución en la productividad primaria, con consecuencias en primer lugar, para el estado nutricional de los consumidores (Sepulveda *et al.*, 2013) y en segundo, de sus actividades de migración y reproducción (Lea *et al.*, 2006).

*-Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (ANOM):*

Los periodos cálidos repercuten en una menor disponibilidad de alimento, la condición corporal de las hembras se verá afectada principalmente en sus reservas energéticas. Los embriones tendrán un menor aporte calórico y esto se traduce en una menor probabilidad de sobrevivencia, contrario a embriones que tengan aportes energéticos grandes (después de un periodo frío con condiciones de alimentación óptimas), lo cual les proveerá de un mejor fitness para sobrevivir (Booth *et al.*, 2004).

*-Temperatura ambiente (TA):*

La temperatura es uno de los factores claves en el proceso de incubación de los huevos pues afecta el desarrollo embrionario y el periodo de incubación (Miller, 1991). Tanto las temperaturas letales (por arriba de 35°C y por debajo de 23°C) como las fluctuaciones de temperatura muy abruptas, afectan negativamente el desarrollo de las crías (Mrosovsky, 1980), lo cual repercutirá directamente en su sobrevivencia. Así mismo, un periodo de incubación con temperaturas estables y dentro del rango de tolerancia óptimo (25-35 °C) propiciará un buen desarrollo embrionario (Ackerman, 1997).

*-Precipitación (PRECIP)*

Puede ser un factor clave en el desarrollo embrionario y posterior eclosión de las crías debido a que la humedad del sustrato depende en parte de la precipitación; una adecuada humedad relativa (aprox. 14%; Márquez, 1990) beneficia el buen desarrollo de las crías. Por otro lado, en sustratos más secos, la probabilidad de que ocurra depredación de los

embriones por larvas de mosca se incrementa (McGowan *et al.*, 2001) lo cual tiene repercusiones sobre el éxito de eclosión y emergencia.

*-Incidencia de huracanes (HUR):*

Dependiendo del grado de impacto de las tormentas tropicales sobre las playas de anidación, el éxito de eclosión puede ser afectado parcial o totalmente debido a que, por acción de la fuerza del viento y las mareas de tormenta, una parte de la plataforma de la playa es removida, provocando la mortalidad de las crías e interrumpiendo el desarrollo embrionario de los huevos. Aunado a ello, el exceso de humedad en el nido (inundado) producto de abundantes precipitaciones, puede provocar altas tasas de mortalidad de los embriones debido a la inhibición del intercambio de oxígeno entre huevo y sustrato (Brenes, 2011).

## **5.5. Estimación de la proporción sexual en condiciones de vivero**

Durante las temporadas 2011, 2012 y 2013 se colocaron termómetros digitales programables “Hobo UA-002-08” con resolución de 0.1°C a 45 centímetros de profundidad, en medio del corral de incubación en cada playa. Los sensores fueron programados para tomar lecturas cada dos horas durante toda la temporada de anidación de la tortuga golfina, incluyendo los meses de eclosión de las crías (septiembre-enero).

Para estimar la proporción sexual se utilizó el modelo de Girondot (1999) inicialmente propuesto para tortuga amarilla *Caretta caretta* pero validado y ajustado mediante técnicas histológicas y estadísticas por Sandoval (2012) para la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* en el Pacífico mexicano.

$$Pm = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{Piv - Tn}{S}\right]}$$

Donde:

$Pm$ = proporción de machos

$Tn$ = temperatura promedio de incubación durante el segundo tercio del periodo de incubación.

$S$ = factor de forma que define que tan rápido cambia la proporción de sexos con la temperatura.

$Piv$ = temperatura pivote

Los modelos para cada temporada fueron analizados con el software Matlab 2013b. Para cada temporada se construyeron dos bases de datos; la primera incluyó datos de día de incubación, día de eclosión y número de crías y la segunda base incluyó el día de incubación y la temperatura del nido. La información de ambas bases fue introducida al modelo para obtener proporciones finales de machos de acuerdo al número de crías liberadas (vivas).

El factor de forma estimado en el modelo Sandoval-Espinoza (2012) fue de -0.63 y la temperatura pivote de 29.99°C. A partir de los promedios de la temperatura del segundo tercio de incubación se calculó la proporción sexual de machos por temporada utilizando el modelo anterior. Las ecuaciones utilizadas para estimar la proporción de machos fueron las siguientes:

Para cada nido  $i$  se calculó el día inicia;  $ini(i)$  y  $final(i)$  del periodo termosensitivo, que define el segundo tercio del periodo total de incubación (ecuaciones 6 y 7)

$$ini(i) = des(i) + \frac{1}{3}(eclo(i) - des(i))$$

(7)

$$fin(i) = des(i) + \frac{2}{3}(eclo(i) - des(i))$$

Con los datos de la bitácora de nidos del corral de incubación y los datos de temperatura del sensor, se calculó la temperatura promedio  $T_{mean}(i)$  durante el periodo termosensitivo para cada uno de los nidos sembrados:

(8)

$$T_{mean}(i) = promedio(T(t); ini(i) \leq t \leq (i))$$

Donde  $T(t)$  es la temperatura al tiempo  $t$

Utilizando el modelo de Girondot y con los parámetros ajustados  $Piv$  y  $S$ , a partir de  $T_{mean}(i)$  se calculó la proporción de machos  $Pm(i)$ :

(9)

$$Pm(i) = Girondot(T_{mean}(i); Piv, S)$$

Y posteriormente, el número de machos correspondiente:

(10)

$$machos(i) = p(i) \cdot h(i)$$

Todas las ecuaciones fueron tomadas del modelo de Sandoval-Espinoza (2012).

## **5.6 Indicadores del éxito del programa de conservación**

### **5.6.1 Tendencia de la colonia anidadora de tortuga golfina en las dos playas de estudio**

Este indicador fue considerado en la sección 5.3.1 y su utilidad en este apartado es ofrecer una idea del beneficio del programa en el mantenimiento de la especie en riesgo, en este caso, la tortuga golfina.

### **5.6.2 Costo de producción por cría de tortuga golfina**

Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento (Munch, 2010). El término –producción- en economía se define como la creación y el procesamiento de bienes y mercancía (Horngren *et al.* 2007); en este estudio el término será aplicado a un recurso natural, en el entendido de que no se trata de un bien que se comercialice y que su producción no está controlada por ningún proceso de manufactura.

Este análisis se realizó para las temporadas 2011, 2012 y 2013 ya que sólo estas temporadas contaban con un registro financiero precedente. En este análisis no se consideró el valor de los activos fijos con los que se cuentan para la operación de la A.C. (equipos, enseres, maquinarias, automóviles, cuatrimotos, etc.) debido a que la vida útil de ellos contablemente por ley ha vencido y por tanto carecen de valor por lo que no se pueden continuar depreciando según las NIF (Normas de Información Financiera; Cantú, 2008) así mismo no se consideró al campamento donde está ubicado ASUPMATOMA A.C. debido a que estas instalaciones están siendo prestadas a la organización para que pueda realizar sus funciones de protección a la tortuga marina, sin que estas sean propiamente de la asociación y no pueden ser tomadas en cuenta en el aspecto contable.

Por lo tanto, para determinar los costos de ASUPMATOMA A.C. se tomaron en cuenta únicamente los gastos de operación. Considerando como tales a todas las erogaciones que sostienen a la organización y que permiten llevar a cabo las diversas actividades y operaciones diarias durante la temporada (Elías, 2007).

Para calcular el costo por cría se dividió el total de gastos de operación de cada temporada entre el número de crías liberadas de cada temporada:

(11)

$$\text{Costo por cría} = \frac{\text{gastos de operación por temporada}}{\text{número de crías liberadas por temporada}}$$

Para establecer el beneficio se empleó como indicador el porcentaje de eclosión por temporada, para tener una aproximación del costo por nidada de tortuga golfina.

(12)

$$\text{Costo por nidada} = \text{Porcentaje de eclosión} * \text{Costo por cría}$$

Adicionalmente, se compararon estos mismos aspectos para una playa de anidación solitaria en Sinaloa. Los datos de esta asociación fueron proporcionados por la Biol. Eréndira González a manera de entrevista y con datos muy generales, por lo que los gastos de operación no pudieron ser desglosados en este caso. Los gastos de operación tomados en cuenta para determinar el costo por cría para este campamento fueron de \$700,000 por temporada.

### **5.6.3 Incremento del número de personas que reciben un beneficio indirecto del programa.**

Utilizando las bases de datos de “Educación ambiental” de cada temporada, se contabilizó el número de personas por temporada que asistieron a las actividades producto del programa de conservación (talleres, pláticas, festivales, etc) con el fin de observar si ha aumentado el número de visitantes a través de los años.

## 6. Resultados

Para ambas playas, en la mayoría de las temporadas se patrulló más del 50% del periodo de anidación. Los siguientes factores se asocian a un menor esfuerzo: a) el patrullaje se tuvo que hacer sin cuatrimotos (temporadas 1995-1998), b) huracanes imposibilitaron el patrullaje (temporadas 2001 y 2002) o c) por falta de recursos económicos para la compra de gasolina (temporadas 1999 y 2003). Sin embargo, el monitoreo fue mejorando paulatinamente, alcanzando un esfuerzo mayor al 80% en las últimas tres temporadas (Apéndice I).

Aunque existieron cambios en la cobertura temporal del monitoreo, de acuerdo con los estándares de calidad del SWOT (State of the World's Sea Turtles), se considera que los datos generados por ASUPMATOMA A.C. son de mayor calidad (nivel 1), por lo cual representa un índice confiable de la abundancia estacional debido a que se realizan al menos tres patrullajes por semana (SWOT, 2011).

### 6.1. Tendencias generales de los parámetros reproductivos

Para ambas playas se protegió aprox. el 85% de los nidos. El 15% restante se refiere a nidos que no recibieron protección, los cuales son clasificados en una de cinco categorías: *in situ*, depredados, erosionados, no localizados o robados. Para playa SC el mayor porcentaje de nidos no protegidos fueron *in situ* y para playa ES fueron nidos robados. SC presenta mayor porcentaje de nidos depredados mientras que los nidos erosionados tienen un porcentaje similar en ambas playas (Tabla 3).

**Tabla 3. Número de nidos protegidos y no protegidos en playa SC (temporadas 1995-2013) y playa ES (temporadas 1999-2013).**

Playa		Protegidos	No protegidos					Total
			Corral	IS	DEP	ERO	NL	
SC	No. nidos	2913	285	41	10	130	29	3408
	Porcentaje	85%	8.65%	1.25%	0.30%	3.95%	0.85%	100.00%
ES	No. nidos	5930	336	8	10	168	487	6939
	Porcentaje	85%	5%	0.10%	0.15%	2.50%	7.25%	100.00%

IS=*in situ*; DEP= depredados; ERO=erosionados; NL=no localizados; RO=robados

La Figura 6 muestra las fluctuaciones en los principales parámetros reproductivos de la tortuga golfina (porcentajes de eclosión y emergencia, producción de huevos y crías así como el número de nidos por temporada) en las playas de estudio.

Para ambas playas el porcentaje de eclosión se mantuvo por arriba del 75% y el porcentaje de emergencia por arriba del 60%, excepto en la temporada 2001, cuando tuvieron una disminución drástica debido al impacto del huracán Juliette. Esto provocó que los porcentajes se redujeran a menos del 45% para el porcentaje de eclosión y menos del 35% para el porcentaje de emergencia (Fig. 6).

En cuanto al número de nidos, huevos y número de crías, estos presentan tendencias de incremento a través del tiempo, siendo más notorio a partir del 2011 (Fig. 6). Tomando en cuenta las últimas 10 temporadas de monitoreo (tiempo generacional de la tortuga golfina), el número de nidos se ha incrementado 6.25 veces para SC (de 102 nidos en 2004 a 638 en 2013) y 6.56 veces para ES (de 191 nidos en 2004 a 1253 en 2013).

El análisis de remuestreo Bootstrap permitió obtener un estimado promedio del número de nidos por temporada, con sus respectivos intervalos de confianza (Fig.7 y 8). A partir del estimado de nidos, se aplicó el análisis Mann-Kendal, el cual confirma que existe una tendencia positiva en el número de nidos a través del tiempo tanto para playa SC (Mann-Kendall test (Tau=0.786,  $p < 0.001$ , N=4162) como para playa ES (Mann-Kendall test (Tau=0.638,  $p < 0.001$ , N=8630).

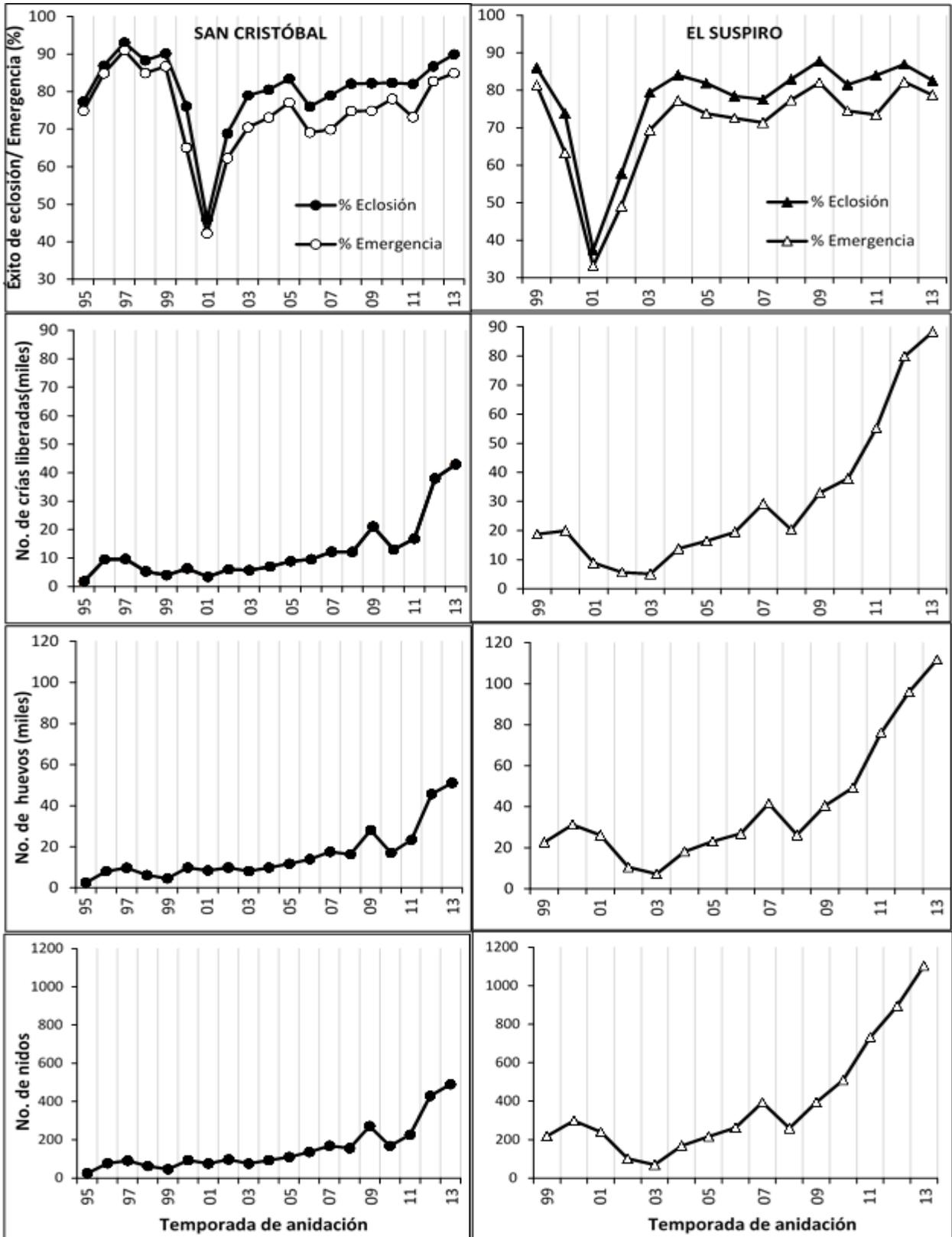


Figura 6. Tendencias de los parámetros reproductivos de la colonia anidadora de tortuga golfina en las playas San Cristóbal y El Suspiro: temporadas 1995-2013.

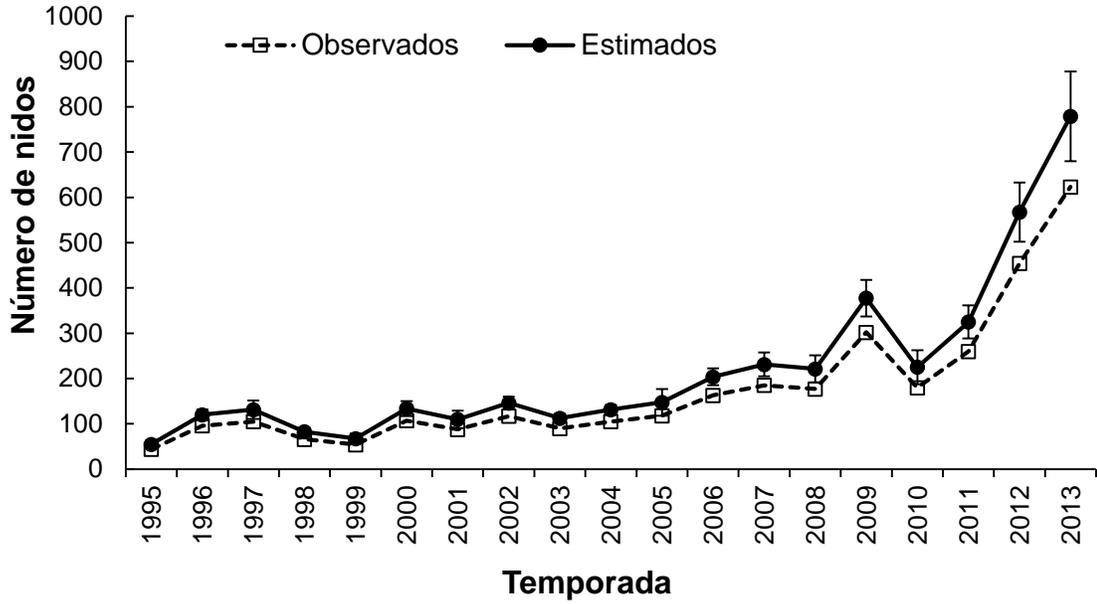


Fig. 7. Número de nidos observados (N=3408) y estimados (N=4162) para playa San Cristóbal en el periodo 1995-2013. Las barras indican intervalos de confianza al 95%.

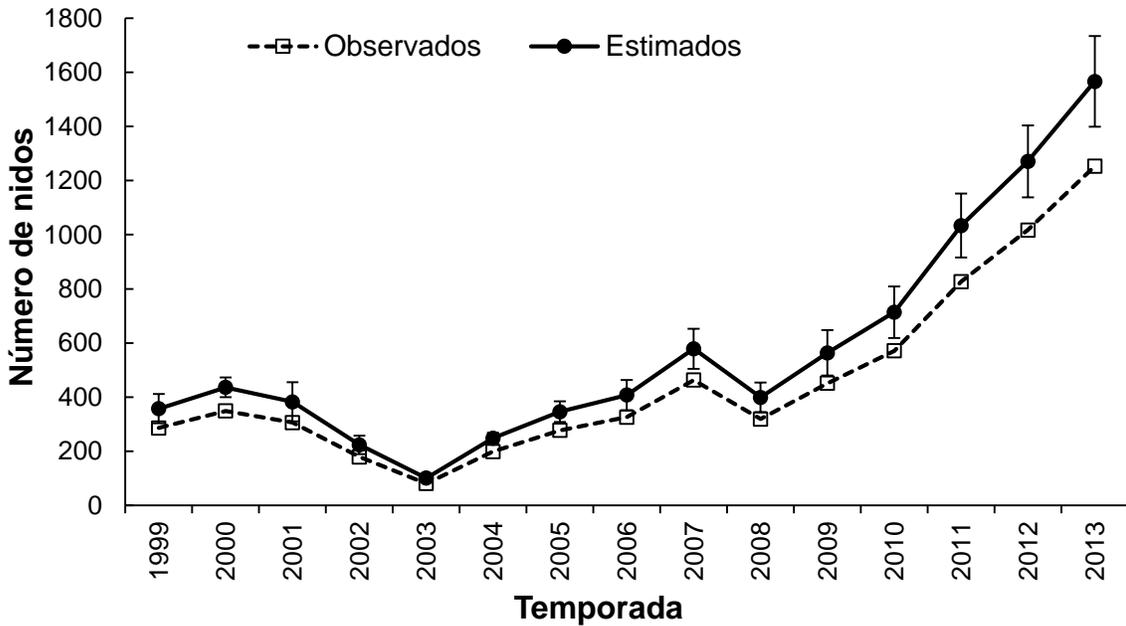
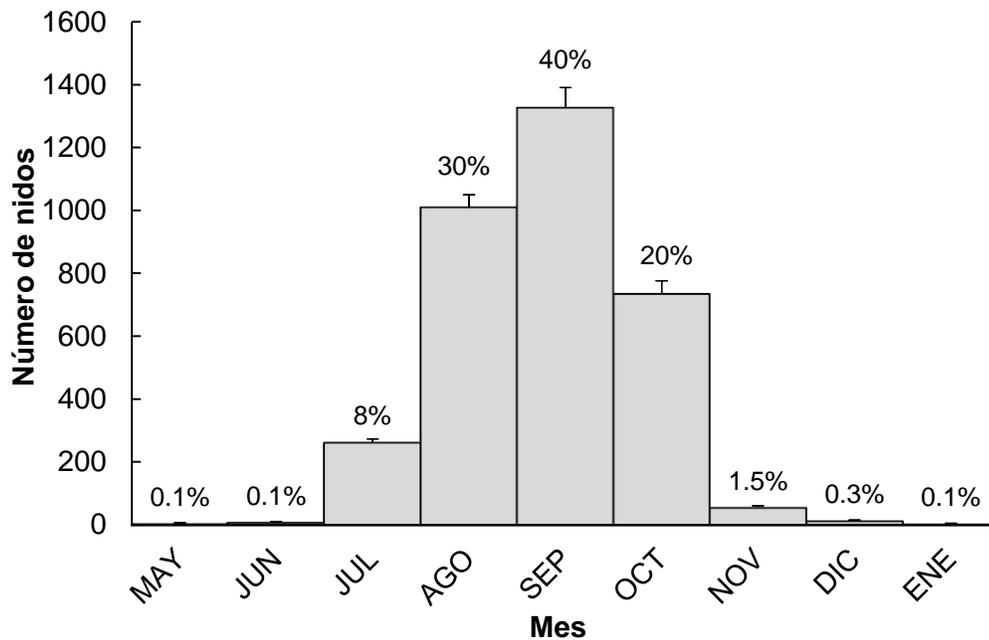


Fig. 8. Número de nidos observados (N=6939) y estimados (N=8630) para playa El Suspiro en el periodo 1999-2013. Las barras indican intervalos de confianza al 95%.

## 6.2 Distribución temporal de los nidos

Para ambas playas la distribución de nidos es muy similar. El mayor porcentaje de nidos observados se concentra en los meses de julio a octubre. El pico de anidación se observa en Septiembre, el cual representa el 40% del esfuerzo reproductivo, seguido por agosto con el 30%, octubre con el 20%, julio con el 8% y en el resto del año un 2% (Fig. 9).



**Figura 9. Distribución mensual de nidos de tortuga golfinia en playa San Cristóbal y playa El Suspiro: Temporadas 1995-2013. En cada barra se muestra el porcentaje de nidos por mes, tomando en cuenta 100% como el número total de nidos. Las líneas verticales representan desviación estándar.**

## 6.3 Distribución espacial y densidad de anidación

Para playa SC, el kilómetro 3-4 representa la zona más importante de anidación, con 35% del total de nidos y arqueos; aunque el km. 4-5 y el km. 2-3 le siguen de cerca con aprox. 20% (Fig. 10). Por su parte, playa ES presenta gran actividad de anidación en el kilómetro 6-8 con un 25% del total de nidos; en este tramo, el número de arqueos supera el número de nidos en un 10% (Fig.11).

La densidad de nidos por kilómetro de playa SC siempre ha igualado o superado la densidad de playa ES a pesar de que esta última tiene una extensión tres veces mayor. Dicha diferencia se acentúa en las últimas dos temporadas de anidación (Fig. 12).

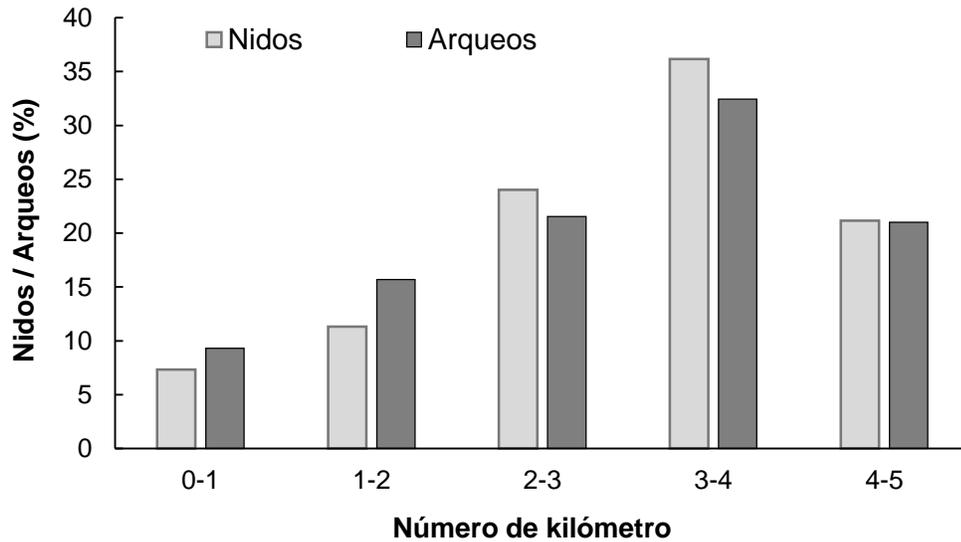


Figura 10. Distribución espacial de nidos y arqueos en playa S.Cristóbal: temporadas 2011-2013.

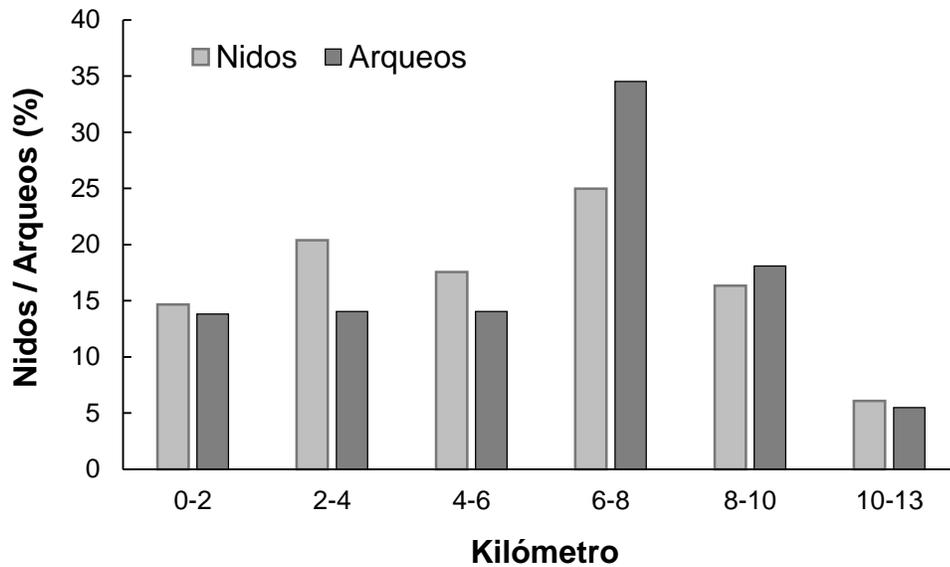


Figura 11. Distribución espacial de nidos y arqueos en playa El Suspiro: temporadas 2012-2013.

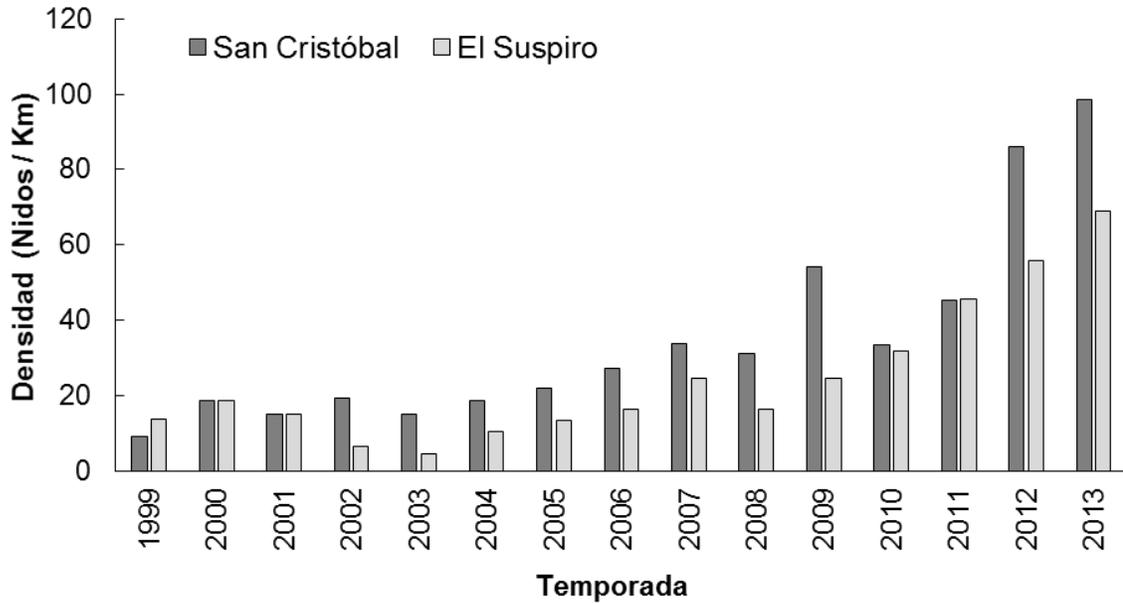


Figura 12. Densidad de anidación (nidos/km) en playa San Cristóbal y playa El Suspiro: temporadas 1999-2013.

#### 6.4 Relación Largo Curvo del Caparazón (LCC)-tamaño de nidada

El promedio general del tamaño de nidada para las 19 temporadas en playa San Cristóbal fue de 104.90 huevos por nido (N=2883, Rango: 38-179, DE: 22.79) y para playa El Suspiro fue de 104.53 huevos por nido (N=5844, Rango: 31-207, DE: 22.51).

El largo curvo del caparazón (LCC) de las hembras en playa San Cristóbal osciló entre 62.10 y 78.20 cm, con un promedio de 67.85 cm (N=118, DE: 2.97). Para playa El Suspiro, osciló entre 59.1 y 80.3 cm con un promedio de 67.18 cm (N=514, DE: 3.21). El tamaño de nidada promedio para las hembras observadas y medidas en playa SC fue de 110.72 huevos con un mínimo de 63 y máximo de 169 (N=118, DE: 18.76) mientras que para las hembras de playa ES el promedio fue de 107.57 huevos con mínimo de 40 y máximo de 159 (N=514, DE: 19.41).

De acuerdo con la prueba Mann-Whitney, no se encontraron diferencias entre playas en el tamaño de nidada ( $U=27999$ , g.l.=630,  $p=0.19$ ) ni en LCC ( $U=21393$  g.l.=630,  $p=0.16$ ), por lo cual se tomaron en cuenta todas las mediciones de hembras de tortuga golfina que

han anidado en ambas playas durante las 19 temporadas. Se encontró una relación lineal significativa entre las variables LCC y tamaño de nidada, aunque sólo el 8% de la varianza es explicada ( $R^2= 0.08$ ,  $p < 0.001$ ,  $N=632$ ; Fig. 13).

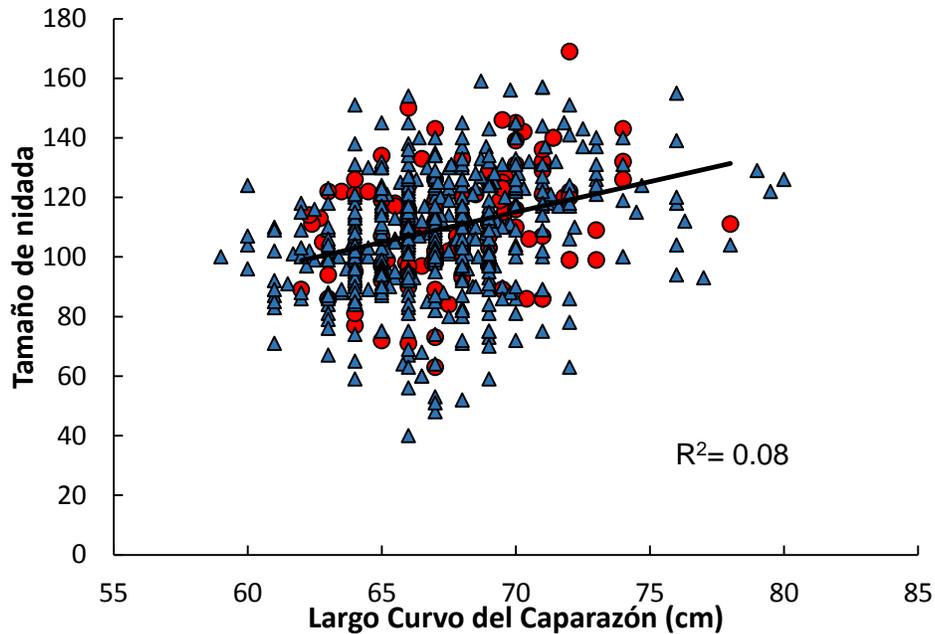


Figura 13. Largo curvo del caparazón y tamaño de nidada de tortuga golfina anidando en playa San Cristóbal (círculos rojos) y playa El Suspiro (triángulos azules). La línea continua indica la regresión lineal ( $N=632$ ).

## 6.5 Prácticas de manejo

### 6.5.1. Éxito de eclosión y emergencia en condiciones de vivero

El promedio general de éxito de eclosión tomando en cuenta todos los nidos de las 19 temporadas de monitoreo, fue ligeramente más alto para playa SC  $79.17 \pm 10.15\%$  ( $N=2913$ ) que para playa ES  $77.76 \pm 12.69\%$  ( $N=5930$ ). De igual manera, el porcentaje de emergencia fue más alto para playa SC  $72.4 \pm 10.36\%$  ( $N=2913$ ) que para playa ES con  $70.11 \pm 12.88\%$  ( $N=5930$ ).

Sin embargo, la prueba T pareada permitió comparar los porcentajes de eclosión y emergencia mes a mes, incluidos en una sola prueba. En este caso, no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de eclosión entre playas, ( $t_{630}=0.38$ ,  $p=0.70$ ,

Fig. 14). Por el contrario, el porcentaje de emergencia si presentó diferencias ( $t_{630}=2.95$ ,  $p<0.01$ , Fig.15), siendo mayor para playa ES.

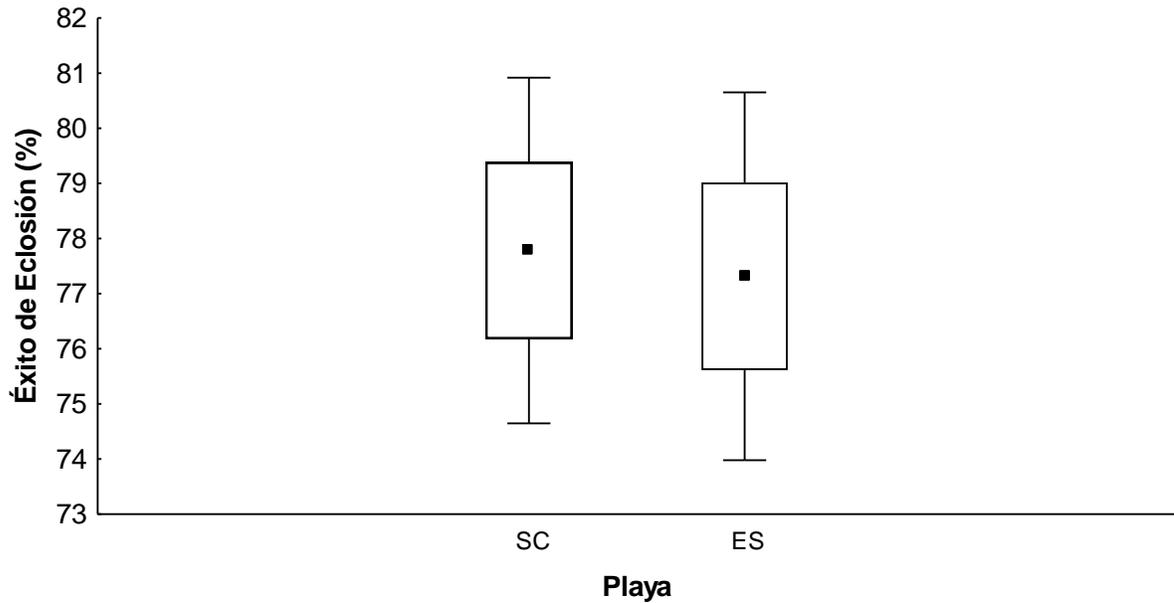


Figura 14. Comparación del éxito de eclosión para los dos sitios de estudio. El promedio de playa San Cristóbal (SC) es de 77.78% y de playa El Suspiro es de 77.31% (ES). Los cuadrados negros representan la media, los rectángulos el error estándar y las líneas los intervalos de confianza.

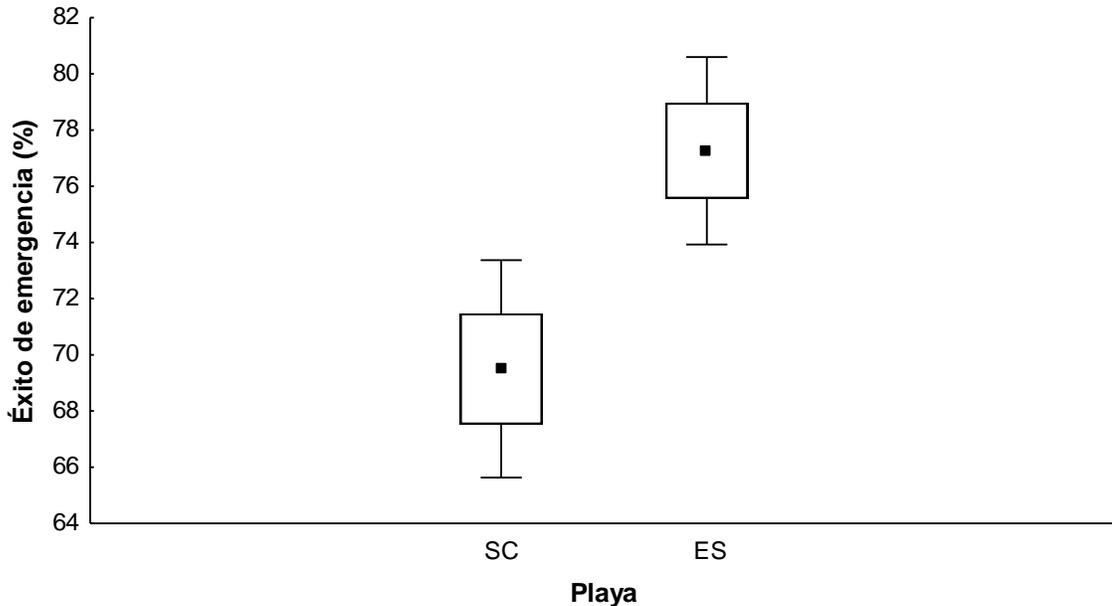


Figura 15. Comparación del éxito de emergencia para los dos sitios de estudio. El promedio de playa San Cristóbal (SC) es de 69.50% y de playa El Suspiro es de 77.26% (ES). Los cuadrados negros representan la media, los rectángulos el error estándar y las líneas los intervalos de confianza.

### 6.5.2. Periodo de incubación

El promedio del periodo de incubación general para las 19 en playa SC fue de 50.46 días (N=5844, Rango= 41-115, DE=7.77) y para 15 temporadas de playa ES fue de 52.72 días (N=2883, Rango= 41-116, DE=9.37). La prueba Mann-Whitney indicó que sí existen diferencias en el periodo de incubación entre playas (U= 8809151; g.l= 9811; p=0.001).

Por otra parte, considerando el periodo de incubación por mes, se observa que los días de incubación se incrementan en los meses más fríos. Para ambas playas, un nido tarda en eclosionar menos de 50 días promedio en los meses de Agosto, Septiembre y Octubre; a partir de Noviembre puede tardar alrededor de 50 días, en Diciembre 60 días y en Enero 80 días o más (Fig. 16).

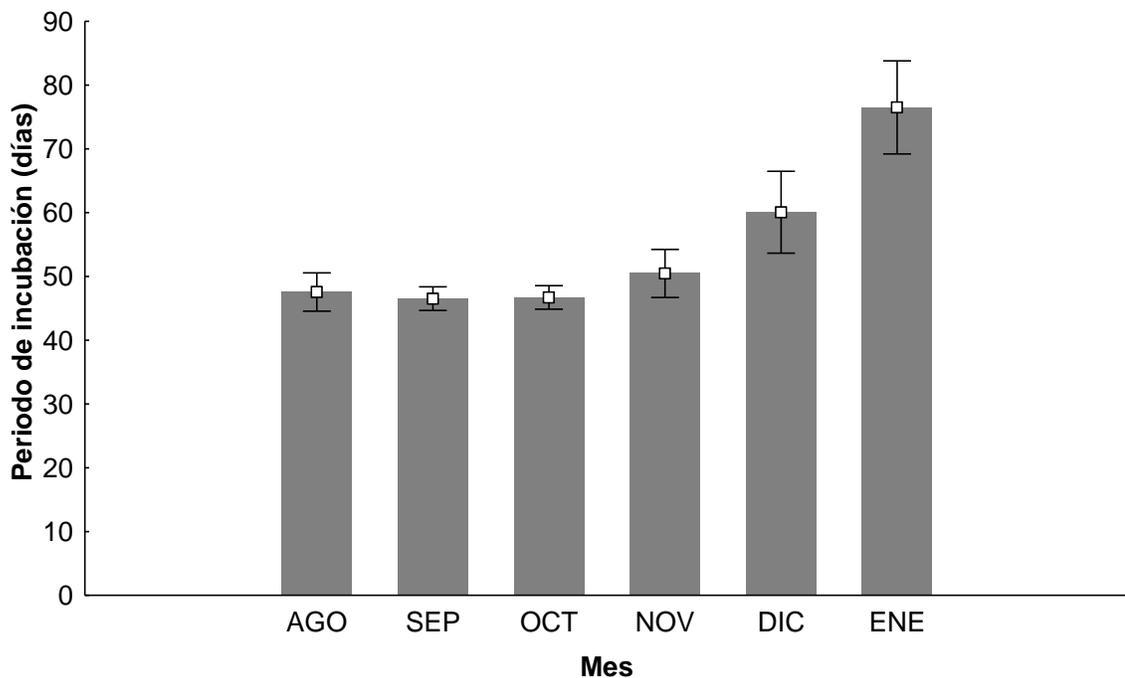


Figura 16. Periodo de incubación por mes para playa SC y playa ES tomando en cuenta las 19 temporadas de monitoreo. Los cuadros blancos representan la media y las barras la desviación estándar.

Al comparar el periodo de incubación entre temporada y playa, se encontraron diferencias significativas ( ${}_{14}F_{9981}=10.63$ ,  $p<0.001$ , Fig.17). Las temporadas 2000, 2004, 2012 y 2013 presentaron diferencias en el tiempo de incubación, siendo mayor para playa ES en todos los casos.

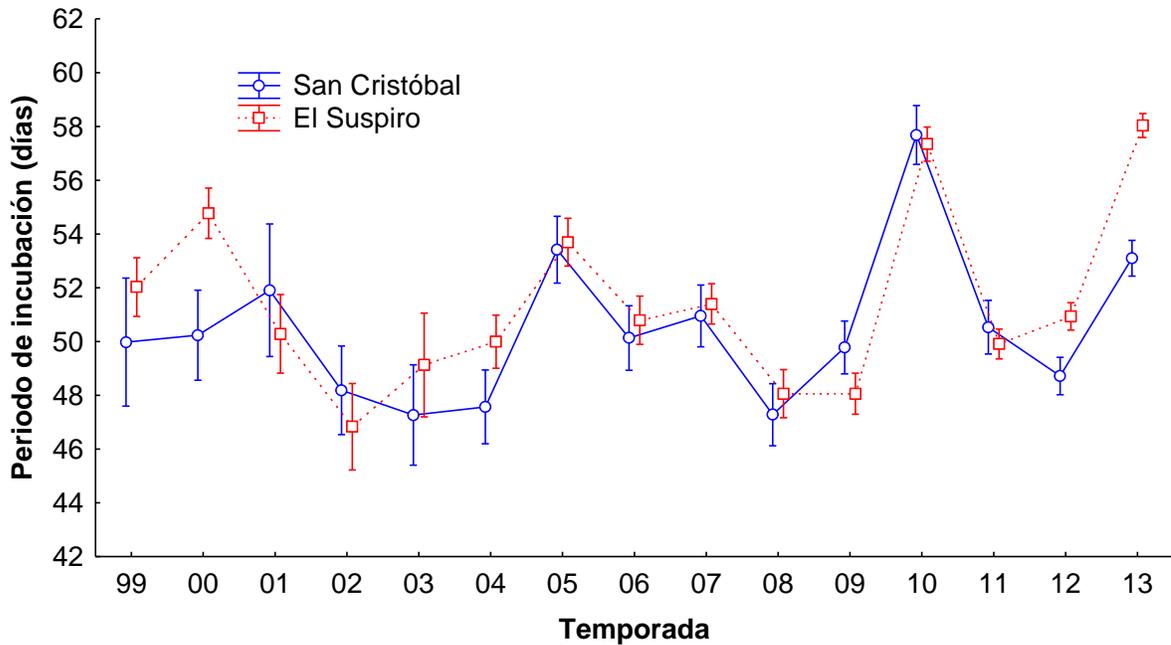


Figura 17. Comparación del periodo de incubación entre los dos sitios de estudio. Los cuadrados representan la media y las líneas verticales indican intervalos de confianza al 95%.

### 6.5.3. Efecto de la separación de nidadas

La prueba t de student para el porcentaje de eclosión entre nidos separados y no separados no presentó diferencias significativas para ninguna playa. Por el contrario, el porcentaje de emergencia presentó diferencias en ambas playas, con un mayor porcentaje de crías emergidas en los nidos separados que en los nidos no separados (Tabla 4).

**Tabla 4. Comparación de los porcentajes de eclosión y emergencia en nidos separados y no separados para playa SC y ES. Dentro del paréntesis se muestra el promedio  $\pm$  desviación estándar y el valor p de la prueba t.**

PLAYA	% Eclosión		% Emergencia	
	Nidos No Separados	Nidos Separados	Nidos No Separados	Nidos Separados
San Cristóbal	88.52 $\pm$ 9.93 ( $t_{172}=1.29$ ; $p=0.19$ )	85.79 $\pm$ 15.90	78.16 $\pm$ 15.96 ( $t_{172}=-2.13$ ; $p=0.03$ )	83.41 $\pm$ 16.04
El Suspiro	84.84 $\pm$ 15.22 ( $t_{333}=0.43$ ; $p=0.66$ )	84.03 $\pm$ 18.89	75.47 $\pm$ 18.56 ( $t_{339}=3.99$ ; $p<.001$ )	82.90 $\pm$ 15.43

#### **6.5.4. Comparación de la densidad de anidación y porcentajes de eclosión en las playas de estudio respecto a otras playas de anidación solitaria y con una playa de anidación masiva**

A nivel estado (B.C.S), tanto playa SC como playa ES ocupan el segundo y tercer lugar en número de nidos, después del campamento Don Manuel Orantes (Apéndice II). Sin embargo, en términos de densidad (nidos/km) ocupan el primer y segundo lugar respectivamente (Fig. 18, Tabla 5).

A nivel regional (Noroeste de México), el número de nidos de playa SC y playa ES es menor que otras playas de anidación solitaria (Anexo II), pero la densidad de playa SC sigue siendo una de las más altas, con una diferencia de 50 nidos/km respecto a la playa con mayor densidad, Estrella del Mar en Sinaloa (Fig. 18, Tabla 5).

Comparadas con una playa de anidación de arribada como playa La Escobilla, Oaxaca, tanto el número de nidos como la densidad de anidación de playa SC y playa ES son realmente bajos; sin embargo, los porcentajes de eclosión en las playas solitarias siempre se mantuvieron por arriba del 50%-80% mientras que en playa La Escobilla nunca superaron el 15% (Tabla 5).

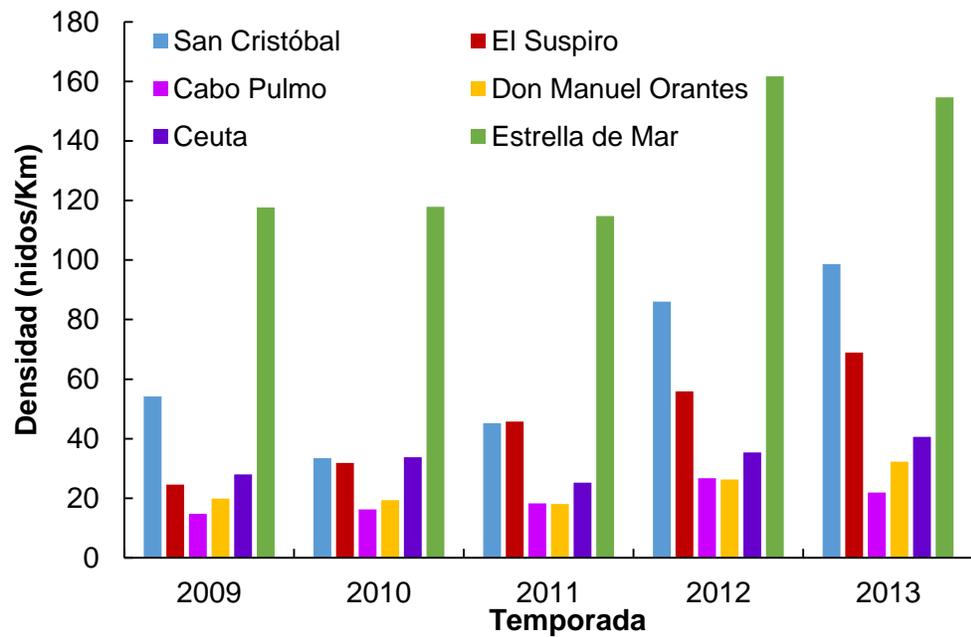


Figura 18. Comparación de la densidad de anidación (nidos/Km) de las playas de estudio (San Cristóbal y El Suspiro) con otras playas de anidación solitaria.

Tabla 5. Comparación del porcentaje de eclosión entre algunas playas de anidación solitaria y una playa de anidación en arribada Temporadas: 2009-2013.

Estado	Baja California Sur				Sinaloa		Oaxaca	
Playa	San Cristóbal*	El Suspiro*	Cabo Pulmo*	Don Manuel Orantes*	Ceuta*	Estrella de Mar*	La Escobilla**	
<b>TEMPORADA</b>	<b>2009</b>	82.23	87.83	55.63	79.64	67.20	50.20	6.02
	<b>2010</b>	82.33	81.5	61.80	78.83	70.00	74.85	5.1
	<b>2011</b>	82.04	83.98	50.12	85.36	50.80	71.76	14.1
	<b>2012</b>	86.74	86.94	79.25	81.97	61.10	76.36	13.25
	<b>2013</b>	89.91	82.64	52.46	81.96	73.00	77.95	11.4

\* Playa de anidación solitaria

\*\* Playa de anidación en arribada

## **6.6 Modelación de los factores ambientales que influyen en los parámetros reproductivos de la colonia anidadora de tortuga golfina en Los Cabos, México**

La variabilidad de cuatro parámetros reproductivos de tortuga golfina (número de nidos, número de crías y porcentajes de eclosión y emergencia) fue analizada mediante MLG para una serie de tiempo de 16 años en el caso de playa SC (1998-2013), 15 años en caso de playa ES (1999-2013) y 15 años al agrupar las dos playas (1999-2013). Para el caso de playa SC no se modeló con toda la serie de tiempo (1995-2013) debido a que para los primeros tres años (1995, 1996 y 1997) no había información disponible sobre la variable -Concentración de Clorofila- y también debido a que en esos años el monitoreo no se realizaba de manera sistemática.

Para todos los modelos se introdujeron 6 variables ambientales: Anomalías de temperatura superficial del mar (ANOM), Temperatura Superficial del Mar (TSM), Concentración de clorofila (CLORO), Precipitación (PRECIP), Temperatura ambiente (TEMPAMB) y Huracanes (HUR). Además, se incluyeron 4 interacciones, representadas por las variables que tuvieron un coeficiente de correlación de Pearson  $r > 0.5$  (Tabla 6). Estas fueron: Anomalías de Temperatura Superficial del Mar y Temperatura Superficial del Mar (ANOM\*TSM), Anomalías de Temperatura Superficial del Mar y Concentración de Clorofila (ANOM\*CLORO), Temperatura Superficial del Mar y Concentración de Clorofila (TSM\*CLORO), Precipitación e incidencia de Huracanes (PRECIP\*HUR). De esta manera, el total de variables analizadas para los modelos de número de nidos y número de crías fueron 10 (6 individuales + 4 interacciones). Para los modelos de porcentajes de eclosión y emergencia, la temperatura ambiente se desglosó en dos variables (Temperatura letal caliente y Temperatura letal fría), por lo cual el número de variables introducidas al modelo fueron 11 (7 individuales + 4 interacciones).

Sólo para propósitos descriptivos (no metodológicos), las variables fueron catalogadas dentro de alguno de dos grupos: a) Variables de escala grande: TSM, ANOM, CLORO y sus interacciones ANOM\*TSM, CLORO\*ANOM Y TSM\*CLORO B) Variables de escala local: PRECIP, TEMPAMB, HUR y la interacción HUR\*PRECIP.

Tabla 6. Análisis de correlación de Pearson para las variables ambientales introducidas a los modelos. Los colores rojos indican significancia con un  $p < 0.05$  y un  $r > 0.50$ .

	ANOM	TSM	COLORO	PRECIP	HUR	TEMPAMB
ANOM	1.00					
TSM	0.99	1.00				
COLORO	-0.64	-0.64	1.00			
PRECIP	0.27	0.27	-0.33	1.00		
HUR	-0.06	-0.06	0.06	0.72	1.00	
TEMPAMB	0.10	0.10	0.08	-0.04	-0.11	1.00

### 6.6.1 Eliminación de la tendencia de incremento en el número de nidos y número de crías

El mejor polinomio ajustado, con el cual se pudo eliminar la tendencia creciente en el número de nidos, fue cuadrático para el caso de playa ES y cúbico para los casos de playa SC y ambas playas. La importancia del ajuste no lineal para explicar la tendencia observada, se ejemplifica en la Figura 19, en donde se observa que la tendencia del número de nidos observados se asemeja más al número de nidos predichos por el modelo no lineal (polinomio grado 3) que a los nidos predichos por el ajuste del modelo lineal (regresión lineal). Todos los polinomios ajustados cumplieron con los supuestos de los residuales (Apéndice III).

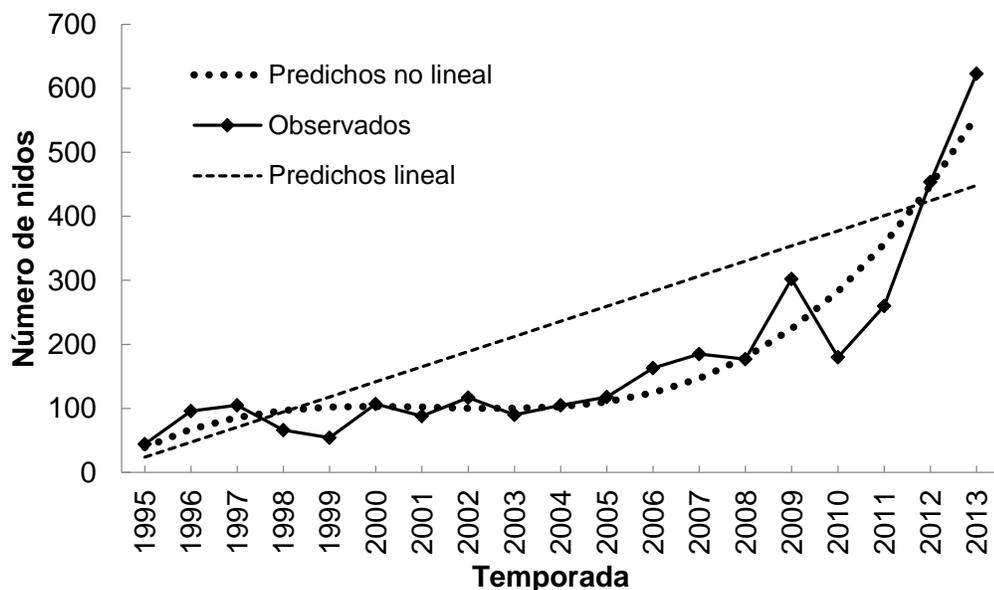


Figura 19. Número de nidos observados y predichos por un modelo de regresión lineal y un modelo no lineal cúbico para las temporadas 1995-2013 en playa San Cristóbal

### 6.6.2. Modelación de los factores ambientales que influyen en el número de nidos

Para playa SC, el mejor modelo integró 5 variables y 3 interacciones con devianza de 0.95 y el AIC más bajo de 165.3. Todas las variables que entraron en el modelo fueron significativas, excepto la variable Huracanes, que aunque no fue significativa, el procedimiento por pasos (AIC) la integró en el modelo final (Tabla 7). Todos los supuestos de los residuales del modelo se cumplieron (Apéndice IV).

El modelo con el mejor ajuste y que mejor explica la variabilidad en el número de nidos en playa SC fue el siguiente:

#### Modelo #1

$$\begin{aligned} \text{Número de nidos playa SC} \approx & 49.39 \text{ Anomalías} + 0.31 \text{ TSM} + 1469.26 \text{ Clorofila} \\ & + 0.165 \text{ Precipitación} + 0.08 \text{ Huracanes} - 1.5 \text{ Anomalías} * \text{TSM} - 56.77 \text{ Clorofila} * \text{TSM} \\ & - 0.012 \text{ Huracanes} * \text{Precipitación} \end{aligned}$$

De las variables incluidas en el modelo final, TSM y sus Anomalías fueron las más representativas, con un porcentaje de varianza explicada del 67% y 14% respectivamente. En suma, estas dos variables explicaron 81% de un total de 95% de la devianza total (Tabla 7).

El ajuste del modelo fue adecuado, aunque como cualquier modelo, presenta cierto grado de error (Fig. 20). Si se agrega la variable anomalías de TSM a la gráfica, se observa que los picos con mayor número de nidos, en 2009, 2012 y 2013, corresponden a periodos con anomalías negativas, es decir periodos fríos, mientras que los años con menor número de nidos en 1998, 2004 y 2010 corresponden a periodos cálidos. Cabe recordar que para Anomalías, TSM y Clorofila se hizo un promedio de los 9 meses previos a la temporada de anidación (Octubre-Junio).

Tabla 7. Análisis de devianza del MLG final para número de nidos en playa San Cristóbal. En negritas y color gris se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.

Factor	g.l. residual	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Nulo	16	197017				
Anomalías	15	169442	27575	14.00	<b>14.00</b>	<0.05
TSM	14	36468	132974	81.49	<b>67.49</b>	<0.01
Clorofila	13	36370	98	81.54	0.0497	<0.05
Precipitación	12	31582	4788	83.97	2.43	<0.05
Huracanes	11	31563	19	83.98	0.0096	>0.05
Anomalías*TSM	10	27897	3666	85.84	1.86	<0.05
Clorofila*TSM	9	16547	11350	91.60	5.76	<0.05
Hurac.*Precipitación	8	9355	7192	95.25	3.65	<0.05
<i>Devianza total</i>					95.25	

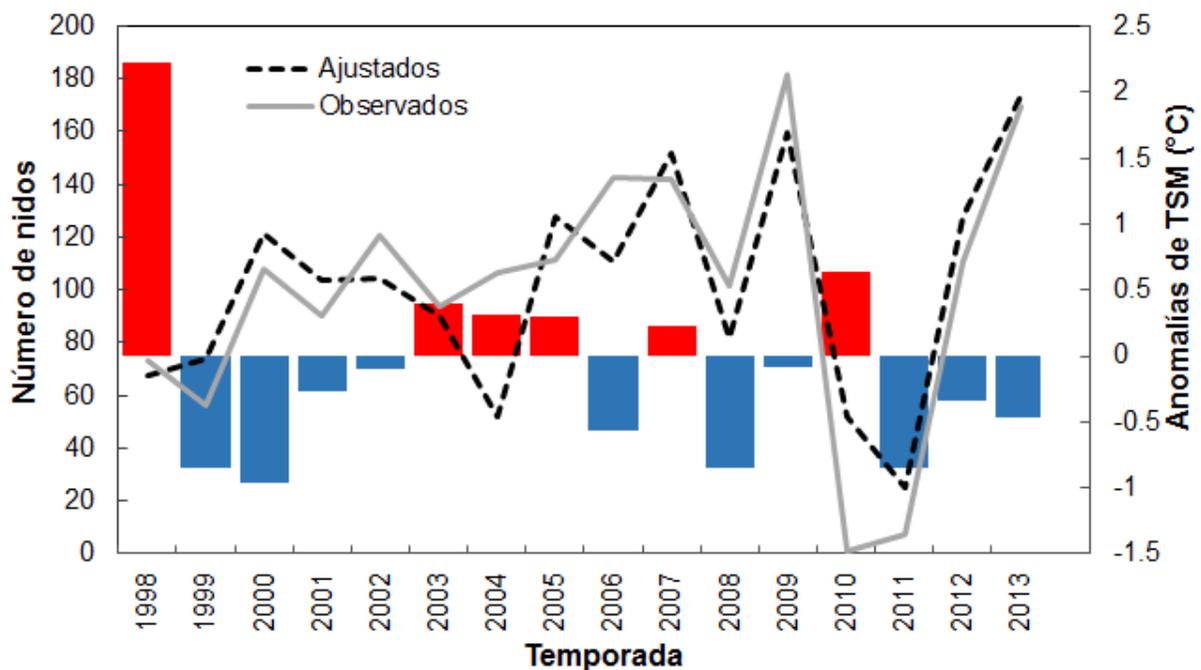


Figura 20. Número de nidos de tortuga golfina observados y ajustados\* mediante MLG para playa San Cristóbal. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.

\*NOTA: En esta y las siguientes gráficas el número de nidos observados y ajustados son presentados como una serie sin tendencia. Es por esto que el número de nidos es bajo en todos los casos ya que la modelación se realizó con los datos resultantes del tratamiento para quitar a tendencia a las series de nidos y crías (ver apartado 6.6.1).

Por otra parte, para playa ES, el mejor modelo incluyó al intercepto, 6 variables y 3 interacciones que en conjunto explicaron el 96% de la variabilidad (Tabla 8). Todas las variables fueron significativas con un  $p$  menor al 0.05 y todos los supuestos del modelo se cumplieron (Apéndice IV).

El modelo con el mejor ajuste y más bajo AIC (141.89) fue el siguiente (modelo 2):

### Modelo #2

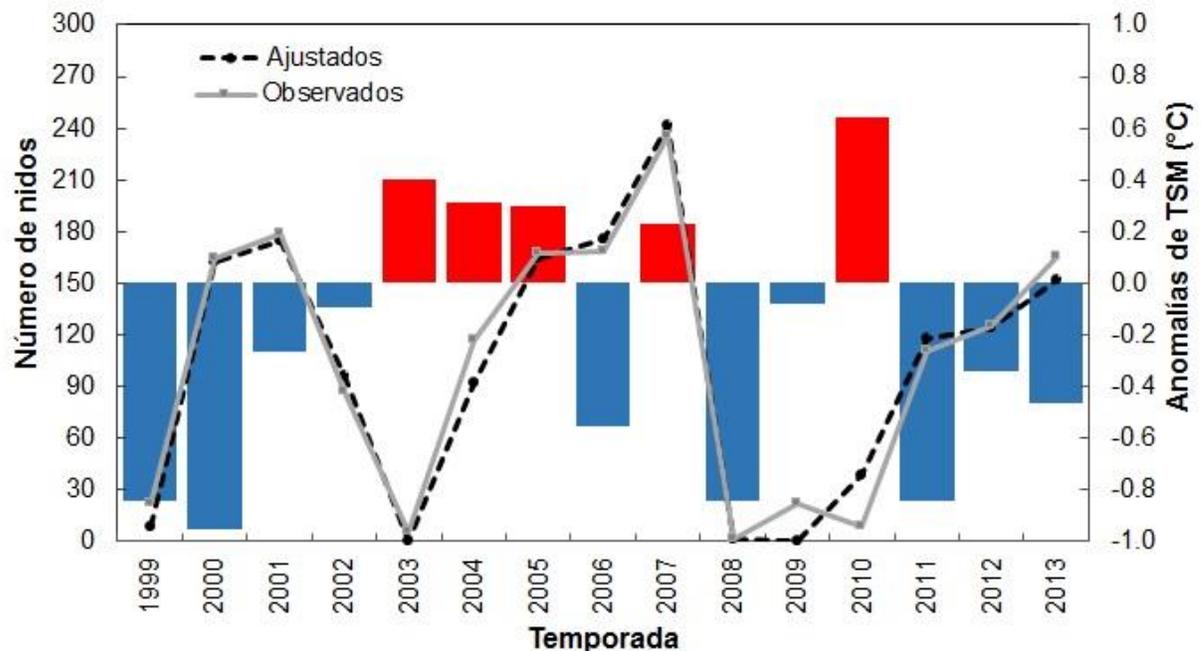
$$\begin{aligned} \text{Número de nidos playa ES} \approx & 794300 + 30360 \text{ Anomalías} - 4570000 \text{ Clorofila} - 30230 \\ & \text{TSM} - 0.263 \text{ Precipitación} - 2.61 \text{ Huracanes} + 1173900 \text{ Clorofila} * \text{TSM} - 174600 \\ & \text{Clorofila} * \text{Anomalías} + 0.11 \text{ Huracanes} * \text{Precipitación} \end{aligned}$$

**Tabla 8. Análisis de devianza del MLG final para número de nidos en playa El Suspiro. En negritas y color gris se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.**

Factor	g.l. residual	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	$p$
Intercepto	15					
Nulo	14	82132				
Anomalías	13	81888	244	0.297	0.2971	<0.05
Clorofila	12	81854	34	0.338	0.0414	<0.05
Temp. Ambiente	11	76668	5186	6.653	6.314	<0.05
TSM	10	42775	33893	47.919	<b>41.27</b>	<0.05
Precipitación	9	42727	48	47.978	0.058	<0.05
Huracanes	8	42622	105	48.105	0.128	<0.05
Clorofila*TSM	7	20829	21793	74.640	<b>26.53</b>	<0.05
Clorofila*Anomalías	6	17958	2871	78.135	3.496	<0.05
Hurac*Precipitación	5	2599	15359	96.836	<b>18.700</b>	<0.05
<i>Devianza total</i>					<b>96.84</b>	

Las variables más representativas en este modelo fueron la variable TSM y las interacciones Clorofila\*TSM y Huracanes\*Precipitación con 41%, 26% y 18% de varianza explicada respectivamente, lo cual en conjunto suma 85% de la devianza total (96%).

El ajuste de este modelo puede ser considerado muy apropiado para explicar la variabilidad del número de nidos en playa ES ya que las líneas de nidos observados y ajustados casi llegan a traslaparse, y aunque en todo ajuste existe error, es mínimo en este caso (Fig. 21). De nuevo se observa que los años con menor número de nidos, corresponden a periodos cálidos en 2003 y en 2010, aunque en periodos fríos como 1999 y 2008 también fue muy bajo. Periodos fríos como el año 2000, 2011, 2012 y 2013 corresponden a un aumento en el número de nidos; sin embargo el pico más alto en número de nidos corresponde a la transición de un periodo frío a cálido de 2006 a 2007.



**Figura 21. Número de nidos de tortuga golfinia observados y ajustados mediante MLG para playa El Suspiro. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.**

Por otra parte, el mejor modelo ajustado tomando en cuenta ambas playas, incluyó 3 variables y 3 interacciones, con devianza de 0.95 y el AIC más bajo de 178.3. Todas las variables fueron significativas; aunque Clorofila y Clorofila\*Temperatura Superficial del Mar quedaron en el límite del nivel de confianza, el procedimiento por pasos las incluyó en el modelo (Tabla 9).

**Tabla 9. Análisis de devianza del MLG final para número de nidos en ambas playas. En negritas se y color gris se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.**

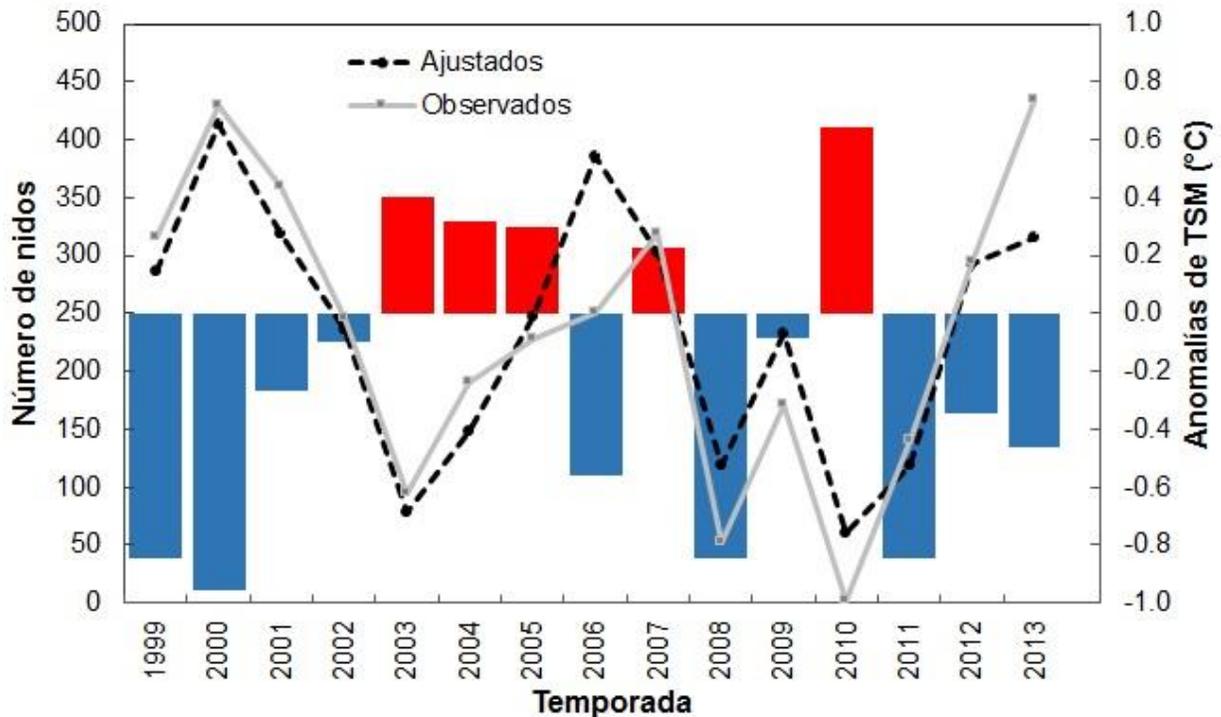
Factor	g.l. residual	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
	15	1054378				
Anomalías	14	753215	301163	28.563	<b>28.56</b>	<0.05
Clorofila	13	215353	537862	79.575	<b>51.01</b>	<0.01
TSM	12	189122	26231	82.063	2.49	<. 01
Anomalías*TSM	11	141628	47494	86.568	4.50	<0.05
Clorofila*TSM	10	86256	55372	91.819	5.25	<0.10
Clorofila*Anomalías	9	50237	36019	95.235	3.42	<0.05
			<i>Devianza total</i>		<i>95.24</i>	

El modelo que mejor explica la variabilidad del número de nidos tomando en cuenta ambas playas, fue el siguiente (modelo 3):

### Modelo #3

$$\text{Número de nidos ambas playas} \approx 58.76 \text{ Anomalías} - 18120 \text{ Clorofila} + 0.43 \text{ TSM} \\ + 688.5 \text{ Clorofila*TSM} - 1.689 \text{ Anomalías*TSM} - 772 \text{ Clorofila*Anomalías}$$

Las variables mejor representadas fueron Clorofila con 51% y Anomalías con 28% de la varianza total (Tabla 9). Esto representa un 79% de la varianza total (devianza = 95 %). Como se observa en la Figura 22 el ajuste del modelo parece ser bueno, aunque existe cierta desviación entre la línea de los nidos observados y la línea de los nidos ajustados por el modelo, principalmente en el año 2006 y 2013. Al observar la relación entre anomalías y número de nidos, de nuevo observamos que el año 2000, 2011, 2012 y 2013 aparecen como años con el mayor número de nidos, mientras que 2003 y 2010 son dos de los años con menor número.



**Figura 22.** Número de nidos de tortuga golfina observados y ajustados mediante MLG para ambas playas. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.

En comparación, los tres modelos presentaron altas devianzas y buenos ajustes, además de cumplir los supuestos de los residuales (Apéndice IV). En cuanto a las variables incluidas en los modelos hubo discrepancias, los modelos de playa SC y ambas playas incluyeron las mismas variables e interacciones (las cuales son variables del grupo de escala grande), y Anomalías fue la segunda variable más representativa en ambos casos. Sin embargo, difirieron en la variable con mayor porcentaje de varianza explicada, ya que para playa SC fue TSM mientras que para ambas playas fue Clorofila (Tablas 8 y 10). En contraparte, el modelo para playa ES, además de variables de escala grande, incluyó variables climáticas locales como Temperatura ambiente, Precipitación y Huracanes; no obstante, estas tuvieron una aportación pequeña a la devianza total (6.5% por las tres) y fueron las interacciones Clorofila\*TSM y Huracanes\*Precipitación las que tuvieron mayor aporte (Tabla 9).

### 6.6.3 Modelación de los factores ambientales que influyen en el número de crías

Los polinomios más adecuados para eliminar la tendencia creciente en el número de crías, fueron del mismo grado que los ajustados para número de nidos: cuadrático para el caso de playa ES y cúbico para los casos de playa SC y ambas playas. Todos los polinomios ajustados cumplieron con los supuestos de los residuales (Apéndice IV).

Para playa SC, el mejor modelo tuvo una devianza de 0.93, que junto con el AIC (303.5) más bajo incluyeron 3 variables y 2 interacciones: Anomalías, Temperatura Superficial del Mar, Clorofila, Anomalías\* Temperatura Superficial del Mar y Clorofila\* Temperatura Superficial del Mar. Todas las variables fueron significativas (Tabla 10).

**Tabla 10. Análisis de devianza del MLG final para número de crías en playa SC. En negritas se y color gris se muestran las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.**

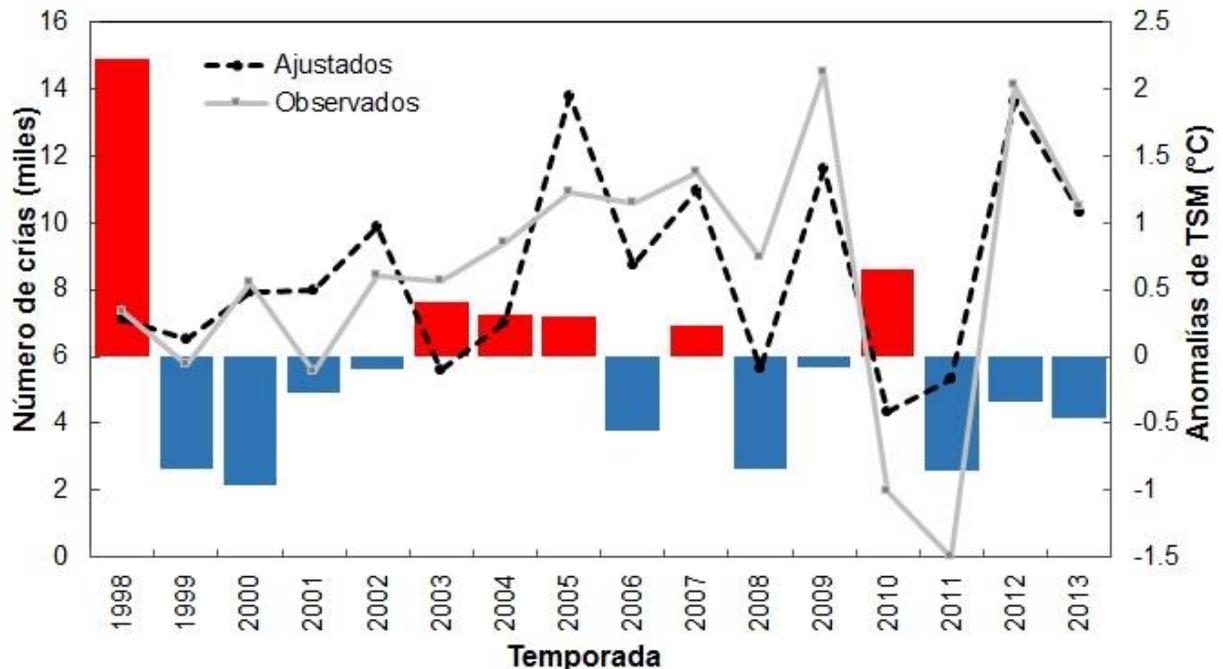
Factor	g.l.	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Nulo	16	1.37E+09				
Anomalías	15	3.78E+08	9.97E+08	72.52	<b>72.5220</b>	<0.05
TSM	14	2.24E+08	1.54E+08	83.71	<b>11.1912</b>	<0.001
Clorofila	13	2.16E+08	8.17E+06	84.31	0.5945	<0.05
Anomalías*TSM	12	1.64E+08	5.13E+07	88.04	3.7292	<0.01
Clorofila*TSM	11	8.67E+07	7.77E+07	93.69	5.6545	>0.05
<i>Devianza total</i>					<b>93.69</b>	

El modelo que mejor explica la variabilidad del número de crías en playa SC fue el siguiente:

#### Modelo #4

$$\begin{aligned} \text{Número de crías playa SC} \approx & 44.25 \text{ ANOM} + 0.57 \text{ TSM} + 1384.58 \text{ CLORO} \\ & - 1.34 \text{ ANOM} * \text{TSM} - 53.88 \text{ CLORO} * \text{TSM} \end{aligned}$$

Un 83.6% de la devianza total (93%) fue explicada por las variables TSM y sus Anomalías, con 72.5 y 11.1% respectivamente (Tabla 10). Dichas variables fueron también las más representativas para el modelo de número de nidos en esta misma playa (Tabla 7).



**Figura 23.** Número de crías de tortuga golfina observado y ajustado mediante MLG para playa SC. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.

Aunque presenta desfases en varios puntos (Fig. 23), este modelo tuvo un alto porcentaje de varianza explicada (93%) y cumplió con los supuestos de los residuales (Apéndice IV). Al igual que para el modelo de número de nidos, los años 2000, 2011, 2012 y 2013, correspondientes a periodos fríos, presentan el mayor número de crías, mientras que los periodos cálidos como 2003 y 2010 se asocian con números más bajos.

Por otra parte, el modelo para playa ES, incluyó 3 variables y 3 interacciones que en conjunto explicaron el 92% de la variabilidad de los datos. Todas las variables fueron significativas excepto la interacción Huracanes\*Precipitación, no obstante, fue incluida en el modelo de acuerdo al procedimiento por pasos (Tabla 11).

**Tabla 11. Análisis de devianza del MLG final para número de crías en playa ES. En negritas se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada**

Factor	g.l.	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
	15	1.60E+09				
Anomalías	14	1.36E+09	2.48E+08	15.438	<b>15.44</b>	<0.01
Clorofila	13	7.23E+08	6.34E+08	54.939	<b>39.50</b>	<0.05
TSM	12	3.82E+08	3.41E+08	76.195	<b>21.26</b>	<0.001
Clorofila*TSM	11	2.66E+08	1.16E+08	83.453	7.26	<0.05
Clorofila*Anomalías	10	1.53E+08	1.12E+08	90.441	6.99	<0.05
Hurac.*Precipitación	9	1.26E+08	2.79E+07	92.176	1.74	>0.05
<i>Devianza total</i>					<b>92.18</b>	

El modelo de menor AIC (295.67) y que mejor explica la variabilidad del número de crías en playa ES fue el siguiente (modelo 5):

#### **Modelo #5**

$$\text{Número de crías playa ES} \approx 20.28 \text{ ANOM} - 28590 \text{ CLORO} + 0.82 \text{ TSM} + 1086 \text{ CLORO} * \text{TSM} - 1197 \text{ CLORO} * \text{ANOM} + 0.002 \text{ HUR} * \text{PRECIPIT.}$$

De las seis variables más representativas, Clorofila, TSM y Anomalías aportaron 39%, 21% y 15% respectivamente, sumando 75% de la varianza explicada total (Tabla 11).

El ajuste del modelo presentó un 92% de varianza explicada y cumplió con todos los supuestos de los residuales (Apéndice IV). De nuevo, los periodos cálidos de los años 2003 y 2010 se asocian con un bajo número de nidos, aunque en el 2008 ocurre el menor número de nidos, durante un periodo frío. Los años con mayor número de crías ocurrieron dos periodos fríos en el 2000 y 2012 y un periodo cálido en 2007 (Fig.24). Dicho patrón también se observa en el modelo para número de nidos en esta misma playa (Fig. 21).

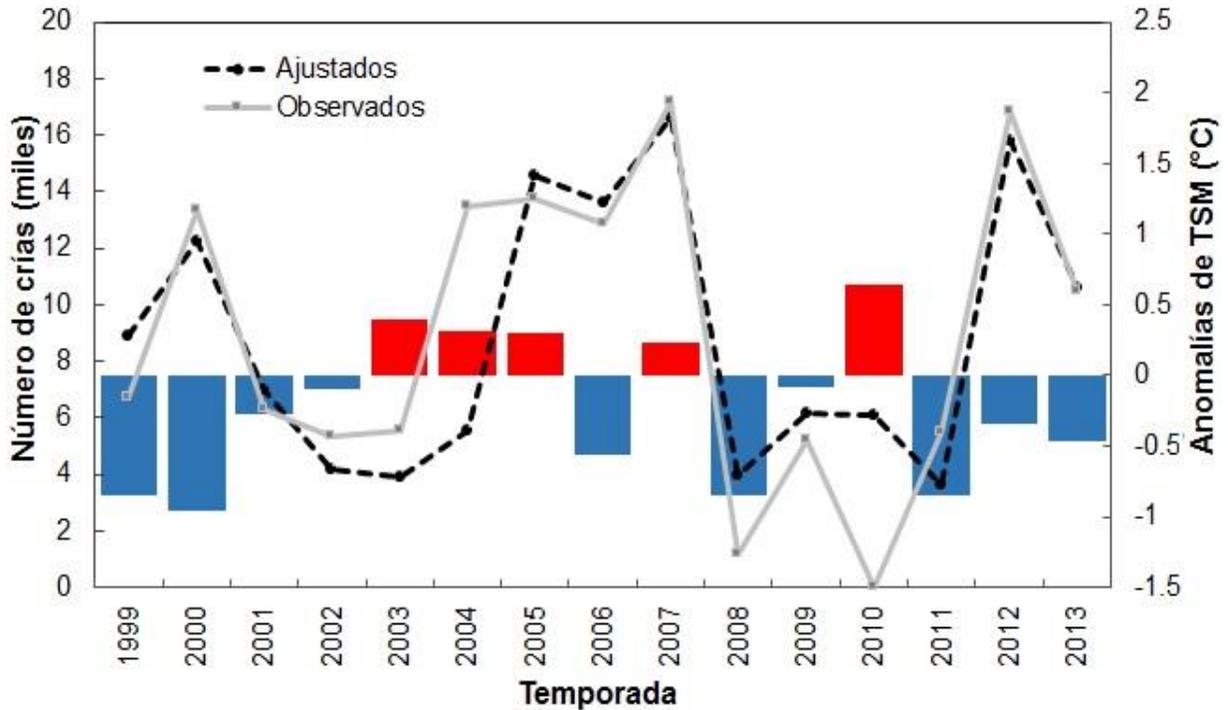


Figura 24. Número de crías de tortuga golfinia observado y ajustado mediante MLG para playa ES. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.

Finalmente, el mejor modelo en el que se ajustó el número de crías considerando ambas playas, incluyó 5 variables y 3 interacciones, todas significativas (Tabla 12). En conjunto, las 8 variables explican el 98% de la variabilidad de los datos, pero fueron las variables Anomalías, Clorofila y TSM las de mayor representación, sumando el 65% del total de la varianza.

El modelo con el mejor ajuste y de menor AIC (289.9) para el número de crías tomando en conjunto las dos playas fue el siguiente (modelo #6):

#### Modelo #6

Número de crías ambas playas  $\approx 114.1$  Anomalías  $-36040$  Clorofila  $+ 1.105$  TSM  $- 0.1204$  Temperatura ambiente  $- 3.010$  Anomalías\*TSM  $-0.253$  Precipitación  $+1369$  Clorofila\*TSM  $- 1565$  Clorofila\*Anomalías  $+ 0.01$  Huracanes\*Precipitación.

Tabla 12. Análisis de devianza del MLG final para número de crías en ambas playas. En negritas y color gris se muestran las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.

Factor	g.l. residual	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Nulo	15	3.09E+09				
Anomalías	14	2.24E+09	8.48E+08	27.47	<b>27.47</b>	<0.05
Clorofila	13	1.44E+09	8.02E+08	53.44	<b>25.97</b>	<0.05
TSM	12	1.01E+09	4.31E+08	67.40	<b>13.96</b>	<0.001
Temp. Ambiente	11	8.15E+08	1.92E+08	73.63	6.22	<0.01
Anomalías*TSM	10	6.90E+08	1.25E+08	77.66	4.04	<0.10
Precipitación	9	6.89E+08	9.76E+05	77.69	0.03	<0.05
Clorofila*TSM	8	3.62E+08	3.27E+08	88.27	10.58	<0.05
Clorofila*Anomalías	7	2.96E+08	6.64E+07	90.42	2.15	<0.01
Hurac.*Precipitación	6	5.73E+07	2.39E+08	98.15	7.72	<0.05
<i>Devianza total</i>					<b>98.15</b>	

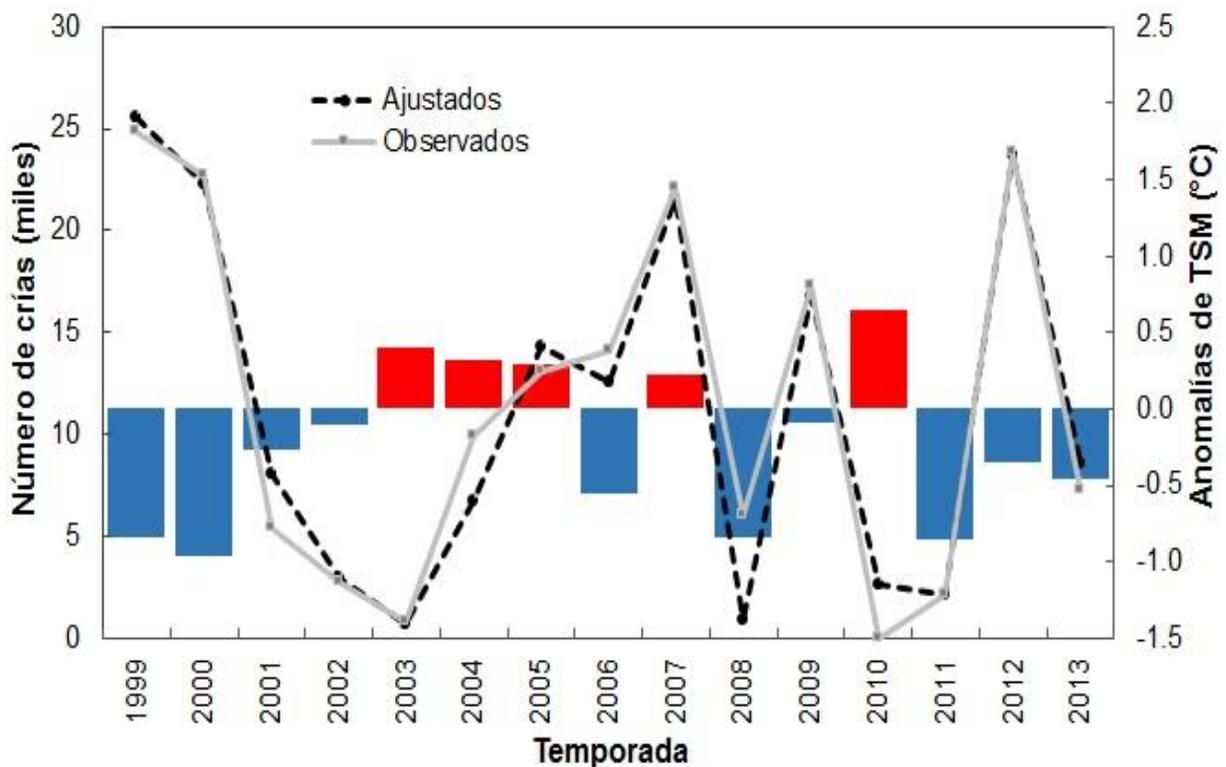


Figura 25. Número de crías de tortuga golfinia observado y ajustado mediante MLG para ambas playas. Las barras rojas indican anomalías positivas de TSM o condiciones cálidas y las barras azules anomalías negativas o condiciones frías.

El ajuste del modelo presentó una devianza de 98%, una buena concordancia entre observados y ajustados y el cumplimiento de los supuestos de los residuales del modelo (Apéndice IV). Al igual que para el número de nidos, el mayor número de crías se corresponde con los episodios fríos en 2000 y 2012 y también existe un pico en la transición entre 2006 y 2007 de periodo frío a cálido. Por su parte, los episodios cálidos corresponden al menor número de crías en 2003 y 2010, aunque también se observa un bajo número de crías en 2008, correspondiente a un episodio frío (Fig. 25).

En comparación, los tres modelos presentaron altas devianzas y el cumplimiento de los supuestos en los residuales (Apéndice IV). Al igual que el modelo para número de nidos en playa SC, el modelo para número de crías en esta playa, incluyó sólo variables de escala grande. Los otros dos modelos (playa ES y ambas playas) integraron tanto variables climáticas locales como de escala grande, sin embargo, ninguna de las variables climáticas locales tuvieron aportes superiores al 8% (Tablas 11 y 12). Para los tres modelos, Anomalías, TSM y Clorofila fueron las variables mejor representadas pero difirieron en importancia: para playa ES, Clorofila fue la variable de mayor aporte a la varianza explicada (39%), para playa SC fue Anomalías (72%) y para ambas playas Anomalías y Clorofila tuvieron aportes muy similares de alrededor del 25%. Ninguna interacción tuvo dominancia en alguno de los modelos, Clorofila\*TSM fue la más representativa, aunque con menos del 11% de aporte a la varianza total en los tres modelos (Tablas 10,11 y 12).

#### **6.6.4 Modelación de los factores ambientales que influyen en el porcentaje de eclosión y porcentaje de emergencia**

Para modelar se tomó en cuenta la variable dependiente (porcentaje de eclosión/emergencia) en términos de éxitos y fracasos (variable binomial). Sin embargo, dado que el interés de esta modelación se centra en el porcentaje de éxito de eclosión/emergencia (porcentaje de crías eclosionadas/emergidas) y no en el de fracasos, sólo se describirán los resultados referentes al porcentaje de éxito.

Para la variable porcentaje de eclosión, el mejor modelo para playa SC incluyó 4 variables y 4 interacciones, todas significativas (Tabla 13). El ajuste puede considerarse bueno (Fig. 26) ya que un 97% de la variabilidad fue explicada (devianza= 0.97) y se cumplieron todos los supuestos de los residuales (Apéndice IV). Clorofila y TSM en conjunto aportaron el 90% del total de la varianza explicada.

El modelo de menor AIC (102.4) y que mejor explica el éxito de eclosión en playa SC quedó conformado de la siguiente manera:

### Modelo #7

Porcentaje de eclosión playa SC  $\approx$  17620 clorofila + 0.17 TSM + 0.09 precipitación + 0.04 temperatura letal fría + 674.5 clorofila\*anomalías -671.50 anomalías\*TSM -0.01 huracanes\*precipitación.

**Tabla 13. Análisis de devianza del MLG final para porcentaje de eclosión en playa SC. En negritas y color gris se muestran las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.**

Factor	g.l. residual	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Nulo	16	685.14				
Clorofila	15	105.46	579.68	84.61	<b>84.61</b>	<0.05
TSM	14	61.86	43.6	90.97	<b>6.36</b>	<0.001
Precipitación	13	51.76	10.1	92.45	1.47	<.05
Temp. Letal fría	12	37.52	14.24	94.52	<b>2.08</b>	<0.001
Clorofila*Anomalías	11	29.43	8.09	95.70	1.18	<0.05
Clorofila*TSM	10	20.76	8.67	96.97	1.27	<0.05
Anomalías*TSM	9	19.58	1.18	97.14	0.17	<0.10
Hurac.*Precipitación	8	13.76	5.82	97.99	0.85	<0.05
<i>Devianza total</i>					<b>98.0</b>	

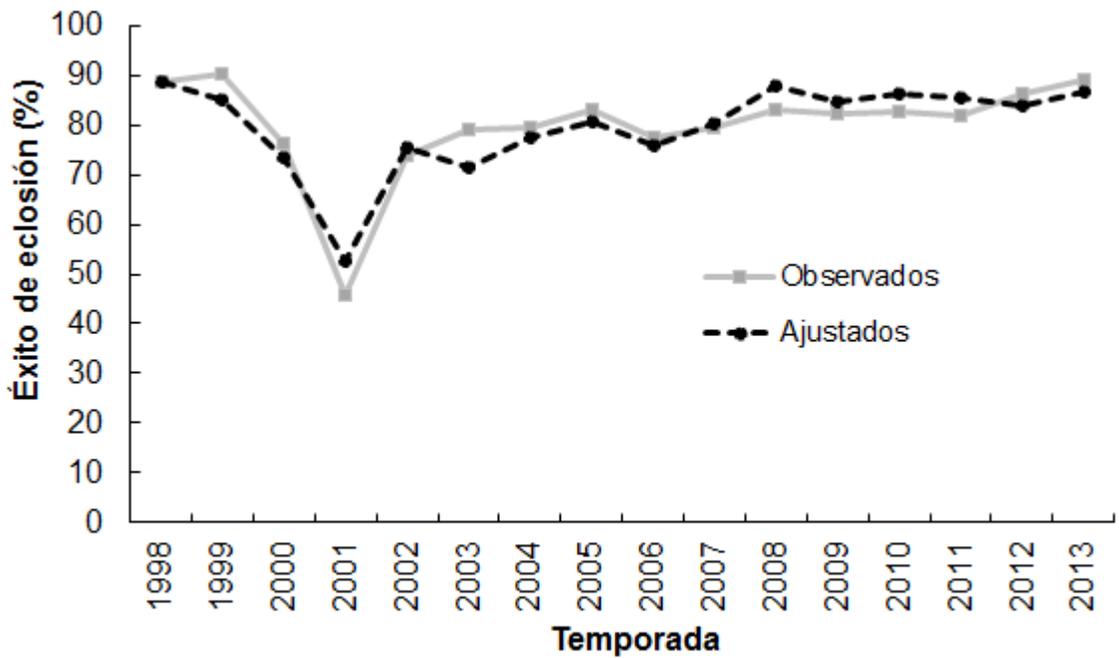


Figura 26. Éxito de eclosión (porcentaje) observado y ajustado mediante MLG para playa SC.

Por otra parte, el mejor modelo para porcentaje de eclosión en playa ES integró 5 variables y 3 interacciones con una devianza de 0.96 además de cumplir con todos los supuestos (Apéndice IV), por lo cual el ajuste puede considerarse adecuado (Fig. 27). Todas las variables fueron significativas, siendo Clorofila y Temperatura letal fría las de mayor aporte a la varianza explicada, sumando un 67% (Tabla 14).

El modelo de menor AIC (101.55) quedó conformado de la siguiente manera:

#### Modelo #8

$$\begin{aligned} \text{Éxito de eclosión playa ES} \approx & -136500 - 5193 \text{ Anomalías} + 763600 \text{ Clorofila} + 5197 \\ & \text{TSM} - 0.17 \text{ Precipitación} + 0.05 \text{ Temperatura letal fría} + 29050 \text{ Clorofila*Anomalías} - \\ & 29070 \text{ Clorofila*TSM} + 0.01 \text{ Huracanes*Precipitación}. \end{aligned}$$

Tabla 14. Análisis de devianza del MLG final para porcentaje de eclosión en playa ES. En negritas y color gris se muestran las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.

Factor	g.l. residual	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Intercepto	15					<0.01
Nulo	14	120.803				
Anomalías	13	120.791	0.012	0.01	0.01	<0.01
Clorofila	12	79.238	41.553	34.41	<b>34.40</b>	<0.001
TSM	11	71.923	7.315	40.46	6.06	<.01
Precipitación	10	61.999	9.924	48.68	<b>8.22</b>	<0.05
Temp. Letal fría	9	22.635	39.364	81.26	<b>32.59</b>	<0.001
Clorofila*Anomalías	8	20.702	1.933	82.86	1.60	<0.001
Clorofila*TSM	7	17.397	3.305	85.60	2.74	<0.001
Hurac.*Precipitación	6	9.163	8.234	92.41	6.82	<0.01
<i>Devianza total</i>					<b>92.41</b>	

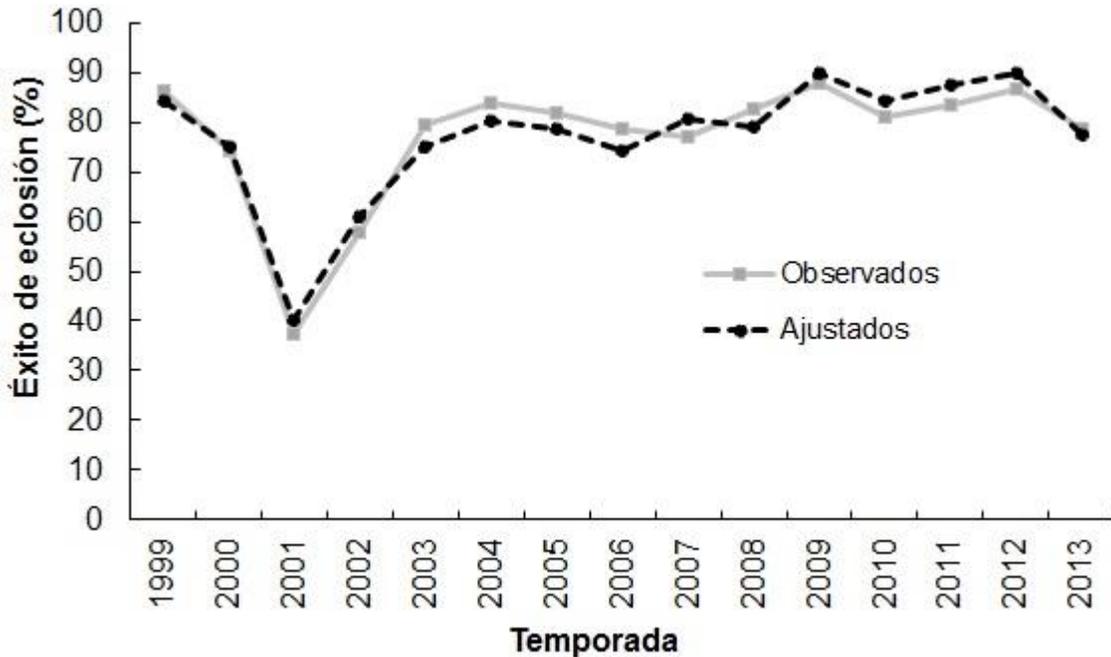


Figura 27. Éxito de eclosión (porcentaje) observado y ajustado mediante MLG para playa ES

En cuanto al porcentaje de emergencia para playa SC, el mejor modelo tuvo una devianza de 0.95 e incluyó 5 variables y 3 interacciones. Todas las variables fueron significativas a diferentes grados de confiabilidad excepto anomalías (Tabla 15), la cual fue integrada en el procedimiento por pasos con el modelo de menor AIC (109.72). Clorofila aportó casi el 80% de la devianza total mientras que la segunda y tercera variable más importante fueron TSM y temperatura letal fría, aunque sólo con 6% y 5.32% de aporte respectivamente.

El modelo quedó conformado de la siguiente manera:

### Modelo #9

$$\text{Porcentaje de emergencia playa SC} \approx 0.13 \text{ TSM} + 14510 \text{ CLORO} + 0.06 \text{ PRECIP} + 0.04 \text{ TEMP. LETAL FRÍA} + 551.84 \text{ CLORO*ANOM} - 553.1 \text{ CLORO*TSM} + 0.003 \text{ HUR*PRECIP}$$

Aunque este modelo presenta un mayor grado de error, el ajuste parece ser adecuado (Fig. 28), y cumple con todos los supuestos de los residuales (Anexo III).

**Tabla 15. Análisis de devianza del MLG final para porcentaje de emergencia en playa SC. En negritas se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada.**

Factor	g.l. residual	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Nulo	16	422.42				
Clorofila	15	84.85	337.57	79.91	<b>79.91</b>	<0.01
TSM	14	59.43	25.42	85.93	<b>6.02</b>	<.01
Precipitación	13	55.05	4.38	86.97	1.04	>0.05
Temp. Letal fría	12	32.57	22.48	92.29	<b>5.32</b>	<0.001
Clorofila*Anomalías	11	28.13	4.44	93.34	1.05	<0.01
Clorofila*TSM	10	22.01	6.12	94.79	1.45	<0.01
Hurac.*Precipitación	9	19.7	2.31	95.34	0.55	>0.05
			Devianza total		95.34	

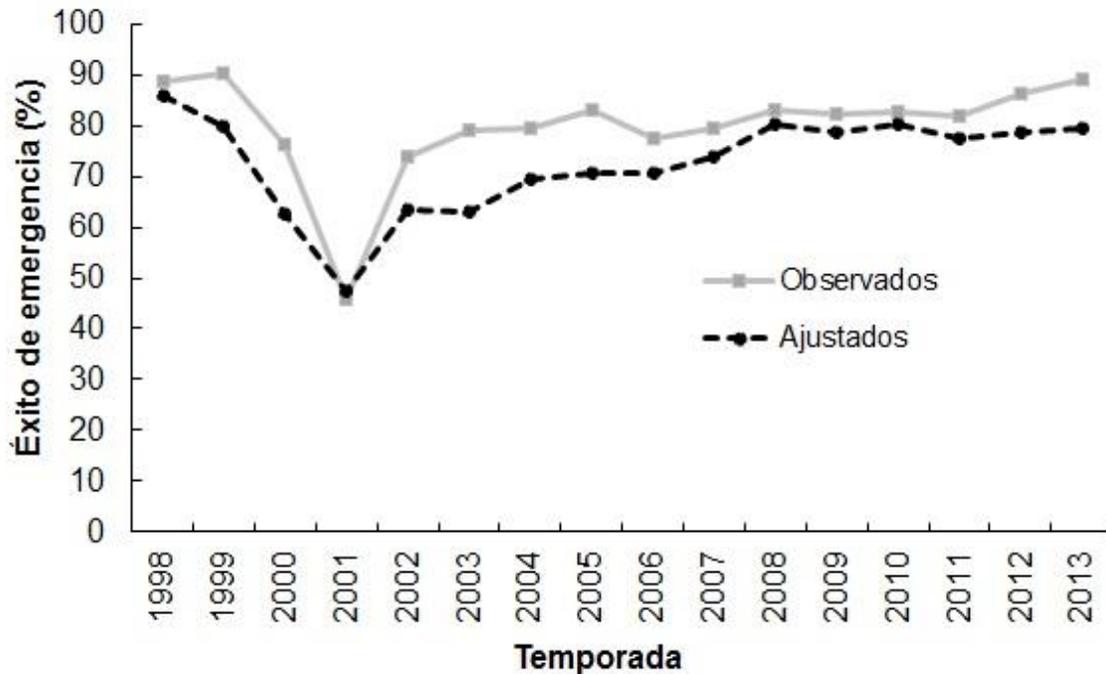


Figura 28. Éxito de emergencia (porcentaje) observado y ajustado mediante MGL para playa SC

En cuanto a playa ES, el mejor modelo para porcentaje de emergencia, incluyó 5 variables y 2 interacciones que en conjunto explican el 89.6% de la variabilidad en el porcentaje de emergencia, del cual Clorofila y Temp. letal fría explican un 73% (Tabla 16).

Todas las variables fueron significativas y el modelo cumplió con los supuestos de los residuales (Anexo III), y con base en esto, el ajuste puede considerarse adecuado (Fig. 29).

El modelo de menor AIC (99.52) quedó conformado de la siguiente manera:

#### Modelo #10

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de emergencia playa ES} \approx & -89790 - 3416 \text{ Anomalías} + 499500 \text{ Clorofila} + \\ & 3418 \text{ TSM} + 0.04 \text{ Temp. letal fría} + 0.03 \text{ Huracanes} + 19010 \text{ Clorofila} * \text{Anomalías} \\ & - 19130 \text{ Clorofila} * \text{TSM} \end{aligned}$$

Tabla 16. Análisis de devianza del MLG final para porcentaje de emergencia en playa ES. En negritas y color gris se muestra las variables con mayor porcentaje de varianza explicada

Factor	g.l. residual	Devianza residual	Cambio en devianza	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Intercepto	15					<0.001
Nulo	14	112.266				
Anomalías	13	111.712	0.554	0.49	0.49	<0.001
Clorofila	12	64.826	46.886	42.26	<b>41.76</b>	<0.001
TSM	11	64.293	0.533	42.73	0.47	<0.001
Temp. Letal fría	10	29.131	35.162	74.05	<b>31.32</b>	<0.001
Huracanes*Precipitación	9	26.928	2.203	76.01	1.96	<0.01
Clorofila*AnomalíasTSM	8	24.9	2.028	77.82	1.81	<0.001
Clorofila*TSM	7	11.68	13.22	89.60	<b>11.78</b>	<0.001
<i>Devianza total</i>					<i>89.60</i>	

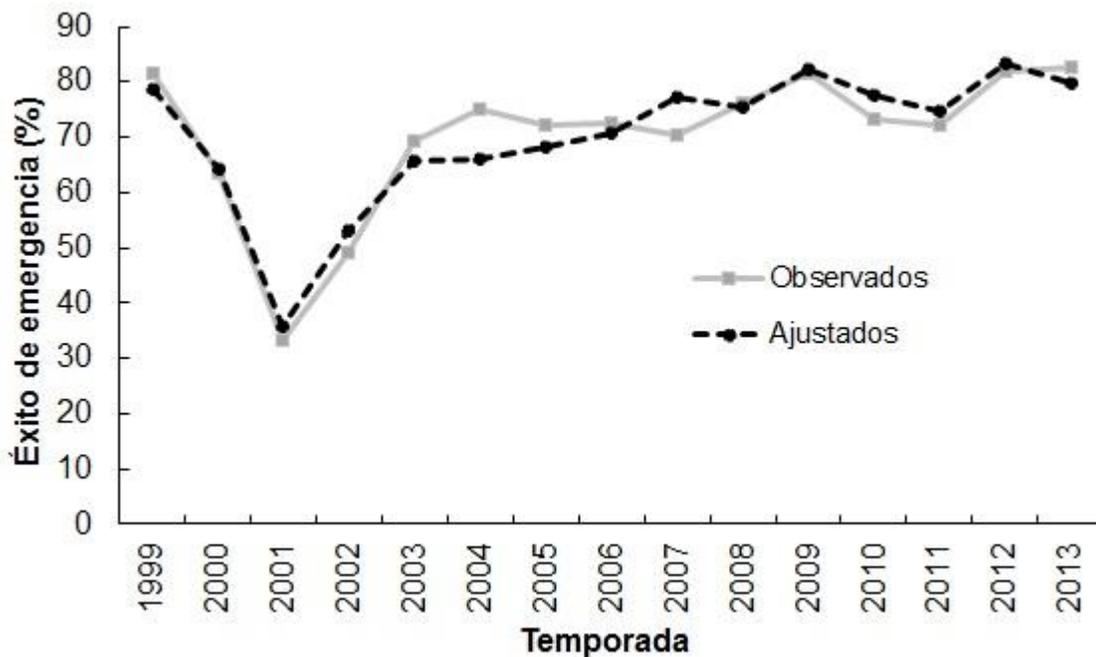


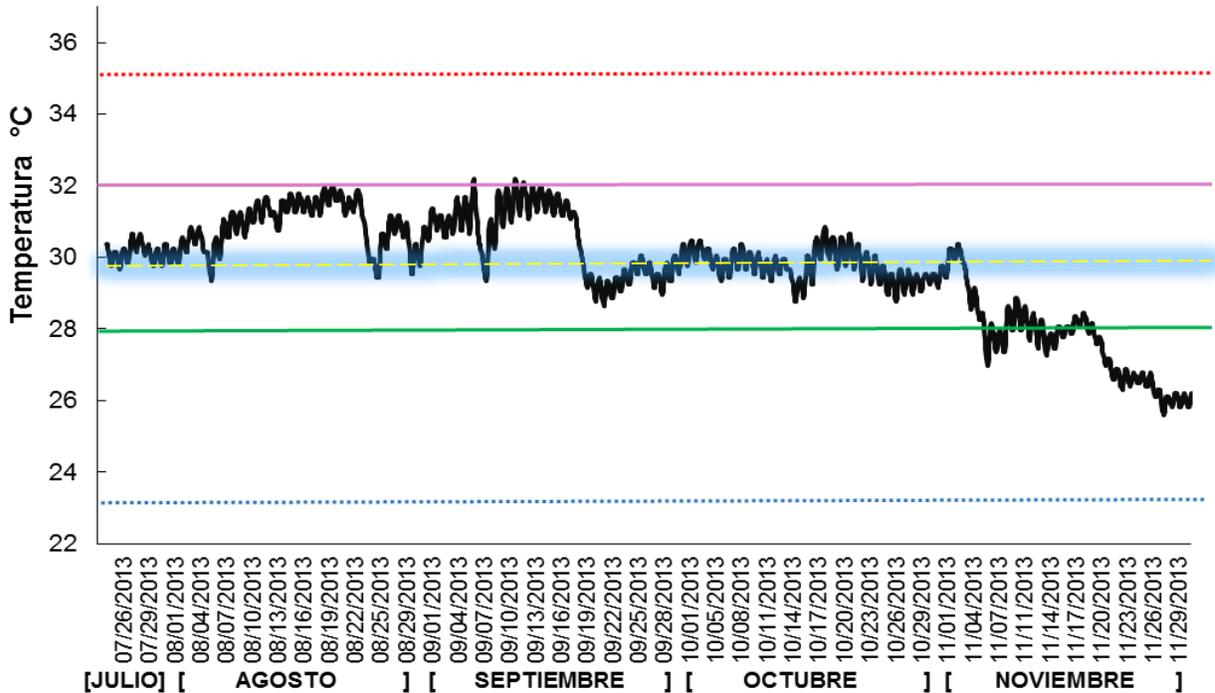
Figura 29. Éxito de emergencia (porcentaje) observado y ajustado mediante MGL para playa ES.

En comparación, los modelos presentaron buenos ajustes con altos porcentajes de varianza explicada y cumplimiento de supuestos (Apéndice IV). Para los cuatro modelos, la variable Clorofila fue la más representativa, sin embargo tuvo un mayor porcentaje de varianza explicada para playa SC (alrededor del 80%) que para playa ES (alrededor del 35%) tanto para éxito de eclosión como de emergencia. La segunda variable difirió entre playas, para los dos modelos de playa SC la variable TSM presentó aportes a la varianza explicada del 6%, y le siguió de cerca la variable temperatura letal fría con 5% de aporte. Esta última variable aportó alrededor del 30% tanto para el modelo de eclosión como para el de emergencia en playa ES.

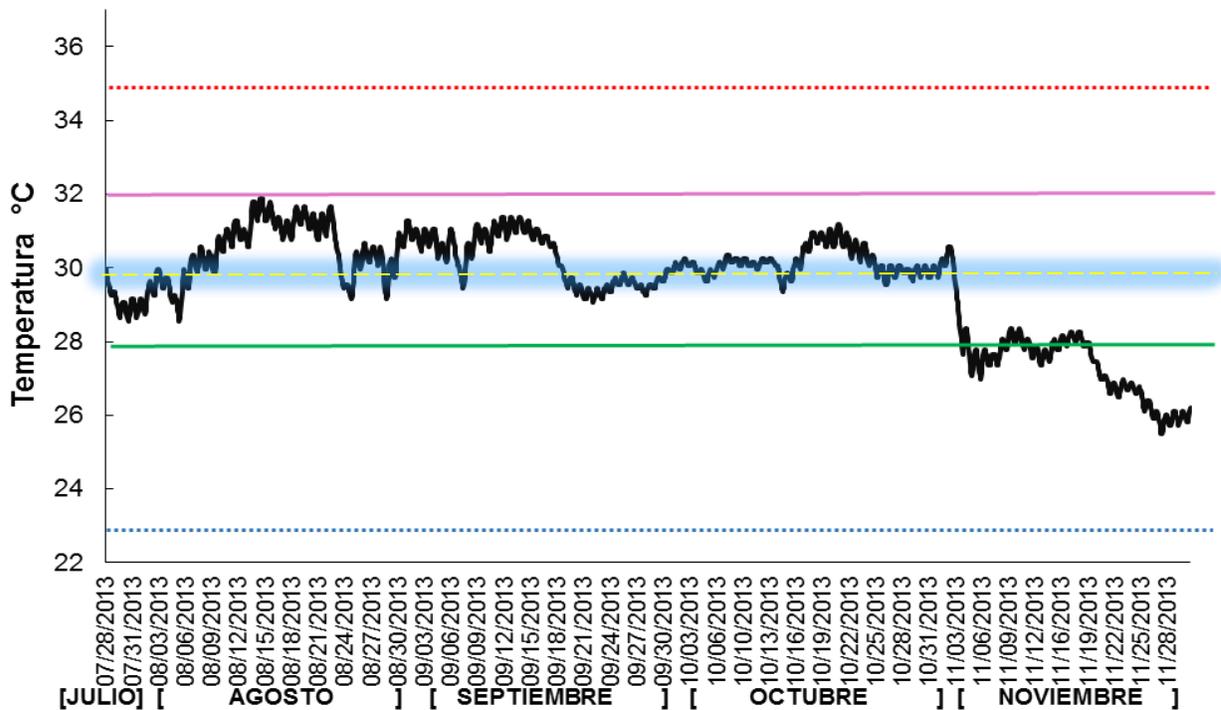
## **6.7 Estimación de la proporción sexual en condiciones de vivero**

Aunque se obtuvieron datos de la temperatura de nidos durante las temporadas 2011, 2012 y 2013, sólo fueron utilizados los datos de esta última temporada. Los motivos del porqué no se utilizaron los datos de las temporadas 2011 y 2012, se presentan en el Anexo V.

Para 2013, el promedio de temperatura de la temporada (periodo Julio-Noviembre) para playa SC fue de  $29.75 \pm 1.74^\circ\text{C}$  y para playa ES fue de  $29.60 \pm 1.42^\circ\text{C}$ . El patrón de temperaturas fue similar para ambas playas (Figs. 30 y 31); desde Julio hasta mediados de Septiembre, las temperaturas se mantuvieron por encima de la temperatura pivote ( $29.99^\circ\text{C}$ ) y en algunos periodos estuvieron cercanas o alcanzaron la temperatura feminizante ( $32^\circ\text{C}$ ). Después se mantuvieron fluctuando cerca de la temperatura pivote hasta finales de Octubre y a partir de Noviembre hubo un descenso hasta alcanzar la temperatura masculinizante ( $28^\circ\text{C}$ ), y aunque siguieron descendiendo a lo largo del mes, nunca llegaron a la temperatura letal fría ( $23^\circ\text{C}$ ).



**Figura 30. Patrón de temperaturas (dentro del nido) en playa ES durante la temporada 2013.** Línea roja indica temperatura letal superior (35°C); línea azul: temperatura letal inferior (23°C); línea rosa: temperatura feminizante (32°C); línea verde: temperatura masculinizante (28°C); línea amarilla con sombra: temperatura pivote (29.99°C).



**Figura 31. Patrón de temperaturas (dentro del nido) en playa ES durante la temporada 2013.** Línea roja indica temperatura letal superior (35°C); línea azul: temperatura letal inferior (23°C); línea rosa: temperatura feminizante (32°C); línea verde: temperatura masculinizante (28°C); línea amarilla con sombra: temperatura pivote (29.99°C).

Las Figuras 32 y 33 muestran respectivamente, la cantidad de nidos y la proporción de machos por mes para cada playa.

Para ambas playas el mes con mayor número de nidos fue Octubre, seguido por Septiembre y Agosto, mientras que Julio y Noviembre presentaron los números más bajos (Fig. 32). Sin embargo, en cuanto a proporción de machos, Noviembre registró la más alta, seguida por Octubre, Septiembre y Julio, mientras que en Agosto se registró la más baja proporción (Fig. 33).

La proporción de machos final para la temporada 2013 fue un poco más alta para playa SC que para playa ES (Tabla 16). El número total de machos producidos en 2013 contemplando ambas playas fue de 65,934.

**Tabla 16. Proporción de machos en playa S. Cristóbal y El Suspiro durante la temporada 2013.**

<b>Playa</b>	<b>No. Nidos</b>	<b>No. Huevos</b>	<b>No. crías vivas</b>	<b>Proporción de machos</b>	<b>No. machos</b>
<b>S. Cristóbal</b>	490	51,362	42,834	0.57	24,415
<b>El Suspiro</b>	1103	112,283	88,340	0.47	41,519

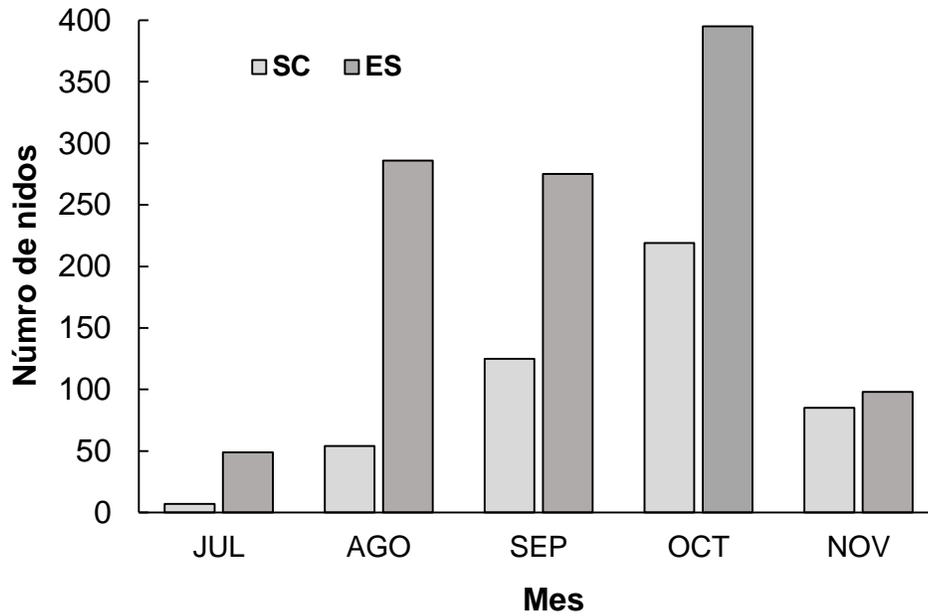


Figura 32. Distribución mensual de los nidos para la temporada 2013 en playa San Cristóbal (SC) y playa El Suspiro (ES). El mes hace referencia al momento en el que se llevó a cabo el periodo de determinación sexual de cada nido (segundo tercio de incubación)

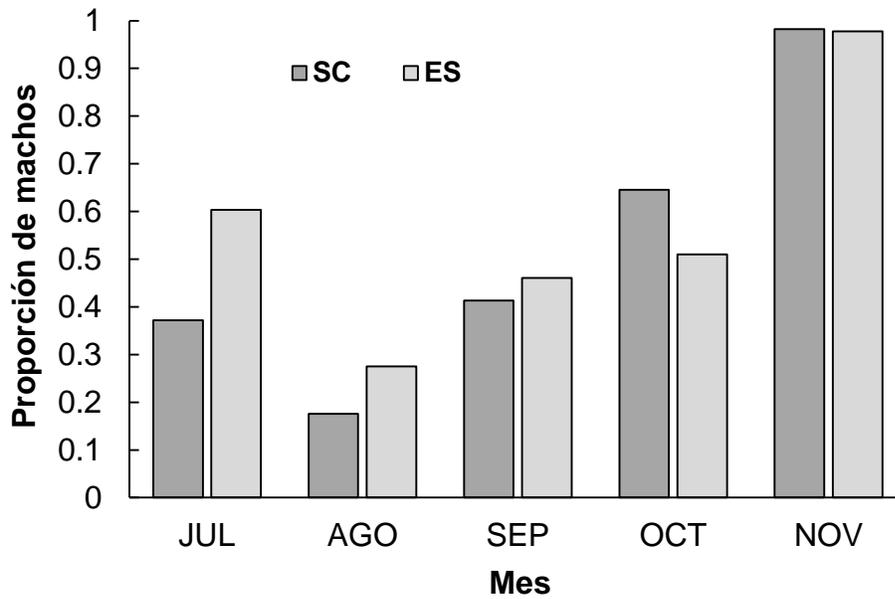


Figura 33. Proporción mensual de machos para la temporada 2013 en playa S. Cristóbal (SC) y El Suspiro. (ES).

## 6.8 Evaluación del éxito del programa de conservación

### 6.8.1 Tendencia de la anidación en las playas de estudio

Los resultados de este indicador pueden ser consultados en la sección 6.1

### 6.8.2 Costo por producción de cría de tortuga golfina

Las tres temporadas presentaron diferencias en los gastos de operación. Los gastos fueron ligeramente mayores para la temporada 2013 en comparación con la temporada 2011, sin embargo, el costo por cría fue mayor para la temporada 2011 (\$5.94) que para la temporada 2013 (\$3.74). Estas temporadas tuvieron la menor y mayor cantidad de crías respectivamente. Los costos más altos se presentaron en 2012, pero con un costo por cría (\$5.79) similar a la temporada 2011 (Tablas 17 y 18).

Los rubros que abarcan el mayor porcentaje de los gastos de operación son nómina, alimentos y combustible con aproximadamente un 60%, 10% y 8% del total de los gastos, respectivamente. Así mismo, los rubros de mayor variación dentro de los gastos de operación son nómina, mantenimiento del equipo y gastos diversos (Tabla 18).

Al comparar los gastos de operación con otra playa de anidación solitaria (Estrella de Mar, Sinaloa), se observa que aunque este campamento tiene gastos mayores que ASUPMATOMA, el costo por cría es similar (Tabla 17).

**Tabla 17. Costo por producción de cría de tortuga golfina en B.C.S y en Sinaloa.**

	<b>ASUPMATOMA , B.C.S</b>				<b>ESTRELLA DE MAR, SINALOA</b>			
	# Crías liberadas	Costo por cría	% de eclosión	Costo por nidada *	# Crías liberadas	Costo por cría	% de eclosión	Costo por nidada *
<b>2011</b>	72001	\$5.94	83.01	\$493.08	148,435	\$4.72	71.76	\$338.41
<b>2012</b>	117837	\$5.79	85.84	\$497.01	209,223	\$3.35	76.36	\$255.48
<b>2013</b>	131300	\$3.74	86.27	\$322.65	200,375	\$3.49	77.95	\$272.31

\*Costo por nidada calculado con base en el porcentaje de eclosión por temporada para cada playa

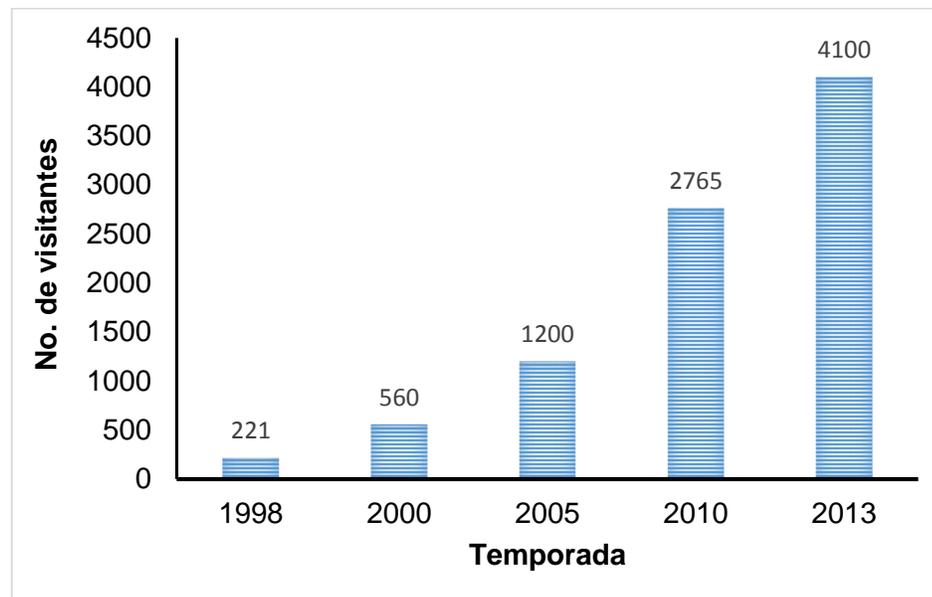
Tabla 18. Gastos de operación en ASUPMATOMA A.C. durante las temporadas 2011-2013. En rojo se indican los rubros de mayor gasto en cada temporada (en porcentaje). En azul se marca los rubros de mayor variación en las tres temporadas.

Rubro	TEMPORADA						Desviación Estándar 2011-2013
	2011		2012		2013		
	Dinero	%	Dinero	%	Dinero	%	
Sueldos	\$ 231,959.00	<b>54.2%</b>	\$ 410,686.00	<b>60.2%</b>	\$ 275,528.87	<b>56.1%</b>	3.0%
Prestaciones	10,124.00	2.4%	23,665.24	3.5%	11,060.00	2.3%	0.7%
Alimentos	41,668.00	<b>9.7%</b>	48,161.10	<b>7.1%</b>	40,606.43	<b>8.3%</b>	1.3%
Combustible	42,000.00	<b>9.8%</b>	41,058.00	6.0%	41,243.15	<b>8.4%</b>	1.9%
Mantenimiento de equipo	16,371.00	3.8%	65,042.39	<b>9.5%</b>	25,642.13	5.2%	3.0%
Mantenimiento de campamento	15,000.00	3.5%	21,492.19	3.1%	15,604.52	3.2%	0.2%
Papelería y artículos de oficina	25,000.00	5.8%	13,996.61	2.1%	4,775.61	1.0%	2.6%
Viáticos	1,595.00	0.4%	6,831.81	1.0%	3,828.69	0.8%	0.3%
Souvenirs	6,000.00	1.4%	13,115.20	1.9%	1,879.66	0.4%	0.8%
Comisiones bancarias	4,391.00	1.0%	4,077.58	0.6%	4,624.25	0.9%	0.2%
Diversos	33,539.90	7.8%	34,600.03	5.1%	65,914.16	<b>13.4%</b>	4.3%
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 427,647.90</b>	<b>100.0%</b>	<b>\$ 682,726.15</b>	<b>100.0%</b>	<b>\$ 490,707.47</b>	<b>100.0%</b>	<b>18.3%</b>

Para el campamento Estrella de Mar los gastos de operación fueron de \$700,000 para cada temporada.

### 6.8.3 Incremento del número de visitantes

Se observa en la Fig. 33 que ha habido un incremento en el número de visitantes a través del tiempo, siendo la última temporada la de mayor alcance. Aproximadamente un 75% de los visitantes son escuelas de diferentes niveles escolares (Carla Sánchez, *com. personal*-directora de proyectos).



**Fig. 33** Número de visitantes en ASUPMATOMA. Se muestran sólo algunas temporadas. Los visitantes corresponden a personas de todas las edades.

## 7. Discusión

---

La tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) es la especie de tortuga marina que anida más frecuentemente en las playas de Baja California Sur (Fritts *et al.*, 1982); no obstante, los trabajos sobre biología de la anidación de esta especie en la zona son escasos. Aunque existen algunos estudios sobre abundancia y densidad de anidación en la región (López-Castro, 2004; Tiburcio-Pintos, 2006; Ocegüera-Camacho, 2008), este es el primer trabajo que evalúa el estado de conservación de la colonia de tortuga golfina en la porción sur del estado en términos de un programa de protección y monitoreo de casi 20 años.

### 7.1 Tendencia y estado actual de la colonia anidadora

Tanto para el número de nidos como para el número de crías, fue posible detectar una tendencia de incremento (Fig. 6). Si bien es cierto que el nivel de esfuerzo durante el monitoreo de cada año no fue constante, siempre fue suficiente alto para no afectar el número total de nidos contabilizados, ya que el número de patrullajes realizados en ambas playas permitió obtener una estimación confiable de la abundancia estacional (SWOT, 2011). No todos los nidos logran ser protegidos, pero todos los nidos (o la mayoría de ellos) son contabilizados.

La colonia anidadora de B.C.S. forma parte del stock genético<sup>1</sup> de la población del Océano Pacífico Oriental (López-Castro y Rocha-Olivares, 2005; Rodríguez-Zárate, 2008; Bárcenas-Ibarra, 2009). Estimaciones en la última década indican que algunas de las colonias más grandes de anidación (arribadas) en el Pacífico Oriental están incrementando en abundancia (Chaloupka *et al.*, 2004). En México, la colonia anidadora de La Escobilla repuntó de aprox. 180,00 hembras anidadoras en 1975 a 1,000,000 en 2005 y para la colonia de Ostional, Costa Rica, de 10,000 hembras anidadoras en 1971 a 336,000 en 2006). Con base en estas evaluaciones, recientemente se mejoró el estatus de riesgo para la especie, pasando de la categoría “En peligro” a “Vulnerable” (Abreu-Grobis y Plotkin, 2008).

---

<sup>1</sup> Población panmíctica de individuos emparentados y genéticamente distintos de otras poblaciones de la misma especie (Shaklee *et al.* 1990)

Tomando en cuenta el incremento observado en las colonias del OPO y que las playas de este estudio han sido protegidas por 19 años, esto habilita la posibilidad de que nuevas hembras reproductivas estén llegando a anidar a estas playas, una vez que ya se ha cumplido el tiempo de una generación (10-13 años; Zug *et al.*, 2006) desde que las primeras crías fueron reclutadas a la población, lo cual en parte puede ser atribuido al programa de conservación (Chaloupka *et al.*, 2004). Dada la sobreexplotación ocurrida en los 70's, lo cual diezmo las poblaciones de tortuga golfina e incluso acabó con algunas colonias de arribadas en las costas de Oaxaca (Peñaflores *et al.*, 2001), el incremento observado en las playas de este estudio no sólo es de importancia regional sino también a nivel del Pacífico Oriental.

## **7.2 Distribución temporal del esfuerzo reproductivo**

La mayor parte del esfuerzo reproductivo se concentró en los meses calientes de la temporada, en Septiembre (40%) y Agosto (30%) y fue disminuyendo hacia los meses fríos en Octubre (20%) y Noviembre (1.5%) (Fig. 9). Para México, se sabe que los picos de anidación ocurren entre Septiembre y Octubre, sin embargo, esto puede variar de un sitio a otro debido a factores ambientales locales (Márquez, 1996). Por su ubicación cercana a los trópicos, las zonas en el límite de anidación típicamente presentan temperaturas más bajas en comparación con las playas ubicadas al centro de anidación, las cuales reciben mayor influencia de aguas ecuatoriales y calientes (Whibbels, 2003). Debido a que la temperatura afecta el desarrollo embrionario, los meses fríos no proporcionan las condiciones óptimas de temperatura para el desarrollo embrionario, por lo que la anidación en las zonas límite de anidación puede estar condicionada al periodo con temperaturas adecuadas para el desarrollo de las crías, es decir, hacia los meses más cálidos, lo cual explica el mayor esfuerzo reproductivo en Agosto y Septiembre.

## **7.3 Diferenciación de las playas por densidad de anidación**

Respecto a la densidad de anidación, playa SC sobresalió de playa ES, a pesar de que esta última la supera en extensión (Fig.5). Tal diferencia se puede atribuir al nivel de perturbación de cada playa. En playa ES el acceso es público, lo cual implica

perturbaciones, principalmente por vehículos motorizados y personas caminando por el sitio. Por el contrario, en playa SC el acceso a la playa está restringido, por lo que ninguna de esas perturbaciones está presente (*obs. personal*). Un caso de perturbación antropogénica con posterior incremento de anidación en una playa cercana fue reportado para una colonia de anidación de tortuga prieta en Michoacán (Delgado-Trejo y Alvarado-Díaz, 2012); dado que la diferencia en densidades entre playa SC y playa ES se ha acentuado en las últimas 3 temporadas (Fig. 12), es posible que eso también esté ocurriendo en las playas de este estudio. Si esto es cierto, durante las siguientes temporadas se esperaría que la diferencia de densidad entre playas continúe incrementándose.

No obstante, no se puede descartar que la elección del sitio de anidación por las hembras también puede estar influyendo en la diferencia en densidades entre playas. En este caso, factores ambientales como temperatura superficial de la arena (32°C), salinidad (18-20) y humedad relativa (14%) (Márquez, 1990) deben estar más cercanos a los niveles óptimos en playa SC para que exista una preferencia de las hembras para anidar; sin embargo, ninguna de estas variables ha sido medida hasta ahora.

Por otro lado, algunos factores físicos también podrían tener implicaciones: la formación de paredones puede afectar la disponibilidad de playa para anidación, sin embargo, dado que playa SC tiene una menor extensión, la mayor parte de la playa se ve afectada (*com. pers.* Técnicos de campo, ASUPMATOMA), por lo cual es probable que las hembras que no puedan anidar en esa playa, lo hagan en playa ES. En cuanto al efecto de las mareas sobre la anidación, Vega-Bravo (2014) no encontró asociación entre el número de nidos y la altura de la marea tanto para playa ES como playa SC. La discriminación entre sitios de anidación les permite a las hembras elegir el ambiente óptimo, y a la vez disminuir amenazas para el nido, por lo que numerosos factores físicos, climáticos y biológicos pueden estar implicados (Resetarits, 1996). Más información es necesaria para poder argumentar la preferencia de las hembras debido a las condiciones específicas de cada playa.

### 7.3. Parámetros reproductivos de la colonia anidadora

#### 7.3.1. Relación LCC-tamaño de nidada

La relación entre el tamaño de nidada fue lineal y positiva, pero sólo el 8% de la varianza fue explicada (Fig. 13). Un porcentaje muy similar fue reportado para una colonia anidadora de tortuga golfina en Brasil ( $R^2=0.07$ , da Silva *et al.*, 2007) mientras que otros estudios han reportado porcentajes de entre 10-40% para la tortuga verde (Bjorndal y Carr, 1989) y entre 10-60% para la tortuga amarilla (Hays y Speakman, 1999; Hays *et al.*, 1993). La razón de que dicha relación sea tan baja, puede ser explicada por la alta variabilidad de los datos. Las tortugas golfinas anidan de dos a tres veces por temporada, pero el tamaño de nidada no es el mismo en cada puesta, se ha visto que el número de huevos es más grande en la primer puesta, y disminuye hacia la última (Márquez, 1990). Dado que las hembras no fueron marcadas para su identificación individual, no se pudo hacer distinción entre el número de puesta por hembra, es decir, no se podía conocer cuál de las tres puestas se estaba registrando. Es de esperar que esto aumente el error en el análisis ya que la relación entre el LCC y el tamaño de nidada de la primera puesta de huevos no será la misma que en relación a la segunda o tercera anidación debido a la variabilidad en el número de huevos.

#### 7.3.2 Éxito de eclosión y de emergencia

Los porcentajes de eclosión y emergencia generales de playa SC y playa ES superaron el rango establecido para la sobrevivencia de las crías en condiciones de vivero, el cual varía de 75-80% (Márquez, 1990). De acuerdo con las últimas 5 temporadas de monitoreo (2009-2013) los porcentajes de eclosión y emergencia de playa SC y playa ES fueron superiores hasta en un 30% respecto a otras playas solitarias del Pacífico mexicano (Tabla 5). Algunos de estos campamentos reportan problemas de mortalidad de embriones por temperaturas letales y han tenido que recurrir al uso de malla sombra en los viveros para mitigar el aumento de temperatura (*com. pers.* Biol. Ingmar Sosa, playa Ceuta). Esta situación no se ha presentado en las playas de B.C.S. por lo que dichas diferencias pueden explicarse, al menos en parte, por el factor temperatura, el cual es

clave en el desarrollo embrionario (Mrosovsky, 1980). No obstante es importante mencionar que la manipulación de los nidos en vivero puede influir tanto positiva como negativamente en la sobrevivencia de las crías. Sin embargo, debido a que el grado de manipulación es difícil de cuantificar, no existen estudios al respecto (Mortimer, 2000).

En cuanto a la comparación de porcentajes entre playas, no existieron diferencias en el porcentaje de eclosión (Fig. 14) pero sí en el porcentaje de emergencia, en el cual playa ES superó en 10% al de playa SC (Fig. 15). Esto se atribuyó a la mayor depredación por larvas y cangrejos en SC. Aunque el porcentaje de eclosión y emergencia está en función de varios factores ambientales como temperatura y humedad (Márquez, 1999), una vez eclosionadas las crías, otros factores como depredación por larvas de mosca o por cangrejos inciden en el número de crías que llegan a superficie (Márquez, 1996). Durante la limpieza de nidos fue frecuente encontrar mayor proporción de nidos depredados por larvas en playa SC que en playa ES (*com. pers.* Técnicos de campo ASUPMATOMA). Las últimas tres temporadas el porcentaje de nidos con incidencia de larvas ha sido superior al 60-65% en playa SC y de 35-40% para playa ES (Anexo 5). Dicha diferencia, en la que la depredación afecta de un 20-25% más a los nidos en playa SC, pudo haber repercutido en disminuir el porcentaje de emergencia en esta playa.

Debido a que la diferencia en el porcentaje de emergencia es considerable, indicando una diferencia considerable, se recomienda cambiar de sitio el corral de playa SC, ya que la materia orgánica acumulada (producto de varias temporadas) en el sedimento puede provocar que una mayor proporción de nidos sean afectados por larvas y por lo tanto la sobrevivencia de las crías se vea afectada.

#### **7.3.4. Periodo de incubación**

El periodo de incubación promedio (tomando en cuenta las 19 temporadas) para ambas playas se encuentra dentro del rango para la especie, el cual de acuerdo con Márquez (1990) se encuentra entre los 45-50 días. Sin embargo, en comparación con otras playas solitarias del Pacífico en Nayarit (43 días, *com. pers.* Catherine Hart, Red Tortuguera

A.C.) y Sinaloa (44 días, *com. pers.* Eréndira Diego, campamento Estrella de Mar) el promedio de playa SC (50.46) y playa ES (52.72) es mayor. En estas playas, el periodo de incubación puede extenderse hasta 80 días en los meses más fríos (Fig. 16), incrementando el periodo de incubación por temporada. El aumento en el número de días incubados se debe a la baja temperatura, que al ser menor de 23°C retrasa el desarrollo embrionario (Mrosovsky, 1980).

Tanto para playa SC como playa ES, los periodos de incubación más largos sucedieron en los años 2000, 2010 y 2011, en los que durante los meses de incubación (Agosto-Enero) se presentaron eventos fríos La Niña, en estos años se alcanzaron periodos de incubación por arriba de 80 días. Por el contrario, periodos más cortos, incluso por abajo del promedio (<45 días) sucedieron en años con eventos El Niño de intensidad fuerte en 1998 ó moderada en 2002 y 2008 (CPC, 2014). El periodo de incubación está directamente relacionado con la temperatura; temperaturas más frías aumentan el periodo de incubación y temperaturas más calientes lo aceleran (Aguilar, 1987). No se tienen datos de temperaturas del nido para estos años, pero la presencia eventos fríos (La Niña) y cálidos (El Niño) explican el acelere o retardo de los días de incubación en estos años. Para una zona de anidación norteña como playa SC y playa SC, los años con eventos La Niña deben ser mejor estudiados, ya que al tratarse de playas habitualmente frías, un cambio hacia temperaturas aún más frías podrían repercutir seriamente en la sobrevivencia de las crías.

#### **7.3.4. Efecto de la separación de nidadas en los porcentajes de eclosión y emergencia**

El porcentaje de emergencia fue significativamente mayor para los nidos separados que los nidos no separados (Tabla 4), lo cual puede ser atribuido al factor depredación. A mayor cantidad de huevos en un nido, la probabilidad de depredación es más grande y por lo tanto la mortalidad también (Mortimer, 1994). En las playas de este estudio, nidos con más de 120 huevos eran comúnmente observados con infestación por larvas que aquellos que habían sido separados (*com. personal* técnicos de campo ASUPMATOMA).

Separar un nido grande reduce la probabilidad de infestación por lo menos al 50% ya que si un nido completo es atacado por larvas, una buena parte de las crías eclosionadas serán atacadas, mientras que si ese nido es separado en dos, la probabilidad de que sea atacado se reduce a la mitad. Sumado a ello, un nido grande (<120 huevos) estará más cerca de la superficie que un nido dividido (<60 huevos), por lo que la probabilidad de ser depredado es mayor. Un estudio demostró una relación significativa entre la profundidad del nido y la infección por Sarcófagidos (moscas), lo que implica que los nidos más superficiales mostraron mayores niveles de depredación (McGowan *et al.*, 2001) probablemente debido a que les es más fácil detectarlo.

Debido a que más del 30% de los nidos en playa ES y más del 60% en playa SC presentan incidencia de larvas (Anexo 5) se sugiere continuar comparaciones entre temporadas y adicionar factores climáticos en el análisis, ya que variables como la humedad (Lazou y Rees, 2006) podrían influir en los niveles de depredación y en años de sequía la sobrevivencia de las crías podría verse aún más amenazada.

#### **7.4. Relevancia de la anidación de playa SC y playa ES a nivel local (B.C.S) y regional (Noroeste)**

A nivel estado, playa SC y playa ES ocupan el primer y segundo lugar en densidad de anidación (Fig. 22). Las primeras prospecciones en Baja California Sur ya reconocían a estas dos playas como sitios importantes de anidación. Vargas-Molinar (1970) incluso reconoció toda la franja desde Todos Santos hasta el Suspiro como área de “primaria” importancia para la anidación de tortuga golfina en el estado y estableció como playas “secundarias” a Ensenada de Muertos y la isla Espíritu Santo en La Paz, B.C.S. Nichols (2003) realizó recorridos realizados por toda la zona, incluyendo las playas de San José del Cabo y Cabo San Lucas, y registró que los picos de anidación se encontraban en playa SC por el lado del océano Pacífico y al sur de Los Frailes por el lado del Golfo de California. El presente trabajo confirma a playa SC y playa ES como una zona importante en densidad de anidación a nivel estatal.

Por otra parte, en comparación con algunas playas continentales, la densidad de playa SC y playa ES dista de playas como Estrella del Mar en Sinaloa (Tabla 5) y aún más de playas del Pacífico Central, principalmente en el sur de Sinaloa, Nayarit y Jalisco, las cuales alcanzan actualmente densidades entre 180 y 250 nidos/Km. Esto denota que la colonia anidadora de tortuga golfina en B.C.S. es mucho más pequeña. Al respecto, López-Castro y Rocha-Olivares (2005) indican que probablemente los factores climáticos limitantes (como la baja humedad) provoquen un régimen selectivo severo, en el que sólo los individuos con capacidad de compensarlo tendrán éxito reproductivo y sus descendientes podrán reproducirse bajo condiciones similares. En cambio, en las playas continentales, las hembras encuentran condiciones climáticas habituales para anidar (alta humedad), además de que las zonas reproductivas más importantes (arribadas) se encuentran cercanas, por lo que la agregación es más común.

Respecto a una playa de anidación masiva como La Escobilla, tanto el número de nidos como la densidad de anidación de playa SC y playa ES es muy bajo. Sin embargo, la ventaja que ofrecen las playas solitarias radica en los altos porcentajes de eclosión. Durante las últimas cinco temporadas de anidación (2009-2013) el porcentaje de eclosión en playa La Escobilla no superó el 15% (CONANP, 2013); en playas de anidación solitaria como Ceuta y Estrella de Mar en Sinaloa y Don Manuel Orantes en BCS no bajó del 50% mientras que para las playas SC y ES, el porcentaje se mantuvo por arriba del 80% (Tabla 5). Por lo tanto, mientras en playas solitarias la anidación puede considerarse escasa, sólo se pierde 50% o regularmente menos del 30% de la producción de neonatos, mientras que en playas de arribada, la anidación es masiva pero se pierde más del 85% de la producción. Dicha pérdida se debe al traslape de sitio de anidación de las hembras (un mismo sitio es utilizado por más de una hembra), lo cual provoca la destrucción masiva y fomenta la producción de hongos, bacterias y algunos insectos depredadores de huevos y embriones, como por ejemplo el escarabajo *Omorgus suberosus* (Rosano-Hernández y Deloya, 2002). En contraste, las playas de anidación solitaria se ven favorecidas por bajas tasas de depredación, poca contaminación y baja densidad de nidos, lo que en conjunto favorece porcentajes de eclosión más altos y destaca la contribución de este tipo de anidación al mantenimiento de la población de tortuga golfina (Castro, 1986).

## 7.5 Principales factores ambientales que influyen en el número de nidos y número de crías de la colonia anidadora de BCS

Un modelo con buen ajuste explica la mayor parte de la variabilidad y simplifica al máximo las relaciones entre las variables (Camacho-Machín *et al.*, 2009). Los seis modelos para número de nidos y número de crías tuvieron devianzas totales superiores a 0.90 y cumplieron con los supuestos de los residuales, manifestando no sólo un buen ajuste sino también datos de buena calidad para el análisis.

En este estudio, la variable Concentración de Clorofila fue utilizada como proxy de la disponibilidad de alimento para la tortuga golfina, resultando significativa para todos los modelos (Tablas 7-12). Las variables TSM y Anomalías también fueron variables importantes en todos los modelos y mostraron alta correlación con la Concentración de clorofila ( $r=0.64$ , Tabla 6). El grado de asociación entre dichas variables es clave para explicar los cambios en la productividad primaria y secundaria del Pacífico Oriental, por lo que en adelante, se discute su importancia en términos de la disponibilidad de alimento.

La zona de alimentación en el OPO para la tortuga golfina fue delimitada en la Región Niño 3 (Fig. 4), la cual, al encontrarse dentro del sistema de surgencias equatoriales, es sensible a la influencia del fenómeno ENSO (Sarachik y Cane, 2010), el cual es el mayor fenómeno climático que gobierna la productividad interanual en el Pacífico Ecuatorial (Chávez *et al.*, 1999). En los sistemas de surgencia equatoriales, la fase caliente El Niño causa el hundimiento de la termoclina y de la nutriclina, resultando en una disminución de la producción primaria. Condiciones opuestas ocurren durante la fase fría La Niña, en donde el levantamiento de la termoclina y nutriclina, causa un aumento en la producción primaria (Huyer *et al.*, 1987). Como consecuencia de tales cambios, se han registrado alteraciones sobre los procesos de alimentación, sobrevivencia, reproducción y distribución de organismos de niveles tróficos más altos, como peces pelágicos (Lehodey *et al.*, 1997), aves marinas (Wilson, 1991) y mamíferos marinos (Sissener y Bjørndal, 2005)

Recientemente se ha discutido que la temperatura del mar en los sitios de alimentación es un importante factor que afecta la dinámica poblacional entre temporadas de anidación de tortugas marinas. Saba *et al.* (2007) calcularon la probabilidad de remigración de las hembras anidadoras de tortuga laúd en Playa Grande, Costa Rica. Utilizando datos de recaptura y datos de anomalías de TSM en el Pacífico (de 13 meses previos a la temporada de anidación) encontraron que una hembra tiene mayor probabilidad de remigrar después de un evento frío (La Niña) que después de un evento cálido (El Niño), atribuyéndolo a las condiciones de alimentación. Similares resultados fueron registrados para las hembras anidadoras de tortuga verde (Limpus y Nichols, 2001; Solow *et al.*, 2002) y tortuga careta (Chaloupka *et al.*, 2008).

Un mayor número de hembras que migra y llega a la playa a anidar significa en primer término, una mayor cantidad de nidos al año siguiente y en segundo término, una mayor cantidad de crías, al haber más nidos (Chaloupka, 2001). En el presente estudio se promediaron 9 meses previos a la temporada de anidación (octubre-junio) tomando en cuenta el intervalo de remigración anual conocido para la golfinia (Márquez, 1990), resultando significativas tanto TSM como sus Anomalías. Aunque para establecer con veracidad que los eventos ENSO afecten el intervalo de remigración de las tortugas golfinas, es necesario realizar estudios de marcaje a largo plazo, el buen ajuste de los modelos en concordancia en los picos y caídas de los años con anomalías climáticas más intensas (Figuras 20, 21 y 22) sugiere la posibilidad de que tal relación existe.

En los estudios sobre la frecuencia reproductiva de tortugas marinas en asociación con anomalías de TSM, la disponibilidad de alimento siempre fue discutida, pero no evaluada. El único trabajo que analizó las condiciones de alimentación es el de Broderick *et al.* (2001) los cuales examinaron mediante datos de marcaje-recaptura, la variabilidad interanual en la anidación de algunas especies de tortugas marinas en relación con su estatus trófico. Utilizaron datos de anidación de tortuga prieta (Isla Herón en el Pacífico), laúd (Guyana Francesa en el Atlántico), carey (islas Seychelles en el Índico) y caguama (Grecia en el Mediterráneo). La tortuga prieta presentó significativamente mayor variabilidad interanual respecto a las otras tres especies, mientras que laúd y carey estuvieron a un nivel intermedio y la tortuga caguama fue la de menor variabilidad. Esto

fue atribuido a su forma de alimentación, ya que es probable que haya mayor variación en la abundancia de los componentes de la dieta herbívora (pastos y algas) de la tortuga prieta que en los organismos de la dieta carnívora de las otras especies (medusas, crustáceos, peces pequeños), lo cual estaría ocasionando una mayor/menor variabilidad en el número de hembras anidadoras. Godley *et al.* (1998) registraron que las tortugas amarillas comen a dos o tres niveles tróficos arriba de las tortugas verdes, y las laúd y carey a un nivel intermedio. Dado que la tortuga golfina tiene alimentación principalmente carnívora (camarón, calamar, medusas, balanos), se esperaría que esté al mismo nivel de la tortuga amarilla, y que la variabilidad interanual sea baja. Sin embargo, de nuevo, esto solo puede ser corroborado mediante estudios de marcaje.

Este estudio es el primer intento (conocido) por analizar la influencia de la disponibilidad de alimento sobre la frecuencia reproductiva de la tortuga golfina. Se ha establecido que las hembras requieren de al menos un año en sus zonas de alimentación, para adquirir suficientes depósitos de grasa corporal necesarios para la vitelogénesis y para migrar hacia sus zonas de anidación (Kwan, 1994; Miller, 1997). No obstante, para la tortuga golfina este tiempo parece ser menor dado que una parte de la población anida anualmente (Márquez, 1996) y que en este estudio se obtuvieron resultados significativos al promediar los 9 meses previos a la temporada de anidación (Tablas 7-12).

Con base en todo lo anterior, se puede afirmar que la concentración de clorofila durante la temporada previa a la anidación es un buen proxy del estado alimenticio de las hembras.

Finalmente, la única variable climática de escala local que fue relevante fue Huracanes\*Precipitación para el modelo de nidos en playa ES (Tabla 7). A diferencia de playa SC, playa ES se encuentra más expuesta al efecto del oleaje debido a su menor inclinación y la topografía abierta (Russo *et al.* 2015). Cuando se forman ciclones tropicales y las mareas de tormenta llegan a la playa, se forman paredones extensos y altos, lo cual limita el acceso de las hembras a la playa para desovar (*obs. personal*). En Octubre de 2001, el huracán Juliette destruyó el corral de incubación y dejó grandes paredones a lo largo de la playa de tal magnitud que se dejó de patrullar el resto de la

temporada. Huracanes y tormentas tienen la fuerza de cambiar toda la estructura de una playa (Zuñiga-López, 2010), y esto repercute en el número de nidos dejados por las hembras pues al estar limitado el acceso a una playa, tenderán a buscar otra adecuada para el desove (Trejo *et al.*, 2007).

Es importante mencionar que la magnitud de la variable -número de nidos- en cada playa, pudo haber influenciado el que algunas variables fueran más relevantes para un modelo y no para otros. El número de nidos y crías fue más bajo fue en el modelo de playa SC, el cual aumentó para el modelo de playa ES y fue aún mayor en el modelo para ambas playas. Estadísticamente, es más fácil identificar cualquier efecto de las variables independientes en este último modelo que analizando las playas por separado (Camacho-Machín *et al.* 2009). Por ejemplo, en el modelo de número de nidos, TSM fue la variable más importante tanto para playa SC (Tabla 7) como para playa ES (Tabla 8). Sin embargo al acoplar los datos de ambas playas, la variable Clorofila fue más relevante (Tabla 9), lo cual indica que Clorofila puede ser relevante para los modelos de cada playa individual, si la magnitud de la variable (nidos/crías) hubiera sido suficiente. No obstante dado que las variables más importantes de los tres modelos fueron de tipo oceanográficas y que el modelo conjunto (ambas playas) tiene mayor robustez (por tamaño de muestra), esto confirma a la variable Clorofila como uno de los factores más importantes para explicar la variabilidad interanual del número de nidos y crías en playa SC y playa ES, y evidencia que las variables oceanográficas pueden tener mayor influencia que las variables locales.

## **7.6. Principales factores ambientales que influyen en el porcentaje de eclosión y porcentaje de emergencia de la colonia anidadora de BCS**

Los modelos para porcentajes de eclosión y emergencia presentaron devianzas altas (mayores a 0.65), aunque más bajas que los modelos para nidos y crías (mayores a 0.90).

La variable oceanográfica concentración de Clorofila fue la mejor representada para los porcentajes de eclosión y emergencia mientras que la variable de escala local Temperatura letal fría le siguió en importancia (Tabla 14-17)

El alto aporte de la variable Clorofila (proxy de la disponibilidad de alimento) en todos los modelos indicó que la disponibilidad de alimento repercute en la sobrevivencia de las crías y potencialmente, en el fitness (aptitud) de las mismas. La productividad del océano ha sido empleada como una medida relativa del estado nutricional o del nivel de reservas energéticas de un organismo y comúnmente es interpretada como una medida del bienestar general de un individuo o población (Labocha *et al.*, 2014). Para tortugas marinas, diversos trabajos han asociado la productividad en el océano con la frecuencia reproductiva (Solow *et al.*, 2002; Saba *et al.*, 2007; Reina *et al.*, 2009). En ellos, la disponibilidad de alimento fue propuesta como argumento para explicar los cambios anuales en número de hembras anidadoras pero nunca había sido evaluada en términos de su influencia en el éxito reproductivo de las hembras.

En este trabajo se evidenció que la disponibilidad de alimento no sólo afecta la frecuencia reproductiva, sino también el éxito reproductivo de las hembras, en términos del número de crías que logran eclosionar y llegar al mar. En este sentido, el estado nutricional de las hembras tiene consecuencias sobre la aptitud de las crías para sobrevivir a las inclemencias climáticas. Una hembra que se ha alimentado en un año con alta productividad, tendrá una mejor condición corporal y potencialmente podrá producir un mayor número de huevos y con mayor contenido energético, lo cual se puede traducir *a priori*, en crías con mejor “fitness”, beneficiando los porcentajes de eclosión y emergencia. Por el contrario, las hembras que se han alimentado en condiciones de baja productividad producirán menor número de huevos y de menor calidad energética, por lo que el “fitness” de las crías se verá reducido, afectando dichos porcentajes. Similares efectos han sido observados para otros grupos de vertebrados marinos como lobos (Sepúlveda *et al.*, 2014) y aves (Kitaysky *et al.*, 1999).

Durante los años 1998-1999 (julio-diciembre), 2000-2001(enero-marzo) y 2011-2012(septiembre-marzo) ocurrieron eventos La Niña de intensidad fuerte (CPC, 2014), Para ambas playas, los tamaños de nidada más altos se registraron una temporada después de que ocurrió un evento La Niña, en 1999, 2001 y 2012, lo cual indicó que la disponibilidad de alimento es importante en la producción de huevos y refuerza la idea de que las hembras presentan mejor condición corporal en años con alta productividad

(Broderick *et al.*, 2001). Sumado a ello, los porcentajes de eclosión y emergencia más altos así como una mayor cantidad de crías por nido (Anexo IV) se presentaron en 1999 y 2012 (en los meses posteriores a condiciones La Niña), soportando la hipótesis de que una hembra con mejor condición corporal produce crías más aptas.

Es importante señalar que el fitness de las crías puede ser un aspecto menos relevante ante fenómenos meteorológicos extremos, los cuales pueden llegar a reducir severamente la sobrevivencia de las crías (Hawkes *et al.*, 2009). Durante los meses previos al año 2001 se presentaron condiciones La Niña, por lo cual se esperarían altos porcentajes de eclosión y emergencia en esa temporada; sin embargo, los porcentajes de este año fueron los más bajos de todo el periodo de monitoreo (Anexo IV) debido al impacto en la zona del huracán Juliette en categoría 2 (SMN, 2006), el cual destruyó el corral de incubación y causó la mortalidad de embriones y crías.

La variable Huracanes\*Precipitación fue significativa en los modelos, aunque con aportes a la devianza menores al 1% para playa SC (Tablas 14 y 16) y menores al 10% para playa ES (Tablas 15 y 17). Con las predicciones de aumento de temperaturas para las próximas décadas (Christensen *et al.*, 2007), también se espera un incremento en la ocurrencia de lluvias y tormentas extremas (Bonebrake y Mastrandrea, 2010; Schwalm *et al.*, 2011), por lo que este factor podría ganar mayor relevancia para esta zona, en medida de la intensidad con que ocurra.

Otra variable importante para el éxito de eclosión y emergencia fue la Temperatura letal fría (<23°C; Tablas 15 y 17), lo cual indicó que en las zonas límite de anidación las temperaturas frías pueden tener mayor influencia sobre la sobrevivencia de las crías que las temperaturas calientes, evidenciando la singularidad de las condiciones climáticas en estos sitios. La temperatura de incubación es uno de los factores claves para el desarrollo embrionario, tanto altas (>35 °C) como bajas temperaturas (<23 °C) resultan letales para los embriones (Hubert, 1985; Miller, 1985). La temperatura mínima requerida para el desarrollo es de aprox. 23°C durante la cual el desarrollo embrionario es normal pero lento; por debajo de los 23 °C el desarrollo embrionario se detiene (Mrsovsky, 1980; Márquez, 1990). El promedio de temperatura mensual para las playas de este estudio se

mantuvo dentro del rango de tolerancia para los meses de julio a octubre (25-29 °C); durante noviembre se mantuvo fluctuando cerca del límite letal (23-24 °C), pero para diciembre (19.3 °C) y Enero (18.4 °C) la temperatura decae a niveles letales. Al inicio del mes de Diciembre, aproximadamente un 25-30% de los nidos aún se encuentra incubándose, y por lo tanto los embriones están expuestos a sufrir mortalidad debido a las bajas temperaturas.

Adicionalmente, se ha demostrado que las temperaturas de incubación cercanas a los límites de tolerancia de temperaturas tanto calientes como frías producen crías con rendimientos sub-óptimos en comparación con crías producidas a temperaturas de incubación moderadas (Booth *et al.*, 2004). El bajo rendimiento se refleja en una menor locomoción y velocidad de nado (Burgess *et al.*, 2006). Tanto en playa SC como en playa ES se han registrado crías con poca locomoción y con algunas deformidades coincidentes con los meses más fríos (Bitácoras de campo ASUPMATOMA), lo cual indica que las bajas temperaturas pueden afectar tanto el fitness de las crías como la sobrevivencia de las mismas.

No obstante, algunos estudios han encontrado evidencia de que a temperaturas más bajas se producen crías más grandes, lo cual es explicado por una alta conversión de yema a tejido y porque largos periodos de incubación a bajas temperaturas permiten una mayor absorción de la yema (Reece *et al.*, 2002; Glen *et al.*, 2003; Stokes *et al.*, 2006). Al tener mayor talla, estas crías pueden potencialmente tener mayor probabilidad de sobrevivir al contener mayores reservas energéticas y por lo tanto tener un nado más veloz para evitar depredadores (Gyuris, 2000). En las playas de este estudio no se han hecho mediciones de las crías, pero para otra colonia de B.C.S. en Cabo Pulmo (López-Castro *et al.*, 2004) se registró un tamaño significativamente más grande (42.1 mm) en comparación con las playas continentales de México (<40.3 mm en Escobilla, Oaxaca); sin embargo, debido a que la incubación de los nidos de ese estudio fue *in situ* y no en vivero, no se puede afirmar que también se produzcan tallas significativamente grandes en playa SC y playa ES. Por lo tanto es recomendable comenzar con la medición de crías tanto en vivero como *in situ* y compararlas con una playa de anidación solitaria y no de arribada.

## 7.7. Proporción sexual de las crías de tortuga golfina en una playa de anidación marginal

De acuerdo con Ackerman (1997), el rango de tolerancia para los embriones de tortuga marina es de 25 a 35 °C. En el periodo julio-noviembre, playa SC tuvo un rango de temperatura del nido entre 25.62°C y 31.18°C y playa ES entre 25.51°C y 31.87°C, por lo que se puede considerar que el rango de temperaturas de ambas playas fue adecuado para el desarrollo embrionario, al menos para la temporada 2013. Esto resulta relevante si se toma en cuenta que para algunas playas continentales del Pacífico, se han registrado temperaturas letales por arriba de los 35 °C en Nayarit y Jalisco (*comm. pers.* Catherine Hart, Red Tortuguera A.C.) e incluso por arriba de los 40°C en Colima (Sandoval-Espinoza, 2012), lo cual hasta ahora no ha sido reportado en B.C.S.

Dadas las predicciones de aumento de temperatura para los siguientes décadas (de 3 a 5°C en el escenario más cálido para el año 2100; Christensen *et al.*, 2007), y a los registros de aumento en los límites de distribución y reproducción de algunas especies (Chaloupka *et al.*, 2008; Witt *et al.*, 2010), áreas marginales de anidación como las playas de este estudio pueden ser empleadas como zonas indicadoras, ya que cualquier cambio en la distribución de anidación de la especie (producto del aumento de temperatura) se vería más fácilmente reflejado en dichas zonas límite, y si esto ocurre, ganarán importancia en el tiempo como zonas de anidación.

Los meses más importantes para la producción de machos fueron septiembre y octubre, ya que, aunque tuvieron proporciones de entre 0.40 y 0.60, al tener mayor número de nidos (incubándose), el número de machos generado es grande, indicando que son los meses más importantes para la generación de machos en ambas playas (Tabla 16). El mes con mayor proporción de machos fue noviembre con casi 100% (Fig. 33), sin embargo, durante este mes se presentaron muy pocos nidos (Fig. 34) por lo que el número de machos generado es bajo.

Durante la temporada 2013 (condiciones neutrales) las temperaturas del nido fueron adecuadas para el desarrollo embrionario, pero es recomendable estudiar con mayor

detalle los años con episodios fríos (condiciones La Niña), ya que como se demostró en este estudio, la temperatura letal fría (<23 °C) es un factor muy importante para la sobrevivencia de las crías en esta zona. En años con episodios fríos como el 2000 y 2010 el periodo de incubación promedio fue de los más extensos (55 y 58 días promedio) lo cual se asocia a las bajas temperaturas y aumenta la probabilidad de mortalidad en los embriones (Aguilar, 1987). Por lo tanto, aunque los años con episodios fríos tienen el potencial de aumentar el número de machos en noviembre, y posiblemente en octubre y Septiembre, si la temperatura del nido alcanza niveles letales, dichos periodos podrían tener efectos adversos en la sobrevivencia de las crías.

En cuanto a la proporción sexual de machos para la temporada 2013, se observó una diferencia de 10% entre playa SC (0.57) y playa ES (0.47) (Tabla 16). El estudio más completo sobre proporción sexual en playas del Pacífico mexicano es el de Sandoval-Espinoza (2012) en el que se reportaron proporciones de machos de 0.32 para Sinaloa en el 2010, de 0.24 para Nayarit en 2008 y de 0.008 para Guerrero en 2009 e incluso se reportó una proporción de 0.23 para una playa en Los Cabos, BCS en 2010. Tomando en cuenta estos datos, las proporciones encontradas en este estudio son hasta ahora, las más altas registradas para la tortuga golfina en México, con lo cual se confirma que las playas en los extremos de anidación son importantes para la producción de machos. La reciente preocupación acerca de la feminización de las poblaciones de tortuga marina (Hawkes *et al.*, 2007; Poloczanska *et al.*, 2009), a causa del cambio climático (debido a la determinación del sexo en la que temperaturas más cálidas producen hembras) denota la importancia de estas zonas en el reclutamiento de machos al stock del Pacífico Oriental, lo cual es clave para la mantener la viabilidad de la especie.

## **7.8. Evaluación del programa de conservación de ASUPMATOMA A.C.**

La tendencia de la anidación de tortuga golfina en playa SC y playa ES es positiva y muestra un incremento año con año (Fig. 7 y 8). Como se dijo, parte de este aumento se puede atribuir al programa de protección, el cual ha sido largo y continuo, y con ello ya se ha cubierto al menos una generación de tortuga golfina y probablemente, los

nuevos reclutas estén uniéndose a la etapa reproductiva de sus vidas, lo cual puede considerarse un éxito para el programa.

En cuanto al costo de producción por cría, se tomaron en cuenta el total de los gastos de operación y el total de crías liberadas por temporada. Los gastos de operación fueron diferentes para cada sitio ya que las condiciones propias de cada campamento como extensión de la playa, número de personas laborando, equipo especial para incubación, entre otros, ameritan necesidades específicas que pueden aumentar los gastos en cierta zona. En Estrella de Mar, los gastos totales fueron mayores que para ASUPMATOMA, pero el costo por cría fue similar en ambos campamentos debido a que Estrella de Mar presenta un mayor número de crías (Tabla 17).

González-Payan (2008) evaluó el costo de producción para crías de tortuga laúd en la playa de Agua Blanca, B.C.S. El costo por cría ascendió a \$208.00 M.N. y en comparación con la playa Cahuitán, donde el costo de una cría laúd fue de \$26.00 M.N. Tales diferencias se debieron por un lado, al gasto que representó el uso de invernaderos de incubación como método para contrarrestar las bajas temperaturas de la playa (Todos Santos, B.C.S) y por el bajo número de crías producidas en esta playa (Cahuitán produjo 8 veces más crías en la temporada de comparación). Por el otro lado el número total de crías de laúd fue mucho más bajo (de un orden de magnitud de diferencia) resultando en mayores costos de producción, ya que el personal y el equipo es indispensable para mantener un campamento en funcionamiento.

Las diferencias en gastos entre los campamentos e ASUPMATOMA y Estrella de Mar no pudieron ser comparadas debido a que no se cuenta con una descripción detallada de como Estrella de Mar destina sus gastos. No obstante se emiten algunas recomendaciones para ASUPMATOMA.

Actualmente, los gastos de ASUPMATOMA superan sus ingresos, por lo cual es necesario analizar la implementación de algunas medidas de ahorro. Los rubros de mayor gasto en ASUPMATOMA son nómina, alimentos y combustible que en conjunto suman entre el 70-75% de los gastos (Tabla 18). Para lograr una reducción en los gastos, estos

rubros deben priorizarse. Es poco factible que nómina y combustible puedan ser reducidos. Combustible y personal (4 biólogos) son esenciales para llevar a cabo las actividades de patrullaje y colecta, pero además el personal realiza actividades de educación ambiental, las cuales son un componente importante del programa de conservación en la zona. Con un programa de voluntariado podría reducirse al menos una nómina, pero esto debe analizarse con cautela para no comprometer el manejo del vivero y la sobrevivencia de las crías.

El apoyo de alimentos para los técnicos de campo requiere un 10% del total de gastos. Si este rubro se elimina se estarían ahorrando aproximadamente \$40,000. Con esta cantidad se podría iniciar un fondo de contingencias que permita amortiguar los gastos imprevistos que surgen en algunas temporadas, como los que se presentaron en 2012 debido al mantenimiento extra de las cuatrimotos por constantes fallas mecánicas o en 2013 por la compra de material extra debido a daños ocasionados por el huracán Odile. Este fondo también ayudaría a aminorar la gran variabilidad observada en el rubro de “gastos diversos” (Tabla 18).

Aunque estas medidas pueden funcionar a corto plazo, es necesario un análisis financiero más profundo y con la colaboración de un administrador. Es importante tomar en cuenta que los gastos que se reduzcan o eliminen (como el propuesto aquí de alimentación) no deben comprometer el funcionamiento de la asociación y, una vez implementado el ajuste, se debe evaluar su eficiencia en el cumplimiento del objetivo inicial de ahorro (Margoulis y Salafsky, 2001).

Otra recomendación es fortalecer la gestión de recursos en la asociación, lo cual es una parte clave para el funcionamiento de los programas de conservación (Mathevet y Mauchamp, 2005). Actualmente ASUPMATOMA no cuenta con fondos estables de financiación, por lo cual es urgente implementar programas que puedan aumentar sus ingresos. Varios programas de conservación de tortugas marinas a nivel mundial, han establecido el programa “adopta un nido” (Apéndice V) el cual ha demostrado ser efectivo para la recaudación de fondos. El costo por nidada en ASUPMATOMA ha rondado entre

los \$300 y \$500 M.N. por temporada (Tabla 17), estos datos podrían ser tomados como base para implementar este programa.

Es importante señalar que los estudios de costo por cría para campamentos tortugueros son casi nulos en la literatura. Puede ser que en la administración interna de cada campamento sean realizados este tipo de análisis, sin embargo, es de suma importancia darlos a conocer ya que la comparación de costos proporcionaría una idea más clara de las debilidades y fortalezas en la administración del recurso económico de cada organización y permitiría enfocar los esfuerzos de conservación en cada playa.

Por último, el tercer indicador fue evaluar si existe un incremento en el número de personas que reciben beneficios indirectos del programa. La Figura muestra cómo el número de personas que asisten al campamento ha ido en aumento año con año, lo cual habla del impacto de la Asociación en la comunidad de Cabo San Lucas y esto puede considerarse un éxito. Kleiman *et al.* (2000) comentan que “estos aspectos sociales de la conservación pueden conformar una evidencia importante de la eficacia y repercusión de un programa; sin embargo, han sido ignorados frecuentemente en los criterios de evaluación”.

La recuperación de especies en riesgo implica aspectos de gestión que van más allá de los meramente biológicos. La mayoría de las especies en peligro de extinción están en esa condición como resultado de las prácticas humanas no sustentables. Así, los programas de recuperación plantean acciones dirigidas a cambiar las actitudes y actividades humanas hacia las especies y ecosistemas. Por lo tanto es muy importante incluir este aspecto en evaluaciones de los programas de conservación y darle la relevancia que amerita en el cumplimiento de objetivos inicialmente pensados como biológicos. El juego en equipo de los aspectos biológico-ecológicos, económicos y sociales es lo que impulsa el éxito de los programas de conservación (Matheveth y Mauchamp, 2005).

En suma y con base en los indicadores, se puede afirmar que el programa de ASUPMATOMA ha sido exitoso al acumular 20 años de protección a la tortuga golfina, al

observar la recuperación de la colonia anidadora y que es notorio el incremento en el número de visitantes al campamento. Sin embargo, se encontraron debilidades en el aspecto económico-administrativo. Esto representa un reto a vencer para la Asociación, las propuestas aquí planteadas pueden ser el inicio del cambio que se requiere en ese aspecto.

## **7.9 Propuesta de designación de playa SC y playa ES como sitios índice de la anidación de tortuga golfina en México**

El término de playa índice fue designado por la Convención Interamericana para la Conservación de las Tortugas Marinas (CIT) y recientemente fue adoptado por el Programa Nacional de Tortugas Marinas en México (Laura Sari, directora del programa, *com. pers.*). Se refiere a playas de anidación que cuentan con métodos estandarizados y cumplen los siguientes lineamientos:

1. El área censada cada año debe ser la misma, con límites geográficos bien delimitados y fijos.
2. Deben tener un seguimiento continuo y monitoreo a largo plazo (al menos 10 años).
3. La playa esta zonificada y se conocen los principales puntos de densidad de anidación.
4. La frecuencia del censo debe ser siempre la misma (diaria, cada 3 días, semanal, etc).
5. Siempre se debe abarcar el mismo periodo de la temporada. Es decir, cada año se debe iniciar y concluir en las mismas fechas.
6. Se debe reportar el destino o uso de cada nidada, incluyendo aquellas en las que se desconoce por no haber evidencias de robo o depredación.
7. Una playa índice debe contar con personal capacitado para realizar los censos.
8. Debe contar con evaluaciones periódicas sobre la tendencia y tamaño de la colonia reproductora.
9. Generalmente incluyen una gran parte de la población anidadora total. Sin embargo, es importante mencionar que pueden existir algunos sitios índice que contienen una parte pequeña de la población anidadora total, pero están seleccionados debido a que representan un segmento genéticamente o morfológicamente único de la población.

10. Deben permanecer constantes año tras año y contar con suficientes recursos para mantener un monitoreo adecuado y consistente (durante las siguientes décadas).

(CIT, 2013)

Los trabajos de López-Castro y Rocha Olivares (2005) y Bárcenas-Ibarra (2009) demostraron mediante estudios genéticos que la colonia anidadora de B.C.S. debe ser tratada como una Unidad de Manejo (UM) independiente, considerados también “stocks” ó “unidades poblacionales” (Moritz, 1994). Antes de estos estudios, la individualidad de la colonia de B.C.S no había sido reconocida en los planes de manejo, por lo que se propuso que su protección y conservación debería ser una prioridad en México. La condición de las playas de este estudio como áreas marginales de anidación, la tendencia de incremento de la colonia y la importancia de estas playas como productoras de machos (demostrado en este estudio) soporta este planteamiento. El único lineamiento faltante para SC y ES era el de tener evaluaciones sobre las tendencias poblacionales de la colonia de interés, el cual se cumple con el presente análisis. Por todo esto, se propone designarlas como sitios índice de la anidación de tortuga golfina en México.

## 8. Conclusión

---

- El número de eventos exitoso de anidación registrados en un ciclo anual muestra una tendencia positiva tanto para playa SC como playa ES. Un incremento muy marcado se identifica a partir de la temporada 2011.
- El promedio de TSM-anomalías y Chl-a en los 9 meses previos a la temporada de anidación fue un buen indicador de la disponibilidad de alimento.
- La disponibilidad de alimento en las áreas de alimentación (relacionado al estado nutricional de la hembra) no sólo fue muy importante para determinar la cantidad de nidos y crías, sino que también influyó en el éxito de eclosión y emergencia y tuvo un mayor aporte que las variables locales durante la temporada de anidación.
- Chl-a fue un buen indicador para el éxito reproductivo de la tortuga golfina, tanto en número de nidos y crías como en los porcentajes de eclosión y emergencia. Se sugiere que esto se debe al estado alimenticio de las hembras.
- Las variables que más influyeron en los porcentajes de eclosión y emergencia fueron tanto de escala mayor, Chl-a, como de escala local, Temperatura letal fría, sugiriendo por un lado, que la condición corporal de las hembras afecta el “fitness” de las crías e indicando por otro lado, que la temperatura letal fría es un factor ambiental importante para la sobrevivencia de las crías en las playas de anidación marginales.
- Los meses más importantes para la producción de machos fueron Septiembre y Octubre.

## 9. Recomendaciones

---

- Se sugiere implementar un programa de marcaje de hembras. Mejor información sobre los parámetros reproductivos de la colonia anidadora puede ser obtenida a través de ello.
- Comenzar con la medición de crías tanto en vivero como *in situ* para analizar si existen diferencias respecto a las playas de anidación continentales.
- Tomar en consideración cambiar de sitio el corral de anidación de playa SC ya que es probable que una mayor cantidad de nidos sean afectados por larvas de mosca si la materia orgánica se sigue acumulando.
- Tomar temperaturas de nidos *in situ* a lo largo de la temporada para poder compararlas con la temperatura del nido en vivero.
- Ampliar el número de hobos para medición de temperaturas en playa para tener réplicas y abarcar diferentes puntos del corral de incubación.
- Estudiar con mayor detalle el impacto de la temperatura letal fría sobre la sobrevivencia de las crías, principalmente en años con anomalías negativas de TSM (La Niña), ya que tales condiciones tienen el potencial de afectar significativamente la sobrevivencia de las crías.
- Este estudio podría mejorarse pesando y midiendo a las hembras anadoras, ya que con estas dos variables se puede realizar una estimación del índice de condición corporal, lo cual reflejaría con mayor precisión el estado nutricional de las hembras.

## Lista de referencias

---

- Abreu-Grobois, A. and Plotkin, P. (IUCN SSC Marine Turtle Specialist Group) (2008). *Lepidochelys olivacea*. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. Recuperado el 27 de Septiembre 2013. <http://www.iucnredlist.org>.
- Ackerman, R. A. (1997). The nest environment and the embryonic development of sea turtles. *The biology of sea turtles*, 1, 83-106.
- Aguilar H. (1987). Influencia de la temperatura de incubación sobre la determinación del sexo y duración del período de incubación en la tortuga lora (*Lepidochelys kempi*). Tesis de Biología. Instituto Politécnico Nacional, México, 58 pp.
- Bjorndal, K. A. (2000). Prioridades para la investigación en hábitats de alimentación. *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*, 13-15.
- Bjorndal, K. A., and Carr, A. (1989). Variation in clutch size and egg size in the green turtle nesting population at Tortuguero, Costa Rica. *Herpetologica*, 181-189.
- Bjorndal, K. A., Bolten, A. B., and Chaloupka, M. Y. (2000). Green turtle somatic growth model: evidence for density dependence. *Ecological Applications*, 10 (1), 269-282.
- Bonebrake, T. C., and Mastrandrea, M. D. (2010). Tolerance adaptation and precipitation changes complicate latitudinal patterns of climate change impacts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(28), 12581-12586.
- Booth, D. T., Burgess, E. A., McCosker, J., and Lanyon, J. M. (2004). The influence of incubation temperature on post-hatchling fitness characteristics of turtles. *International Congress Series*, 1275(2004), 226-233.
- Bouchard, S. S., and Bjorndal, K. A. (2000). Sea turtles as biological transporters of nutrients and energy from marine to terrestrial ecosystems. *Ecology*, 81(8), 2305-2313.
- Brenes, O. (2011). Efecto de la precipitación en el proceso de incubación de las nidadas de tortuga lora. *Ambientales*. 41 (4): 27-35.
- Broderick, A. C., Godley, B. J., and Hays, G. C. (2001). Trophic status drives interannual variability in nesting numbers of marine turtles. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 268(1475), 1481-1487.
- Burgess, E. A., Booth, D. T., and Lanyon, J. M. (2006). Swimming performance of hatchling green turtles is affected by incubation temperature. *Coral Reefs*, 25(3), 341-349.

- Bustard, H. R., and Greenham, P. (1968). Physical and chemical factors affecting hatching in the green sea turtle, *Chelonia mydas*. *Ecology*, 269-276.
- Camacho-Machín, M., Fuente Martínez, C., Gámez Ruiz, J.L., González-López, M.J., Martínez J., Ortega D.R., y Recio M. (2009). Construcción de modelos matemáticos y resolución de problemas. Gobierno de España. Ministerio de Educación. 304 pp.
- Cantú, G. G. (2008). Contabilidad financiera, (5a. ed.) *Editorial McGrawHill, México*.
- Carr, A. and Carr, M. H. (1970). Modulated reproductive periodicity in *Chelonia*. *Ecology* 51(2): 335-337
- Casas-Andreu, G. (1978). Análisis de la anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. En: *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología (México)*. 5(1), 141-158.
- Castro, J.C. (1986). Contribución de las tortugas loras solitarias (*Lepidochelys olivacea*) en el mantenimiento de las poblaciones de esta especie. Tesis de Licenciatura Universidad de Costa Rica. 41 pp.
- Chaloupka, M. (2001). Historical trends, seasonality and spatial synchrony in green sea turtle egg production. *Biological Conservation*, 101(3), 263-279.
- Chaloupka, M., Dutton, P., and Nakano, H. (2004). Status of sea turtle stocks in the Pacific. *FAO Fisheries Report*, (738), 135-164.
- Chaloupka, M., Kamezaki, N., and Limpus, C. (2008). Is climate change affecting the population dynamics of the endangered Pacific loggerhead sea turtle? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 356(1), 136-143.
- Chavez, F. P., Strutton, P. G., Friederich, G. E., Feely, R. A., Feldman, G. C., Foley, D. G., and McPhaden, M. J. (1999). Biological and chemical response of the equatorial Pacific Ocean to the 1997-98 El Niño. *Science*, 286(5447), 2126-2131.
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, R. and Dethloff, K. (2007). Regional climate projections. *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press, Cambridge, Chapter 11*, 847-940.
- CIAT. (2004). Resumen de la condición de las poblaciones de tortugas marinas en el Pacífico Oriental. Grupo de Trabajo Sobre Captura Incidental. KOBE (Japón) 14-16 de enero 2004. Documento BYC-4-04.

- CITES. (2014). Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Santiago de Chile. Recuperado el 10 de Septiembre 2014 <https://cites.org/esp>
- Cliffon, K., Cornejo, D.O., and Felger, R. S. (1982). Sea turtles of the Pacific coast of Mexico. *Biology and Conservation of Sea Turtles. Smithsonian Inst. Press, Washington, DC.* (pp. 199-209).
- CONANP. (2012). Estudio previo justificativo para establecer el área natural protegida en categoría de Santuario playa La Escobilla, Santa María, Tonameca, Oaxaca. Reporte técnico. 78 pp.
- Cornelius, S. E. (1982). Status of sea turtles along the Pacific coast of Middle America. *Biology and conservation of sea turtles. Smithsonian Institution Press, Washington, DC,* 211-219.
- Cornelius, S. E., and Robinson-Clark, D. C. (1986). Post-nesting movements of female olive ridley turtles tagged in Costa Rica. Movimientos post-anidamiento de la hembra de las tortugas lora marcadas en Costa Rica. *Vida Silvestre Neotropical.*, 1(1), 12-23.
- Cornelius, S.E., M.A. Alvarado, J.C. Castro, M. Mata, and D.C. Robinson. (1992). Management of olive ridley sea turtles (*Lepidochelys olivacea*) at Playas Nancite and Ostional, Costa Rica. Pages 111-1 In: J.G. Robinson, and K.H. Redford. (Eds). Neotropical wildlife conservation and use. University of Chicago Press. Chicago, Ill.
- CPC. (2014). Climate Prediction Center. National Oceanic and Atmospheric Administration. Recuperado el 11 de Junio 2014. [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
- Da Silva, A. C. C., De Castilhos, J. C., López, G. G., and Barata, P. C. (2007). Nesting biology and conservation of the olive ridley sea turtle (*Lepidochelys olivacea*) in Brazil, 1991/1992 to 2002/2003. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(04), 1047-1056.
- Daniel, W. W. (1997). Estadística no paramétrica y de libre distribución. *Bioestadística: Bases para el Análisis de las Ciencias de la Salud.* (5ª. ed.). Editorial Noriega 710-736.
- Delgado-Trejo, C. and Alvarado-Díaz, J. (2012). Current conservation status of the black sea turtle in Michoacán, Mexico. In: Seminoff, J.A. and B.P. Wallace (Eds.). *Sea Turtles of the Eastern Pacific: Advances in Research and Conservation.* University of Arizona Press, Tucson. 386 pp.

- Dial, B. E. (1987). Energetics and performance during nest emergence and the hatchling frenzy in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). *Herpetologica*, 307-315.
- DOF. Diario Oficial de la Federación. (2010). Protección ambiental de 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. 30 de Diciembre de 2010. México, D.F.
- Durazo R., Ramírez-Manguilar A.M., Miranda L.E., Soto-Mardones L.A. (2010). Climatología de variables hidrográficas en la Corriente de California frente a Baja California. En: Gaxiola-Castro G, Durazo R (eds.). *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California*. 25-57p.
- Eckert, K. (2000). Diseño de un programa de conservación. 6-8. *Técnicas de investigación y manejo para la conservación de tortugas marinas. Grupo especialista en tortugas marinas UICN/CSE, México*.
- Eckert, K. L., Bjorndal K.A, Abreu-Grobois F.A y Donnelly M. (2000). Traducción al español. Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas. UICN/CSE Publicación No. 4.
- Efron, B., and Tibshirani, R. J. (1994). *An introduction to the bootstrap*. CRC press.
- Elías, L. F. (2007). *Primer curso de contabilidad*. Trillas.
- Fritts, T., Stinson, M. R. and Márquez, M. (1982). Status of sea turtle nesting in southern Baja California, México. *Bull. South. Calif. Acad. Sci*, 81(2): 51-60.
- García E. 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Universidad Nacional Autónoma. México. Inst. Geografía. 246 pp.
- Gil-Flores, J. (2005). Aplicación del método Bootstrap al contraste de hipótesis en la investigación educativa. *Revista de educación*, (336), 251-265.
- Girard, C., Sudre, J., Benhamou, S., Roos, D., and Luschi, P. (2006). Homing in green turtles *Chelonia mydas*: oceanic currents act as a constraint rather than as an information source. *Marine Ecology Progress Series*, 322, 281-289.
- Girondot, M. (1999). Statistical description of temperature-dependent sex determination using maximum likelihood. *Evolutionary Ecology Research*, 1(4), 479-486.
- Glen, F., and Mrosovsky, N. (2004). Antigua revisited: the impact of climate change on sand and nest temperatures at a hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) nesting beach. *Global Change Biology*, 10(12), 2036-2045.

- Glen, F., Broderick, A. C., Godley, B. J., and Hays, G. C. (2003). Incubation environment affects phenotype of naturally incubated green turtle hatchlings. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83(5), 1183-1186.
- Godley, B. J., Thompson, D. R., Waldron, S., and Furness, R. W. (1998). The trophic status of marine turtles as determined by stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 166, 277-284.
- Gyuris, E. (2000). The relationship between body size and predation rates on hatchlings of the green turtle (*Chelonia mydas*): is bigger better? In N. J. Pilcher and M. G. Ismail (Eds.), *Sea Turtles of the Indo-Pacific: Research, Management and Conservation* (pp. 143-147). New York: Academic Press.
- Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H., and Godley, B. J. (2009). Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research*, 7(2), 137-154.
- Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H., and Godley, B. J. (2007). Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population. *Global Change Biology*, 13(5), 923-932.
- Hays, G. C., Adams, C. R., and Speakman, J. R. (1993). Reproductive investment by green turtles nesting on Ascension Island. *Canadian Journal of Zoology*, 71(6), 1098-1103.
- Hays, G. C., and Speakman, J. R. (1991). Reproductive investment and optimum clutch size of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). *The Journal of Animal Ecology*, 455-462.
- Hays, G. C., Ashworth, J. S., Barnsley, M. J., Broderick, A. C., Emery, D. R., Godley, B. J. and Jones, E. L. (2001). The importance of sand albedo for the thermal conditions on sea turtle nesting beaches. *Oikos*, 93(1), 87-94.
- Hays, G. C., Luschi, P., Papi, F., and Marsh, R. (1999). Changes in behaviour during the inter-nesting period and post-nesting migration for Ascension Island green turtles. *Marine Ecology Progress Series*, 189, 263-273.
- Hodge, R.P. and Wing, B.L. (2000). Sea turtle occurrences in Alaska. 1960–1998. *Herp. Rev.* 31(3), 148–151.
- Horngren, C. T., Sundem, G. L., and Stratton, W. O. (2007). *Contabilidad administrativa*. Pearson Educación. 437 pp.
- Hubert, J. (1985). Embryology of the squamata. In C. Gans and F. Billett (Eds.), *Biology of the Reptilia Vol. 15* (pp. 1-34). New York: John Wiley.

- Huyer, A., Smith, R. L., and Paluszkievicz, T. (1987). Coastal upwelling off Peru during normal and El Niño times, 1981–1984. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*, 92(C13), 14297-14307.
- INEGI. 2000. *Anuario estadístico del estado de Baja California Sur*. Instituto Nacional de Geografía e Informática. 384 pp.
- INP. Instituto Nacional de la Pesca. (2000). *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México: Evaluación y Manejo*. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). México.
- IUCN. (2014). IUCN Red List of Threatened Species. Recuperado el 20 de Septiembre 2014. <http://www.iucnredlist.org>
- Janzen, F. J. (1994). Climate change and temperature-dependent sex determination in reptiles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(16), 7487-7490.
- Jensen, M. P., Abreu-Grobois, F. A., Frydenberg, J., and Loeschcke, V. (2006). Microsatellites provide insight into contrasting mating patterns in arribada vs. non-arribada olive ridley sea turtle rookeries. *Molecular Ecology*. 15(9), 2567-2575.
- Kitaysky, A. S., Wingfield, J. C., and Piatt, J. F. (1999). Dynamics of food availability, body condition and physiological stress response in breeding black-legged kittiwakes. *Functional Ecology*, 13(5), 577-584.
- Kraemer, J. E., and Bell, R. (1980). Rain-induced mortality of eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) on the Georgia coast. *Herpetologica*, 72-77.
- Kwan, D. (1994). Fat reserves and reproduction in the green turtle, *Chelonia mydas*. *Wildlife Research*, 21(3), 257-265.
- Labocha, M. K., Schutz, H., and Hayes, J. P. (2014). Which body condition index is best? *Oikos*, 123(1), 111-119.
- Lanyon, J. M., Limpus, C. J., and Marsh, H. (1989). Dugongs and turtles: grazers in the seagrass system. *Biology of Seagrasses*. Alemania. Elsevier, 610 pp.
- Lazou, A. P., and Rees, A. F. (2006). Factors influencing insect infestation of loggerhead (*Caretta caretta*) sea turtle nests on Zakynthos, Greece. In: *Book of Abstracts* (p. 195).
- Lea, M. A., Guinet, C., Cherel, Y., Duhamel, G., Dubroca, L., Pruvost, P., and Hindell, M. (2006). Impacts of climatic anomalies on provisioning strategies of a Southern Ocean predator. *Marine Ecology Progress Series*, 310, 77-94.

- Lehodey, P., Bertignac, M., Hampton, J., Lewis, A., and Picaut, J. (1997). El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature*. 389(6652), 715-718.
- Limpus, C., and Nicholls, N. (2000). ENSO regulation of Indo-Pacific green turtle populations. In *Applications of seasonal climate forecasting in agricultural and natural ecosystems*. Netherlands. Springer pp. 399-408.
- López, R.M and Harfush, M. (2000). Determination of the percentage of olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) in situ nests that are affected by beetles at Escobilla Beach (Mexico). In *20th Sea Turtle Symposium* (Vol. 29).
- López-Castro, M. C., and Rocha-Olivares, A. (2005). The panmixia paradigm of eastern Pacific olive ridley turtles revised: consequences for their conservation and evolutionary biology. *Molecular Ecology*, 14(11), 3325-3334.
- López-Castro, M. C., Carmona, R., and Nichols, W. J. (2004). Nesting characteristics of the olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) in Cabo Pulmo, southern Baja California. *Marine Biology*, 145(4), 811-820.
- Lutcavage, M., and Lutz, P. L. (1986). Metabolic rate and food energy requirements of the leatherback sea turtle, *Dermochelys coriacea*. *Copeia*, 796-798.
- Marcovaldi, M. A., and Thomé, C. A. (2000). Reducción de las amenazas a las tortugas. *Traducción al español*. *Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas*. Grupo Especialista en Tortugas Marinas. IUCN/CSE publicación, (4), 187-191.
- Margoluis, R. and Salafsky, J. (2001), *Is Our Project Succeeding? A Guide to Threat Reduction Assessment for Conservation*, Washington, D.C., Biodiversity Support Program. 51 pp.
- Márquez, M.R. (1996). Las tortugas marinas y nuestro tiempo. Fondo de Cultura Económica. 200 pp.
- Márquez, M.R. 1990. FAO species catalogue. Vol.11: Sea turtles of the world. An annotated and illustrated catalogue of sea turtle species known to date. FAO Fisheries Synopsis No. 125, Vol. 11. Rome, FAO. 81 pp.
- Mathevet, R. and Mauchamp, V.R. (2005). Evidence-based Conservation: Dealing with Social Issues. *Trends in Ecology and Evolution*, (12): 422-423.
- Mazaris, A. D., Kallimanis, A. S., Sgardelis, S. P., and Pantis, J. D. (2008). Do long-term changes in sea surface temperature at the breeding areas affect the breeding dates and reproduction performance of Mediterranean loggerhead turtles? Implications for climate change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 367(2), 219-226.

- McCoy, C. J., Vogt, R. C., and Censky, E. J. (1983). Temperature-controlled sex determination in the sea turtle *Lepidochelys olivacea*. *Journal of Herpetology*, 404-406.
- McCullagh, P. (1984). Generalized linear models. *European Journal of Operational Research*, 16(3), 285-292.
- McCullagh, P., and Nelder, J. A. (1989). *Generalized linear models* (Vol. 37). CRC press.
- McGowan, A., Rowe, L. V., Broderick, A. C., and Godley, B. J. (2001). Nest factors predisposing loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) clutches to infestation by dipteran larvae on northern Cyprus. *Copeia*, 2001(3), 808-812.
- Meylan, A. B., and Meylan, P. A. (2000). Introducción a la evolución, historias de vida y biología de las tortugas marinas. *Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas*. IUCN/SSC Publicación pp. 3-5.
- Meylan, A. B., Bowen, B. W., and Avise, J. C. (1990). A genetic test of the natal homing versus social facilitation models for green turtle migration. *Science*, 248 (4956), 724-727.
- Miller, J. D. (1985). Embryology of marine turtles. In: C. Gans, F. Billett and P. F. A. Maderson (Eds.), *Biology of the Reptilia* (pp. 270-328). New York: Wiley.
- Miller, J. D. (2000). Determinación del tamaño de la nidada y el éxito de eclosión. *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE, Publicación, (4), 143-149.
- Miller, J.D. (1997). Reproduction in sea turtles. In Lutz P.L., Musick J.A. (eds). *The biology of sea turtles*. CRC Press.
- Milton, S. L., Leone-Kabler, S., Schulman, A. A., and Lutz, P. L. (1994). Effects of Hurricane Andrew on the sea turtle nesting beaches of South Florida. *Bulletin of Marine Science*, 54(3), 974-981.
- Molinar, E. V. (1973). *Resultados preliminares del mercado de tortugas marinas en aguas mexicanas (1966-1970)*. Secretaría de Industria y Comercio, Subsecretaría de Pesca, Instituto Nacional de Pesca.
- Moritz, C. (1999). Conservation units and translocations: strategies for conserving evolutionary processes. *Hereditas*, 130(3), 217-228.
- Mortimer, J. A., Ahmad, Z., Kaslan, S., Daud, M. D., Sharma, D., and Aikanathan, S. (1994). Evaluation of the practice of splitting sea turtle egg clutches under hatchery conditions in Malaysia. In: *Proceedings of the Thirteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation* (pp. 23-27).

- Mortimer, J.A. (2000). *Reducción de las amenazas a los huevos y a las crías: los viveros*. En: Eckert, K.L., Bjorndal K.A., Abreu- Grobois F.A. and Donnelly M. (Editores). Traducción al español. Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas. UICN/CSE Publicación No. 4.EUA. 270 pp.
- Mrosovsky, N. (1980). Thermal biology of sea turtles. *American Zoologist*, 20(3):531-547.
- Musick, J.A. and Limpus, C.J.(1997). Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles. In: Lutz P.L., Musick J.A. (eds). *The biology of sea turtles*. CRC Press.
- Nichols, W. J. (2003). *Biology and conservation of sea turtles in Baja California, Mexico*. Doctoral dissertation. University of Arizona. 478 pp.
- Oceguera-Camacho, K. (2008). *Anidación de tortugas marinas en Loreto y San Juan de Los Planes, Baja California Sur México y propuesta para su conservación*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 109 pp.
- Peñaflores-Salazar, C., J. Vasconcelos-Pérez, E. Albavera-Padilla y M.C. Jiménez Quiroz. (2001). Especies sujetas a protección especial. Tortuga golfina. En: M.A. Cisneros, L.F. Beléndez, E.Zárate, M. T. Gaspar, L. C. López, C. Saucedo y J. Tovar (eds). *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. 1999-2000*. Publicado en CD. Instituto Nacional de la Pesca/SEMARNAT. México, 1001-1021 pp.
- Peterson, C. H., and Bishop, M. J. (2005). Assessing the environmental impacts of beach nourishment. *Bioscience*, 55(10), 887-896.
- Plotkin, P. T. (2010). Nomadic behaviour of the highly migratory olive ridley sea turtle *Lepidochelys olivacea* in the eastern tropical Pacific Ocean. *Endangered Species Research*, 13(1), 33-40.
- Plotkin, P., and Bernardo, J. (2003). Investigations into the basis of the reproductive behavioral polymorphism in *Lepidochelys olivacea*. In *Proceedings of the Twenty-Second Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Miami, Florida* (p. 29).
- Poloczanska, E. S., Limpus, C. J., and Hays, G. C. (2009). Vulnerability of marine turtles to climate change. *Advances in marine biology*, 56, 151-211.
- Pough, F.H., Heiser, H.B. and Mc Farland, W.N. (1996). *Vertebrate life*. Prentice Hall.
- Pritchard, P.C. (1997). *Evolution, phylogeny, and current status*. *The biology of sea turtles*. CRC Press. (pp. 1-28).
- Ragotzkie, R. A. (1959). Mortality of loggerhead turtle eggs from excessive rainfall. *Ecology* 40 (2):303-305.

- Reece, S. E., Broderick, A. C., Godley, B. J., and West, S. A. (2002). The effects of incubation environment, sex and pedigree on the hatchling phenotype in a natural population of loggerhead turtles. *Evolutionary Ecology Research*, 4(5), 737-748.
- Reina, R. D., Spotila, J. R., Paladino, F. V., and Dunham, A. E. (2009). Changed reproductive schedule of eastern Pacific leatherback turtles *Dermochelys coriacea* following the 1997–98 El Niño to La Niña transition. *Endangered Species Research*, 7(2), 155-161.
- Resetarits, W. J. (1996). Oviposition site choice and life history evolution. *American Zoologist*, 36(2), 205-215.
- Richardson J.I. (2000). Prioridades para los estudios sobre biología de reproducción y anidación. En: *Técnicas de investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*. Eckert, K.L, Bjorndal K.A, Abreu-Grobis F.A. y Donnelly M. (Eds). Grupo Especialista en Tortugas Marinas IUCN/CSE Publicación No. 4. EUA. 270 pp.
- Rodríguez-Zárate, C. J. (2008). Estructura genética de las colonias reproductoras de tortuga golfina *Lepidochelys olivacea*, en Baja California y playas del Pacífico Continental Mexicano. Tesis de Maestría. CICESE.73 pp.
- Rosano-Herández, M. C., and Deloya, C. (2002). Interacción entre tróglidos (Coleoptera: Trogidae) y tortugas marinas (Reptilia: Cheloniidae) en el Pacífico mexicano. *Acta Zoológica Mexicana (ns)*, 87, 29-46.
- Rouso, S., Sánchez, C. and Cibeles, D.L. (2015). Quantifying sea turtle nesting habitat: using beach profiling and nest distribution as a conservation tool. *Successful conservation strategies for sea turtles*. Cap. 4 (pp. 79-102).
- Saba, V. S., Santidrián-Tomillo, P. I., Reina, R. D., Spotila, J. R., Musick, J. A., Evans, D. A., and Paladino, F. V. (2007). The effect of the El Niño Southern Oscillation on the reproductive frequency of eastern Pacific leatherback turtles. *Journal of Applied Ecology*, 44(2), 395-404.
- Sandoval-Espinoza, S. (2012). *Proporción sexual en crías de tortuga Lepidochelys olivacea en corrales de incubación del Pacífico mexicano*. Tesis doctoral. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 158 pp.
- Sarachik, E. S., and Cane, M. A. (2010). *The El Niño-southern oscillation phenomenon*. Cambridge University Press.
- Schwalm, C. R., Williams, C. A., and Schaefer, K. (2011). Carbon consequences of global hydrologic change, 1948–2009. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G3), G03042.

- Sepúlveda, M., Olea, D., Carrasco, P., Santos-Carvallo, M., Castillo, J., and Quiñones, R. A. (2014). Latitudinal variation in local productivity influences body condition of South American sea lion pups. *Aquatic Biology*, 23(1), 39-47.
- Shaklee, J.B., Allendorf, F.W., Morizot, D.C. and Whitt, D.C.. 1990. Gene nomenclature for protein- coding loci in fish. *Transactions of the American Fisheries Society* (119) 2-15.
- Sissener, E. H., and Bjørndal, T. (2005). Climate change and the migratory pattern for Norwegian spring-spawning herring—implications for management. *Marine Policy*, 29(4), 299-309.
- SMN. (2006). Servicio Meteorológico Nacional. *Análisis de las temporadas de huracanes de los años 200-2005 en México*. Reporte Técnico.
- Solow, A. R., Bjorndal, K. A., and Bolten, A. B. (2002). Annual variation in nesting numbers of marine turtles: the effect of sea surface temperature on re-migration intervals. *Ecology Letters*, 5(6), 742-746.
- Stokes, L., Wyneken, J., Crowder, L. B., and Marsh, J. (2006). The influence of temporal and spatial origin on size and early growth rates in captive loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the United States. *Herpetological Conservation and Biology*, 1(2), 71-80.
- SWOT (2011). *The State of the World's Sea Turtles. Minimum Data Standards For Nesting Beach Monitoring* (p. 42). Technical Report, 24 pp.
- Tiburcio-Pintos, G. (2006). Anidación de tortugas marinas en el municipio de Los Cabos, Baja California Sur. México y propuestas para su conservación. *Tesis de maestría*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 139 pp.
- Valverde, R. A., and Gates, C. E. (2000). Estudios de poblaciones en playas de arribada. *Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas*. Blanchard, Pennsylvania: UICN/CSE, 64-69.
- Van Houtan, K. S., and Bass, O. L. (2007). Stormy oceans are associated with declines in sea turtle hatching. *Current Biology*. 17(15), 590-591.
- Vega-Bravo, J. (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. UABCS. 52 pp.
- Wibbels, T. (2003). Critical approaches to sex determination in sea turtles. *The biology of sea turtles*, 2, 103-134.
- Wilson, U.W. (1991). Response of three seabird species to El Niño events and other warm water episodes on the Washington coast, 1979–1990. *Condor*, (93), 853–858.

- Witt, M. J., Hawkes, L. A., Godfrey, M. H., Godley, B. J., and Broderick, A. C. (2010). Predicting the impacts of climate change on a globally distributed species: the case of the loggerhead turtle. *The Journal of Experimental Biology*, 213(6), 901-911.
- Zug, G. R., Chaloupka, M., and Balazs, G. H. (2006). Age and growth in olive ridley sea turtles (*Lepidochelys olivacea*) from the North-central Pacific: a skeletochronological analysis. *Marine ecology*, 27(3), 263-270.
- Zúñiga, I., y del Arco, E. C. (2010). *Meteorología y climatología*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. 452 pp.

## Apéndices

### I. Esfuerzo de monitoreo (días) en playa San Cristóbal (1995-2013) y playa El Suspiro (1999-2013)

Fecha de inicio	Fecha final	Días del periodo de monitoreo	Días patrullados		Porcentaje de días patrullados	
			S.Cristóbal	El Suspiro	S.Cristóbal	El Suspiro
16-07-95	01-11-95	108	16	n/a	14.81	n/a
16-07-96	01-11-96	108	37	n/a	34.26	n/a
16-07-97	01-11-97	108	46	n/a	42.59	n/a
16-07-98	01-11-98	108	45	n/a	41.67	n/a
16-07-99	01-11-99	108	32	68	29.63	62.96
16-07-00	01-11-00	108	48	75	44.44	69.44
16-07-01	01-11-01	108	38	51	35.19	47.22
16-07-02	01-11-02	108	51	33	47.22	30.56
16-07-03	01-11-03	108	46	39	42.59	36.11
16-07-04	01-11-04	108	55	67	50.93	62.04
16-07-05	01-11-05	108	56	65	51.85	60.19
16-07-06	01-11-06	108	68	66	62.96	61.11
16-07-07	01-11-07	108	65	76	60.19	70.37
16-07-08	01-11-08	108	59	59	54.63	54.63
16-07-09	01-11-09	108	77	70	71.30	64.81
16-07-10	01-11-10	108	62	82	57.41	75.93
16-07-11	01-11-11	108	75	95	69.44	87.96
16-07-12	01-11-12	108	94	96	87.04	88.89
16-07-13	01-11-13	108	90	100	83.33	92.59

II. Número de nidos en playas de anidación solitaria (B.C.S. y Sinaloa) y playa de arribada (Oaxaca): temporadas 1995-2013

Estado	Baja California Sur				Sinaloa		Oaxaca	
Playa	San Cristóbal	El Suspiro	Cabo Pulmo	Don Manuel Orantes	Ceuta	Estrella de Mar	La Escobilla*	
Coordenadas	22° 96' N 110° 05' W	22° 90' N 110° 03' W	23° 26' N 109° 43' W	22°88 - 23°14 N 109°95 - 109°50 W	23° 57' N 107° 01' W	23°24' N 106° 40' W	15° 42' N 96° 41' W	
Extensión	5 Km	16 Km	8 Km	70 Km	14 Km	17 Km	7.5 Km	
T E M P O R A D A	1995	24	s/d	s/d	s/d	187	s/d	600,000
	1996	76	s/d	s/d	s/d	225	s/d	450,000
	1997	91	s/d	s/d	s/d	343	s/d	700,000
	1998	62	s/d	s/d	s/d	186	75	800,000
	1999	46	219	s/d	s/d	219	90	900,000
	2000	93	299	s/d	51	224	273	1,000,000
	2001	75	240	s/d	250	169	376	950,000
	2002	96	101	s/d	357	157	403	600,000
	2003	75	70	s/d	341	188	419	780,000
	2004	93	168	s/d	389	205	518	770,000
	2005	109	216	s/d	468	239	653	760,000
	2006	136	262	s/d	475	319	1134	1,200,000
	2007	168	393	s/d	646	388	1314	1,350,000
	2008	156	260	s/d	905	467	1320	1,360,000
2009	271	393	118	1390	392	2001	1,140,000	
2010	167	510	130	1356	472	2004	1,000,000	
2011	226	731	146	1266	353	1951	1,200,000	
2012	430	894	214	1843	495	2750	1,300,000	
2013	493	1103	175	2256	569	2630	1,400,000	

s/m indica "sin monitoreo"

### III. Verificación de supuestos de los residuales de los modelos no lineales (polinomios de segundo y tercer grado)

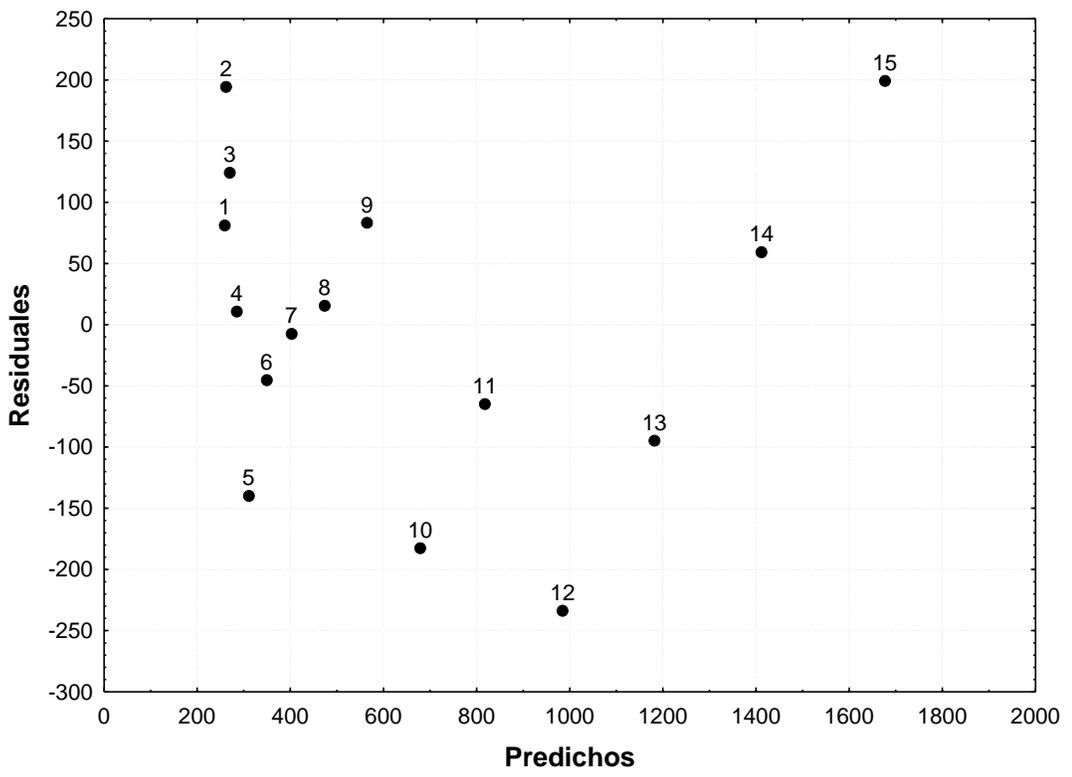
Sólo se ejemplifica el cumplimiento de supuestos con un modelo, debido a que los todos los polinomios los cumplieron:

#### Polinomio de tercer orden para -nidos ambas playas-

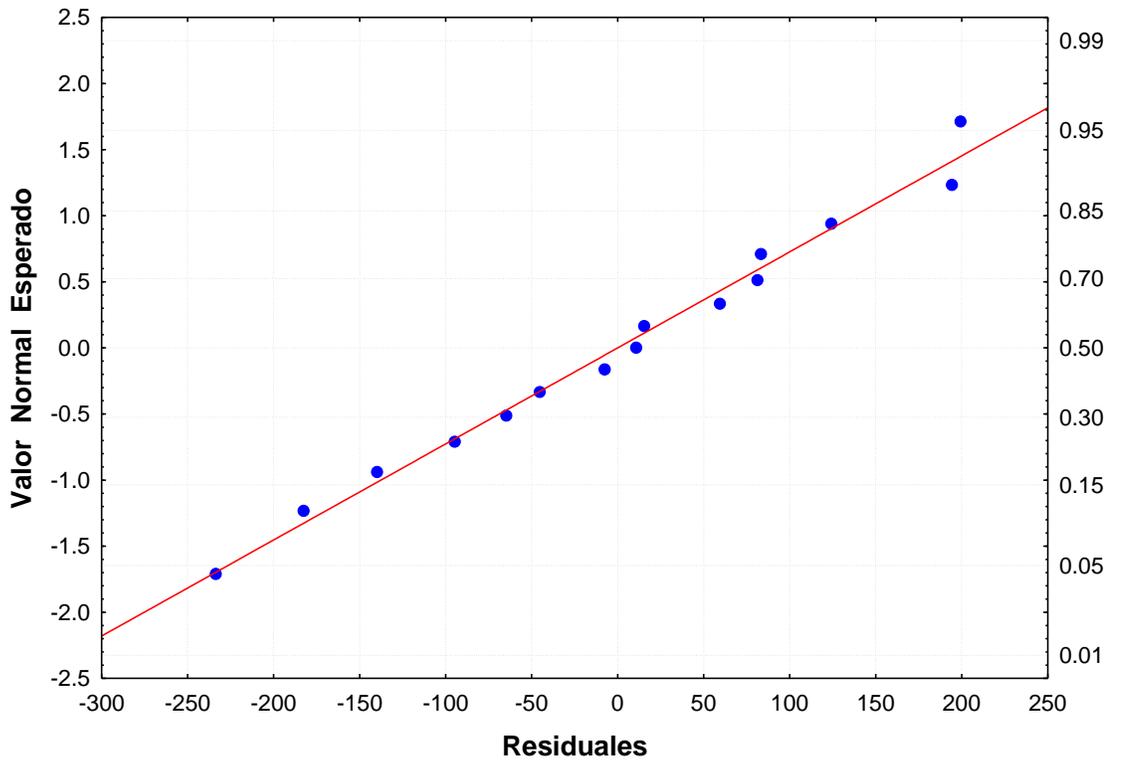
- Aleatoriedad y media cero ( $E(\varepsilon_i) = 0$ )

No.	Observado	Predicho	Residual
1	340.000	258.777	81.223
2	456.000	261.719	194.281
3	394.000	269.704	124.296
4	296.000	285.253	10.747
5	171.000	310.888	-139.888
6	304.000	349.131	-45.131
7	395.000	402.504	-7.504
8	489.000	473.526	15.474
9	648.000	564.721	83.279
10	496.000	678.610	-182.610
11	753.000	817.714	-64.714
12	751.000	984.555	-233.555
13	1087.000	1181.653	-94.653
14	1471.000	1411.532	59.468
15	1876.000	1676.712	199.288
<b>Máximo</b>	1876.000	1676.712	199.288
<b>Mínimo</b>	171.000	258.777	-233.555
<b>Media</b>	661.800	661.800	<b>0.000</b>

- Varianza constante ( $E(\varepsilon_i) = \sigma$ )



- Normalidad



#### IV. Verificación de los supuestos de los residuales de los GLM para todos los parámetros reproductivos (nidos, crías, porcentaje eclosión, porcentaje emergencia)

Sólo se ejemplifica el cumplimiento de supuestos con un modelo, debido a que los todos los todos los modelos cumplieron con la mayoría de ellos.

- Aleatoriedad y media cero

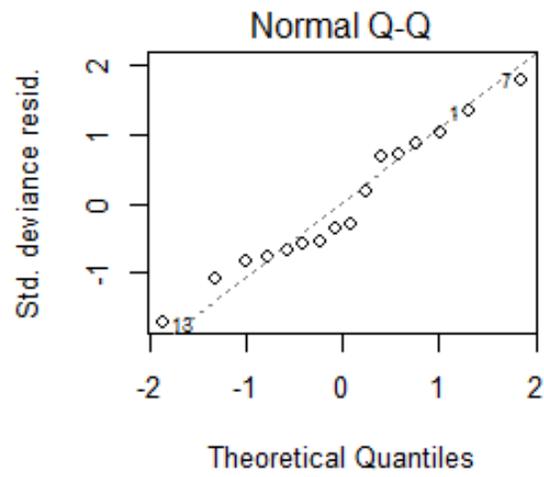
<b>No.</b>	<b>Observado</b>	<b>Predicho</b>	<b>Residual</b>
1	73.28	67.27	6.01
2	56.09	73.88	-17.78
3	107.95	121.36	-13.41
4	90.07	103.82	-13.75
5	120.69	104.09	16.60
6	94.03	89.90	4.13
7	106.31	52.16	54.15
8	111.76	127.94	-16.18
9	142.60	111.08	31.52
10	142.05	152.08	-10.02
11	101.36	81.84	19.52
12	181.72	159.69	22.03
13	1.38	52.17	-50.79
14	7.56	24.91	-17.36
15	110.47	127.44	-16.97
16	169.35	173.60	-4.24
<b>Máximo</b>	181.72	173.60	54.15
<b>Mínimo</b>	1.38	24.91	-50.79
<b>Media</b>	101.04	101.45	<b>-0.04</b>

- Independencia

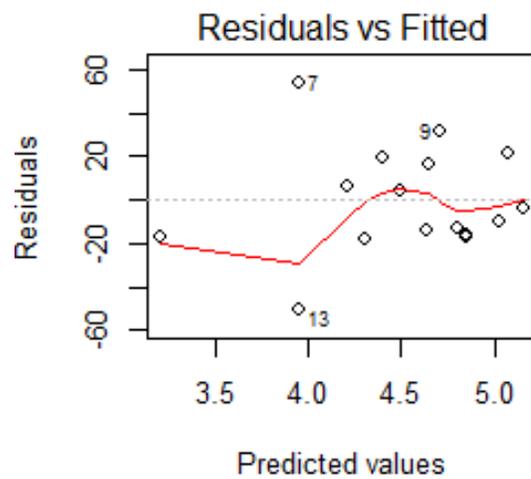
**Durbin-Watson:** DW=2.99, p-value=0.93

- Normalidad

Shapiro-Wilk:  $W = 0.9482$ ,  $p\text{-value} = 0.4618$



- Varianza constante



- No puntos extremos

**Punto 7:** valor Bonferonni=2.16,  $p\text{-value}=0.03$

Existe un punto extremo pero ya que esto representa menos del 10% permitido, por lo tanto se cumple el supuesto.

## V. DONACIÓN POR NIDO EN DISTINTAS ORGANIZACIONES DEDICADAS A LA CONSERVACIÓN DE LAS TORTUGAS MARINAS.

ORGANIZACIÓN	PAÍS	DONACIÓN	ESPECIFICACIÓN
CICTMAR	Venezuela	30 dls	Por nido
FUNZEL	El Salvador	250 dls	Por hasta 12 nidos
ICAPO	Pacífico Oriental	50 dls	Por nido
Red Tortuguera	México (Nayarit)	300 pesos	Por nido

## VI. NIDOS *IN SITU* DEPREDADOS Y EROSIONADOS EN PLAYA SAN CRISTÓBAL Y EL SUSPIRO

Nido depredado (por perro)



Nido erosionado

