

TESIS DEFENDIDA POR  
**Miguel Angel Guevara Medina**  
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

---

Dr. Eric Mellink Bijtel  
*Director del Comité*

---

Dr. Eduardo Palacios Castro  
*Miembro del Comité*

---

M. en C. José de Jesús Ibarra Villaseñor  
*Miembro del Comité*

---

Dr. Luís Eduardo Calderón Aguilera  
*Coordinador del programa de posgrado  
en Ecología Marina*

---

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales  
*Director de Estudios de Posgrado*

9 de julio de 2008

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DE ENSENADA**



**VARIACION INTERANUAL EN LOS PARAMETROS REPRODUCTIVOS  
DEL RABIJUNCO DE PICO ROJO (*Phaethon aethereus*) EN LAS  
TEMPORADAS 2004 Y 2007 EN LA ISLA FARALLON DE SAN IGNACIO,  
SINALOA**

TESIS  
MAESTRÍA EN CIENCIAS

MIGUEL ANGEL GUEVARA MEDINA

Ensenada, Baja California, México, julio de 2008.

**RESUMEN** de la tesis de Miguel Angel Guevara Medina, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en Ecología Marina. Ensenada, Baja California. Julio de 2008.

**VARIACION INTERANUAL EN LOS PARAMETROS REPRODUCTIVOS  
DEL RABIJUNCO DE PICO ROJO (*Phaethon aethereus*) EN LAS  
TEMPORADAS 2004 Y 2007 EN LA ISLA FARALLON DE SAN IGNACIO,  
SINALOA**

Resumen aprobado por:

---

Eric Mellink Bijtel  
Director de Tesis

Estudie la ecología reproductiva de *Phaethon aethereus* en Farallón de San Ignacio, Sinaloa, en 2004 y 2007. Hice dos visitas con duración de 5 días por mes a la isla entre enero y mayo. El efecto de las características del nido (largo, ancho, perímetro y altitud) se relaciono con el éxito de eclosión y volantón. Se examino la relación entre el éxito de eclosión y volantón a el cuidado parental durante las primeras tres semanas de edad de los pollos. La tasa de crecimiento (ulna, culmen tarso y masa), condición corporal (masa/culmen, masa/ulna), dieta (basada en regurgitados), y profundidad máxima de buceo de los adultos ( a través de tubos capilares adheridos a las rectorices) fueron comparados entre años. La temporada reproductiva de *P. aethereus* en esta colonia es de octubre a junio. Las mejores condiciones para la puesta es entre los 26 y 28 °C, y la fecha de puesta esta influenciada por las condiciones oceanográficas y la temperatura superficial del mar. Las características de los nidos no influyeron en el éxito reproductivo. El crecimiento del culmen, ulna, y masa fue más rápido en 2004, y la condición corporal de los pollos fue mejor en 2004. El Rabijunco de pico rojo *P. aethereus* explota los primeros metros de la columna de agua, pero cuando la temperatura superficial del mar se incrementa y disminuye la disponibilidad de presas, debido a condiciones oceanográficas (condiciones de ENSO), la profundidad de buceo aumenta, la dieta es ligeramente diferente y el cuidado parental disminuye. Como resultado, la depredación por ratas se incrementa. Los resultados sugieren una alta variabilidad interanual en las condiciones de anidación en el área de estudio.

Palabras clave: Rabijunco de pico rojo, *Phaethon aethereus*, Farallón de San Ignacio, cuidado parental, condición corporal, profundidad de buceo.

ABSTRACT of the thesis presented by Miguel Angel Guevara Medina as a partial requirement to obtain the MATER OF SCIENCIE degree in Marine Ecology. Ensenada, Baja California, Mexico.

INTERANNUAL VARIABILITY IN BREEDING PARAMETERS OF THE RED-BILLED TROPICBIRD (*Phaethon aethereus*) IN SEASONS 2004 AND 2007 IN FARALLON DE SAN IGNACIO ISLAND, SINALOA

I studied the breeding ecology of the Red-billed Tropicbird (*Phaethon aethereus*) on Farallón de San Ignacio, Sinaloa, in 2004 and 2007. I made two 5-day visits to the island per month from January to May. The effect of nest characteristics (width length, perimeter, altitude) on hatching and fledging success was examined. The relationship between hatching and fledging success with parental care during the first three weeks of age were examined. Growth rate (ulna, culmen, tarsus, and mass), body condition (mass/culmen, mass/ulna), diet (based on regurgitates), and maximum diving depth of adults (through capillar tubes attached to rectrices) were compared between both years. The breeding season of the Red-billed Tropicbird at this colony spun from October to June. The best laying conditions appear to be between 26 and 28°C, and laying time is thus influenced by oceanographic conditions and sea surface temperature. Nest characteristics did not influence breeding success. Growth of culmen, ulna, and mass was faster in 2004, and chick body condition was better in 2004 as well. Red-billed Tropicbirds fished in the first meters of the water column, but when sea surface temperature increased and prey decreased, due to oceanographic conditions (ENSO conditions), they dove deeper, had a slightly different diet, and parental care diminished. As a result, predation by rats increased. Results suggest a high interannual variability in bnesting condition in the study area.

Key words: Red-billed Tropicbird, *Phaethon aethereus*, Farallón de San Ignacio, parental care, body condition, diving depth.

*La mucha luz es como la poca luz, no te deja ver*

**Carlos Castaneda**

*I can hear the sound of seabirds in my ear, surf is high an' the sea is awash*

**Pink Floyd**

## DEDICATORIA

A mis padres Natalia Medina Zamora y Donato Guevara Vásquez  
Hermanas: Inés Yuridia y Natalia Berenice  
Por apoyarme en todos mis proyectos y respetar mis decisiones

A mi futura esposa Carolina Peña Gutiérrez  
Gracias por confiar en mi, en alentarme siempre a seguir adelante y hacerme feliz

A todos mis Tíos, en especial a Gaby † por enseñarme a defender las cosas justas

A mis primos mayores, siempre han representado el ejemplo a seguir  
A mis primos menores, por que también he aprendido de ustedes

A los maestros Socorro Beltrán, Raúl Pastor, Julio Nevares, Carmen Oláis, por  
mencionar algunos, de los cuales sus enseñanzas trascendieron mas allá del salón de  
clases

## **AGRADECIMIENTOS**

Al CONACYT por otorgarme la beca de maestría

A mi director de Tesis Eric Mellik Bijtel, por aceptarme y apoyarme en la realización de esta tesis.

Al comité de Tesis: Eduardo Palacios y Jesús Ibarra, por su interés en el trabajo y por sus sugerencias y comentarios.

A Alfredo Castillo, por sus comentarios y sugerencias antes, durante y después del trabajo de campo, y en el escrito.

A Erick González, por el apoyo brindado en parte del trabajo de campo y sus sugerencias.

A Ulises Angulo, por el intercambio de ideas y comentarios que me ayudaron en los resultados.

A los Estudiantes, M en C y Docs que hicieron mi estancia en CICESE más placentera con los partidos de fut, fiestas y demás.

A José Moreno (padre e hijo) por el apoyo logístico y transporte a “la piedra” y por estar pendiente de nuestra seguridad y necesidades.

## Contenido

	Página
<b>Resumen español</b>	I
<b>Resumen inglés</b>	II
<b>Epígrafe</b>	III
<b>Dedicatorias</b>	IV
<b>Agradecimientos</b>	V
<b>Contenido</b>	VI
<b>Lista de Figuras</b>	VIII
<b>Lista de Tablas</b>	IX
<b>I. Introducción</b>	1
<b>II. Antecedentes</b>	3
<b>III. Objetivos</b>	6
III.1. Objetivo General	6
III.1.1 Objetivos Particulares	6
III.2 Hipótesis	6
<b>IV. Materiales y Métodos</b>	7
IV.1 Área de estudio	7
IV.2 Métodos	7
IV.2.1 Cronología de anidación	7
IV.2.2 Caracterización de los nidos	9
IV.2.3 Crecimiento de los pollos	9
IV.2.3.1 Condición de los pollos	9
IV.2.3.2 Dieta y cantidad de alimento suministrada a los pollos	10
IV.3 Estancia de los padres	10
IV.3.1. Profundidad de buceo	11
IV.4 Temperatura superficial del mar	11
<b>V. Resultados</b>	12
V.1 Cronología de anidación	12



Contenido (continuación)	Página
V.2 Características de nidos	14
V.3 Éxito reproductivo	14
V.4 Crecimiento	16
V.5 Condición corporal de los pollos	19
V.6 Dieta	19
V.7 Influencia de la fecha de puesta, año y cuidado parental en el éxito reproductivo	21
V.8 Profundidad máxima de buceo	22
V.9 incremento de masa de los pollos	22
V.10 Temperatura superficial del mar	23
<b>VI. Discusiones</b>	25
VI.1 Cronología	25
VI.1.1 Fecha de puesta	25
VI.1.2 Muerte de pollos	26
VI.2 Características de nidos	27
VI.3 Crecimiento	28
VI.3.1 Curva de crecimiento	28
VI.3.2 Factores de cerramiento	28
VI.4 Condición corporal	29
VI.5 Dieta	30
VI.6 Cuidado parental	31
VI.7 Depredación	32
VI.8 Profundidad de buceo	33
VI.9 Incremento de la masa en los pollos	34
VI.10 Síntesis	34
<b>VII. Conclusiones</b>	36
<b>Referencias</b>	38

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>		<b>Página</b>
1	Área de estudio	8
2	Cronología de anidación de <i>Phaethon aethereus</i> en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	13
3	Edad y crecimiento de los pollos en las temporadas 2004 y 2007 en isla Farallón de San Ignacio (Ecuación de crecimiento logístico).	18
4	Relación masa-longitud (culmen-masa) de los pollos que llegaron a la etapa de volantón y de los que murieron en las temporadas 2004 y 2007. En ambos casos se muestra la línea de ajuste. Farallón de San Ignacio.	20
5	Relación masa-longitud (ulna-masa) de los pollos que llegaron a la etapa de volantón y de los que murieron en las temporadas 2004 y 2007. En ambos casos se muestra la línea de ajuste. Farallón de San Ignacio.	20
6	Profundidad máxima de buceo en los adultos de <i>Phaethon aethereus</i> durante su temporada reproductiva en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	23
7	Incremento de la masa de los pollos de <i>Phaethon aethereus</i> , pesados en dos ocasiones por visita (mañana y tarde) durante la temporada 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	24
8	Promedio mensual de la temperatura superficial del mar de las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	24

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla</i>		<i>Página</i>
I	Características de las cavidades ocupadas como nidos por <i>Phaethon aethereus</i> en 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	14
II	Porcentaje de éxito de eclosión y volantón para las temporadas 2004 (A) y 2007 (B) en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	15
III	Estimaciones de los parámetros del modelo lineal mixto con dependiente binomial, entre las características del nido y el éxito de eclosión y el éxito a volantón en la temporada 2004 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	15
IV	Estimaciones de los parámetros del modelo lineal mixto con variable dependiente binomial, entre las características del nido y el éxito de eclosión A, y el éxito a volantón B, en la temporada 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa	16
V	Parámetros de crecimiento de los pollos con el modelo logístico, $k$ = tasa de crecimiento y la edad en la que ocurrió, en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	17
VI	Prueba de diferencias de coeficientes de dos poblaciones entre el crecimiento (usando la asíntota) de los pollos de la temporada 2004 y los pollos de la temporada 2007. C = Culmen, U = Ulna, T = Tarso, M = Masa, 04 = 2004 y 07 = 2007, en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	17
VII	Especies de las que se alimento <i>Phaethon aethereus</i> en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	21
VIII	Modelo lineal mixto, con variable dependiente binomial; relación entre el éxito de eclosión de los huevos de <i>Phaethon aethereus</i> en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	22

## LISTA DE TABLAS (Continuación)

<i>Tabla</i>		<b>Página</b>
IX	Modelo lineal mixto, con variable dependiente binomial; relación entre el éxito a volantón de los pollos de <i>Phaethon aethereus</i> en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.	22
X	Familias de recursos marinos de las cuales se alimenta la familia Phaethonidae en diferentes regiones.	31

## I. INTRODUCCION.

La familia Phaetonidae (rabijuncos), del orden pelecaniformes, ocupa aguas tropicales y subtropicales de los Océanos Pacífico, Atlántico e Índico (Spears y Ainley, 2005; Lee y Walsh-McGehee, 2000; Fleet 1974). Como todos los pelecaniformes tienen los 4 dedos unidos por una membrana, pero a diferencia del resto de Pelecaniformes *Phaethon aethereus* tienen la bolsa gular emplumada, y sus pollos nacen cubiertos de plumón (Brooke, 2002). Tienen la región pectoral bien desarrollada, en contraste con la región pélvica que está atrofiada, por lo que no pueden caminar y se arrastran en el piso impulsándose con sus patas pequeñas (McGowan, 2004).

Dos de las tres especies de esta familia, *Phaethon aethereus* y *Phaethon lepturus*, anidan en cavidades y hoyos, usualmente en acantilados de islas (Snow, 1965), mientras que *Phaethon rubricauda* anida directamente sobre la tierra o sobre arbustos y árboles (Fleet, 1974; Morrel y Aquilani, 2000). Las tres especies ponen un solo huevo, que requiere de una incubación de 41–43, y los pollos tardan 75–85 días en llegar a volantes. Los rabijuncos realizan vuelos complicados y vocalizaciones para atraer a su pareja.

De las tres especies, la más común en México es *Phaethon aethereus*, que se distribuye desde Baja California hasta Perú, sur de Chile y Hawai. En México anida desde las islas Consag y San Jorge, en el norte del Golfo de California, hasta las islas Alijos y Morros El Potosí, incluyendo las islas San Pedro Mártir, Revillagigedo, Marías e Isabel (A.O.U., 1998).

Debido a sus hábitos oceánicos y al difícil acceso a sus colonias, existe poca información sobre la familia Phaetonidae y en el caso de *Phaethon aethereus* la carencia de conocimiento es aún mayor. Las investigaciones sobre esta especie se limitan a estudios sobre su reproducción en islas Galápagos (Snow, 1965; Harris, 1969), estimación de poblaciones (Lee y Walsh-McGehee, 2000), uso de hábitat y comportamiento en alta mar (Spears y Ainley, 2005), y algunos registros y conteos de parejas o colonias en islas durante estudios de anidación de otras aves marinas (Mailliard, 1923; Sthonhouse, 1962; Cairns, 1992; González-Bernal *et al.*, 2002; McGowan *et al.*, 2006).

Lee y Walsh-McGehee (2000) estimaron 2000 parejas para el Atlántico y menos de 8000 parejas en todo el mundo, por lo que consideran que la conservación de la

especie debe considerarse como prioritaria. En México, esta especie se encuentra en la NOM-ECOL-059-2001 bajo el status de amenazada (D.O.F., 2002). En el Golfo de California la población estimada de *Phaethon aethereus* varía entre 500 y 1000 parejas, considerando a la isla de San Pedro Mártir la más importante con 200-250 parejas (Everett y Anderson, 1991), aunque en 2001 se estimó una colonia de 100 a 200 parejas en el Farallón de San Ignacio (González-Bernal et al., 2002).

## II. ANTECEDENTES.

La distribución y abundancia de las poblaciones animales durante la temporada reproductiva esta gobernada por la calidad y disponibilidad de hábitat. En aves marinas, el hábitat reproductivo puede descomponerse en dos partes: el hábitat de forrajeo y el hábitat de anidación (Suryan e Irons, 2001). El éxito reproductivo y la supervivencia de las aves dependen de la calidad conjunta de estos componentes.

La calidad del hábitat de forrajeo está dada por la distribución, la abundancia y la composición específica de las presas en el ambiente marino (eg. Russell et al., 2006; Suryan *et al*, 2000), esta abundancia puede ser anual o temporal y puede limitar el éxito reproductivo y sobrevivencia de los pollos y/o adultos (Goudie y Jones, 2005) por lo que los tamaños de las colonias están ligados a el tamaño de las zonas de calidad en donde forrajean (Ainley et al., 2003). El crecimiento, peso y edad de volantón de los pollos varía entre años debido a las variaciones interanuales en la provisión de alimento asociada con la abundancia de presas en la zona (Takenaka et al., 2005).

Por otra parte, la calidad del hábitat de anidación está afectada por las características bióticas y abióticas del sitio específico del nido (Boulinier y Lemel, 1996). Estas características pueden repercutir en la depredación de huevos y de pollos y proporcionar protección contra la radiación solar y los cambios climáticos. Las fluctuaciones en los factores ambientales pueden causar variaciones dramáticas espaciales y temporales en la calidad del hábitat de nidación de las aves marinas (Suryan y Irons, 2001). Debido a esto, puede existir competencia por los mejores sitios de anidación (Morrel y Aquilani, 2000; Ainley *et al.*, 2003; Kildaw *et al.*, 2005). En poblaciones de aves marinas es común relacionar, la calidad del hábitat de nidación con el éxito reproductivo (Suryan y Irons, 2001).

Las aves que anidan en cavidades y no excavan sus nidos propios, dependen de cavidades pre-existentes y tienen menor control que las aves “excavadoras” sobre donde ubican sus nidos, por lo que la disponibilidad y la distribución de cavidades puede limitar su habilidad para anidar cerca de otros miembros de su especie (Eberhard, 2002). Esto puede crear competencia por las mejores cavidades para anidar o disputas por huecos ya ocupados para desplazar a la pareja anidante, comportamiento que se ha registrado en *Phaethon aethereus* (Harris, 1969).

Las aves marinas pelágicas como *Phaethon aethereus* exhiben una serie de características en su historia de vida que las hace peculiares, ya que ponen un solo huevo, sus pollos tienen una tasa de crecimiento lenta, su madurez sexual es diferida, y son de vida larga (Schreiber, 1994). Estas características están relacionadas con la limitación de alimento en adultos y afecta la capacidad de proveerlo a los pollos (Lack, 1968; en Goudie y Jones, 2005), ya que los padres deben de viajar distancias largas en búsqueda de alimento y pueden tardar de uno a varios días para regresar al nido (Visser, 2002). Así mismo, este crecimiento lento y los periodos largos que dura la nidación han sido considerados una adaptación a las bajas tasas de entrega de alimento a los pollos (Ricklefs, 1983 en Schreiber, 1994).

La condición corporal de los pollos depende entonces de la cantidad de veces que los padres puedan alimentarlo y tiene consecuencias importantes en la supervivencia del pollo (Schulte-Hostedde *et al.*, 2005). Al mismo tiempo, pollos con mayores reservas, pueden resistir mejor el no recibir alimento por algún tiempo y su supervivencia es mayor (Millar y Hincling, 1990), ya que el estado de salud de los animales está muy relacionado con la condición corporal de los mismos y este puede ser un buen indicador de la entrega de alimento de los padres o de presiones ambientales (Jakob *et al.*, 1996; Green, 2001).

Uno de los factores para determinar la disponibilidad de presas que existen para las aves marinas, es la profundidad en la que estas se encuentran y la habilidad de estas para bucear (Adams y Walter, 1993), ya que se enfrentan a una variedad de cambios en el ambiente marino (Suryan *et al.*, 2000), que pueden ser anuales o interanuales. La familia Phaetonidae utiliza aproximadamente los primeros 4 metros de la columna de agua (Le Corre, 1997). Sin embargo, no se sabe si esta profundidad varía de acuerdo con la disponibilidad de alimento existente en años donde la temperatura superficial es más fría o más caliente.

Existe poca información sobre *Phaethon aethereus*. Conocer cómo responde a las variaciones del ambiente ayudaría, por una parte, a conocer aquellos aspectos cruciales para su conservación y, por otra, determinar la flexibilidad de una especie de hábitos tropicales en un ambiente variable como lo es el Golfo de California. Para este estudio se seleccionó la isla Farallón de San Ignacio, Sinaloa, dado que es una de las dos



colonias más grandes conocidas de México y por que se encuentra en el centro de la distribución de la especie en el país.

### **III. OBJETIVOS**

#### **III.1. General**

Caracterizar la biología reproductiva de *Phaethon aethereus* en Farallón de San Ignacio, Sinaloa en 2007 y compararla con la temporada 2004.

##### **III.1.1 Particulares**

- Determinar la cronología de anidación durante las temporadas reproductivas 2004 y 2007.
- Caracterizar los nidos y determinar la influencia de diferentes atributos en el éxito reproductivo.
- Describir el crecimiento de los pollos y realizar una comparación entre años.
- Determinar la condición corporal de los pollos en 2007 y compararlo con los de 2004.
- Caracterizar la profundidad máxima de buceo y dieta en 2007 y compararlo con la de 2004.
- Caracterizar algunos componentes de cuidado parental como el tiempo de estancia de padres en el nido, la cantidad y la frecuencia de alimentación a pollos y su influencia en el éxito reproductivo.
- Determinar la cantidad de alimento dado a los pollos durante su estancia en el nido.

#### **III.2 Hipótesis**

- Los diferentes atributos de las cavidades influyen en el éxito reproductivo de la especie.
- La profundidad máxima de buceo es igual en 2004 que en 2007.
- El crecimiento y la condición corporal de los pollos es diferente en cada temporada debido a la variabilidad interanual en la disponibilidad de presas.

## **IV. MATERIALES Y METODOS**

### **IV.1 Área de estudio**

Farallón de San Ignacio (25° 26' N, 109° 22' W) es un pequeño islote de 140 metros de altura sobre el nivel del mar. Se encuentra en la parte central del Golfo de California, a 27 kilómetros de la costa de Topolobampo, en el norte de Sinaloa (Figura 1). Su área aproximada es de 70 hectáreas (Thompson y Guilligan, 1983). Sus lados son acantilados pero en la cima hay una planicie de unas 3.5-4 hectáreas. En la mayoría de las laderas hay rocas sueltas y cavidades que proporcionan espacios adecuados para nidos de *Phaethon aethereus*. Farallón de San Ignacio se encuentra en la cuenca Farallón y está rodeado de aguas profundas (mas de 3 mil metros de profundidad); (Maluf, 1983). La temperatura media anual es superior a los 22°C, con una oscilación térmica superior a los 14°C y temperaturas superiores a los 18°C en invierno. La precipitación pluvial es de 310.5 mm con un periodo de lluvias en verano, principalmente en el mes de agosto (Gutiérrez 2003 en Peñaloza 2006).

De acuerdo con la poca información existente, en el Golfo de California anidan entre 500 y 1000 parejas de *Phaethon aethereus* (Everett y Anderson, 1991), y Farallón de San Ignacio seria una de las dos colonias principales, con 100 a 200 parejas (González-Bernal *et. al.*, 2002). En la isla anidan además *Sula nebouxii*, *Sula leucogaster*, *Phalacrocorax auritus* y *Larus heermanni* (González-Bernal *et. al.*, 2002; Figura 1).

### **IV.2 Métodos**

#### **IV.2.1 Cronología de anidación**

Entre enero y mayo de 2004 y 2007 realice dos visitas por mes, con duración de 5 días cada una, a la isla. En estas visitas realicé una búsqueda exhaustiva de nidos en las zonas accesibles de la isla. Cada nido encontrado se monitoreó el resto de la temporada. Al encontrar un nido marqué su número con pintura de agua sobre alguna piedra adyacente, para facilitar su localización durante visitas posteriores. Marqué los huevos con un plumón para determinar si existió reemplazo de los

mismos. Con base en esta información, determiné la cronología reproductiva de la especie.



Figura 1. Área de estudio. (<http://www.flashearth.com/>)

#### IV.2.2 Características de los nidos

Para caracterizar los nidos (46 en 2004 y 55 en 2007) medí los siguientes atributos:

-Altitud: Metros sobre el nivel del mar a la que se ubicó el nido (msnm).

-Altura: Altura de la entrada de la cavidad (cm).

-Ancho: Ancho de la entrada de la cavidad (cm).

-Orientación: Orientación geográfica de la entrada, en 8 puntos cardinales.

Para determinar si alguna de estas características tuvo un efecto significativo sobre el éxito reproductivo, relacioné el éxito a eclosión y a volantón de cada nido con ella mediante un modelo lineal mixto (Zar, 1974) con los atributos de los nidos como variable independientes.

#### IV.2.3 Crecimiento de los pollos

Determine el crecimiento de los pollos con base en 67 pollos (36 de 2004 y 31 de 2007), a los que les medí el culmen, ulna y tarso ( $\pm 0.1$  mm), con un vernier, y determine la masa ( $\pm 1$  g), con una balanza digital, todos los días de cada visita. De acuerdo con las medidas registradas en los pollos de edad conocida (7 en 2004 y 8 en 2007), se calculó la edad del resto de los pollos. A estos datos les ajusté el modelo de crecimiento logístico ( $W(t) = A/(1+be^{-kt})$ . Ricklefs 1979), donde  $W(t)$  es la longitud de la estructura del pollo en la edad  $t$ ,  $A$  es la asíntota de la curva de crecimiento,  $k$  es la tasa de crecimiento constante y  $t_i$  es el punto máximo de la tasa de crecimiento.

Para saber si existían diferencias en el crecimiento de los pollos entre las temporadas 2004 y 2007, realice una prueba de diferencias entre los coeficientes (asíntota de la curva de crecimiento) de cuatro variables de ambos años (Zar, 1999).

#### **IV.2.4 Condición de los pollos**

Generalmente para conocer las reservas energéticas se sacrifican algunos individuos para poder determinar la cantidad de grasa o lípidos que contiene, y así, determinar la condición corporal. Sin embargo, existen métodos no destructivos como el relacionar la masa con la longitud de alguna estructura o extremidad (Schulte-Hostedde *et al.*, 2001 y Speakman, 2001). Para determinar las diferencias en la condición corporal entre pollos que llegaron a la etapa de volantón y los que murieron en las temporadas 2004 y 2007, así como las diferencias en la condición corporal entre los pollos que llegaron a volantón en ambas temporadas, realicé regresiones lineales simples entre culmen y masa, y entre ulna y masa, para ambas temporadas y compararé las pendientes con una prueba de diferencias entre dos coeficientes de regresión (Zar, 1999). No utilicé las medidas de tarso por que no exhibieron una tendencia lineal.

#### **IV.2.5 Dieta y cantidad de alimento suministrada a los pollos**

Para determinar la dieta y la cantidad de alimento me base en regurgitados que obtuve durante la manipulación de adultos y pollos en ambas temporadas, al momento de pesarlos. Las presas se identificaron, con base en la guía de la FAO para identificación de peces (Fischer, 1995) y se uso una prueba  $X^2$  para comparar la dieta entre años.

La cantidad de alimento suministrada a los pollos se calculó pesando los pollos diariamente por la mañana y por la tarde, siempre siguiendo el mismo orden de los nidos. Los incrementos en la masa de los pollos entre las mediciones se atribuyo a la alimentación por los adultos, y se utilizó para estimar la cantidad de alimento que los padres dan a los pollos (Ricklefs (1985), modificado para calcularlos por semana de visita. Calculé la curva de alimentación de acuerdo con el incremento de la masa de los pollos, obtenida durante cada visita semanal y agrupando a los pollos por semana de edad, suponiendo que los pollos no perdían peso por excreción y metabolismo.

#### **IV.2.6 Estancia de los padres**

Para determinar si el éxito de eclosión y el éxito a volantón estaban relacionados con el cuidado parental de los padres utilicé el porcentaje de presencia de los padres en el nido durante las primeras tres semanas después de la eclosión.

#### **IV.2.7 Profundidad de buceo**

Para determinar la profundidad máxima de buceo coloqué tubos capilares de 0.8 mm de diámetro, cortados a una longitud aproximada de 15 cm, sellados en uno de sus extremos. Y con la pared interior cubierta de azúcar glass. Estos se sujetaron debajo de una de las dos rectoras largas, con cinta adhesiva a prueba de agua. Por lo general, los tubos capilares los recuperé después de 48 h. Al bucear, la presión sobre un cuerpo aumenta dependiendo de la profundidad, y el agua entra al tubo capilar comprimiendo el volumen del aire, disolviendo el azúcar glass y dejando una marca visible. La profundidad máxima de buceo se calculó con la fórmula:  $D = (L_s/L_d) - 1$  donde D es Profundidad máxima de buceo,  $L_s$  es la longitud total del tubo capilar y  $L_d$  es la longitud del tubo que permaneció sin agua (Burguer y Wilson, 1988). Recuperé un total de 35 tubos capilares con marca visible durante las dos temporadas: 23 en 2004 y 12 en 2007. Compare la profundidad máxima de buceo en ambas temporadas, mediante una prueba t de diferencia de medias (Zar, 1999).

#### **IV.2.8 Temperatura Superficial del Mar**

Para determinar si existía alguna relación entre parámetros de la ecología reproductiva de *Phaethon aethereus* y la temperatura superficial del mar, analicé esta última en un cuadrante, entre las coordenadas 25.60° N, 110.45° W y 24.7° N, 109.45° W usando el programa de Coastline extractor de (<http://rimmer.ngdc.noaa.gov/>), la información obtenida de la temperatura superficial del mar son del satélite aqua-MODIS con una resolución de 400 m<sup>2</sup> (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). Se obtuvo el promedio mensual de temperatura en ambas temporadas, iniciando en el mes de agosto y finalizando el mes de julio.

## **V. RESULTADOS**

### **V.1 Cronología de anidación**

Durante las temporadas 2004 y 2007 monitoreé 101 nidos, 46 y 55 respectivamente. En todos los casos, el tamaño de puesta fue de un huevo. De acuerdo con el estado y desarrollo de las nidadas, la temporada reproductiva de 2004 comenzó a mediados de noviembre y finalizó a principios de junio (7 meses).

En 2007 inició un poco antes, a mediados del mes de octubre, y finalizó también en junio. (figuras 2).

El periodo de eclosiones inició a partir del mes de diciembre y finalizó en el mes de abril. Los primeros volantones se registraron a partir del mes de febrero; los últimos en el mes de junio. La cantidad de huevos puestos, eclosionados y volantones producidos fue diferente entre las dos temporadas. En la temporada 2004 se registraron dos picos en el periodo de puesta: del 15 al 30 de Noviembre de 2003 y del 1 al 15 de febrero de 2004 (Figura 2). Las fechas de eclosión y de volantón, por consiguiente, también mostraron dos picos. La segunda oleada de anidación fue más importante que la primera, en cuanto a número de huevos puestos, huevos eclosionados y volantones producidos (Figura 2).

La temporada 2007 también tuvo dos picos en el número de huevos puestos, pero, a diferencia de 2004, fue más importante el primero. En esta temporada las eclosiones empezaron en la primera quincena de Diciembre y los primeros volantones se produjeron en la primera quincena de Febrero (Figura 2).

De todos los pollos monitoreados en ambas temporadas murieron 15. En 2004, siete de los nueve pollos que murieron, lo hicieron en marzo. En 2007, murieron 6 pollos, uno en febrero, tres en marzo y uno en mayo.

En ambos años los pollos tardaron 83 días en alcanzar la edad de volantón ( $83 \pm 7.75$ , desviación estándar,  $n=19$ , en 2004 y  $\pm 10.36$  DS,  $n= 22$ , en 2007).



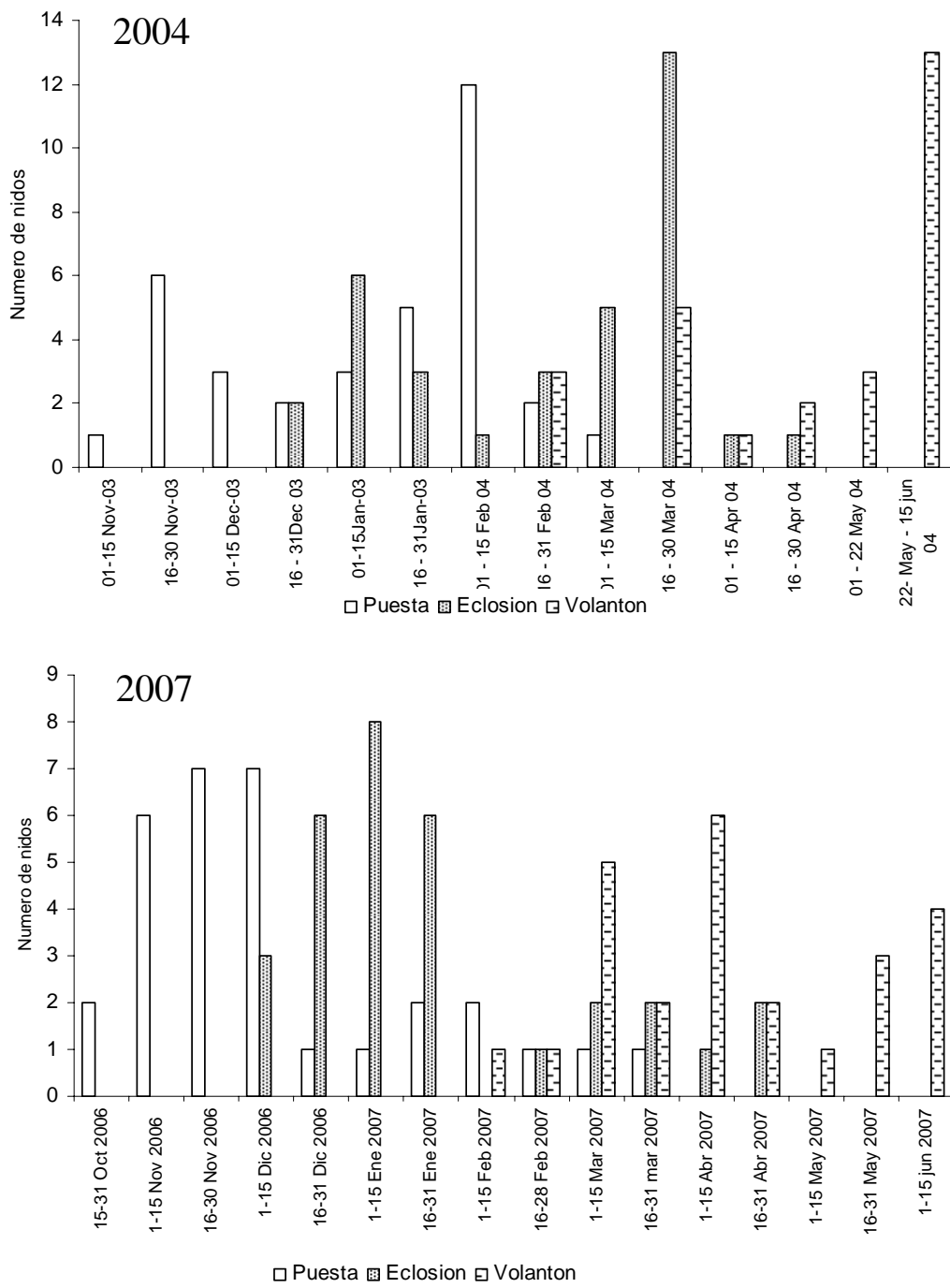


Figura 2. Cronología de anidación de *Phaethon aethereus* en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

## 4.2 Características de nidos

*Phaethon aethereus* usó cavidades que variaron en altitud, largo y ancho de la entrada, perímetro y orientación (Tabla I).

Tabla I. Características de las cavidades ocupadas como nidos por *Phaethon aethereus* en 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

Variables	2007	
	Media $\pm$ DE (N)	
Alto del nido (cm)	24.52 $\pm$ 1.61 (46)	30.31 $\pm$ 2.27 (55)
Ancho del nido (cm)	33.40 $\pm$ 3.57 (47)	28.70 $\pm$ 2.28 (55)
Perímetro del nido (cm)	980.60 $\pm$ 158.71 (46)	962.88 $\pm$ 138.16 (55)
Altitud (msnm)	105.54 $\pm$ 3.34 (46)	144.98 $\pm$ 3.06 (55)

## V.3 Éxito reproductivo

En 2004 el éxito de eclosión fue de 60% y el de volantón (porcentaje de huevos que producen pollos que alcanzan la edad de volantón n= 46), de 54.34%. Tomando en cuenta solo los huevos eclosionados (n=32) el éxito a volantón fue de 78.12% (Tabla II). En la temporada 2007 el éxito de eclosión fue de 69.56% y el éxito a volantón desde la etapa de huevo (n= 55), de 49.09%. Tomando en cuenta solo los huevos eclosionados (n=33), el éxito a volantón fue de 81.81% (Tabla II). Las proporciones de éxito de eclosión, huevos a volantón y pollos a volantón no fueron significativamente diferentes para ambos años ( $X^2= 0.00894525$ , Valor crítico= 7.377759, y P= 0.995537). En ninguno de los dos años de estudio se encontraron efectos significativo de las características de los nidos sobre el éxito de eclosión, o el éxito de volantón de *Phaethon aethereus* (Tablas III y IV).

Tabla II. Porcentaje de éxito de eclosión y volantón para las temporadas 2004 (A) y 2007 (B) en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

Año	2004	2007
Eclosión	69.56% (45)	60.00%(55)
Huevos-volantón	54.34% (46)	49.09% (55)
Pollos a volantón	78.12%(32)	81.81% (55)

Tabla III. Estimaciones de los parámetros del modelo lineal mixto con dependiente binomial, entre las características del nido y el éxito de eclosión y el éxito a volantón en la temporada 2004 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

	Variables	gl	f	p
Éxito de eclosión	Intercepto	1	1.689	0.998
	Largo	1	0.724	0.394
	Ancho	1	0.811	0.367
	Perimetro	1	0.073	0.786
	Altitud	1	0.555	0.456
	Orientación	7	2.214	0.947
Éxito de volantón	Intercepto	1	3.355	0.999
	Largo	1	0.019	0.888
	Ancho	1	2.891	0.089
	Perimetro	1	0.463	0.495
	Altitud	1	0.0195	0.888
	Orientación	7	0.932	0.995

Tabla IV. Estimaciones de los parámetros del modelo lineal mixto con variable dependiente binomial, entre las características del nido y el éxito de eclosión A, y el éxito a volantón B, en la temporada 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

Éxito de eclosión	VARIABLES	gl	f	p
	Intercepto	1	1.760	0.999
	Largo	1	0.079	0.778
	Ancho	1	2.144	0.143
	Perimetro	1	0.891	0.345
	Altitud	1	0.084	0.771
	Orientación	7	5.030	0.656
Éxito de volantón	Intercepto	1	2.828	0.998
	Largo	1	2.553	0.110
	Ancho	1	3.163	0.075
	Perimetro	1	2.325	0.127
	Altitud	1	0.006	0.934
	Orientación	7	3.171	0.868

#### V.4 Crecimiento

El crecimiento del culmen fue significativamente diferente entre años. En 2004 la tasa de crecimiento fue mayor que en 2007 ( $P < 0.001$ ). Además, los pollos de la temporada 2004 llegaron a la asíntota de crecimiento a edad más temprana que los pollos de 2007. El crecimiento de la ulna exhibió diferencias significativas: en 2004 la tasa de crecimiento fue menor que en 2007 ( $P < 0.001$ ). Los pollos de la temporada 2007 alcanzaron la asíntota de crecimiento de ulna, nueve días antes que los pollos de 2004, el crecimiento del tarso no mostró diferencias significativas entre años. Los pollos alcanzaron la medida asíntótica de longitud de tarso a los 48 días de edad en las dos temporadas ( $P = 0.06$ ). La diferencia más notable se observó en la masa. En 2004 la

asíntota fue de 739.57 g mientras que en 2007 fue de 641.7 g ( $P < 0.001$ ). En 2004 se alcanzó la asíntota de crecimiento dos días antes que en 2007 (Figura 3, Tabla V y VI).

Tabla V. Parámetros de crecimiento de los pollos con el modelo logístico,  $k$  = tasa de crecimiento y la edad en la que ocurrió, en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

		Asintota						
	Año	(cm)	$k$	Edad	$R^2$	gl	$t$ -student	p
Culmen	2004	53.55	0.070	82	0.980	712	-5.746	<b>&lt;0.001</b>
	2007	53.78	0.064	86	0.950			
Ulna	2004	106.79	0.089	56	0.987	712	-23.081	<b>&lt;0.001</b>
	2007	108.78	0.096	60	0.958			
Tarso	2004	27.42	0.095	48	0.908	712	1.887	0.0595
	2007	27.29	0.106	48	0.870			
Masa	2004	739.57	0.102	76	0.954	712	1180.394	<b>&lt;0.001</b>
	2007	641.7	0.099	78	0.793			

Tabla VI. Prueba de diferencias de coeficientes de dos poblaciones entre el crecimiento (usando la asíntota) de los pollos de la temporada 2004 y los pollos de la temporada 2007. C = Culmen, U = Ulna, T = Tarso, M = Masa, 04 = 2004 y 07 = 2007, en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

		$R^2$	$t$	$gl$	$t_c$	P
Culmen	2004	0.980	-5.746	712	1.963	<b>&lt; 0.001</b>
	2007	0.950				
Ulna	2004	0.987	-23.081	712	1.963	<b>&lt; 0.001</b>
	2007	0.958				
Tarso	2004	0.908	1.887	712	1.963	0.0595
	2007	0.870				
Masa	2004	0.954	1180.394	712	1.963	<b>&lt; 0.001</b>
	2007	0.793				

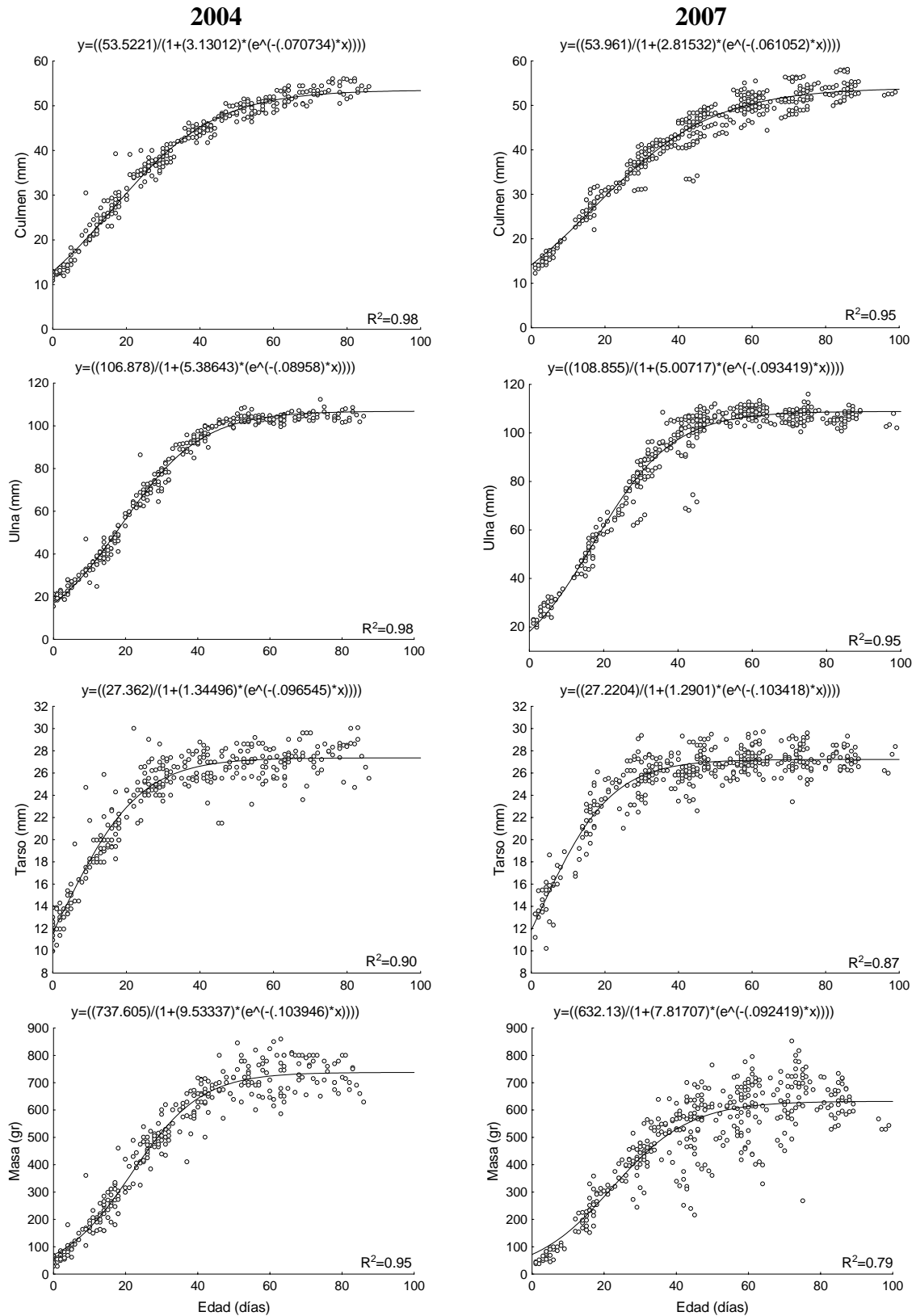


Figura 3. Edad y crecimiento de los pollos en las temporadas 2004 y 2007 en isla Farallón de San Ignacio (Ecuación de crecimiento logístico).

### V.5 Condición corporal de los pollos

No hubo diferencias en la condición corporal de los pollos que llegaron a volantón en 2004 y los que murieron en el mismo año. La relación entre culmen y masa de los pollos que llegaron a volantón en 2004 ( $R^2 = 0.8987$ , ecuación  $17.47x - 175.61$ ) y de los pollos que murieron ese mismo año ( $R^2 = 0.9808$ , ecuación,  $17.393x - 176.19$ ) no mostraron diferencias en la pendiente de la recta,  $P = 0.800304$  (Figura 4).

En los pollos de la temporada 2007 si hubo diferencias significativas en la condición corporal de los pollos que llegaron a la etapa de volantón y la de los pollos que murieron. La pendiente de la regresión culmen-masa de los pollos que llegaron a volantón ( $R^2 = 0.8606$ , ecuación  $15.508x - 158.22$ ) fue mayor que la de los pollos que murieron durante la temporada ( $R^2 = 0.6419$ , ecuación  $10.931x - 64.398$ ;  $P < 0.001$ ; Figura 7 A y Tabla VI). La pendiente ulna-masa en los pollos que llegaron a volantón ( $R^2 = 0.8632$ , ecuación  $6.9502x - 122.98$ ) también fue mayor a la los pollos que murieron ( $R^2 = 0.7444$ , ecuación  $4.2962x - 5.6937$ ;  $P < 0.001$ ; Figura 5).

Hubo diferencias significativas entre años en la condición corporal de los pollos. Las pendientes de las rectas culmen-masa y ulna-masa fueron significativamente mayores en 2004 ( $P < 0.001$  en ambos casos; Figura 4 y 5).

### V.6 Dieta

La dieta obtenida de los regurgitados de los pollos y de algunos adultos mostró que cada temporada *Phaethon aethereus* alimentó a los pollos con ocho especies, aunque solo cinco especies fueron comunes a ambos años (Tabla VII). Las proporciones de presas consumidas por *Phaethon aethereus* fueron diferentes en ambos años ( $X^2 = 22.07151$ , Valor crítico = 20.483177 y  $P = 0.014744$ ), aunque tuvieron la misma dieta en los dos primeros lugares.

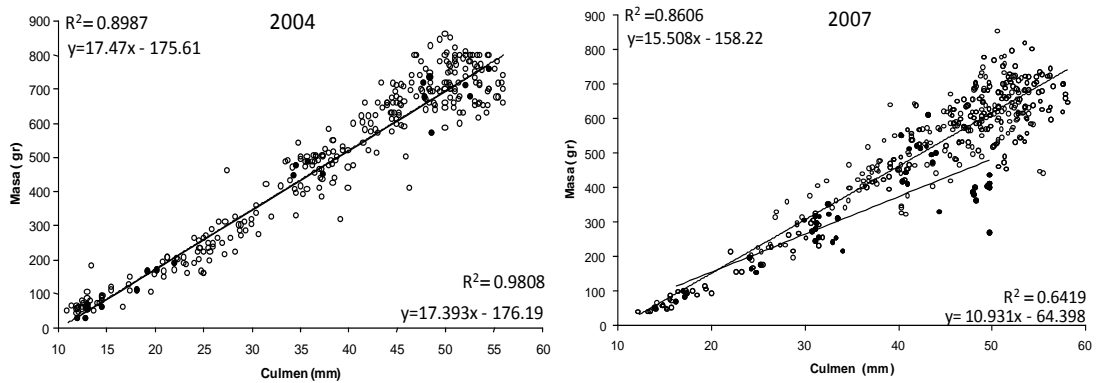


Figura 4. Relación masa-longitud (culmen-masa) de los pollos de *Phaethon aethereus* que llegaron a la etapa de volantón (círculos abiertos) y de los que murieron (círculos cerrados) en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio. En ambos casos se muestra la línea de ajuste.

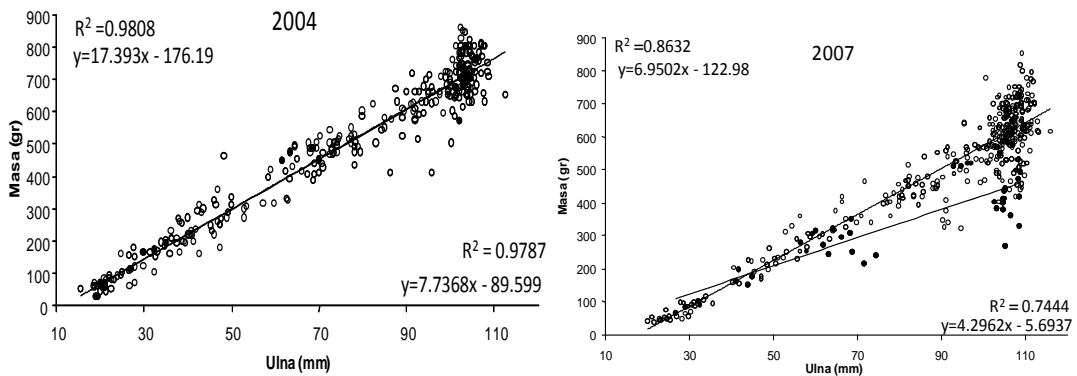


Figura 5. Relación masa-longitud (ulna-masa) de los pollos que llegaron a la etapa de volantón (círculos abiertos) y de los que murieron (círculos cerrados) en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio. En ambos casos se muestra la línea de ajuste.



Tabla VII. Especies de las que se alimento *Phaethon aethereus* en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

Especies	Número de presas	
	2004	2007
<i>Fodiator acutus rostratus</i>	20	13
<i>Hemiramphus saltator</i>	1	6
<i>Loliolopsis diomedea</i>	13	8
<i>Pleuroncodes planipes</i>	5	3
<i>Scomber australasicus</i>	6	2
<i>Hirundichthys rondeletii</i>	1	0
<i>Oligoplites refulgens</i>	2	0
<i>Parexocoetus brachypterus</i>	1	0
<i>Decapterus macarellus</i>	0	8
<i>Gerres sp</i>	0	1
<i>Opisthonema libertate</i>	0	2

### V.7 Influencia de la fecha de puesta, año y cuidado parental en el éxito reproductivo.

En Farallón de San Ignacio el éxito de eclosión fue afectado por el año y por el índice de cuidado parental. La fecha de puesta no tuvo un efecto significativo en el éxito de eclosión (Tabla VIII y Figuras 6 y 7). El índice de cuidado parental fue un buen predictor de la probabilidad de éxito de eclosión. Así, los nidos con padres que dedicaron más tiempo al cuidado de los nidos tuvieron mayor probabilidad de eclosión (Figura 6). En 2004 la probabilidad de éxito fue mayor que en 2007 (Figura 7).

El éxito de volantón fue afectado solo por el cuidado parental. Ni el año ni la fecha de puesta tuvieron un efecto significativo (Tabla IX y Figura 8).

Tabla VIII. Modelo lineal mixto, con variable dependiente binomial; relación entre el éxito de eclosión de los huevos de *Phaethon aethereus* en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

	<i>GL</i>	<i>f</i>	P
Intecepto	1	8.421	0.003
Fecha de puesta	1	3.744	0.052
Índice de cuidado parental	1	6.882	<b>0.008</b>
Año	1	4.811	<b>0.028</b>

Tabla IX. Modelo lineal mixto, con variable dependiente binomial; relación entre el éxito a volantón de los pollos de *Phaethon aethereus* en las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

	<i>GL</i>	<i>f</i>	P
Intecepto	1	1.320	0.250585
Fecha de puesta	1	3.148	0.075977
<b>Índice de cuidado parental</b>	1	9.082	<b>0.002</b>
Año	1	0.007	0.933

### V.8 Profundidad máxima de buceo

En 2004 los adultos de *Phaethon aethereus* registraron buceos significativamente más someros (n=23, media de 0.96 m  $\pm$  0.66 DE) que 2007 (n= 12, media de 2.09 m  $\pm$  0.96 DE, t=4.1, P<0.001) (Figura 6).

### V.9 Incremento de masa de los pollos

En la temporada 2007 hubo un claro aumento en la masa de alimento transferida a los pollos a lo largo las primeras 6 semanas de edad, ( $R^2=0.8135$ , ecuación de la curva

$Y = -1.0267x^2 + 17.193x - 5.9259$ ). La semana 7 mostró el máximo de incremento ( $71.62 \text{ gr} \pm 6.81 \text{ EE}$ ). Las semanas 8 y 9, ya muestran incremento de masa, y a partir de la semana 10 empezó a mostrarse un decremento en la masa de alimento transferida a los pollos, siendo las semanas 13 y 14 las que mostraron el menor incremento ( $35.73 \text{ gr} \pm 7.87 \text{ EE}$ ; Figura 7).

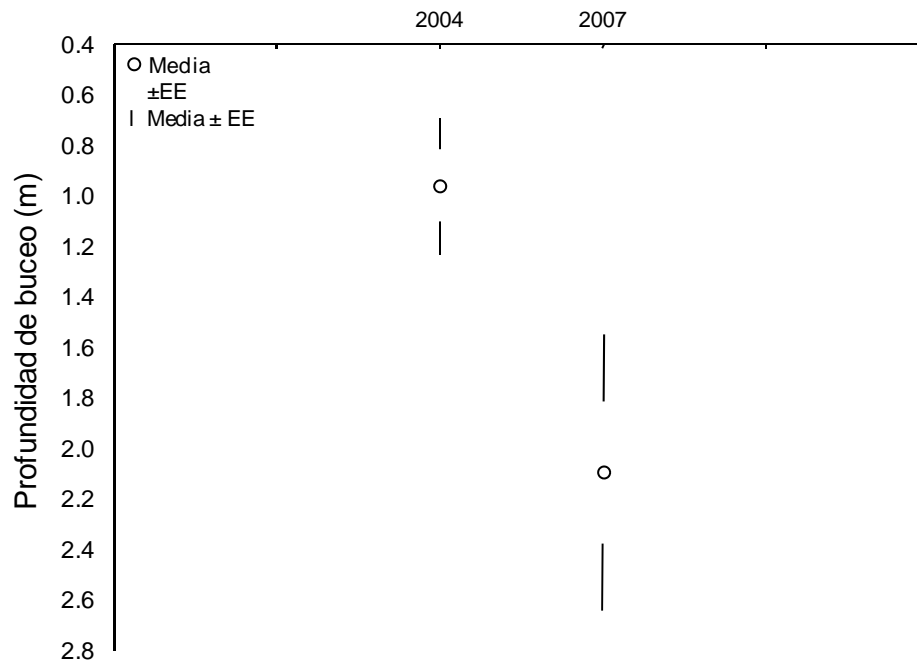


Figura 6. Profundidad máxima de buceo en los adultos de *Phaethon aethereus* durante su temporada reproductiva en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

## V.10 Temperatura Superficial del Mar

En la temporada 2004 la temperatura superficial del mar fue menor que en 2007. Durante los meses de agosto a febrero, a partir de abril, las condiciones cambiaron, y la temperatura superficial del mar empezó a aumentar, siendo la temporada 2004 más caliente que la temporada 2007 (Fig. 8).

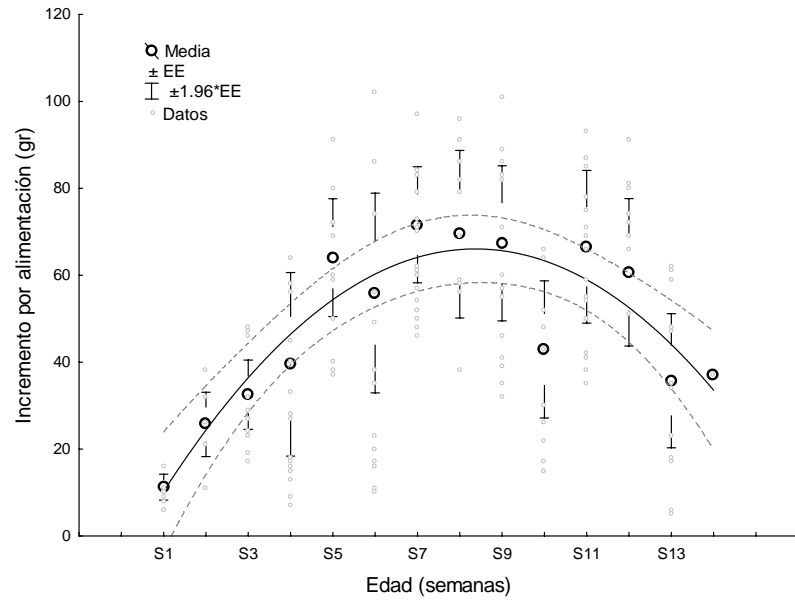


Figura 7. Incremento de la masa de los pollos de *Phaethon aethereus*, pesados en dos ocasiones por visita (mañana y tarde) durante la temporada 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

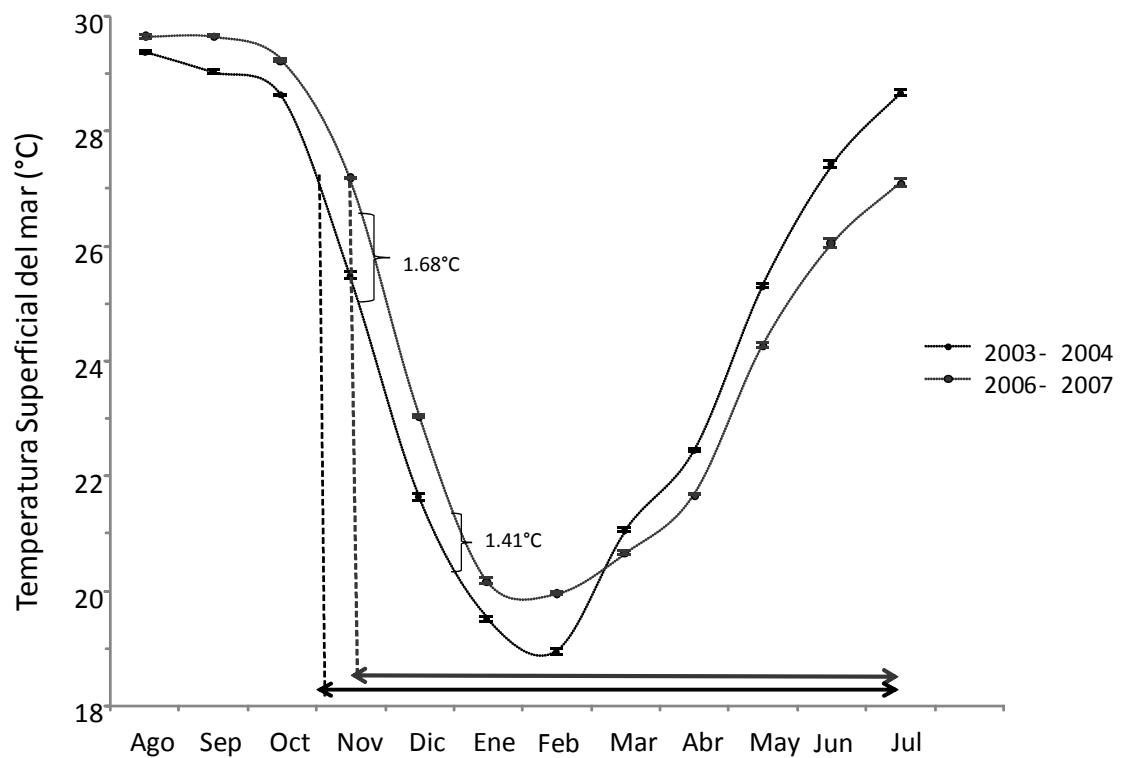


Figura 8. Promedio mensual de la temperatura superficial del mar de las temporadas 2004 y 2007 en Farallón de San Ignacio, Sinaloa.

## VI. DISCUSIÓN

### VI.1 Cronología

La colonia de *Phaethon aethereus* establecida en la isla Farallón de San Ignacio inició su temporada reproductiva aproximadamente a mediados de octubre y terminó entre mayo y junio, cuando los pollos abandonaron los nidos. Al igual que en isla Chañaral, Chile, y en la Isla Plaza Sur, Islas Galápagos (Yerco *et al.*, 1994; Snow, 1965), la temporada reproductiva tuvo una sincronía baja y abarcó los meses de octubre-junio. Sin embargo, esto fue muy diferente a lo observado en Isla Ascensión, en el sur del Atlántico (Stonehouse, 1962) e Isla Daphne, islas Galápagos (Snow, 1965), en donde la especie anida todo el año. Los cambios estacionales pueden favorecer a especies de peces de los cuales se alimenta *Phaethon rubricauda* y permitirle anidar en verano (Le corre, 2001), lo que sucede en isla Daphne (Harris, 1969). En el sur del Golfo de California el verano es muy caliente y con poca productividad primaria, mientras que en el invierno se desarrollan surgencias en la costa Este, debido a viento, mismas que promueven un florecimiento de las comunidades de fitoplancton y, como consecuencia, una mayor productividad biológica en general (Álvarez-Borrego, 2002). De esta manera, la temporada reproductiva en Farallón de San Ignacio parece estar delimitada por las condiciones climáticas y oceanográficas a lo largo del año.

#### VI.1.1 Fecha de puesta

En algunas especies, la fecha de puesta está relacionada con la temperatura superficial del mar (Diamond, 2003; Lee *et al.*, 2007), ya que las condiciones oceanográficas pueden hacer variar la disponibilidad de alimento (Olsson, 1997; Vlietstra *et al.*, 2005). Las aves ajustan su fecha de puesta dependiendo de las condiciones climáticas y el retraso en la fecha de puesta y las diferencias en la reproducción se aceptan como evidencia de una carencia de alimento en las zonas de forrajeo usadas antes y durante el periodo reproductivo (Inchausti *et al.*, 2003; Abraham y Sydeman, 2004; Buber *et al.*, 2004; Ritz *et al.*, 2005). En Farallón de San Ignacio, la fecha de inicio de puesta fue ligeramente diferente en los dos años de estudio. En 2004 la puesta inició a principios de noviembre, mientras que en 2007 lo hizo a mediados de

octubre. Esto puede reflejar diferencias en las condiciones ambientales durante los dos años, como sucede con *Phaethon rubricauda*, que comienza a anidar cuando la temperatura superficial del mar se encuentra entre los 26 y los 28 grados centígrados (Le Corre, 2001; Prys-Jones y Peet, 1980) y existe una buena cantidad de alimento para alimentar a los pollos (Harris, 1969). *Phaethon aethereus* coincide con esta temperatura para empezar a anidar, por lo que el desfase en la fecha de puesta en ambos años puede estar relacionado con diferencias en la temperatura superficial del mar, y/o en la disponibilidad de alimento.

### **VI.1.2 Muerte de pollos**

Los cambios en la temperatura pueden conducir a un cambio en la composición del plancton y en la abundancia o la composición de especies de la comunidad de peces, afectando a depredadores como las aves marinas (Frederiksen *et al.*, 2006; Mills *et al.*, 2007). El fracaso en el éxito reproductivo, o muerte de los pollos en cierta época del año, está relacionado con la falta de alimento o con el bajo nivel energético que empiezan a proporcionarles los adultos (Wanlees *et al.*, 2005). Dependiendo de las condiciones puede fracasar toda la colonia, o morir solo algunos pollos (Buber *et al.*, 2004).

En la temporada 2004 se registraron 7 muertes de pollos en el mes de marzo, coincidiendo con el aumento de la temperatura superficial del mar, mientras que en la temporada 2007 las muertes se registraron de febrero a marzo, lo que sugiere que las condiciones climáticas fueron mejores en 2004, con una temperatura superficial del mar más fría. Las muertes registradas en el mes de marzo pueden haberse debido al aumento en la temperatura superficial del mar, y una consecuente reducción en la disponibilidad de alimento, que obligó a los padres a invertir más tiempo en forrajeo y menos tiempo en cuidado parental. Este menor tiempo de cuidado parental deja a los pollos más tiempo expuestos a las condiciones climáticas y a la depredación por ratas introducidas que se encontraban en la isla. En 2007, con muertes de pollos de febrero a mayo, se habría presentado antes esta mayor necesidad de forrajeo y reducción en el tiempo de atención. Esto indica que la especie tiene una flexibilidad y que puede responder a la

variabilidad ambiental que se presenta año con año en el Golfo de California, aunque hay costos muy claros en la sobre vivencia de los pollos.

## **VI.2 Características de nidos**

Las aves que nidifican en cavidades pueden dividirse en dos grupos: las especies excavadoras que construyen sus propios nidos y que tienen control para seleccionar lugares de buena calidad, y las no excavadoras, que seleccionan cavidades pre existentes, lo que las hace tener un menor control de la ubicación del nido y de factores de calidad del mismo (Eberhard 2002). Estos factores de calidad pueden ser disponibilidad de material para la construcción del nido (Catsadorakis y Crivelli, 2001) o, como en el caso de *Phaethon aethereus*, de cavidades existentes que protejan a los huevos y pollos de la condiciones climáticas y de depredadores. Una buena elección del sitio de anidación tiene efectos en el éxito reproductivo de aves marinas coloniales (Childress y Bennun, 2000; Piper *et al.*, 2008), hecho que esta relacionado también con la abundancia de depredadores y con el comportamiento de las parejas reproductoras (Good, 2002). *Phaethon aethereus* utilizó cavidades existentes que variaban en altitud, largo y ancho de la entrada, perímetro y orientación. En ninguna de las dos temporadas, estas características tuvieron un efecto significativo sobre el éxito de eclosión y el éxito a volantón.

En la familia Phaethonidae es poco frecuente el fracaso de los nidos por depredación (Ricklefs y Schreiber, 1983). Sin embargo, cuando existe, este está relacionado por disputas por cavidades que pueden tener mejor calidad o por la falta de las mismas (Stonehouse, 1962; Snow, 1965; Harris, 1969; Ricklefs y Schreiber, 1983; Schaffner 1991). En Farallón de San Ignacio, no se registraron encuentros o disputas, y no hubo nidos que fracasaran por esta razón. Por lo tanto, en la isla, existen suficientes cavidades, que reúnen las características adecuadas para la anidación de la especie y que son más que el número de parejas que anidan. Por esta razón, no hubo un efecto significativo de las características del nido sobre el éxito de eclosión y el éxito de volantón.

## **VI.3 Crecimiento**

### **VI.3.1 Curva de crecimiento**

Los patrones de crecimiento de algunas estructuras en un tiempo determinado se han usado para estudiar los cambios que ocurren en una temporada, o los cambios que suceden en algunos años con condiciones diferentes a los “normales”. Existen tres ecuaciones para describir dicho crecimiento: logística, de Gompertz y de Von Bertalanffy (Ricklefs, 1968). En aves marinas, se ha usado más la ecuación de crecimiento logístico, porque es la que se ajusta mejor a su crecimiento (Brown *et al.*, 2007). Por ejemplo, Emms y Verbeer (1991) la usaron con *Cepphus columba*, Gray *et al.* (2005) con *Puffinus puffinus* y Mabile *et al.* (2004) con *Diomedea exulans*. Durante el presente estudio sobre *Phaethon aethereus* se compararon las ecuaciones logística y de Gompertz, con base en el crecimiento de culmen, ulna y masa, en los dos años de estudio, y la ecuación logística tuvo un mejor ajuste. Por ello, se usó para analizar las diferencias entre los dos años de estudio.

### **VI.3.2 Factores de crecimiento**

Muchas familias de aves marinas pelágicas tienen tasas de crecimiento lento y, por lo contrario, este tiende a ser un poco más rápido en familias que se alimentan muy cerca de la costa (Viseer, 2002). Sin embargo, el crecimiento de los pollos no solo depende de esta característica, sino que está relacionado también con la abundancia y la disponibilidad de presas en el ambiente marino donde forrajejan los adultos (Peck y Congdon, 2005; Furness, 2007), de manera que, la falta de alimento puede retardar el crecimiento de los pollos (Gremillet, 2004). En algunos casos, esta variación en abundancia y disponibilidad de alimento está relacionada con los cambios y variaciones en el ambiente marino que ocurren durante la temporada reproductiva o entre temporadas (Erwin y Congdon, 2007), por lo que el crecimiento puede ser variable entre años (Huin y Prince, 2000). Quillfeldt *et al.* (2007) encontraron que *Pachyptila belcheri* alcanza la asíntota de crecimiento más rápido cuando hay una mayor disponibilidad de alimento. Por lo contrario, cuando hay poco alimento disponible y las aves cambian a presas que no contienen la misma calidad energética que sus presas habituales, el



crecimiento de los pollos tiende a retardarse (Golet *et al.*, 2000; Gray *et al.*, 2005; Hedd *et al.*, 2006).

En el Farallón de San Ignacio, *Phaethon aethereus* tuvo un crecimiento diferente en las dos temporadas, a excepción del tarso, que creció igual en ambas temporadas. Esto se puede deber a que esta estructura está más influenciada por la condición nutricional de la hembra durante la formación del huevo, más que por la cantidad y calidad de alimento suministradas a los pollos, comparado con el que invierten en las otras estructuras medidas. Los pollos alcanzaron las asíntotas del crecimiento de culmen y de la masa más rápido en 2004, que en 2007. Este crecimiento se puede deber a las condiciones climáticas existentes, ya que en 2007 la temperatura superficial del mar fue superior a 2004, presumiblemente afectando la abundancia, disponibilidad y calidad del alimento. Ellos haría que el crecimiento de culmen y masa fueran menores, y el de ulna más rápido, como estrategia para salir más pronto del nido. Así, los pollos de 2007 alcanzan la asíntota de crecimiento de ulna 9 días antes que en 2004, aunque salieron del nido con una masa inferior.

#### **VI.4 Condición corporal**

La variabilidad en las condiciones climáticas en el océano pueden explicar la variación en la condición corporal de las adultos (Bertram *et al.*, 2001), los que ajustan sus reservas energéticas a esta variabilidad, para la entrega y cantidad de alimento suministrada a sus pollos (Gaston y Hipfner, 2006). En algunos años los pollos deben de aguantar condiciones desfavorables y una alta variabilidad en el aprovisionamiento por parte de los padres (Mabille, 2004), los que se refleja en su condición corporal (Davis *et al.* 2005; Peck y Congdon, 2006). Los pollos que murieron, en 2007 tenían una condición corporal más pobre que los pollos que sobrevivieron.

En 2004, los pollos en general, tuvieron una buena condición corporal, reflejo de las condiciones ambientales, pero no así los pollos de *Phaethon aethereus* en 2007, cuando tuvieron una condición significativamente menor a la de los pollos de 2004. Kitaysky *et al.* (2006) y Hedd *et al.* (2002), sugirieron que la disminución del alimento o su baja disponibilidad, dan como resultado pollos con una pobre condición corporal, por lo que la condición corporal de los pollos y de los adultos puede reflejar las

condiciones que existen en el ambiente marino durante una temporada (Jonson, 2007). La temporada 2004 fue más fría que la temporada 2007, y presumiblemente habría más alimento disponible, lo que puede explicar por que la condición corporal de los pollos en la primera 2004 (tanto de los pollos que sobrevivieron como de los que murieron) fue superior a la de los pollos que sobrevivieron en la temporada 2007.

## VI.5 Dieta

Existe poca información acerca de la especies de presas de las que se alimenta la familia Phaethonidae, y generalmente se mencionan solo 4 familias, siendo la familia Exocoetidae la más comúnmente reportada como importante. En algunos casos, se ha indicado que la dieta de esta familia consiste solo de calamares, sin especificar la familia taxonómica de éstos (Sthonehouse, 1969; Schaffner, 1990; Le Corre, 1997; Le Corre, 2001; Ramos y Pacheco, 2003, tabla X). Algunas características oceanográficas, como surgencias, giros, vientos, anomalías como el niño y los de la temperatura superficial del mar, influyen en la distribución y abundancia de presas (Vliestra *et al.*, 2005). Las especies de la familia Phaethonidae, al igual que los miembros de otra familias de aves pelágicas, forrajean en áreas muy grandes y en condiciones de baja disponibilidad de alimento en la superficie, con un esfuerzo de forrajeo mayor que el de las aves de forrajeo costero (Schaffner, 1990).

En Farallón de San Ignacio se encontró que *Phaethon aethereus* se alimentaba de por lo menos 8 familias, y que esto variaba de acuerdo con las condiciones oceanográficas de la temporada. En 2004, *Phaethon aethereus* se alimento de 8 especies pertenecientes a 6 familias, siendo la familia Exocoetidae la más importante, coincidiendo con otros estudios (tabla X), mientras que en 2007 se alimentó de 8 especies que pertenecían a familias diferentes cada, ocupando la familia Exocoetidae un mismo lugar de importancia que la familia Hemiramphidae.

Tabla X. Familias de recursos marinos de las cuales se alimenta la familia Phaethonidae en diferentes regiones.

Autor	Año	Familia	Lugar
Sthonehouse	1969	<i>Exocoetidae</i> Calamares	Asension Island
Schaffner	1990	<i>Exocoetidae</i> Calamares	Cayo Luis Peña, Puerto Rico
Le Corre	1997	<i>Exocoetidae</i> <i>Scombridae</i> <i>loliginidae</i>	Europa Island, Mozambique
Le Corre	2001	<i>Exocoetidae</i> <i>Coryphanidae</i>	Europa Island, Mozambique
Ramos y Pacheco	2003	<i>Exocoetidae</i> <i>Mullidae</i>	Aride Island, Seychelles

Cuando existen condiciones ambientales pobres y una densidad muy baja de las presas comunes, las aves marinas pelágicas pueden aumentar su esfuerzo de forrajeo o cambiar de presas para alimentar a sus pollos, aunque estas no tengan la misma calidad energética que las presas habituales (Listón y Piatt, 2003 y Croll *et al.*, 2006). Esto se puede ver en *Phaethon aethereus*, ya que en una temporada buena (2004) sus presas principales fueron *Fodiator acutus*, *Loliolopsis diomedae* y *Scomber australasicus*, y en una temporada con condiciones adversas (2007) consumió *Fodiator acutus*, *Loliolopsis diomedae*, aunque estas presas fueron consumidas en una menor proporción y *Decapterus macarellus* que no fue consumida en 2004 pero que en 2007 ocupó el segundo lugar en importancia. Esto sugiere que cuando existe poca disponibilidad de alimento *Phaethon aethereus* cambia su dieta hacia otras especies que estén disponibles en el medio.

## VI.6 Cuidado parental

Los parámetros de atención al nido por parte de los adultos también se pueden reflejar en la alimentación, crecimiento y condición corporal y el éxito de los pollos. Por su dependencia de la provisión de alimentos a los pollos, la duración de los adultos fuera del nido se ha utilizado como medida de la disponibilidad de alimento (Harris

1969, Schreiber 1994 y Regehr y Montevechi 1997). En aves marinas, la permanencia de un mayor tiempo de los padres en el nido puede ser un indicador directo del tiempo libre de forrajeo que disponen los adultos; es decir, de una mayor disponibilidad de alimento (Harris, 1969 y Litzow y Piatt, 2003). Cuando el alimento es escaso, los padres aumentan su área de forrajeo en busca de presas y pasan menos tiempo atendiendo o cuidando a sus pollos (Schreiber 1994). El crecimiento y la sobrevivencia de los pollos está determinado por el cuidado parental (Nisbet 1995, Gray *et al.* 2005). Harris (1969) observó que los adultos de *P. aethereus* en Isla Plaza pasaban un tiempo mayor con los pollos que los adultos de Isla Ascensión, y sugirió que esto podía estar asociado con el tiempo requerido por los adultos para la obtención del alimento.

En Farallón de San Ignacio, el éxito de eclosión y volantones fue afectado tanto por la calidad del año, como por el índice de cuidado parental, ambos de los cuales mostraron diferencias significativas entre años. En 2004, el cuidado parental fue mayor, por lo tanto se podría interpretar que había más presas disponibles en el ambiente marino. Esta impresión se ve reforzada con las diferencias en dieta, crecimiento y condición corporal de los pollos, en relación con la temporada 2007.

## **VI.7 Depredación**

La invasión de depredadores no nativos a islas puede tener efectos dramáticos en los ecosistemas insulares. Las ratas pueden matar a adultos de aves pequeñas y también depredar huevos y pollos (Morrel y Aquilani, 2000; Atkinson, 2001; Caut *et al.*, 2008). Las aves marinas no son la excepción. Drever *et al.* (2004) encontró que la abundancia de las ratas estaba relacionada inversamente con la abundancia de nidos de aves marinas y, por medio de análisis de isótopos estables, demostró que el principal alimento de las ratas eran pollos. En Isla Sorpresa, New Caledonia, Caut *et al.* (2008) reportaron que las ratas depredaban los huevos de *Sula leucogaster*, pero no los de *Sula dactylatra* por que los adultos de esta especie defiende de una manera mas agresiva a sus huevos y pollos. En contraste, *Phaethon lepturus* es muy vulnerable a la depredación por ratas (Le Corre, 2001).

En la Isla Farallón de San Ignacio, el monitoreo de las posibles causas del fracaso de los nidos durante las dos temporadas reproductivas, mediante la observación de

excretas de ratas dentro de los nidos, y, en 2007, una cámara con sensor de movimiento, permitió detectar la entrada ocasional de ratas (*Rattus rattus*) a los mismos durante la noche. Se puede suponer que el fracaso de huevos y pollos es debido a la depredación por ratas. Es posible sugerir que los 7 pollos que murieron en marzo 2004, teniendo una buena condición corporal, posiblemente fueron depredados por ratas, cuando la temperatura superficial del mar aumentó, obligando a los padres a dejar huevos y pollos más tiempo solos. Como en 2007, bajo condiciones aparentemente más adversas, el índice de cuidado parental fue mucho menor durante toda la temporada y hubo pollos depredados desde febrero hasta mayo.

### **VI.8 Profundidad de Buceo**

Las aves marinas exhiben una variedad de técnicas de buceo que parecen estar relacionadas con la explotación de su ambiente (Garthe *et al.*, 2000). Dichas técnicas incluyen el buceo activo, caracterizado por la persecución de presas (como en pingüinos y alcidos), el buceo a propulsión con las patas (como en cormoranes y patos) y el buceo de caída (Shealer 2002). La familia Phaethonidae son aves pelágicas buceadoras de caída libre que forrajean en solitario (Schreiber y Clapp, 1987; Le Corre, 1997). Este tipo de alimentación limita la capacidad de buceo, pues la profundidad que alcanzan depende principalmente de la inercia obtenida durante la caída. Las aves con este tipo de estrategia pueden explotar solo los primeros metros de la columna de agua (Ashmole, 1971). En Isla Europa, Mozambique, el 90% de los adultos de *Phaethon rubricauda* bucearon en los primeros 4 metros de la columna de agua, sugiriendo que esta especie era buceadora de caída que obtenía sus presas muy cerca de la superficie (Le Corre, 1997). En Isla Farallón de San Ignacio, *Phaethon aethereus* utilizó regularmente solo los primeros tres metros de la columna de agua. Sin embargo, la profundidad máxima de buceo mostró diferencias significativas entre años: más somera en 2004 (n=23, media=0.96 m  $\pm$  0.66 DE) que en 2007 (n=12, 2.09  $\pm$  0.96). Disminuciones en la disponibilidad de alimento se pueden deber a cambios en las condiciones climáticas o a cambios estacionales (Kytaysky, 2006; Johnson 2007). *Phaethon rubricauda* cambia de dieta de acuerdo con los cambios estacionales, y esto está relacionado con el cambio de dieta de esta especie (Le Corre, 2001). La dieta de

*Phaethon aethereus* tuvo algunas diferencias en las presas que la conformaban, entre las dos temporadas estudiadas, que, al igual que la profundidad máxima de buceo respaldan la impresión de que las condiciones oceanográficas eran mucho mejores en 2004.

### **VI.9 Incremento de masa en los pollos**

Los resultados de otros trabajos con aves marinas pelágicas muestran resultados similares a los obtenidos con *Phaethon aethereus* en el Farallón de San Ignacio, ya que los adultos empiezan a darles a los pollos pequeñas cantidades de alimento, cuando están chicos, conforme van creciendo, la cantidad de alimento suministrada va aumentando, pero se llega a una edad donde los adultos empiezan a disminuir el suministro de alimento hasta que los pollos abandonan el nido. Ricklefs (1984), no toma en cuenta la pérdida de masa por respiración y excreción, pero otros trabajos si lo hacen, obteniendo el mismo resultado (Bolton, 1995; Hamer y Hill, 1997; Hamer *et al.*, 1999; Phillips y Hamer, 2000). Con *P. aethereus* no se tomo en cuenta la pérdida de masa por respiración y excreción y se obtuvieron los mismos resultados (Fig. 7).

En el periodo de pre-volantón de algunas aves marinas como los petreles hay una fase de descenso de masa corporal, debido al poco alimento entregado por lo padres (Mauk y Ricklefs, 2005; Castillo-Guerrero y Mellink, 2006), En *Phaethon rubricauda* y *P. lepturus* se observa un patrón similar. Dos semanas antes de la salida de los nidos ocurre un descenso drástico en la masa de los pollos, debido a que los padres dejan administrar la misma cantidad de alimento. Después restituyen el suministro de alimento la cual y poco a poco lo disminuyen hasta que los pollos abandonan el nido (Schreiber, 1994; Ramos y Pacheco 2003). *Phaethon aethereus* mostró un patrón de cambio de masa concordante con este modelo (Fig. 7).

### **VI.10 Síntesis**

En resumen, la sincronía para anidar de las aves marinas esta influenciada por los cambios en el clima y de algunas anomalías que afectan la disponibilidad de alimento, lo que hace que la fecha de puesta varíe entre años (Jones *et al.*, 2003; Ramos *et al.*, 2004; Forcada *et al.*, 2006). Esta disponibilidad y abundancia del alimento puede

influenciar las estrategias de forrajeo de los padres, como lo son la profundidad de buceo, la cantidad de veces que alimentan a los pollos y la duración del cuidado parental (Baduini, 2002; Oswald *et al.*, 2008), y se ven reflejadas en el crecimiento y condición corporal de los pollos (Clark *et al.*, 1990; Ward *et al.*, 2005).

*Phaethon aethereus* exhibió una pequeña variación en la fecha de puesta entre los años 2004 y 2007, posiblemente debido a diferencias en la temperatura superficial del mar. 2007 fue un año más caliente, por lo que la disponibilidad de presas presumiblemente fue menor, lo que se vio reflejado en las estrategias de forrajeo de *Phaethon aethereus*, que cambió su dieta, aumentó su esfuerzo de forrajeo, buceando más profundo, y disminuyó el cuidado parental. Al haber menos alimento, los pollos mostraron una condición corporal peor y un crecimiento más lento en 2007 que en 2004. Esta disminución en el cuidado parental influyó en la muerte de los pollos por inanición (2007) y la depredación por ratas, en ambos años. Al igual que algunas aves marinas pelágicas, los pollos de *Phaethon aethereus* tuvieron una disminución de masa corporal días antes de abandonar el nido.

## VII. CONCLUSIONES

Del presente trabajo se concluye que:

- La temporada reproductiva de *P. aethereus* abarcó los meses de Octubre a Junio y esta delimitada por las condiciones climáticas y oceanográficas a lo largo del año.
- La fecha de puesta estuvo influenciada por las condiciones oceanográficas en el sitio de nidación como la temperatura superficial del mar y la disponibilidad de alimento en la zona.
- Al igual que *Phaethon rubricauda*, la fecha de puesta coincidió con una temperatura superficial del mar entre los 26 y 28 °C.
- La muerte de los pollos estuvo relacionada con la depredación por ratas, cuando bajó el cuidado parental y por la falta de alimento, en el año con menor disponibilidad de alimento.
- Las características de los nidos no influyeron en el éxito de eclosión y de volantón. Tampoco hubo competencia entre adultos por huecos donde anidar, lo que indica que la disponibilidad de huecos era adecuada para el tamaño de la población.
- En el año más caliente, los pollos tuvieron una tasa de crecimiento más lenta y una condición corporal más pobre que en el año con agua más fría.
- En la temporada reproductiva 2007 hubo una diferencia ligera en la dieta de *Phaethon aethereus*, aparentemente debido a una baja disponibilidad de sus presas comunes, relacionada con las condiciones ambientales peores existentes ese año.
- *Phaethon aethereus* explota los primeros metros de la columna de agua, pero cuando la temperatura superficial del mar aumentó y, presumiblemente, disminuyó la disponibilidad de presas, su profundidad máxima buceo aumentó.
- El índice de cuidado parental dependió de la disponibilidad de alimento. En años con mayor disponibilidad de alimento, los padres permanecieron más tiempo en el nido que en el año con menor disponibilidad de alimento.



- La depredación de huevos y pollos estuvo relacionada con la disminución del cuidado parental de los adultos, debido al aumento de la temperatura superficial del mar y la baja disponibilidad de alimento cuando esto ocurre.
- Como algunas especies marinas pelágicas, *P. aethereus* disminuyó su aprovisionamiento de alimento a los pollos días antes de que estos abandonaran el nido.

## Referencias

- A.O.U. 1998. The A.O.U. Check-list of North American Birds. American Ornithologist's Union, Washington D.C.
- Abraham, C.L. y W.J. Sydeman. 2004. Ocean climate, euphasiids and auklet nesting: inter-annual trends and variation in phenology, diet and growth of a planktivorous seabird, *Ptychoramphus aleuticus*. *Marine Ecology Progress Series* 274:235-250.
- Adams, N.J. y C.B. Walter. 1993. Maximum diving depths of Cape Gannets. *Condor* 95:734-736.
- Ainley, D.G., R.G. Ford, E.D. Brown, R.M. Suryan e D.B. Irons, 2003. Prey resources, competition, and geographic structure of Kittiwake colonies in Princes William Sound. *Ecology* 84:709-723.
- Alvarez-Borrego, S. 2002. Physical Oceanography en a new Island biogeography in the Sea of Cortez pp. 41-69 en T.J. Case, M.L. Cody y E. Ezcurra, (eds). Oxford University Press, New York.
- Ashmole, N.P. 1971. Seabird ecology and the marine environment. Pp. 223-286 en D.S. Farner D.S. y J.R. King J.R. (eds). *Avian Biology Vol 1 Academic*, New York.
- Atkinson, I.A.E. 2001. Introduced mammals and models for restoration. *Biological Conservation* 99:81-96.
- Baduini, C.L. 2002. Parental provisioning patterns of Wedge-Tailed Shearwaters and their relation to chick body condition. *Condor* 104:823-831.
- Bertram, D.F., D.L., Mackas, S.M. McKinell 2001. The seasonal cycle revisited: interannual variation and ecosystem consequences. *Progress in Oceanography* 49:283-307.
- Bolton, M. 1995. Food delivery to nestling storm petrels: limitation or regulation. *Functional Ecology* 9:161-170.
- Bolton, M., N. Butcher, F. Sharpe, D. Stevens y G. Fisher 2007. Remote monitoring of nest using digital camera technology. *Journal of Field Ornithology* 78:213-220.
- Boulinier, T. y J-Y. Lemel. 1996. Spatial and temporal variations of factors affecting breeding habitat quality in colonial birds: some consequences for dispersal and habitat selection. *Acta Oecologica* 17:531-552.

- Brooke, M.L. 2002. Seabird systematics and distribution: a review of current knowledge. Pp 57-86. En: Burger, J. y E.A. Schreiber (Eds). *Biology of Marine birds*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Brown, W.P., P., Eggermont, V. LaRiccia y R.R. Roth. Are parametric models suitable for avian growth rates? 2007. *Journal of Avian Biology* 38:495-506.
- Buber, C., A. Kahles y P. Quillfeldt. 2004. Breeding success and chick provisioning in Wilson's storm-petrels *Oceanites oceanicus* over seven years: frequent failures due to food shortage and entombment. *Polar Biology* 27:613-622.
- Burger, A.E. y R.P. Wilson. 1988. Capillary-tube depth gauges for diving animals: an assessment of their accuracy and applicability. *Journal of Field Ornithology* 59:345 - 354.
- Cairns, D.K, 1992. Population regulations of seabirds colonies. Pp. 37 - 61 en D.M. Powder (Ed). *Current Ornithology* vol 9. Plenum. New York.
- Castillo-Guerrero, J.A. y E. Mellink. 2006. Maximum diving depth in fledging Blue-footed Boobies: Skill development and transition to independence. *Wilson Journal of Ornithology* 118: 527-531.
- Catsadorakis, G. y A.J. Crivelli. 2001. Nesting Habitat characteristics and breeding performance of Dalmatian Pelicans in Lake Mikri Prespa, NW Greece. *Waterbirds* 24:386-393.
- Caut, S., E. Angulo y F. Courchamp. 2008. Dietary shift of and invasive predator: rats, seabirds and sea turtles. *Journal of Applied Ecology* 45:428-437.
- Childress, R.B. y L.A. Bennun. 2000. Nest size location in relation to reproductive success and breeding timing of Tree-Nesting Great Cormorants. *Waterbirds* 23:500-505.
- Clark, L., R.W., Shreiber y E.A., Shreiber 1990. Pre-and post- El Niño Southern Oscillation comparison of nest sites for Red-Tailed Tropicbirds breeding in the Central Pacific Ocean. *Condor* 92:886-896.
- Croll, D.A., D.A. Demer, R.P. Hewitt, J.K. Jansen, M.E. Goebel y B.R. Tershy 2006. Effects of variability in prey abundance on reproduction and foraging in Chinstrap Penguins (*Pygoscelis antarctica*) *Journal of Zoology* 269:506-513.

Davis, S.E., R.G. Nager y R.W. Furness 2005. Food availability affects adult survival as well as breeding success of parasitic Jaegers. *Ecology* 86:1047-1056.

Dimond, A.W. 2003. Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: Ecological monitoring Machais Seal Island. *Environmental Monitoring and Assessment*. 88:153-175.

Drever, M.C. 2004. Capture Rates of Norway Rats (*Rattus norvegicus*) in a Seabird Colony: A Caveat for Investigators. *Northwestern Naturalist* 85:111-117.

Eberhard, J. R. 2002. Cavity adoption and the evolution of coloniality in cavity-nesting birds. *Condor* 102:240-247.

Emms, S.K. y N.A.M., Verbeek. 1991. Brod size, food provisioning and chick growth in the Pigeon Guillemot *Cephus Columba*. *Condor* 93:943-951.

Erwin, C.A., B.C. Congdon 2007. Day-to-day variation in sea-surface temperature reduces Sooty Tern *Sterna fuscata* foraging success on the Great Barrier Reef, Australia. *Marine Ecology Progress Series* 331:255-266.

Everett, W.T. y D.W. Anderson.1991. Status and conservation of the breeding seabirds on offshore pacific islands of Baja California and the Gulf of California. *International Council of Bird Protection Tecnical Publication* 11:115-139.

Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter, y V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico centro-oriental. FAO. Roma. 3 Vol.

Fleet, R.R. 1974. The Red-tailed Tropicbird on Kure Atoll. *Ornithological Monographs* No. 16.

Forcada, J., P.N., Trathan, K., Reid, E.J., Murphy y P., Croxall 2006. Contrasting population changes in sympatric Penguin species in association with climate change warming. *Global Change Biology* 12:411-423.

Fraser, G.S., I.L. Jones, F. M. Hunter y L. Cowen. 2004. Mate switching in Crested Auklets (*Aethia cristatella*): The role of breeding success and ornamentation. *Bird Behavior* 16:7-12.

Frederiksen, M., M. Edwards, A.J. Richardson, N.C. Halliday y S. Wanlees. 2006. From plankton to top predators: bottom-up control of a marine food web across four trophic levels. *Journal of Animal Ecology*. 75:1259-1268.

Furness, R.W. 2007. Responses of Seabirds to depletion of food fish stocks. *Journal of Ornithology* 148:247-252.

Garthe, S., S. Benvenuti y W.A. Montevecchi 2000. Pursuit plunging by Northern Gannets (*Sula bassana*) feeding on capelin (*Mollatus villosus*). *Proceedings of the Royal Society of London, Series Biological Sciences* 267:1717-1722.

Gaston, A.J. y J.M., Hipfner 2006. Adult Brunnich's Guillemots *Uria lomvia* balance body condition and investment in chick growth. *Ibis* 148:106-113.

Golet, G.H., K.J. Kuletz, D.D. Roby y D.B. Irons 2000. Adults prey affects chick growth and reproductive success in Pigeon Guillemots. *Auk* 117:82-91.

González-Bernal, M. A., E. Mellink y J. R. Fong-Mendoza. 2002. Nesting birds of Farallón de San Ignacio, Sinaloa, Mexico. *Western Birds* 33:254-257.

Good, T.P. 2002. Breeding success in the western Gull x Glaucous-Winged Gull complex: The influence of habitat and Nest-Site characteristics. *Condor* 104:353-365.

Goudie, R.I. y I.L. Jones. 2005. Feeding Behavior of Harlequin Ducks (*Histrionicus histrionicus*) Breeding in Newfoundland and Labrador: A Test of the Food Limitation Hypothesis. *Bird Behavior* 17:1-10.

Gramillet, D., G. Kuntz, F. Delbart, M. Mellet, A. Kato, J.-P. Robin, P-E Chaillon, J.-P. Gender, S.-H. Loresten y L. Maho 2004. Linking the foraging performance of a marine predator to local prey abundance. *Journal of Functional Ecology* 18:793-801.

Gray, C.M., M. de L., Brooke y K.C. Hammer. 2005. Repeatability of chick growth and food provisioning in Manx Shearwaters *Puffinus puffinus*. *Journal of Avian Biology* 36:374-379.

Green, A. J. 2001. Mass/length residuals: measures of body condition or generators of spurious results? *Ecology* 82:1473-1483.

Hamer, K.C. y J.K. Hill 1997. Nestling obesity and variability of food delivery in Manx Shearwaters, *Puffinus puffinus*. *Functional Ecology* 11:489-497.

Hamer, K.C., J.K. Hill y I. Scott 1999. Chick provisioning and parental attendance in Cory's Shearwaters: implications for nestling obesity. *Journal of Avian Biology* 30:309-315.

Harris, M.P. 1969. Factors Influencing the breeding cycle of the Red-Billed Tropicbird in the Galapagos Islands. *Ardea* 57:149-157.

Hedd, A., D.F. Bertram, J.L. Ryder e I.L. Jones 2006. Effects on interdecadal climate variability on marine trophic interactions: Rhinoceros Auklets and their fish prey. *Marine Ecology Progress Series* 309:263-278.

Hedd, A., J.L. Ryder, L.L. Cowen y D.F. Bertram 2002. Inter-annual variation in the diet, provisioning and growth of Cassin's Auklet at Triangle Island, British Columbia: responses to variation in ocean climate. *Marine Ecology Progress Series* 229:221-232.

Huin, N. y P.A. Prince 2000. Chick growth in albatrosses: curve fitting with a twist. *Journal of Avian Biology* 31:418-425.

Inchausti, P., C. Guinet, M. Koudil, J-P. Durbec, C. Barbraud, H. Weimerkirch, Y. Cherel y P. Jouventin. 2003. Inter-annual variability in the breeding performance of seabirds in relation to oceanographic anomalies that affect the Crozet and the Kerguelen sectors of the Southern Ocean. *Journal of Avian Biology* 34:170-176.

Jakob, E. M., S. D. Marshall y G. W. Uets. 1996. Estimating fitness: a comparison of body indices. *Oikos* 77:61-67.

Jones I. L. y Hunter F. M. 1993. Mutual sexual selection in a monogamous seabirds. *Nature* 362:238-239.

Jones I.L, F.M. Hunter y G. Fraser. 2000. Patterns of variation in ornaments of Crested Auklets *Aethia cristatella*. *Journal of Avian Biology* 31:119-127.

Jones I.L. y F.M. Hunter. 1998. Heterospecific mating preferences for a feather ornament in least auklets. *Behavior Ecology* 9:187-192.

Jones, J., P.J. Doran y R.T., Holmes 2003. Climate and food synchronize regional forest bird abundances. *Ecology* 84:3024-3032.

Jonhson, M.D. 2007. Measuring habitat quality: a review. *Condor* 109:489-504.

Kildaw, S.D., D.B. Irons, D.R. Nysewander y C.L. Buck, 2005. Formation and growth of new colonies: The significance of habitat quality. *Marine Ornithology* 33:49-58.

Kitaysky, A.S., E.V. Kitaiskaia, J.F. Piatt y J.C. Wingfield 2006. A mechanistic link between chick diet and decline seabirds?. *Proceedings of the Royal Society of Biology* 273:445-450.

Le Corre, M. 1997. Diving depths of two tropical pelecániformes: the Red-Tailed Tropicbird and the Red-Footed Booby. *Condor* 99:1004-1007.

Le Corre, M. 2001. Breeding season of seabirds at Europa Island (southern Mozambique Channel) in relation to seasonal changes in the marine environment. *Journal of Zoology London* 254:239-249.

Lee, D.E., N. Nur y W. Sideman. 2007. Climate and demography of the planktivorous Cassin's auklets *Ptychoramphus aleuticus* off northern California: implications for population change. *Journal of Animal Ecology* 76:337-347.

Lee, D.S. y M. Walsh-McGehee. 2000. Populations estimates, conservation concerns, and Management of Tropicbirds in the Western Atlantic. *Caribbean Journal of Science* 36:267 - 279.

Litzow, M.A. y J.F. Piatt 2003. Variance in prey abundance influences time budgets of breeding seabirds: evidence from Pigeon Guillemots *Cephus columba*. *Journal of Avian Biology* 34:54-64.

Mabille, G., O. Boutard, S.A. Shaffer, D.P. Costa y H. Weimerskirch. 2004. Growth and energy expenditure of Wandering Albatross *Diomedea exulans* chicks. *Ibis* 146:85-94.

Mailliard, J. 1923. Expedition of the California Academy of Sciences to the Gulf of California in 1921: the birds. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 12:443-456.

Maluf, L.Y. 1983. en *Island biogeography in the Sea of Cortez* (Case, T.J. y Cody M.L., Eds.). University of California Press, Berkeley.

Mauk, R.A. y R.E. Ricklefs 2005. Control of fledging age in Leach's Storm Petrel, *Oceanodroma leucorhoa*: chick development and pre-fledging mass loss.

Mcgowan, A., A.C. Broderick, S. Gore, G. Hilton, N.K. Woodfield y B.J. Godley. 2006. Breeding seabirds in the British Virgin Islands. *Endangered Species Research* 3:1-6.

Mcgowan, K. J. 2004. Introduction: The World of Birds. Pp. 1.98-1.106 en S. Podulka, R., Rohrbaugh y Booney (Eds.). Handbook of Bird Biology. Cornell Laboratory of Ornithology. Ithaca, NY.

México, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL- 2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de Flora y Fauna silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su exclusión, inclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 2002, 81 p.

Millar, J. S. y G. J. Hickling 1990. Fasting endurance and the evolution of mammalian body size. *Functional Ecology* 4:5-12.

Mills, K.L., T. Laidig, S. Ralston y W. Sydeman 2007. Diets of top predators indicate pelagic juvenile rockfish (*Sebastes* spp.) abundance in the California Current System. *Fisheries Oceanography* 16:273-283.

Morrel, T. E y S. M. Aquilani. 2000. Nest site characteristics of Red-tailed Tropicbird on Rose Atoll, American Samoa. *Journal of Field Ornithology* 71:455-459.

Morrel, T.E. y S.M. Aquilani 2000. Nest-Site characteristics of Red-Tailed Tropicbirds on Rose Atoll, American Samoa. *Journal of Field Ornithology* 71:455-459.

Nisbet, I.C., J.A. Spendelov y J.S. Hatfield 1995. Variations in growth of Roseate Tern Chicks. *Condor* 97:335-344.

NOAA Satellite and information Service, National Environmental Satellite, Data, and information Service (NESDIS). <http://rimmer.ngdc.noaa.gov/>

Ocean Color Web, NASA. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

Olsson, O. 1997. Effects of food availability on fledging condition and post-fledging survival in king penguin chicks. *Polar Biology* 18:161-165.

Oswald, S.A., S., Bearhop, R.W. Furness, B., Huntley y K.C. Hamer 2008. Heat stress in a high-latitude seabird: effects of temperature and food supply on bathing and nest attendance of great skuas *Catharacta skua*. *Journal of Avian Biology* 39:163-169.

Peck, D.R. y B.C. Congdon 2005. Colony-specific foraging behavior and co-ordinated divergence of chick development in the wedged-tailed sheawater *Puffinus pacificus*. *Marine Ecology Progress Series* 299:289-296.



Peck, D.R. y B.C. Congdon 2006. Sex-specific provisioning and diving behaviour in the Wedge-Tailed Shearwater *Puffinus pacificus*. *Journal of Avian Biology* 37:245-251.

Peñaloza, E.A. 2006. Cuidado parental y ecología de forrajeo del bobo café (*Sula leucogaster brewsteri*) en el Farallon de San Ignacio, Sinaloa, México, en la temporada reproductiva 2004. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal. 41p.

Phillips, N. J. y K. C. Hammer. 2000. Growth and provisioning strategies of Northern Fulmars *Fulmarus glacialis*. *Ibis* 122:76-81.

Piper, W.H., C. Walcott, J.N. Mager y F.J. Spilker. 2008. Nestsite selection by male Loons leads to sex-biased site familiarity. *Journal of Animal Ecology* 77:205-210.

Prys-Jones, R.P. y C. Peet. 1980. Breeding periodicity, nesting success and nest site selection among Red-Tailed Tropicbirds *Phaethon rubricauda* and *Phaethon lepturus* on Aldabra Atoll. *Ibis* 122:76-81.

Quillfeldt, P., I.J. Strange y J.F. Masello 2007. Sea surface temperatures and behavioural buffering capacity in thin-billed prions *Pachyptila belcheri*: breeding success, provisioning and chick begging. *Avian Biology* 38:298-308.

Ramos, J.A. y C. Pacheco 2003. Chick growth provisioning of surviving and nonsurviving White-Tailed Tropicbirds (*Phaethon lepturus*). *Wilson Bulletin* 115:414-422.

Ramos, J.A., A.M., Maul, J., Bowler, D., Monticelli y C., Pacheco 2004. Laying date, chick provisioning, and breeding success of lesser noddies on Aride Island, Seychelles. *Condor* 106:887-895.

Reed, J.M., E.M. Gray, D. Lewis, L.W. Oring, R. Coleman, T. Burr y P. Luscomb 1999. Growth Patterns of Hawaiian Stilt chicks. *Wilson Bulletin* 111:478-487.

Regehr, H.M. y W.A. Montevechi 1997. Interactive effects of foodshortage and predation on breeding failure of Black-Legged Kittiwakes: indirect effects of fisheries activities and implications for indicator species. *Marine Progress Series* 155:249-260.

Ricklefs, R.E. 1968. Patterns of growth in birds. *Ibis* 110:419-451.

Ricklefs, R. E. 1979. Patterns of growth in birds V: a comparative study of development in the starling, common tern, and Japanese quail. *Auk* 96:10-30.

Ricklefs, R. E. 1984. Meal sizes and feeding rates of Christmas Shearwaters and Phoenix Petrels on Christmas Island, Central Pacific Ocean. *Ornis Scandinavica* 15:16-22.

Ricklefs, R.E., y R.W. Schreiber. 1983. Nest-Site selection by the Red-Tailed Tropicbird. *Auk* 100:953-959.

Ritz, M.S., S. Hahn y P. Hans-Ulrich. 2005. Factors affecting chick growth in the South Polar Skua (*Catharacta maccormicki*): food supply, weather and hatching date. *Polar Biology* 29:53-60.

Russell, G.J., J.M. Diamond, T.M. Reed y S.L. Pimm. 2006. Breeding birds on small islands: Islands biogeographic or optimal foraging? *Journal of Animal Ecology* 75:324-339.

Schaffner, F.C. 1990. Food provisioning by White-Tailed Tropicbirds: Effects on the developmental pattern of chicks. *Ecology* 71:375-390.

Schaffner, F.C. 1991. Nest-Site selection and nesting success of White-Tailed Tropicbirds (*Phaethon lepturus*) at Cayo Luis Peña, Puerto Rico. *Auk* 108:911-922.

Schreiber, E.A. 1994. El Niño-Southern Oscillation Effects on provisioning and growth in Red-Tailed Tropicbirds. *Colonial Waterbirds* 17(2):105-119.

Schreiber, E.A. y R.B. Clapp 1987. Pelicaniform feeding ecology. Pp. 173-188 en J.P. Croxall (ed.), *Seabirds: feeding biology and role in marine ecosystem*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Schulte-Hostedde, A. I., J. S. Millar, G. J. Hickling. 2001. Evaluating body condition in small mammals. *Canadian Journal of Zoology* 79:1021-1029.

Schulte-Hostedde, A. I., B. Zinner, J. S. Millar y G. J. Hickling 2005. Restitution of mass-size residuals: validating body condition indices. *Ecology* 86:155-163.

Shealer, D.E. 2002. Foraging behavior and food of Seabirds. Pp. 137-177 en Schreiber E.A. y J. Burguer (eds.), *Biology of Marine Birds*.

Snow, D.W. 1965. The breeding of the Red-Billed Tropic Bird in the Galapagos Islands. *Condor* 67:210-214.

Speakman, J. R. 2001. introduction. Pp 1-7. En J.R. Speakman, (Eds) *Body compositions analysis of animals: a handbook of non-destructive methods*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Spears, L.B. y D.G. Ainley. 2005. At-sea distribution and abundance of tropicbirds in the eastern Pacific. *Ibis* 147:391-407.
- Sthonehouse, B. 1962. The tropicbirds (Genus *Phaethon*) of Asension Island. *Ibis* 103b:124 - 161.
- Suryan, R. M, y D.V. Irons, 2001. Colony and population dynamics of Black-legged Kittiwakes in a heterogeneous envinment. *Auk* 118:636-649.
- Suryan, R.M, D.V. Irons y J. Benson. 2000. Prey switching and variable foraging strategies of black-legged Kittiwakes and the effect on reproductive success. *Condor* 102:374-384.
- Takenaka, M., Y. Niizuma e Y. Wataniki, 2005. Resource allocation in fledglings of the rhinoceros auklet under different feeding conditions: an experiment manipulating meal size and frecueny. *Canadian Journal of Zoology* 83:1476-1485.
- Thompson, D. y Guilligan, M.R. 1983, pp 98-130 en *Island biogeography in the Sea of Cortez* (Case, T.J. y Cody M.L., Eds.) University of California Press, Berkeley.
- Viet, A.C. e I.L. Jones. 2004. Timing and patterns of growth of Red-tailed Tropicbird *Phaethon rubricauda* tail streamer ornaments. *Ibis* 146:355-359.
- Visser, G. H. 2002. Chick growth and development in seabirds. Pp 439-466 en Schreiber E. A. y Burguer J. (Eds). *Biology of marine birds*. CRC Press. Boca Raton, Fl.
- Vlietstra, L.S., K.O. Coyle, N.B. Kachel y G.L. Hunt, jr. 2005. Tidal front affects the size of prey used by a top marine predator, the Short-Tailed Sheawater (*Puffinus tenuirostris*). *Fisheries Oceanography* 14:196-211.
- Wanlees, S., M.P. Harris, P. Redman y J.R. Speakman. 2005. Low energy values of fish as a probable cause of a major seabird breeding failure in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series* 294:1-8.
- Ward, D.H., A., Reed, J.S., Sedinger, J.M., Black, D.V., Derksen y P.M., Castell 2005. North American Brant: effects of changes in habitat and climate on population dynamics. *Golbal Change Biology* 11:869-880.
- Yerco, A.V.,J.L. Gonzalez, J.E. Gibbons, J.J. Capella y H. Diaz 1994. The Sothernmost Nesting Place for the Red-Billed Tropicbird (*Phaethon aethereus*): Chañaral Island, Chile. *Colonial Waterbirds* 17:83-85.

Zar, H. J. 1999. 4a ed. Biostatistical Análisis. Prentice Hall, Inc. New York, U.S.A.