

**Centro de Investigación Científica y de  
Educación Superior de Ensenada**



**ECOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL PÁJARO BOBO CAFÉ (*Sula leucogaster*) EN  
MORROS DEL POTOSÍ, GUERRERO, DURANTE LA TEMPORADA DE ANIDACIÓN  
2006**

**TESIS**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**JUAN PABLO CEYCA CONTRERAS**

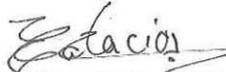
**Ensenada, Baja California, México, diciembre del 2007.**

TESIS DEFENDIDA POR  
**Juan Pablo Ceyca Contreras**  
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



---

Dr. Eric Mellink Bijtel  
*Director del Comité*



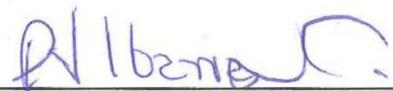
---

Dr. Eduardo Palacios Castro  
*Miembro del Comité*



---

Dr. Oscar Sosa Nishizaki  
*Miembro del Comité*



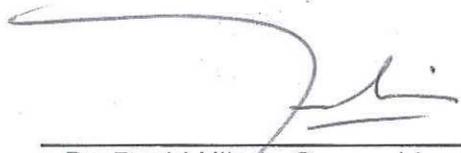
---

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



---

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

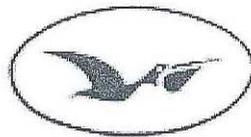


---

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales  
*Encargado del Despacho de la  
Dirección de Estudios de Posgrado*

13 de Diciembre de 2007.

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



CICESE

---

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

---

**ECOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL PÁJARO BOBO CAFÉ (*Sula leucogaster*) EN  
MORROS DEL POTOSÍ, GUERRERO, DURANTE LA TEMPORADA DE ANIDACIÓN  
2006**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

JUAN PABLO CEYCA CONTRERAS

Ensenada, Baja California, México, Diciembre del 2007.

**RESUMEN** de la tesis de **Juan Pablo Ceyca Contreras**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en Ecología Marina. Ensenada, Baja California, México. Diciembre 2007.

ECOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL PÁJARO BOBO CAFÉ (*Sula leucogaster*) EN MORROS DEL POTOSÍ, GUERRERO, DURANTE LA TEMPORADA DE ANIDACIÓN 2006

Se contrastaron los parámetros reproductivos del pájaro bobo café (*Sula leucogaster*) entre dos zonas de la colonia (ladera y cima) de Morros del Potosí, Guerrero, entre enero y junio de 2006. Se determinaron las características físicas de los sitios de anidación, los componentes de la dieta, la duración de los viajes de forrajeo y la profundidad máxima de buceo, y se evaluó su influencia en el éxito reproductivo. También se estudiaron los patrones de cuidado parental. Los bobos cafés anidaron tanto en la ladera como en la cima de la isla, durante gran parte del año, y exhibieron dos picos reproductivos: otoño y primavera. Las densidades máximas de nidos ocurrieron en mayo, con 13 nidos/100m<sup>2</sup> en la ladera y 20 nidos/100m<sup>2</sup> en la cima, superando las densidades máximas en colonias estudiadas previamente. El tamaño de nidada fue de  $1.59 \pm 0.04$  huevos/nido, con diferencias significativas entre las dos zonas de la colonia. El éxito de eclosión fue de 61%, y no se encontró influencia de las características físicas de los nidos, ni de la depredación en éste parámetro. En cambio, condiciones meteorológicas adversas causaron la pérdida de huevos y la muerte de pollos. Se rechazó la hipótesis de que los parámetros reproductivos, a excepción del tamaño de nidada, eran diferentes entre las dos zonas de la colonia. Los huevos midieron en promedio  $59.41 \pm 0.14$  mm x  $40.24 \pm 0.11$  mm, pesaron  $48.89 \pm 0.26$  g y tuvieron un volumen de  $48.93 \pm 0.33$  cm<sup>3</sup>. El volumen de los huevos fue mayor en otras colonias de la Costa del Pacífico de México, lo que sugiere que la limitación de alimento es más severas en esta colonia establecida en aguas tropicales, o que hubo diferencias en la disponibilidad de alimento entre los años en que se estudiaron las diferentes colonias. Sin embargo, los viajes de forrajeo más largos ( $5.78 \pm 0.21$  h) y los buceos más profundos ( $5.52 \pm 0.42$  m) indicaron que los bobos cafés aumentaron su esfuerzo de forrajeo para ajustarse a este recurso más escaso. Los componentes principales de la dieta del bobo café fueron peces pajarito (Hemiramphidae) y peces voladores (Exocoetidae). Los bobos cafés hembra permanecieron atendieron por más tiempo los nidos con huevos, pero ambos padres dedicaron el mismo tiempo a cuidar los nidos con pollos. Tampoco hubo diferencias en el tiempo de cuidado parental entre meses lo que sugiere una disponibilidad de alimento suficiente durante el periodo de estudio.

Palabras clave: ecología reproductiva, *Sula leucogaster*, Morros del Potosí.

**ABSTRACT** of the thesis by **Juan Pablo Ceyca Contreras**, presented as a partial requisite to obtain the degree of MASTER IN SCIENCES in Marine Ecology. Ensenada, Baja California, Mexico. December 2007.

REPRODUCTIVE ECOLOGY OF BROWN BOOBIES (*Sula leucogaster*) ON MORROS DEL POTOSÍ, GUERRERO, DURING THE 2006 NESTING SEASON

The reproductive parameters of brown boobies (*Sula leucogaster*) at two zones of the colony (slope and top) of Morros del Potosí, Guerrero were contrasted, between January and June 2006. The physical characteristics of the nesting sites, diet composition, length of foraging trips, and maximum diving depth were determined, and their influence on breeding success was evaluated. Patterns of parental care were also studied. Brown boobies nested both on the slope and the top of the island during a large part of the year, and exhibited two reproductive peaks: Fall and Spring. Maximum nest densities occurred in May, with 13 nests/100m<sup>2</sup> on the slope and 20 nests/100m<sup>2</sup> on the top, being high than densities at colonies previously studied. Clutch size was  $1.59 \pm 0.04$  eggs/nest, and there were significant differences between both zones of the colony. Hatching success was 61%, and was not influenced by the physical characteristics of the nests, and nor by predation. In contrast, adverse meteorological conditions caused the loss of eggs and death of chicks. The hypothesis that reproductive parameters were different between zones of the colony was rejected, except for clutch size. Eggs measured, in average,  $59.41 \pm 0.14$  mm x  $40.24 \pm 0.11$  mm, weighted  $48.89 \pm 0.26$  g, and had a volume of  $48.93 \pm 0.33$  cm<sup>3</sup>. Egg volume was larger at other colonies along the Pacific coast of Mexico, what suggests that food limitation was more severe in this tropical colony, or that there were differences in food availability among the years at which the different colonies were studied. However, longer foraging trips ( $5.78 \pm 0.21$  h) and deeper dives ( $5.52 \pm 0.42$  m) indicated that brown boobies increased their foraging effort to adjust to such scarcer resource. The main components of the diet of brown boobies were halfbeaks (Hemiramphidae) and flying fish (Exocoetidae). Female brown boobies spend more time tending the nests with eggs, but both parents spend tended equally the nests with chicks. There were no differences in nest attendance by the adults among months, suggesting that food was sufficient throughout the study.

Keywords: breeding ecology, *Sula leucogaster*, Morros del Potosí.

## DEDICATORIA

A mis dos amores; Abi Jaquelin y Anya.  
Gracias por apoyarme y por hacerme tan feliz.

A mi hermana y mis padres; Brenda, Tere y Juan.  
Gracias por creer en mí y por alentarme a seguir adelante.

A mi abuelo; Pablo Cruz Ceyca †  
Pa' Titi, Gracias por esperarme y por enseñarme que se debe luchar hasta el final.

## AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por otorgarme la beca de Maestría en Ciencias.

Al CICESE por brindarme las herramientas necesarias para concluir este trabajo.

A mi Director de Tesis, Eric Mellink, por la confianza, apoyo técnico y académico para la realización de este trabajo.

A Eduardo Palacios, Oscar Sosa y Jesús Ibarra, por formar parte de mi Comité de Tesis y realizar las sugerencias y comentarios necesarios para mejorar este documento.

A todos los que colaboraron durante la obtención de datos de campo: Alfredo Castillo, de Cicese; Miguel Prado, de la Universidad de Guadalajara; Xitlali Herrera, José María Aguilar, Akatzin Barba y Cuauhtémoc Valle, de la Licenciatura en Ecología Marina de la Universidad Autónoma de Guerrero.

A Sergio García, por el contacto con los estudiantes de la Escuela de Ecología Marina de la Universidad Autónoma de Guerrero.

A mi familia en Acapulco, por el hospedaje, apoyo logístico y moral durante mi estancia en ese puerto; Familia Barrientos Ceyca, Familia Ceyca Casarrubias y Familia P. Ceyca.

A mis amigos en la Barra del Potosí: Armando Bañuelos y Familia por su apoyo logístico y moral; a la gente del Restaurant Vuelven las Gaviotas: mi casa y punto de partida a la isla; a Jorge Cabrera, por el transporte sin contratiempos a la isla.

A Alfredo Castillo, por su apoyo durante el análisis de datos.

A todos los que de una u otra manera contribuyeron para la realización de este trabajo; Gracias!

## CONTENIDO

|   | Página    |
|---|-----------|
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <i>I.1. Planteamiento.....</i>  | <i>1</i>  |
| <i>I.2. Antecedentes.....</i>   | <i>2</i>  |
| I.2.1. Ecología de forrajeo.....  | 3         |
| I.2.1.1. Viajes de Forrajeo.....  | 5         |
| I.2.1.2. Dieta.....   | 7         |
| I.2.1.3. Buceo.....   | 8         |
| I.2.2. Características del sitio de anidación.....  | 10        |
| I.2.3. Cuidado parental.....  | 11        |
| <i>I.3. Justificación.....</i>  | <i>11</i> |
| <i>I.4. Objetivos.....</i>  | <i>13</i> |
| I.4.1. Objetivo general.....  | 13        |
| I.4.2. Objetivos específicos.....   | 13        |
| <b>II. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>  | <b>14</b> |
| <i>II.1. Área de estudio.....</i>   | <i>14</i> |
| <i>II.2. Métodos.....</i>   | <i>17</i> |
| II.2.1. Características físicas de los nidos.....   | 17        |
| II.2.2. Parámetros reproductivos.....   | 18        |
| II.2.3. Dieta y profundidad máxima de buceo.....  | 19        |
| II.2.4. Patrones de cuidado parental.....   | 20        |
| II.2.5. Análisis estadísticos.....  | 20        |
| <b>III. RESULTADOS.....</b>   | <b>21</b> |
| <i>III.1. Influencia de las características físicas de los nidos en el éxito de eclosión.....</i> | <i>21</i> |
| <i>III.2. Parámetros reproductivos.....</i>   | <i>22</i> |
| III.2.1. Cronología de anidación.....   | 22        |
| III.2.2. Densidad de nidos.....   | 22        |
| III.2.3. Huevos.....  | 24        |
| <i>III.3. Ecología de Forrajeo.....</i>   | <i>26</i> |
| III.3.1. Duración de los viajes de forrajeo.....  | 26        |
| III.3.2. Profundidad máxima de buceo.....   | 27        |
| III.3.3. Dieta.....   | 29        |
| <i>III.4. Patrones de cuidado parental.....</i>   | <i>30</i> |
| III.4.1. Presencia de los padres en el nido.....  | 30        |
| <b>IV. DISCUSIÓN.....</b>   | <b>35</b> |
| <i>IV.1. Características físicas de los nidos.....</i>  | <i>35</i> |
| <i>IV.2. Parámetros reproductivos.....</i>  | <i>37</i> |
| <i>IV.3. Ecología de Forrajeo.....</i>  | <i>42</i> |

## CONTENIDO (Continuación)

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| IV.3.1. Duración de los viajes de forrajeo.....                         | 42            |
| IV.3.2. Dieta.....  | 42            |
| IV.3.3. Profundidad máxima de buceo.....                                | 43            |
| IV.3.4. Efecto del hábitat de forrajeo en el éxito<br>reproductivo..... | 44            |
| <i>IV.4. Patrones de cuidado parental.....</i>                          | 45            |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>   | <b>49</b>     |
| <b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>                                       | <b>51</b>     |
| Apéndice I.....   | 65            |

## LISTA DE FIGURAS

| Figura | Página   |    |
|--------|--|----|
| 1      | Mapa de una sección de la Costa Grande de Guerrero que muestra la ubicación de los Morros del Potosí.....  | 15 |
| 2      | Morros del Potosí, Guerrero.....   | 16 |
| 3      | Vista panorámica de la colonia de pájaro bobo café ( <i>Sula leucogaster</i> ) en Morros del Potosí, Guerrero.....   | 16 |
| 4      | Pájaro bobo café ( <i>Sula leucogaster</i> ). A) Macho y pollo de cuatro semanas de edad. B) Hembra y pollo de cuatro semanas de edad.....   | 17 |
| 5      | Abundancia de huevos y pollos en 190 nidos seleccionados de <i>S. leucogaster</i> en Morros del Potosí, Guerrero. Enero – junio de 2006.....   | 23 |
| 6      | Total acumulado de pollos nacidos, pollos muertos y huevos perdidos en 190 nidos seleccionados de <i>S. leucogaster</i> en Morros del Potosí, Guerrero. Enero – junio de 2006.....                                     | 23 |
| 7      | Densidad de nidos activos de <i>S. leucogaster</i> en 10 parcelas de 10 x 10 m en Morros del Potosí, Guerrero. Enero – junio de 2006. A) Nidos con huevos. B) Nidos con pollos.....                                    | 25 |
| 8      | Duración de los viajes de forrajeo de <i>Sula leucogaster</i> en función del mes de observación, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006. ■ Media, ± SE,   ± intervalo de confianza al 95%*SE..... | 27 |
| 9      | Profundidad máxima de buceo de <i>Sula leucogaster</i> , en función del sexo del ave en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media ± SE ± intervalo de confianza al 95%*SE).....                  | 28 |

## LISTA DE FIGURAS (Continuación)

| Figura |   | Página |
|--------|---|--------|
| 10     | Profundidad máxima de buceo de <i>Sula leucogaster</i> , en función del mes, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media $\pm$ SE $\pm$ intervalo de confianza al 95%*SE).....   | 29     |
| 11     | Tiempo de permanencia de los padres sobre los nidos con huevos de <i>Sula leucogaster</i> en función de su sexo, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media $\pm$ SE $\pm$ intervalo de confianza al 95%*SE).....             | 31     |
| 12     | Tiempo de permanencia de los padres sobre los nidos con pollos de <i>Sula leucogaster</i> en función de su sexo, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media $\pm$ SE $\pm$ intervalo de confianza al 95%*SE).....             | 32     |
| 13     | Tiempo de permanencia de los padres sobre los nidos con huevos de <i>Sula leucogaster</i> en función del mes de observación, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media $\pm$ SE $\pm$ intervalo de confianza al 95%*SE)..... | 33     |
| 14     | Tiempo de permanencia de los padres sobre los nidos con pollos de <i>Sula leucogaster</i> en función del mes de observación, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media $\pm$ SE $\pm$ intervalo de confianza al 95%*SE)..... | 34     |

## LISTA DE TABLAS

| Tabla |  | Página |
|-------|--|--------|
| I     | Análisis discriminante de las características físicas medidas en 40 nidos seleccionados. El modelo incluyó 4 variables (zona, visibilidad, pendiente y densidad) y dos grupos (éxito y fracaso del nido).....          | 21     |
| II    | Medidas (media $\pm$ el error estándar) del primer y el segundo huevo en nidos con 2 huevos de <i>S. leucogaster</i> en Morros del Potosí Guerrero. Enero – junio de 2006.....   | 26     |
| III   | Medidas (media $\pm$ el error estándar) del primer huevo puesto en nidos con 2 huevos y el primer huevo puesto en nidos con 1 huevo de <i>S. leucogaster</i> en Morros del Potosí Guerrero. Enero – junio de 2006..... | 26     |
| IV    | Especies de peces identificadas en los regurgitados de <i>Sula leucogaster</i> , colectados en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006.....   | 30     |

# ECOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL PÁJARO BOBO CAFÉ (*Sula leucogaster*) EN MORROS DEL POTOSÍ, GUERRERO, DURANTE LA TEMPORADA DE ANIDACIÓN 2006

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1. Planteamiento

Las aves marinas juegan un papel importante en la estructura y funcionamiento de los océanos por la gran cantidad de recursos que consumen (Cairns 1987; Montevecchi 1993; Charrassin *et al.* 1998; Charrassin y Bost 2001). Además, por su abundancia, posición tope en la trama trófica y por sus respuestas rápidas a los cambios en la disponibilidad de presas en varias escalas temporales y espaciales, se les considera especies "centinela", esto es, que pueden ser buenos indicadores de problemas de conservación o de cambios en el océano (Bost y Maho 1993; Montevecchi y Myers 1995, 1996).

En las islas e islotes de la costa Oeste de México anidan cuando menos 34 especies de aves marinas (Howell y Webb 1995). La ecología reproductiva de algunas de estas aves marinas está acoplada a condiciones oceanográficas locales y globales (Velarde *et al.* 2004). Así, por ejemplo, la temporada de anidación del pájaro bobo café (*Sula leucogaster*) es más larga en Isla San Jorge que en otras islas del Golfo de California, debido a la disponibilidad de peces bénticos (Mellink 2000; Mellink *et al.* 2001). Aunque cada vez son más los estudios sobre la ecología de las aves marinas en México, se está lejos de entender el

comportamiento de las poblaciones y sus ajustes a los cambios en las condiciones oceanológicas.

El método idóneo para entender los factores que afectan a las poblaciones locales es monitorear estas poblaciones cuidadosamente a lo largo de décadas. Sin embargo, salvo en Isla Rasa (Velarde *et al.* 2004) y, en menor grado, Islas Isabel (bajo la dirección de H. Drummond) y San Jorge (Mellink 2003), no existen estudios de largo plazo sobre la ecología de aves marinas en México. Otro enfoque es el de estudiar colonias diferentes con el fin de contrastarlas. El estudio que realicé aporta elementos para realizar contrastes de este segundo tipo, pues los datos generados pueden ser comparados con los de otras colonias, aunque no se hayan realizado al mismo tiempo. Para este estudio seleccioné al bobo café, una especie distribuida a lo largo del Golfo de California y de la costa del Pacífico del sur de México, que refleja bien las condiciones del océano y que se ha estudiado en otras localidades de la costa oeste del país. El estudio se desarrolló en la colonia de bobo café más sureña del Pacífico mexicano, la de Morros del Potosí, Guerrero.

## 1.2. Antecedentes

El pájaro bobo café (*Sula leucogaster*) es un miembro de la Familia Sulidae. Es común en aguas tropicales de todo el mundo, y se distribuye en los océanos Atlántico, Pacífico e Índico y en el Mar Caribe. Su anidación está restringida a islas localizadas dentro de estos mares. Es una especie con dimorfismo sexual en la que la hembra es de tamaño mayor que el macho. La hembra mide cerca de 80

cm de largo, con una envergadura de aproximadamente 150 cm; mientras que el macho mide 75 cm de largo, con una envergadura de 140 cm (Nelson 1978). Según la subespecie, la diferencia entre sexos puede ser únicamente en tamaño, o bien, también en la coloración de las partes del cuerpo, la voz y el color del plumaje, tal como ocurre en la costa del Pacífico de México.

El bobo café vive hasta 30 años, en los que puede llegar a producir hasta ocho descendientes reclutados a la población. Tiene temporadas reproductivas anuales a partir de entre los 4-6 años de edad y la gran mayoría de las hembras producen dos huevos, aunque raramente sobrevive más de un pollo hasta la edad de volantón. El período de incubación varía de 42 a 45 días y los pollos nacidos alcanzan la edad de volantón aproximadamente 100 días después de su eclosión. El éxito reproductivo de *S. leucogaster* varía entre colonias y entre temporadas de anidación (Schreiber y Norton 2002), pues, al igual que en otras especies de aves marinas, el desempeño reproductivo está influenciado por la disponibilidad de alimento y las condiciones climáticas (Tovar et al. 1987). Los cambios en estas variables pueden llegar a causar fracasos reproductivos (Kitaysky y Golubova 2000; Thompson y Ollason 2001).

#### 1.2.1. Ecología de forrajeo

Debido a que el comportamiento de forrajeo de los animales depende en gran medida de la distribución, abundancia y predictibilidad de sus recursos alimenticios (Bell 1991), el conocer la selección del hábitat de los peces que son presas principales, es esencial para entender los patrones de distribución de los

depredadores tope y sus interacciones tróficas en los sistemas marinos (Davoren *et al.* 2003). A escala global, los sistemas marinos tropicales se caracterizan por una productividad baja, comparados con los sistemas no tropicales, ya que en los trópicos la producción de fitoplancton es limitada, y la biomasa total en niveles tróficos subsecuentes es afectada de manera igual (Ballance y Pitman 1999). Debido a esto, la localización del alimento durante la temporada de anidación, cuando sus viajes de forrajeo están limitados por la necesidad de atención al nido, es un problema particular para muchas especies de aves. La necesidad de regresar en repetidas ocasiones al nido limita su radio de forrajeo, pero deben cumplir los requerimientos nutricionales de los pollos, además del suyo propio (Carlson y Moreno 1985, Kacelnik y Cuthill 1990). Para las aves marinas, la productividad baja de las aguas tropicales se traduce en abundancia baja y distribución fragmentada de las presas (Ainley y Boekelheide 1983). Ante estas dificultades para encontrar alimento, las aves marinas pueden incrementar su eficiencia de forrajeo, por ejemplo, aprendiendo la ubicación de las presas y regresando repetidamente a estas locaciones (Hamer *et al.* 2001), o bien, forzando al ejercicio de sus límites fisiológicos y anatómicos de forrajeo (Castillo-Guerrero 2003).

En general, el determinar los patrones de disponibilidad y abundancia de presas cerca de una colonia ha sido un problema común en los estudios de aves marinas, y para resolverlo se requieren excursiones costosas que requieren de una inversión importante de tiempo y esfuerzo (Ainley *et al.* 2003). Aún así, los datos sobre la eficiencia de forrajeo de diferentes colonias y diferentes años,

podrían mostrar que tan eficientemente utiliza el recurso alimenticio un depredador tope (Garthe *et al.* 1999). Incluso, se podría determinar la disponibilidad de alimento a partir de datos sobre el tamaño del área de forrajeo o la distancia de forrajeo (o duración del viaje de forrajeo si las medidas espaciales no están disponibles; Ainley *et al.* 2003, Velarde *et al.* 2004). La distancia de los viajes de forrajeo se puede predecir con un alto grado de exactitud mediante el tiempo de permanencia de las aves en el mar (Hamer *et al.* 2000, 2001), pues es poco probable que los adultos ausentes se encuentren descansando en otro sitio, porque los huevos y pollos demandan cuidado compartido (Cairns, 1992). En *Sula bassanus* se ha probado que la duración fuera del nido y la distancia de forrajeo están altamente correlacionados (Lewis *et al.* 2001).

#### 1.2.1.1. Viajes de Forrajeo

En el mar, los recursos alimenticios son escasos, y de distribución impredecible (Ashmole 1971, Irons 1998), y cuando el alimento está disperso es más difícil de localizar y se requiere de tiempos de búsqueda y de viaje más largos (Nelson, 1978). Algunas especies de aves marinas pueden detectar a sus presas probablemente solo en un radio pequeño. Puesto que la duración de los viajes de forrajeo está relacionada con la disponibilidad de alimento (Ainley *et al.* 2003), los adultos necesitan viajar distancias largas desde el nido en búsqueda de presas, haciendo viajes de forrajeo de varias horas a varios días de duración y viajando hasta cientos de kilómetros o más desde su sitio de anidación (Jouventin y

Weimerskirch 1990, Kooyman *et al.* 1999, Prince *et al.* 1999, Ropert-Coudert *et al.* 2004a,b).

Así, los viajes de forrajeo de los adultos del alcatraz del norte (*Sula bassana*) en dos colonias de Europa, cubrieron un área amplia del océano, con un rango máximo de 540 kilómetros (Hamer *et al.* 2001) y duraron entre 13 y 84 horas (Hamer *et al.* 2000). Los viajes de forrajeo del bobo de patas azules (*S. nebouxii*) en las Islas Galápagos fueron de entre dos y cuatro horas de duración, con algunos viajes que duraron hasta doce horas (Nelson 1978). En la Isla El Rancho, Sinaloa, los bobos de patas azules realizaron viajes de forrajeo que duraron, en promedio, menos de dos horas, con un máximo de 157 minutos; aunque algunos viajes fueron de más de 24 horas, particularmente previo al abandono del nido (Castillo-Guerrero 2003). En el Atolón de Jonhnston, el bobo de patas rojas (*S. sula*), considerado como forrajero de distancia larga, comparado con otros bobos (Weimerskirch *et al.* 2005), realizó viajes de forrajeo de entre 12 y 16 horas, considerablemente más largos que los realizados por el bobo café (*S. leucogaster*) en el mismo sitio, cuyos viajes duraron entre 5 y 9 horas, con viajes significativamente más largos de machos que de hembras (Lewis *et al.* 2005). Esta diferencia entre sexos no se observó en los bobos cafés del Farallón de San Ignacio, donde el número de viajes de forrajeo por día y su duración fue similar entre machos y hembras (duración entre 3 y 6 horas; Peñaloza-Padilla 2006).

### I.2.1.2. Dieta

En el mar, los depredadores tope, como algunas aves marinas, centran sus esfuerzos de forrajeo en sitios con características oceánográficas específicas, donde hay una productividad alta o las presas están agregadas (Weimerskirch *et al.* 2005). Los bobos cafés forrajean generalmente cerca de la costa; realizando viajes individuales o en parvadas uni o multiespecíficas, y alimentándose principalmente de peces voladores (Exocoetidae), calamares (Ommastrephidae) y peces pelágicos menores (Clupeidae), y, en algunos sitios, de peces pajarito (Hemiramphidae) y peces planos (Orden Pleuronectiformes; Murphy 1936, Dorward 1962, Nelson 1978, Harrison *et al.* 1983, Mellink *et al.* 2001, Schreiber y Norton 2002). La abundancia de los peces voladores en la dieta de esta especie en algunos sitios puede atribuirse a su abundancia en las proximidades de los sitios de anidación (Alves *et al.* 2004, Both y Freitas 2001). Sin embargo, los bobos cafés consumen muchos otros tipos de alimento si lo requieren, y su dieta varía considerablemente entre localidades, a veces utilizando recursos disponibles solo temporalmente (Cramp y Simmons 1977, Nelson 1978, Mellink *et al.* 2001).

Si bien el bobo café tiene ciertas preferencias alimenticias, incluye muchas otras especies en su dieta (Nelson 1978), con una mayor diversidad de presas durante eventos El Niño (Schreiber y Norton 2002) o cuando escasea su presa preferida (Mellink *et al.* 2001). También es posible que las actividades pesqueras vuelvan accesibles algunos recursos no tradicionales en la dieta del bobo café, como especies del bentos, permitiendo su consumo (Branco *et al.* 2001).

En México existen pocos estudios sobre la dieta del bobo café, todos realizados en el Golfo de California. En 1990, las especies comunes en la dieta de *S. leucogaster* en la Isla San Pedro Mártir fueron la sardina (*Sardinops sagax*) y la anchoveta (*Engraulis mordax*) durante la primavera, y el pez volador (*Cheilopogon papillo*) y la macarela (*Scomber japonicus*) en el verano (Angeles-Pérez *et al.* 1991, Tershy 1998). En Isla San Jorge, en el norte del Golfo, los bobos cafés consumieron 30 especies de presas, incluyendo un calamar, 14 especies de peces pelágicos y 15 de peces bénticos, con una marcada preferencia por la anchoveta del pacífico (*Cetengraulis mysticetus*; Mellink *et al.* 2001).

#### 1.2.1.3. Buceo

Uno de los factores principales que limita la accesibilidad de presas para las aves marinas en el mar es la profundidad a la cuál las aves pueden bucear, por lo que el conocimiento de las capacidades de buceo es esencial para entender las estrategias de forrajeo de cada especie y poder modelar las interacciones de las redes tróficas en los ecosistemas con múltiples especies depredadoras, además de identificar áreas de competencia potencial entre la dieta de las aves marinas y las pesquerías comerciales (Brierley y Fernandes 2001). Mediante el uso de una variedad de dispositivos mecánicos y de telemetría, colocados o implantados en los individuos bajo estudio, se han obtenido datos sobre la localización de áreas de forrajeo y profundidades de buceo de las aves marinas y otros depredadores en el mar (e.g. Burger y Wilson 1988, Wanless *et al.* 1997, Hull 1999).

Los bobos obtienen su alimento mediante el buceo de caída (Ashmole 1971, Nelson 1978, Schreiber y Clapp 1987) y esta técnica les permite atacar presas por sorpresa, una opción que no tienen los buceadores de propulsión (Garthe *et al.* 2000). Los buceadores de caída tienen capacidades de buceo limitadas, puesto que explotan solo los primeros metros de la columna de agua, y la profundidad que alcanzan depende principalmente de la inercia ganada durante la caída (Ashmole 1971, Adams y Walter 1993). Algunas especies de súlidos, como el bobo de patas rojas (*Sula sula*), han desarrollado una técnica de alimentación específica para la captura de presas exclusivas como los peces voladores, que consiste en seguir a la presa con vuelos superficiales y esperar a que ésta salte fuera del agua para capturarla durante el vuelo (Diamond 1974, Hertel y Ballance 1999, Weimerskirch *et al.* 2005).

La profundidad que los súlidos alcanzan durante su alimentación es variable. Los bobos de patas rojas realizan buceos superficiales, con una profundidad máxima de buceo de 2.4 metros, posiblemente porque se zambullen desde altitudes bajas (4-9 metros; Schreiber *et al.* 1996, Weimerskirch *et al.* 2005), a diferencia de otros súlidos, como los alcatraces del norte (*S. bassana*), que con zambullidas desde alturas mayores a 30 metros (Lee y Redish 1981) logran alcanzar profundidades promedio de 19.7 metros, pero que tiene potencial para bucear aún más profundo (Brierley y Fernandes 2001). Aún así, para el alcatraz del norte la profundidad promedio de buceo fue de 4.6 m, con un registro máximo de 22 m (Garthe *et al.* 2000). El alcatraz del Cabo (*S. capensis*) alcanzó una profundidad máxima de 12.6 metros, con un promedio de 5.9 metros (Adams y

Walter 1993). En el Golfo de California, el bobo de patas azules de Isla El Rancho alcanzó una profundidad máxima promedio de buceo de 4.58 m, variando entre los 1.25m y 11.34 m (Castillo-Guerrero 2003). Por otra parte, los bobos cafés en Isla San Jorge, realizaron buceos entre 0 y 4 metros de profundidad, con registros máximos de 10.2 m (Suazo-Guillén 2004). En Morros del Potosí, en mayo de 2004, los bobos cafés bucearon a una profundidad promedio de 1.55 ( $\pm$  0.74; Mellink y Riojas-López 2005).

#### 1.2.2. Características del sitio de anidación

La calidad del hábitat de anidación está afectada por las características bióticas y abióticas del sitio e influye directamente en el éxito reproductivo de las aves marinas (Boulinier y Lemel 1996). Las características físicas del nido, por ejemplo el número de barreras naturales alrededor del sitio, pueden evitar la depredación y, por ende, la pérdida de huevos y pollos; también pueden proporcionar un microclima que proteja a huevos y pollos de la radiación solar y de los cambios climáticos (Harris *et al.* 1997; Paredes y Zavalaga 2001; Good 2002).

La densidad de la colonia puede afectar el éxito reproductivo. En el bobo de patas azules, los huevos de los nidos ubicados en zonas con menor densidad de anidación fueron depredados por gaviotas (Castillo-Guerrero 2003). En bobo café, el éxito de eclosión en Isla San Jorge estuvo relacionado con la ubicación del nido en la colonia y la densidad de anidación, y en el Farallón de San Ignacio con la visibilidad desde el nido (Suazo-Guillén 2004).

### I.2.3. Cuidado parental

Los súlidos son generalmente monógamos (Schreiber y Norton 2002) y ambos padres participan en el cuidado de los pollos (Nelson 1978). En los bobos cafés la inversión parental es elevada. Aunque los pollos alcanzan la edad de vuelo alrededor de los 100 días, los padres siguen alimentándolos aún después de 3 a 8 semanas de la edad en que iniciaron el vuelo. Durante el período post-primer vuelo, los pollos permanecen fuera del nido por largo tiempo, mientras aprenden a alimentarse por si mismos (Schreiber y Norton 2002). Hay diferencias entre sexos en la atención y acarreo de alimento de los padres a los pollos (Anderson y Ricklefs 1992; Guerra y Drummond 1995), pero en la Isla San Pedro Mártir no se percibieron tales diferencias, ya que las hembras estuvieron presentes en el nido 49.5% y los machos 50.5% del período de incubación y después de la eclosión de los huevos las hembras y machos contribuyeron igualmente en la defensa del territorio (Tershy y Croll 2000).

### *I.3. Justificación*

El bobo café es una de las especies de aves marinas más numerosas, tanto en el Golfo de California (Anderson 1983; Vogt in Nelson 1978) como en otras regiones del Pacífico Mexicano (Mellink y Riojas-López 2005), por lo que encarna muy bien el modelo de especies objetivo: Especies con poblaciones grandes, colonias distribuidas ampliamente y fáciles de estudiar, además de ser relativamente sensibles a las características del medio, notablemente a los cambios en la disponibilidad de alimento, cuando menos durante época

reproductiva. Durante la temporada no reproductiva, los pájaros bobo se pueden dispersar bastante y moverse frecuentemente de sitio, con lo cual es difícil estudiarlos de manera controlada. En contraste, durante la temporada reproductiva están anclados a la colonia, lo que implica que forrajean en un área limitada. También implica que se puede seguir individualmente a diferentes miembros de la colonia.

En México existen algunas colonias de bobo café que ya han sido estudiadas, particularmente las más norteñas, ubicadas en el Golfo de California, como Isla San Pedro Mártir, Isla San Jorge y Farallón de San Ignacio (e. g. Tershy *et al.* 1992, Mellink 2000, Mellink *et al.* 2001, Suazo-Guillén 2004, Castillo-Guerrero *et al.* 2005). La colonia más sureña en el Pacífico mexicano se encuentra en Morros del Potosí, Guerrero (Howell y Engel 1993, Mellink y Riojas-López 2005), y recientemente se estimó una densidad de 2,078 nidos por hectárea en la ladera y de 3,325 nidos por hectárea en la cima de una de las tres islas de este conjunto, con lo que parece ser la más densa del Pacífico Mexicano (Mellink y Riojas-López 2005). Su estudio permitiría contrastar la ecología de esta especie bajo condiciones tropicales con las colonias establecidas más al norte y permitiría determinar las diferencias o similitudes en la disponibilidad de alimento y otros factores que determinan el éxito reproductivo. Con miras a tales contrastes, el presente proyecto se centró en determinar las características de reproducción, la influencia de las características del sitio de anidación en el éxito reproductivo, la dieta, patrones de forrajeo y cuidado parental del pájaro bobo café, en Morros del Potosí, Guerrero, durante la temporada de anidación 2006.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

Determinar la ecología reproductiva del pájaro bobo café (*Sula leucogaster*) en Morros del Potosí, Guerrero, durante la temporada de anidación 2006, contrastando los dos tipos de hábitat presentes en la isla (ladera y cima).

### 1.4.2. Objetivos específicos

Debido al reporte de una marcada diferencia en la densidad de anidación entre la ladera y la cima de la colonia de Morros del Potosí, Guerrero (Mellink y Riojas-López 2005), este trabajo intentó probar la hipótesis de que los parámetros reproductivos del pájaro bobo café (*Sula leucogaster*), incluyendo la propia densidad de anidación, eran diferentes entre ambos lugares. En particular se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la influencia de las características físicas de los nidos sobre el éxito de eclosión en diferentes zonas de la colonia.
- Determinar la cronología de anidación, densidad de nidos, tamaño de nidada, éxito de eclosión y mortalidad de pollos, y comparar los valores de estos parámetros reproductivos en diferentes zonas de la colonia.
- Definir la dieta y patrones de forrajeo, y determinar la influencia de éstos en el éxito reproductivo.
- Determinar los patrones de cuidado parental.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### II.1. Área de estudio

Los Morros del Potosí (17° 31'57" N, 101° 29'18" W; Figuras 1 y 2) son tres pequeñas islas y varias rocas a tres kilómetros de la costa, frente a la Barra de Potosí, municipio de Petatlán, en la Costa Grande del Estado de Guerrero (Mellink y Riojas-López 2005). Las islas principales miden entre 50 y 65 metros de alto y son muy escarpadas, con acantilados en su lado sur (Mellink y Riojas-López 2005). El sustrato es de rocas cubiertas de guano, sin vegetación. El promedio anual de temperatura en la región es de 24.9° C, oscilando entre 18.3 y 31.6° C, mientras la precipitación media anual es de 1105.4 mm, siendo febrero y marzo los meses más secos (2.7 y 2.9 mm, respectivamente) y septiembre (254.9 mm) el más lluvioso (Comisión Nacional del Agua 2006).

La costa del Estado de Guerrero está incluida dentro de la región oriental del Pacífico Tropical (PATO); que incluye la costa suroeste de México y Guatemala. La temperatura de estas aguas es mayor a los 27.5 °C (Wang y Enfield 2001) y la salinidad es relativamente baja (~34.4, o menor), debido a la influencia de las aguas de la Corriente de California (Lavín *et al.* 2006). En esta zona, el ciclo estacional de la profundidad de la termoclina es de amplitud pequeña (< ±10 m; Wyrcki 1964b). Los patrones de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) muestran que la termoclina se hunde de 5 a 10 m en gran parte del Pacífico Tropical Oriental durante eventos El Niño (Wyrcki 1975b).

Los Morros del Potosí alojan poblaciones reproductoras de pájaro bobo café (*Sula leucogaster*; Figuras 3 y 4), rabijunco de pico rojo (*Phaeton aethereus*), gallito de mar embridado (*Sterna anaethetus*) y charrán-bobo café (*Anous stolidus*; Howell y Engel 1993; Mellink y Riojas-López 2005), además de que recientemente se registró un intento de anidación de una pareja de pájaro bobo enmascarado (*Sula dactylatra*; Castillo-Guerrero et al. 2007). Se realizó trabajo de campo en una de las tres islas principales, la isla del este, que mide aproximadamente 200 metros de largo de la cima y 100 metros en la ladera, de la línea de marea a la cima.



Figura 1. Mapa de una sección de la Costa Grande de Guerrero que muestra la ubicación de los Morros del Potosí.

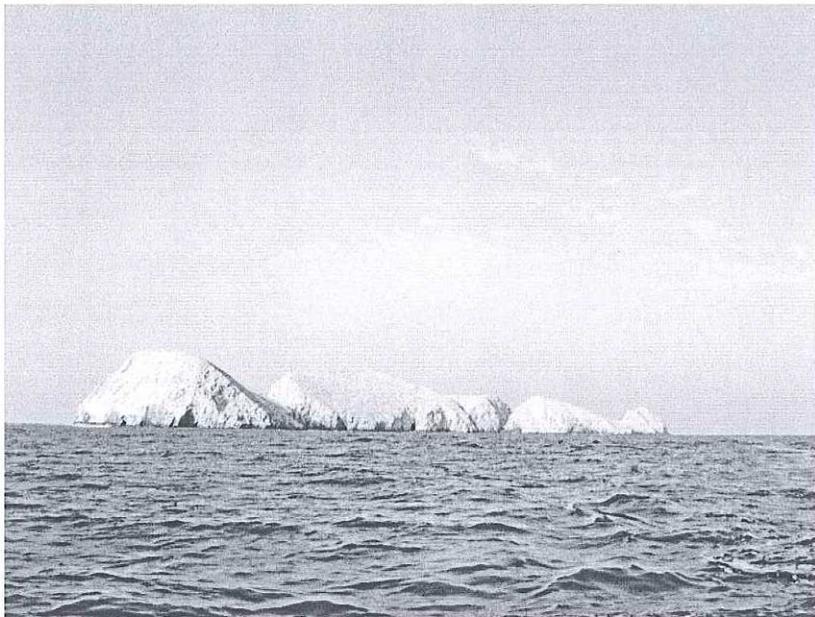


Figura 2. Morros del Potosí, Guerrero.



Figura 3. Vista panorámica de la colonia de pájaro bobo café (*Sula leucogaster*) en Morros del Potosí, Guerrero.

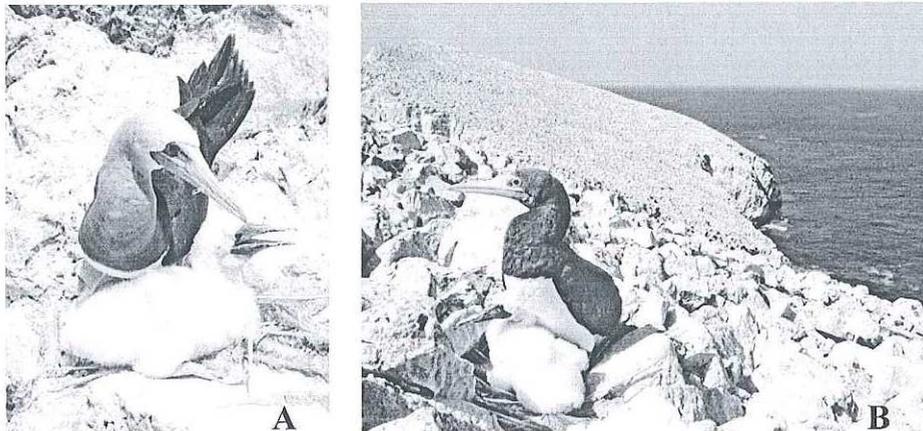


Figura 4. Pájaro bobo café (*Sula leucogaster*). A) Macho y pollo de cuatro semanas de edad. B) Hembra y pollo de cuatro semanas de edad.

## II.2. Métodos

Se realizó trabajo de campo de 3 a 6 días por mes, entre enero y junio de 2006. Para determinar los parámetros reproductivos se demarcaron 10 parcelas de 10 x 10 metros, en sitios elegidos al azar, 5 en la ladera y 5 en la cima de la isla. Se rotularon todos los nidos dentro de las parcelas con marcador permanente sobre rocas adyacentes.

### II.2.1. Características físicas de los nidos

Para determinar las características físicas de los nidos se marcaron 40 nidos elegidos al azar fuera de las parcelas de muestreo, y se registraron los siguientes atributos en cada uno de ellos:

Visibilidad: 360° menos la extensión angular de barreras naturales.

Inclinación: Pendiente en el sitio del nido, en grados.

Densidad: Número de aves incubando alrededor del nido seleccionado, hasta una distancia de 3 metros.

Zona de ubicación del nido: Cima o ladera.

### II.2.2. Parámetros reproductivos

A partir del seguimiento de 190 nidos marcados en las parcelas de 10 x 10 m se determinó la cronología de anidación, la densidad de nidos, el tamaño de nidada, el éxito de eclosión (número de pollos eclosionados por nido) y la mortalidad de pollos. Los huevos de cada nido se marcaron individualmente con el número de nido y el orden de puesta. Se midieron las dimensiones lineares (largo y diámetro máximo) de cada huevo con un calibrador de 0.1 mm de precisión y se pesaron con un dinamómetro (marca Pesola) de 10 g de precisión. El volumen de cada uno de los huevos se estimó por medio de la ecuación  $V = K_v LB^2$ ; donde V es el volumen del huevo, L el largo total, B el ancho o diámetro máximo y  $K_v$  el coeficiente de volumen (para el caso de los huevos de *Sula leucogaster brewsteri*  $K_v = 0.507$ ; Hoyt 1979). Para determinar el orden de puesta en nidos con más de un huevo, se determinó el estado de incubación de los huevos sumergiéndolos en un recipiente con agua y observando su verticalidad o flotación (los huevos recién puestos permanecen horizontalmente en el fondo del recipiente, y la verticalidad y flotación se incrementan gradualmente conforme avanza la incubación; Westerkov 1950, Schreiber 1970, Hays y LeCroy 1971).

### II.2.3. Dieta y profundidad máxima de buceo

A lo largo de la temporada se capturaron adultos y pollos de *S. leucogaster* a los que se manipuló de forma tal que regurgitaran, para determinar su dieta. Las muestras colectadas se fijaron con formol al 10% y se transportaron al Laboratorio de Fauna Silvestre del CICESE, donde se identificaron sus componentes siguiendo la guía de la FAO (Fischer *et al.* 1995).

Para determinar la profundidad máxima de buceo se utilizaron tubos capilares de 0.8 mm de diámetro (marca Tygon), cortados a una longitud aproximada de 15 cm. Las paredes internas de cada capilar se recubrieron con azúcar glas (azúcar de lustre) y se sellaron con plástico derretido en uno de sus extremos. Estos se colocaron en adultos capturados sobre sus nidos, sujetando un capilar con cinta adhesiva resistente al agua a una de las plumas rectrices. En general, cada capilar se recuperó al día siguiente. Durante el buceo, cuando la profundidad se incrementa, el agua entra en el tubo en proporción directa al incremento en la presión externa y disuelve el azúcar glas, dejando una marca visible. La profundidad máxima de buceo se calcula con la ecuación:  $PMB=10.08 ((Lt/Lr) - 1)$ ; donde Lt es la longitud total del tubo capilar y Lr es la longitud del tubo hasta donde las paredes permanecen cubiertas de azúcar glas (es decir, la longitud total menos la longitud de la superficie sin azúcar glass; Burger y Wilson 1988). Se colocaron 87 tubos capilares, 45 en machos y 42 en hembras. Cada capilar duró colocado, en promedio, 30 horas (rango: 25 – 41 horas).

#### II.2.4. Patrones de cuidado parental

Para determinar los patrones de cuidado parental se revisaron 30 nidos seleccionados aleatoriamente en cada ocasión, en un día de cada mes. Cada nido se marcó con un abatelenguas de madera, con el número de nido escrito en el extremo superior. Se registró el contenido del nido (huevos o pollos) y la edad de los pollos, si había. La edad de los pollos se determinó por medio de su plumaje (Castillo-Guerrero y Mellink 2005). Los nidos se revisaron cada hora durante las horas luz, registrando el sexo de los padres incubando o cuidando a los pollos, según fuera el caso. También se registró la duración de los viajes de forrajeo. Durante toda la temporada se revisaron 65 nidos diferentes con huevos y 84 nidos diferentes con pollos.

#### II.2.5. Análisis estadísticos

Se aplicaron pruebas de normalidad (Prueba de Bondad de Ajuste) y en caso de cumplirse éstas, se aplicaron pruebas estadísticas paramétricas. De lo contrario se usaron pruebas equivalentes no paramétricas. Se realizó la transformación Arco-seno a los datos expresados como porcentajes. Todas las pruebas se realizaron con un nivel de significancia de 0.05. Estas se detallan en el apéndice I.

### III. RESULTADOS

#### III.1. Influencia de las características físicas de los nidos en el éxito de eclosión

La colonia se dividió en dos zonas, ladera y cima, pero el sustrato en ambas zonas fue de rocas cubiertas de guano, sin vegetación. La visibilidad desde los 40 nidos marcados, para evaluar la influencia de sus características físicas en el éxito de eclosión, fue de  $197.62^\circ (\pm 9.08^\circ)$ , con una diferencia marcada entre los nidos de la ladera ( $173.51 \pm 5.79^\circ$ ) y los de la cima ( $247.69 \pm 19.12^\circ$ ;  $t = -4.770$ ,  $p = 0.001$ ). En cambio, no hubo diferencias significativas entre zonas de la colonia en la inclinación de los sitios de anidación, que tuvieron una pendiente promedio de  $38.12 (\pm 3.49^\circ)$ ;  $40.55 \pm 4.23^\circ$  en la ladera y  $33.07 \pm 6.16^\circ$  en la cima;  $t = 1.002$ ,  $p = 0.322$ ). La densidad de nidos, medida en un radio de tres metros del nido focal, fue de  $2.55 (\pm 0.21)$ , y fue muy similar entre la ladera y la cima ( $2.59 \pm 0.26$  y  $2.46 \pm 0.36$ , respectivamente;  $t = 0.286$ ,  $p = 0.776$ ). Ninguna de las variables medidas en los nidos mostró un efecto significativo sobre el éxito de eclosión, ( $F(4,35) = 1.1070$ ,  $p < 0.3687$ ; Tabla I).

Tabla I. Análisis discriminante de las características físicas medidas en 40 nidos seleccionados. El modelo incluyó 4 variables (zona, visibilidad, pendiente y densidad) y dos grupos (éxito y fracaso del nido).

| Variable    | F (1,35) | p       |
|-------------|----------|---------|
| Zona        | 1.882616 | 0.17877 |
| Visibilidad | 0.059835 | 0.80819 |
| Pendiente   | 0.296978 | 0.58924 |
| Densidad    | 0.495822 | 0.486   |

### *III.2. Parámetros reproductivos*

#### *III.2.1. Cronología de anidación*

La temporada de anidación 2006 en Morros del Potosí fue asincrónica. La mayoría de los nidos en la primera semana de enero contenían pollos, cuya edad varió de menos de 1 hasta 12 semanas. Ello reflejó que la anidación comenzó en el otoño de 2005. Sin embargo, también había nidos con huevos y algunas parejas aún se encontraban cortejando. En una segunda oleada de anidación la puesta de huevos comenzó el 11 de marzo y exhibió un pico durante los primeros días de abril. Alrededor del 22 de abril comenzaron a eclosionar huevos de este período. El período de eclosión culminó el 11 de junio, con la pérdida de los huevos que aún no habían eclosionado (12%) debido a las lluvias causadas por la tormenta tropical Aletta (27-30 de mayo) y la depresión tropical 2E (3-4 de junio; Comisión Nacional del Agua 2006), que ocasionaron, además, la muerte de 5% de los pollos marcados dentro de las parcelas. En general, la mortalidad de pollos en las parcelas entre enero y junio de 2006 fue baja (13%; Figuras 5 y 6).

#### *III.2.2. Densidad de nidos*

De los 190 nidos marcados durante la temporada reproductiva, 79 estaban en la ladera y 111 en la cima. La densidad de nidos activos fue ligeramente mayor en la zona de la cima que en la ladera, aunque tal diferencia no fue significativa ( $t = -1.265$ ,  $p = 0.2297$ ). Las densidades mínimas de nidos activos ocurrieron el 27 de enero (ladera = 1.4 nidos/100m<sup>2</sup>; cima = 1.6 nidos/100m<sup>2</sup>), mientras que las densidades máximas se registraron en abril (ladera = 13 nidos/100m<sup>2</sup>; cima = 20

nidos/100m<sup>2</sup>), y a partir de ese momento disminuyeron en ambas zonas de la colonia.

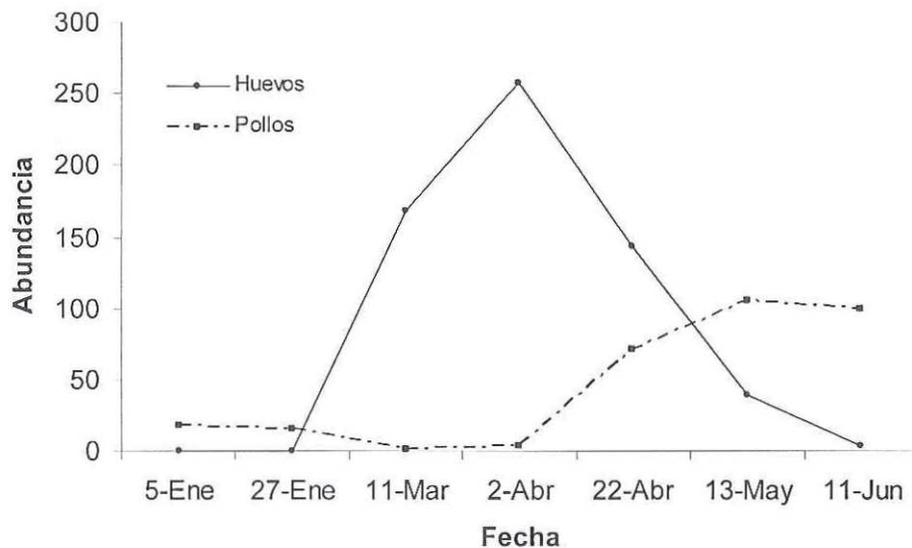


Figura 5. Abundancia de huevos y pollos en 190 nidos seleccionados de *S. leucogaster* en Morros del Potosí, Guerrero. Enero – junio de 2006.

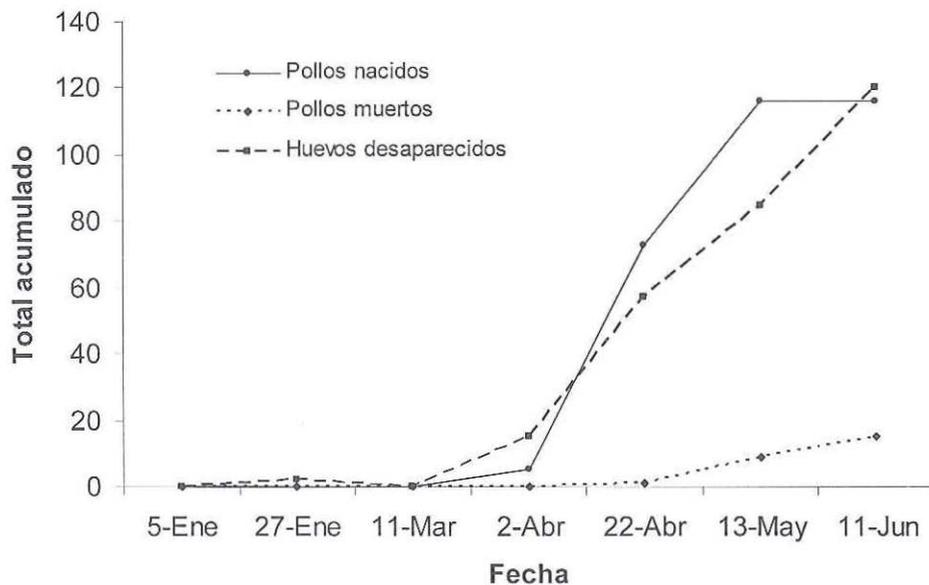


Figura 6. Total acumulado de pollos nacidos, pollos muertos y huevos perdidos en 190 nidos seleccionados de *S. leucogaster* en Morros del Potosí, Guerrero. Enero – junio de 2006.

Las diferencias entre las densidades de nidos con huevo y de nidos con pollo (Figura 7) tampoco fueron significativas entre ambas zonas de la colonia ( $t = -0.572$ ,  $p = 0.578$  y  $t = -0.908$ ,  $p = 0.382$ , respectivamente). Las densidades máximas de nidos con pollos ocurrieron en mayo y decrecieron muy poco durante los últimos días del estudio.

### III.2.3. Huevos

En los 40 nidos cuyos huevos se revisaron con el método de flotación, el primer huevo puesto fue siempre el más grande. A partir de este resultado, se consideró para todos los nidos con 2 huevos dentro de las parcelas al huevo más grande como el primero. Los huevos promediaron  $59.41 \pm 0.14$  mm de largo x  $40.24 \pm 0.11$  mm de ancho y pesaron  $48.89 \pm 0.26$  g, con un volumen promedio de  $48.93 \pm 0.33$  cm<sup>3</sup>. En los huevos de nidos con 2 huevos, los primeros huevos fueron significativamente más largos, anchos y pesados, y con mayor volumen (Tabla II). En cambio, no hubo diferencias significativas entre el primer huevo puesto de nidos con 2 huevos y los huevos de nidos con un huevo, en las 4 variables medidas (Tabla III).

El éxito de eclosión (número de pollos eclosionados por nido) fue de 61% y no hubo diferencias significativas entre zonas de la colonia (Prueba de proporciones;  $Z = 0.94$ ,  $p \leq 0.05$ ). El tamaño promedio de nidada fue de  $1.59 \pm 0.04$  huevos/nido y hubo diferencias significativas en los tamaños de nidada entre la ladera ( $1.48 \pm 0.05$  huevos/nido) y la cima ( $1.67 \pm 0.04$  huevos/nido) ( $U = 3570.5$ ,  $p = 0.029$ ).

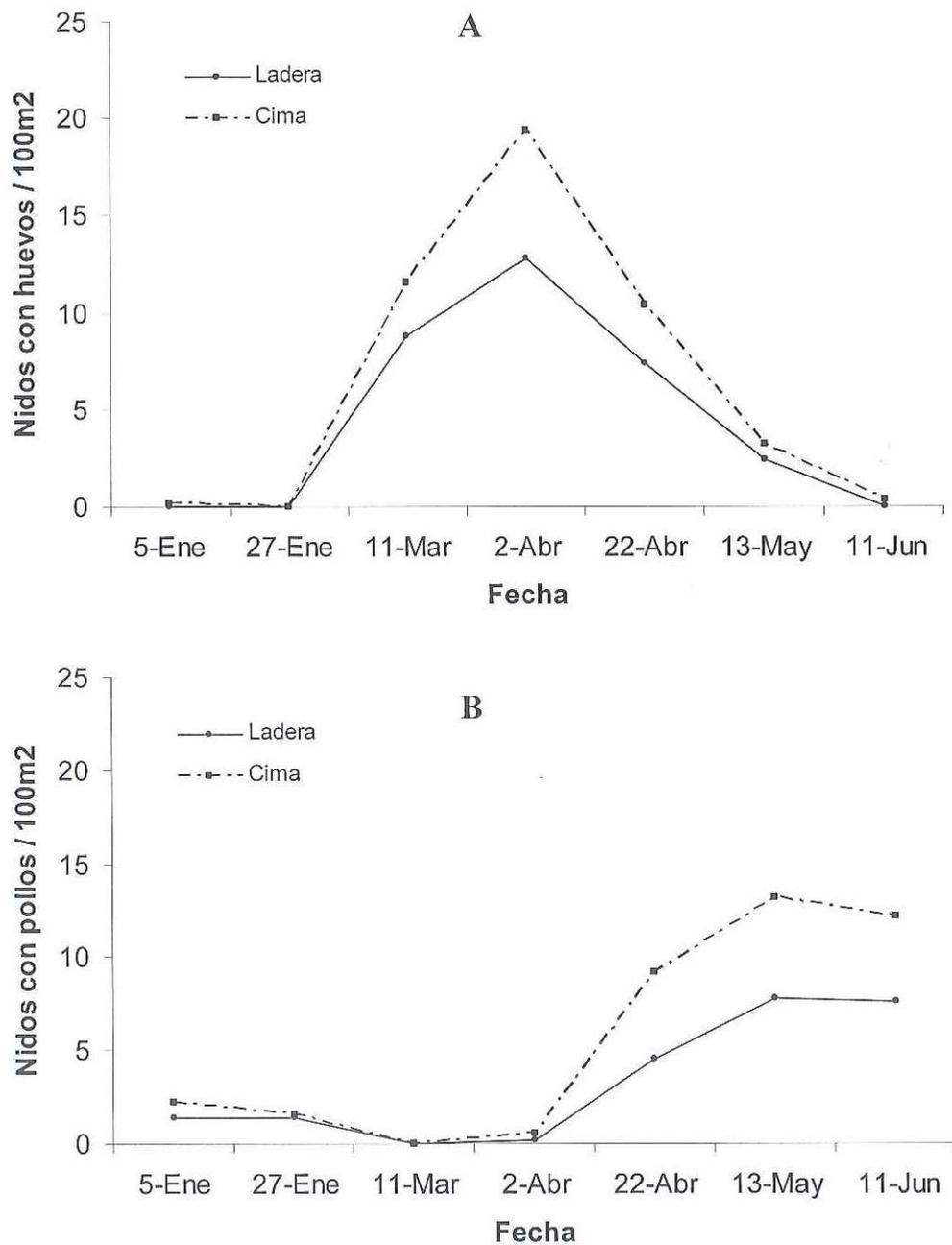


Figura 7. Densidad de nidos activos de *S. leucogaster* en 10 parcelas de 10 x 10 m en Morros del Potosí, Guerrero. Enero – junio de 2006. A) Nidos con huevos. B) Nidos con pollos.

Tabla II. Medidas (media  $\pm$  el error estándar) del primer y el segundo huevo en nidos con 2 huevos de *S. leucogaster* en Morros del Potosí Guerrero. Enero – junio de 2006.

|                            | <b>Primer huevo</b> | <b>Segundo huevo</b> | <b>U</b> | <b>P</b> |
|----------------------------|---------------------|----------------------|----------|----------|
| Largo (mm)                 | 60.28 $\pm$ 0.19    | 50.02 $\pm$ 0.23     | 2459.5   | 0.000    |
| Ancho (mm)                 | 40.54 $\pm$ 0.14    | 39.64 $\pm$ 0.22     | 3687.5   | 0.000    |
| Masa (g)                   | 50.29 $\pm$ 0.34    | 46.53 $\pm$ 0.42     | 2806.0   | 0.000    |
| Volumen (cm <sup>3</sup> ) | 50.31 $\pm$ 0.40    | 46.41 $\pm$ 0.58     | 2814.5   | 0.000    |

Tabla III. Medidas (media  $\pm$  el error estándar) del primer huevo puesto en nidos con 2 huevos y el primer huevo puesto en nidos con 1 huevo de *S. leucogaster* en Morros del Potosí Guerrero. Enero – junio de 2006.

|                            | <b>Primer huevo en<br/>nidos con 2<br/>huevos</b> | <b>Huevo en nidos<br/>con 1 huevo</b> | <b>U</b> | <b>p</b> |
|----------------------------|---|---------------------------------------|----------|----------|
| Largo (mm)                 | 60.28 $\pm$ 0.19                                  | 60.14 $\pm$ 0.26                      | 4078.5   | 0.412    |
| Ancho (mm)                 | 40.54 $\pm$ 0.14                                  | 40.64 $\pm$ 0.20                      | 4271.0   | 0.761    |
| Masa (g)                   | 50.29 $\pm$ 0.34                                  | 50.24 $\pm$ 0.49                      | 4315.5   | 0.854    |
| Volumen (cm <sup>3</sup> ) | 50.31 $\pm$ 0.40                                  | 50.52 $\pm$ 0.65                      | 4247.0   | 0.713    |

### III.3. Ecología de Forrajeo

#### III.3.1. Duración de los viajes de forrajeo

Los viajes de forrajeo duraron 5.78 ( $\pm$  0.21) horas, y no hubo diferencias significativas entre machos (5.61  $\pm$  0.29 h) y hembras (5.98  $\pm$  0.30 h; Mann – Whitney: U=11700, p= 0.32), pero si entre meses (Kruskal – Wallis: H (4,

(N=317)=11.365,  $p=0.022$ ). Los viajes más cortos se realizaron en febrero y abril, y los más largos en mayo (Figura 8).

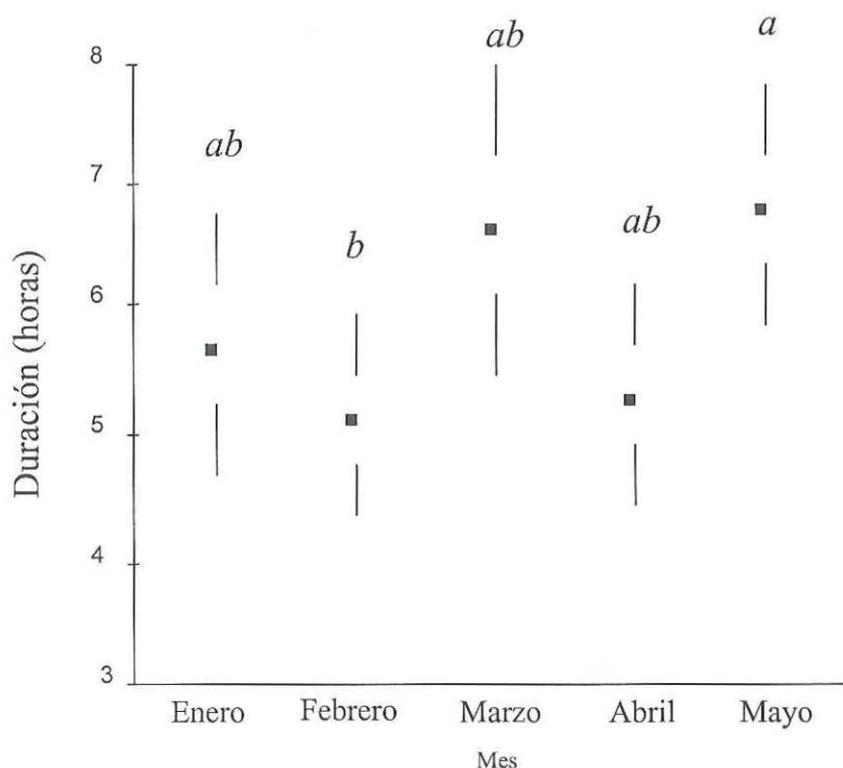


Figura 8. Duración de los viajes de forrajeo de *Sula leucogaster* en función del mes de observación, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006. ■ Media,  $\pm$  SE, |  $\pm$  intervalo de confianza al 95%\*SE.

### III.3.2. Profundidad máxima de buceo

El promedio de valores de profundidad máxima de buceo fue de  $5.52 \pm 0.42$  m, con un registro mínimo de 0.38 m y un máximo de 19.71 m. El 78% de los registros estuvieron entre 2 y 9 metros. No hubo diferencias significativas entre machos ( $5.72 \pm 0.64$  m) y hembras ( $5.30 \pm 0.53$  m; Mann – Whitney:  $U=922$ ,

$p=0.849$ ; Figura 9) en la profundidad máxima de buceo, pero si las hubo entre meses (Kruskal – Wallis:  $H(3, n=87)=33.765, p=0.000$ ), siendo en enero cuando se registraron los buceos más superficiales (Figura 10).

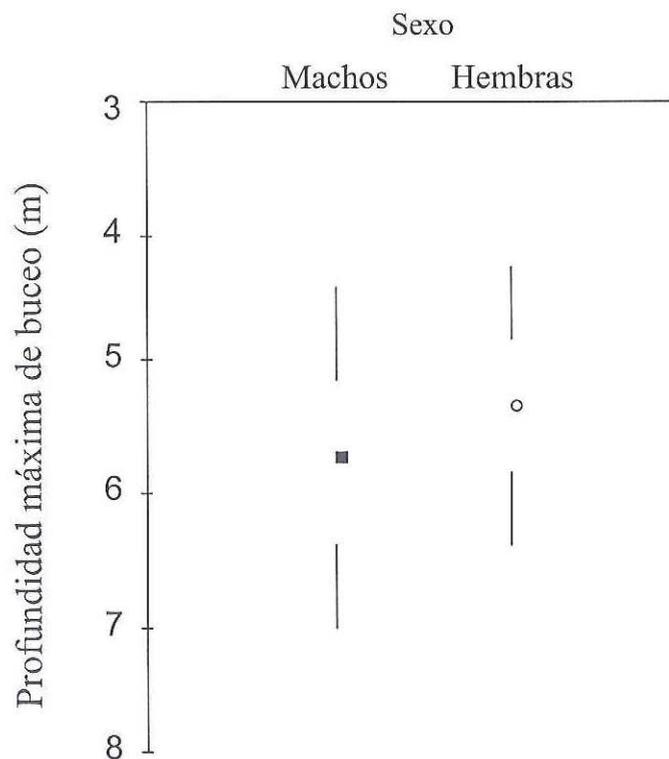


Figura 9. Profundidad máxima de buceo de *Sula leucogaster*, en función del sexo del ave en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media  $\pm$  SE  $\pm$  intervalo de confianza al 95%\*SE).

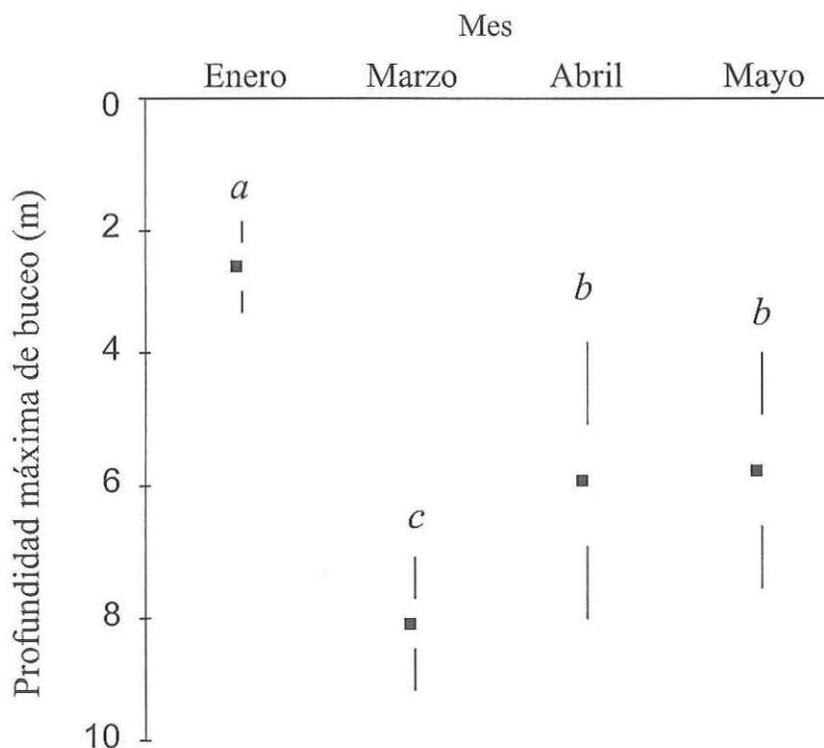


Figura 10. Profundidad máxima de buceo de *Sula leucogaster*, en función del mes, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media  $\pm$  SE  $\pm$  intervalo de confianza al 95%\*SE).

### III.3.3. Dieta

Durante la temporada de anidación 2006 la dieta de *Sula leucogaster* en los Morros del Potosí incluyó 9 especies de peces pelágicos de 5 familias diferentes (Tabla IV). La talla mínima de los peces fue de 70 mm y la máxima de 260 mm.

Tabla IV. Especies de peces identificadas en los regurgitados de *Sula leucogaster*, colectados en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006.

| Orden                            | Familia       | Especie                         | Longitud máxima (mm) |
|----------------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|
| Beloniformes                     | Exocoetidae   | <i>Cheilopogon sp.</i>          | 260                  |
|                                  |               | <i>Exocoetus sp.</i>            |                      |
|                                  |               | <i>Hirundichthys speculiger</i> |                      |
|                                  |               | <i>Hirundichthys sp.</i>        | 230                  |
|                                  | Hemiramphidae | <i>Hemiramphus saltator</i>     | 160                  |
| <i>Oxyporhamphus micropterus</i> |               | 180                             |                      |
| Cupleiformes                     | Clupeidae     | <i>Lile sp.</i>                 | 140                  |
| Perciformes                      | Carangidae    | <i>Caranx vinctus</i>           | 70                   |
|                                  | Scombridae    | No identificado                 | 260                  |

### III.4. Patrones de cuidado parental

#### III.4.1. Presencia de los padres en el nido

Durante toda la temporada de anidación 2006, el contenido de los nidos no determinó la presencia de los padres cerca o sobre el nido. Es decir, la permanencia de los padres fue igual en nidos con huevos y en nidos con pollos (Mann – Whitney:  $U=9755$ ,  $p=0.103$ ). Las hembras permanecieron más tiempo en el nido, ya fuera cuidando huevos (Mann – Whitney:  $U=1418.5$ ,  $p=0.005$ ) o cuidando pollos (Mann – Whitney:  $U=2706.5$ ,  $p=0.001$ ; Figuras 11 y 12). En contraste, no hubo diferencias significativas entre meses en la permanencia de los

padres sobre los nidos con huevos (Kruskal – Wallis:  $H(4, N=126)=0.277$ ,  $p=0.991$ ), ni sobre los nidos con pollos (Kruskal – Wallis:  $H(4, N=174)=9.127$ ,  $p=0.058$ ; Figuras 13 y 14). El tiempo en que ambos padres estuvieron juntos al cuidado del nido fue igual en todos los meses de observación, tanto en nidos con huevos (Kruskal – Wallis:  $H(4, N=63)=10.728$ ,  $p=0.029$ ) como en nidos con pollos (Kruskal – Wallis:  $H(4, N=87)=13.165$ ,  $p=0.010$ ).

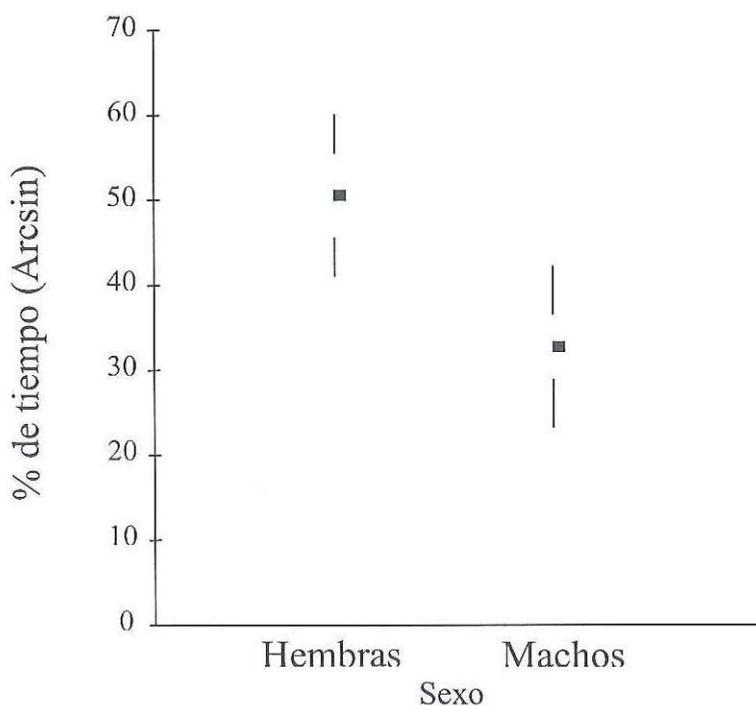


Figura 11. Tiempo de permanencia de los padres sobre los nidos con huevos de *Sula leucogaster* en función de su sexo, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media  $\pm$  SE  $\pm$  intervalo de confianza al 95%\*SE).

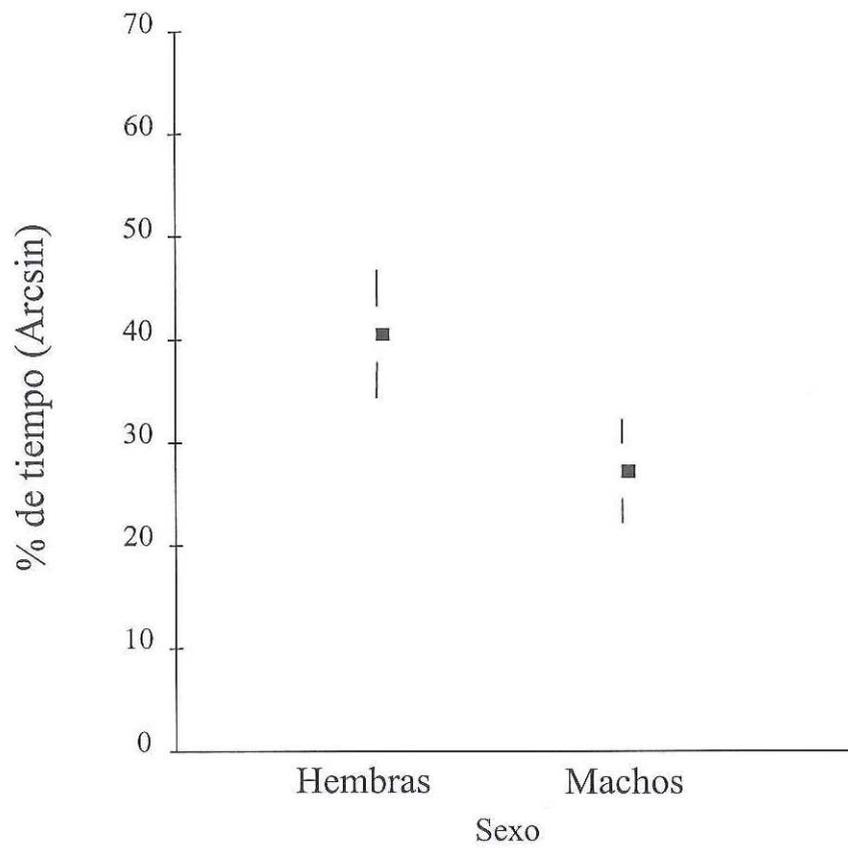


Figura 12. Tiempo de permanencia de los padres sobre los nidos con pollos de *Sula leucogaster* en función de su sexo, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media  $\pm$  SE  $\pm$  intervalo de confianza al 95%\*SE).

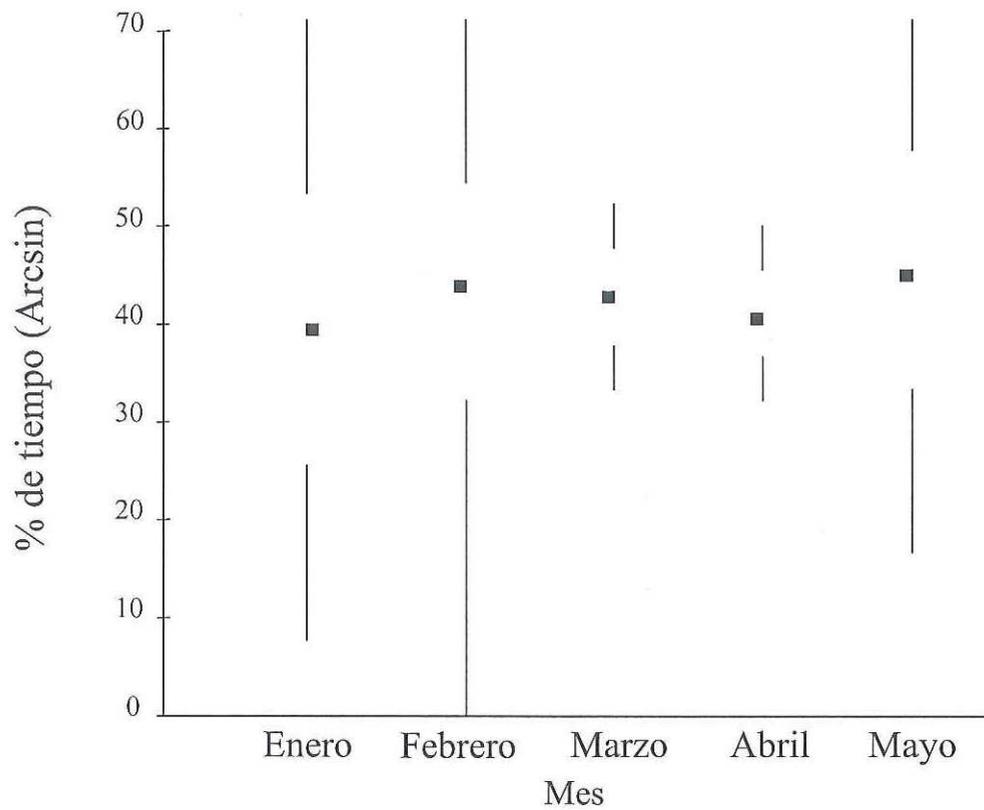


Figura 13. Tiempo de permanencia de los padres sobre los nidos con huevos de *Sula leucogaster* en función del mes de observación, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media  $\pm$  SE  $\pm$  intervalo de confianza al 95%\*SE).

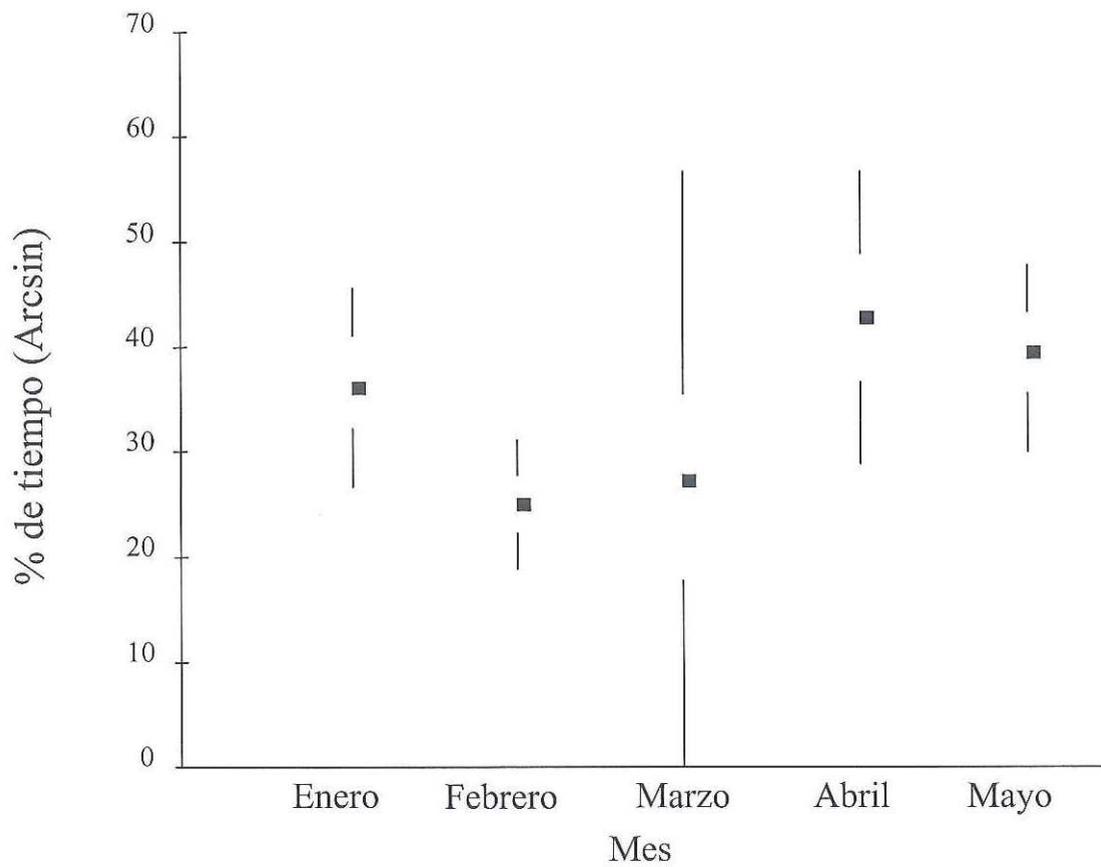


Figura 14. Tiempo de permanencia de los padres sobre los nidos con pollos de *Sula leucogaster* en función del mes de observación, en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (Media  $\pm$  SE  $\pm$  intervalo de confianza al 95%\*SE).

## IV. DISCUSIÓN

### IV.1. Características físicas de los nidos

La selección de sitios adecuados para la anidación es crítica para la mayoría de los animales, puesto que afecta directamente su aptitud (Partridge 1978, Cody 1985). En aves marinas, las características del hábitat pueden afectar fuertemente su éxito reproductivo (Martin 1993, Calladine 1997) y, aunque la variación en la calidad del hábitat afecta la probabilidad de éxito reproductivo, los factores abióticos de los sitios de anidación en general se mantienen constantes entre años, manteniéndose así la calidad de los sitios (Boulinier y Lemel, 1996).

El bobo café utiliza una gran variedad de hábitat para la anidación en comparación con otras especies de súlidos, pero cuando anida simpátricamente con súlidos de mayor tamaño, los bobos cafés prefieren anidar en sitios más escarpados evitando así la competencia por espacio (Nelson 1978). En el Farallón de San Ignacio, los bobos cafés anidaron en laderas y acantilados, mientras que los bobos de patas azules, de mayor tamaño, ocuparon la cima de la colonia (González-Bernal *et al.* 2002; Suazo-Guillén 2004). En Morros del Potosí, donde virtualmente no hay competencia con otras especies de súlidos, los bobos cafés anidaron en toda la isla. Sin embargo, dos parejas de bobo enmascarado (*S. dactylatra*) anidaron en uno de los mejores sitios de la cima de la isla (Castillo-Guerrero *et al.* 2007), posiblemente reflejando el desplazamiento de ésta especie de mayor tamaño sobre los bobos cafés (*sensu* Dorward 1962).

En Morros del Potosí no se encontraron influencias de las características físicas del sitio de anidación sobre el éxito de eclosión de los bobos cafés. Lo que

contrasta con la Isla San Jorge, donde el éxito de eclosión si fue afectado de manera importante por algunas de las características físicas, principalmente por la ubicación del nido en la colonia y por la densidad de nidos alrededor del nido focal. En San Jorge, dicho efecto se atribuyó a un mayor ataque de depredadores (gaviotas, principalmente) cuando la densidad de nidos era menor (Suazo-Guillén 2004). En Morros del Potosí, en contraste, no se observaron eventos de depredación sobre nidos de bobo café en ninguna de las dos zonas de la colonia, aunque se observó un individuo de zopilote (*Coragyps atratus*) recorriendo la colonia en búsqueda de nidos sin la protección de los padres (observación personal).

Aunque en los bobos de patas azules en Isla El Rancho hubo un efecto significativo de la zona de anidación dentro de la colonia sobre el éxito reproductivo, el factor con mayor influencia en el mismo fue la densidad de nidos alrededor del nido focal (Castillo-Guerrero 2003). En los bobos cafés, la densidad de anidación es muy variable entre colonias, y en algunas de éstas colonias hay una fuerte variación en la densidad entre zonas de una misma isla. En Isla San Jorge, la mayor densidad de nidos se encontró en la ladera (Suazo-Guillén 2004), mientras que en Morros del Potosí no hubo diferencias entre la ladera y la cima de la isla, en la densidad de nidos alrededor del nido focal. Aunque Massaro *et al.* (2001) argumentan que el anidar en zonas densas incrementa la vigilancia y la defensa en grupo para alejar a los depredadores, al parecer, en Morros del Potosí, la densidad de anidación no fue resultado directo de la influencia de la

depredación, sino que estuvo dictada, probablemente, por factores como el sustrato.

#### *IV.2. Parámetros reproductivos*

Diversos autores sugieren que algunos parámetros reproductivos de las aves marinas pueden reflejar el estado del ambiente marino y que, por lo tanto, se pueden utilizar como indicadores de la disponibilidad de alimento (Ricklefs *et al.* 1984, Frank y Becker 1992, Velarde *et al.* 2004). La disponibilidad de presas, por ejemplo, puede ser determinante para el inicio de postura de huevos (Schreiber y Norton 2002). También, el tamaño de puesta y el tamaño de los huevos pueden estar relacionados con la disponibilidad de alimento (Nisbet 1978, Heatwole *et al.* 1990, Clifford y Anderson 2001, Suazo-Guillén 2004).

En los bobos cafés, la cronología de anidación es muy variable entre colonias de todo el mundo. Algunas colonias exhiben un solo pico reproductivo anual (Islas Hawaii, Atolón de Johnston, Isla Vostok e islas del Océano Índico), mientras que en otras los bobos ponen huevos durante todos los meses del año (Atolón de Kure, Isla de Navidad, Isla Fénix, islas de la Costa Brasileña; Nelson 1978, Schreiber y Norton 2002, Branco 2004). En Morros del Potosí, ya había pollos de diferentes edades al inicio de este estudio (en el mes de enero), lo que sugiere que aquí los bobos cafés anidan cuando menos desde el otoño. Durante todo el estudio siguieron poniendo huevos, lo que aunado a lo anterior indica que hay anidación virtualmente todo el año. A pesar de ello, hubo dos picos reproductivos definidos: otoño (octubre – noviembre), y primavera (marzo – abril).

En las Islas Vírgenes Británicas, Schreiber y Norton (2002) atribuyeron la presencia de huevos durante todo el año a la repetida pérdida de nidos y a su reposición subsiguiente. En Morros del Potosí, es posible que el pico reproductivo de otoño esté normado por el fin de la temporada de huracanes en el Pacífico Mexicano, cuando las inclemencias del tiempo (principal causa de pérdida de huevos y pollos en esta colonia durante el presente estudio) terminan y entonces permiten la anidación de aquellas parejas cuya reproducción fue interrumpida por eventos meteorológicos.

La densidad de anidación en los bobos cafés es muy variable y frecuentemente está dictada por el sustrato (Schreiber y Norton 2002; Suazo-Guillén 2004). En Isla Navidad, la densidad de nidos fue de 0.07 nidos/m<sup>2</sup> (Nelson 1978), en Isla San Jorge de 0.06 nidos/m<sup>2</sup> y en el Farallón de San Ignacio de 0.08 nidos/m<sup>2</sup> (Suazo-Guillén 2004). En Morros del Potosí las densidades máximas de nidos superaron a las registradas en otras colonias (13 nidos/100m<sup>2</sup> = 0.13 nidos/m<sup>2</sup>, en la ladera; 20 nidos/100m<sup>2</sup> = 0.2 nidos/m<sup>2</sup>, en la cima), lo que se puede atribuir al sustrato escalonado de la isla permite que los nidos sean construidos a menor distancia unos de otros. La diferencia entre la densidad de anidación reportada por Mellink y Riojas-López (2005; 2078 nidos/ha en la ladera y 3325 nidos/ha en la cima), y la del presente estudio (1300 y 2000, respectivamente), pudo haberse debido a la diferencia en los métodos de estimación utilizados; en este trabajo utilicé el método de conteo de nidos dentro de parcelas de 10 x 10 metros, mientras Mellink y Riojas-López (2005) utilizaron el método de cuadrantes centrados en un punto (que consiste en establecer líneas

perpendiculares a un transecto cada determinada distancia y medir la distancia desde el punto de intersección al nido más cercano, en cada uno de los cuadrantes y en cada línea perpendicular). Sin embargo, también pudo haber reflejado, cuando menos parcialmente, diferencias entre los años en que dichas colonias se estudiaron.

Existen dos hipótesis para explicar un cierto tamaño de nidada: (1) nidadas de varios huevos pueden mejorar la oportunidad de que al menos un pollo sobreviva hasta la edad de volantón y, (2) los padres no pueden alimentar adecuadamente a más de un pollo grande (Lack 1986). En Morros del Potosí, las parejas de la cima tuvieron un tamaño de nidada mayor, lo que sugiere la posibilidad de que estos sitios son mejores y son, quizás, acaparados por las parejas más experimentadas. Aquí, las parejas pusieron dos huevos, lo que podría aumentar la probabilidad de producir cuando menos un pollo, en concordancia con Clifford y Anderson (2001), quienes opinaron que la selección parece favorecer nidadas de dos huevos, es decir, las parejas que ponen dos huevos están mejor adaptadas que los que ponen únicamente un huevo, o bien, que las que llegan a poner 3 huevos o más. En Morros del Potosí la ventaja de una nidada mayor no fue clara, pues no se encontraron diferencias en el éxito de eclosión entre ambas zonas de la colonia.

En los bobos cafés del Golfo de California, el tamaño menor de los huevos en el Farallón de San Ignacio con respecto a los de la Isla San Jorge en la temporada 2004 pudo ser un reflejo de que hubo menos alimento disponible en el Farallón (Suazo-Guillén 2004). Los huevos de *S. leucogaster* de Morros del Potosí

( $59.41 \pm 0.14$  mm x  $40.24 \pm 0.11$  mm) fueron más pequeños que los de Isla San Jorge ( $61.32 \pm 0.42$  mm x  $41.51 \pm 0.29$  mm), pero similares a los del Farallón de San Ignacio ( $59.83 \pm 0.35$  mm x  $40.54 \pm 0.17$  mm; Suazo-Guillén 2004), lo que puede reflejar menos alimento en aguas más tropicales, o bien puede haber diferencias en la disponibilidad de alimento entre los diferentes años de estudio.

Simmons (1997) propuso que la variación en tamaño de nidada en especies con fraticidio obligado (como los bobos cafés; ver Nelson 1978) está relacionado con la compensación entre calidad y cantidad de huevos, pues algunos individuos producen un solo huevo altamente eclosionable, mientras otros producen dos huevos pequeños, de menor calidad. Se ha predicho que el tamaño de huevo puede ser más grande en nidadas con un solo huevo, que en nidadas con dos huevos (Heatwole *et al.* 1990). En los bobos cafés de Morros del Potosí no se cumplió esa predicción, pues los primeros huevos puestos en nidadas de dos huevos ( $50.31 \pm 0.40$  cm<sup>3</sup>) tuvieron un volumen similar al de los huevos de nidadas de un sólo huevo ( $50.52 \pm 0.65$  cm<sup>3</sup>;  $U= 4247$ ,  $p= 0.713$ ). Clifford y Anderson (2002) encontraron el mismo patrón en los bobos de Nazca (*S. granti*), en donde los huevos de nidadas con dos huevos fueron similares en volumen o más grandes que los huevos de nidadas con un sólo huevo.

El éxito reproductivo es otro parámetro que se puede utilizar como indicador de la calidad del ambiente, pues refleja la disponibilidad de alimento en el mar (Cairns 1992, Furness 2003). Los bobos cafés de Morros del Potosí tuvieron un éxito de eclosión del 61% en la temporada 2006, igual a lo reportado por Nelson (1978) para las Islas Kure (61.2%), pero ligeramente mayor a lo que él mismo

reportó para la Isla de Navidad (51%). En las colonias del Golfo de California el éxito de eclosión, en 2003, fue muy bajo comparado con los reportes mencionados antes (23.7% en Isla San Jorge y 16.4% en el Farallón de San Ignacio), lo que fue atribuido a la presencia de condiciones El Niño (Suazo-Guillén 2004).

El éxito a volantón no se pudo obtener en Morros del Potosí por razones de logística, pero, en general, la mortalidad de pollos durante el período de estudio fue muy baja (13%), comparada con la registrada en Isla San Jorge (92.3%) y El Farallón de San Ignacio (100%) durante la temporada de anidación 2003 (Suazo-Guillén 2004). En otra colonia del Golfo de California, en Isla El Rancho, la mortalidad de pollos del bobo de patas azules ha sido también alta (80%), principalmente debido a la depredación por gaviotas. En Morros del Potosí, no observé gaviotas u otros depredadores potenciales en ninguno de los días de trabajo en la isla, por lo que la depredación no parece ser el principal factor que causa pérdida de huevos y pollos en esta colonia, durante este período de estudio.

En un estudio previo en Morros del Potosí, Mellink y Riojas-López (2005) reportaron una diferencia marcada en la densidad de nidos entre la ladera y la cima de la isla del este. Esta diferencia entre los resultados de los dos estudios marcó la pauta para hipotetizar que los parámetros reproductivos del pájaro bobo café, incluyendo la densidad de anidación, eran diferentes entre la ladera y la cima de Morros del Potosí. Los resultados que obtuve durante la temporada 2006, no mostraron diferencias entre las dos zonas de la colonia en ninguno de los parámetros medidos, a excepción del tamaño de nidada. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula en favor de la hipótesis alterna de que no existen diferencias

significativas entre zonas de la colonia en los parámetros reproductivos del bobo café (a excepción del tamaño de nidada).

### *IV.3. Ecología de Forrajeo*

#### *IV.3.1. Duración de los viajes de forrajeo*

Los bobos cafés de Morros del Potosí realizaron viajes de forrajeo con una duración promedio de 5.78 horas, sin exhibir diferencias entre sexos, similar a lo observado en el Farallón de San Ignacio (Peñaloza-Padilla 2006). Sin embargo, aquí hubo diferencias entre los viajes de forrajeo entre los meses de estudio, y los viajes más cortos se realizaron en febrero y los más largos en mayo. Los viajes más largos coincidieron con el período de densidades máximas de nidos con pollos, lo que sugiere un aumento del esfuerzo de forrajeo de los padres para cumplir con los requerimientos alimenticios de los pollos. Un aumento similar en el promedio mensual se observó también en el bobo de patas azules en Isla El Rancho, cuyos viajes de forrajeo duraron más en marzo, cuando los pollos requerían más alimento (Castillo-Guerrero 2003).

#### *IV.3.2. Dieta*

En Morros del Potosí, durante la temporada de anidación 2006, los bobos cafés consumieron 9 especies de peces, todas de hábitos pelágicos. Cuatro de ellas fueron peces voladores. Esto contrasta con lo reportado para la colonia de Isla San Jorge, donde se observaron hasta 15 especies bénticas en la dieta del bobo café (Mellink *et al.* 2001), pero donde se adscribió una diversidad alta de

alimento porque las aguas someras que rodean a la isla permiten a los bobos forrajear sobre estas especies bénticas (Mellink *et al.* 2001, Suazo-Guillén 2004). En el Farallón de San Ignacio, se encontraron 12 especies de peces en la dieta del bobo café, siendo las más importantes *Cetengraulis mysticetus* y *Fistularia corneta* (Peñaloza-Padilla 2006). En la isla San Jorge, la presa dominante en 2003 fue la sardina (*S. caeruleus*; Suazo-Guillén 2004), mientras que en el estudio de 2001 y 2004 fue la anchoveta del Pacífico (*C. mysticetus*; Mellink *et al.* 2001). En 2001, siempre que los bobos cafés en San Jorge no se alimentaron de anchoveta del Pacífico, su dieta fue más diversa, lo que sugirió que cuando la anchoveta estaba disponible, era su alimento preferido (Mellink *et al.* 2001). También, el consumo generalmente bajo de peces bénticos sugirió que el bobo café optó por ellos cuando las especies pelágicas no estaban disponibles (Mellink *et al.* 2001), por ejemplo, durante eventos El Niño (Schreiber y Norton 2002). Así, la dieta de bobos cafés en los Morros El Potosí reflejaría una pobreza de especies bénticas disponibles para los bobos, a pesar de su cercanía con la costa rocosa, o que, quizás las presas pelágicas, aunque no superabundantes, eran suficientes.

#### IV.3.3. Profundidad máxima de buceo

Los bobos cafés de Isla San Jorge exhibieron profundidades máximas de buceo en promedio de 2.9 m, en la temporada de anidación 2003, y de 2.3 m, durante la temporada 2004. En ambos años, la mayoría de los buceos se registraron ente los 1 y 4 m (Suazo-Guillén 2004). La misma especie en el Farallón de San Ignacio exhibió profundidades máximas de buceo ligeramente mayores a 3

m, con un máximo de 9.37 m, y las hembras con pollos grandes (8 a 12 semanas) bucearon más profundo que el resto, lo que puede relacionarse con una mayor contribución de las hembras a la alimentación de los pollos grandes (Peñaloza-Padilla 2006).

En Morros del Potosí, las profundidades máximas de buceo de los bobos cafés promediaron 5.52 m, con registros extremos mayores a los 19 m. Estos valores fueron mayores a los registrados en el Atolón de Johnston (menores a 1 m; Lewis *et al.* 2005) y en las islas del Golfo de California, y superaron incluso la profundidad promedio de especies de súlidos de mayor tamaño, como los bobos patas azules y los alcatraces del norte (*Sula bassana*; Garthe *et al.* 2000). Esta diferencia puede deberse a que en algunas aguas tropicales (características de la región sur del país), a excepción del Atolón de Johnston, los recursos alimenticios son escasos (Longhurst y Pauly 1987) y las aves marinas forrajean en aguas con baja productividad relativa a la mayoría de los sistemas no tropicales (Balance y Pitman 1999).

#### IV.3.4. Efecto del hábitat de forrajeo en el éxito reproductivo

Los bobos cafés realizaron buceos más profundos en Morros del Potosí, que en Isla San Jorge y El Farallón de San Ignacio (Suazo-Guillén 2004, Peñaloza-Padilla 2006), y los viajes de forrajeo fueron más largos que en El Farallón de San Ignacio (Peñaloza-Padilla 2006). Esto sugiere que los bobos requieren bucear más profundo y viajar más lejos para capturar las presas disponibles.

El éxito reproductivo es un factor que refleja la disponibilidad de presas en el mar (Cairns 1992, Regehr y Montevecchi 1997). En Morros del Potosí, el éxito de eclosión alto (61%) y la baja mortalidad de pollos (13%), sugieren que, en general, aunque quizás requirió un mayor esfuerzo de forrajeo de los adultos, hubo una buena disponibilidad de alimento durante la temporada de anidación 2006, a excepción de los días subsecuentes al paso de la Tormenta Tropical Aletta (27-30 de mayo) y la depresión tropical 2E (SMN 2006), cuando la mortalidad del 5% de los pollos (todos menores a 4 semanas de edad) puede reflejar la incapacidad de los padres para forrajear durante los días de mal tiempo (aunque, también, los pollos podría haberse ahogado a causa de las intensas lluvias).

#### *IV.4. Patrones de cuidado parental*

Los súlidos dedican buena parte de su tiempo al cuidado de sus nidos. Ambos padres comparten las labores de incubación de huevos y protección de pollos (Dorward 1962; Simmons 1967; Nelson 1978; Tershy y Croll 2000). Muchos ornitólogos han estudiado el cuidado parental en los súlidos para probar diversas hipótesis. Guerra y Drummond (1995) propusieron la hipótesis de que la división de labores entre sexos de *S. nebouxii* originó un mayor tamaño de la hembra. Martins y Dias (2003) encontraron, en los bobos cafés, evidencia que apoya esta hipótesis. Ellos estudiaron además, las diferencias en el cuidado parental entre machos y hembras de bobo café, para verificar su influencia en el éxito reproductivo y en el patrón de reducción de la nidada. Wilson (1975) propuso que

algunas condiciones ecológicas como el establecimiento de los adultos en hábitat saturados o inestables, la reproducción en ambientes físicos estresantes, las dietas especializadas que alargan la dependencia de los pollos y la presencia de depredación, pudieron haber forzado el desarrollo del cuidado biparental en los súlidos.

En varias colonias de súlidos la permanencia de los padres en el nido difiere en función del contenido del nido, es decir, cuando tiene huevos y cuando tiene pollos (González y Osorno, en Guerra y Drummond 1995; Castillo-Guerrero 2003; Suazo-Guillén 2004). En los bobos cafés de Morros del Potosí no se observó esta diferencia, y el cuidado de los padres fue similar en los períodos de incubación y de cría de pollos.

Castillo-Guerrero (2003) argumentó que la diferencia de masa entre sexos (hembra mayor que el macho) del bobo de patas azules, permitía a la hembra capturar más presas de un cardúmen y resistir mejor la privación de alimento durante el período de incubación, y por esta razón en la Isla El Rancho ella permaneció más tiempo cuidando nidos con huevos que los machos. En las islas de la costa brasileña también se encontró este patrón (Martins y Dias 2003) al igual que en la temporada 2004 de Isla San Jorge (Suazo-Guillén 2004). Algo similar ocurrió en los bobos cafés de Morros del Potosí, pues las hembras incubaron durante más tiempo que los machos.

En contraste, en Isla San Pedro Mártir (Tershy y Croll 2000), y en la temporada 2003 de Isla San Jorge (Suazo-Guillén 2004), los padres de ambos sexos incubaron durante el mismo porcentaje de tiempo, debido probablemente a

una menor disponibilidad de alimento durante estos años, que obligó a la hembra a pasar más tiempo forrajeando, igualando el tiempo del macho. Respecto al cuidado de nidos con pollos, los bobos patas azules de Isla Isabel mostraron pocas diferencias entre sexos en el tiempo dedicado al cuidado y protección de los pollos (Guerra y Drummond 1995), igual que la misma especie anidando en Isla El Rancho (Castillo-Guerrero 2003). Los bobos cafés de Isla San Jorge (Suazo Guillén 2004), y de Farallón de San Ignacio (Peñaloza-Padilla 2006) mostraron un patrón como el anterior. En contraste, en Morros del Potosí las hembras de bobo café cuidaron a los nidos con pollos un porcentaje mayor de tiempo, lo que puede atribuirse a la capacidad de las hembras de capturar más alimento que los machos en un solo viaje de forrajeo.

Contrario a lo observado en otros estudios sobre cuidado parental del bobo café, en Morros del Potosí no hubo diferencias a lo largo de la temporada de anidación en el tiempo dedicado al cuidado de los nidos. Martins y Dias (2003) y Peñaloza-Padilla (2006) observaron cómo el tiempo de estancia de los padres al cuidado de los nidos disminuyó conforme los pollos crecieron, y lo explicaron con el hecho de que al crecer los pollos requieren más alimento (Cairns 1992). Suazo-Guillén (2004) propuso que éstas variaciones mensuales en el tiempo dedicado al cuidado de los nidos con pollos podían ser interpretadas como respuestas a la variación en la abundancia de alimento disponible, o bien, a los requerimientos alimentarios del pollo. En Morros del Potosí no parece haber variación evidente en la disponibilidad de alimento, pues el tiempo dedicado al cuidado de los nidos con pollos fue similar en todos los meses, aunque los adultos sí realizaron un mayor

esfuerzo en la búsqueda de alimento al aumentar la distancia de sus viajes de forrajeo en los meses de mayor nacimiento de pollos (ver IV.3.1 Duración de los viajes de forrajeo). Es posible que los bobos cafés en Morros del Potosí estén lo suficientemente adaptados a las poco variables condiciones de disponibilidad de alimento en éstas aguas tropicales, que cuando lo requieren aumentan su esfuerzo de forrajeo, sin sacrificar la protección de sus nidos.

## V. CONCLUSIONES

- La ausencia de otras especies de súlidos que compitan por espacio con el bobo café en Morros del Potosí le permite a éste anidar en toda la isla.
- Los bobos cafés anidan durante gran parte del año en Morros del Potosí, pero existen dos picos reproductivos; otoño y primavera.
- La densidad de anidación en Morros del Potosí fue mayor que en otras colonias estudiadas previamente.
- El tamaño menor de los huevos en Morros del Potosí sugiere que las condiciones de alimento son más severas en esta colonia establecida en aguas tropicales. Sin embargo, los bobos cafés aumentaron su esfuerzo de forrajeo y tuvieron huevos de menor tamaño para contrarrestar estas condiciones.
- No hubo diferencias significativas atribuibles a zona de la colonia (cima y ladera) en cuanto a los diferentes parámetros reproductivos.
- Los bobos cafés de Morros del Potosí se alimentaron exclusivamente de peces de hábitos pelágicos.
- Los buceos más profundos y los viajes de forrajeo más largos durante la época de mayor nacimiento de pollos, fueron un indicio del aumento en el esfuerzo de forrajeo de los bobos cafés.
- El éxito de eclosión alto y la mortalidad de pollos baja indicaron una disponibilidad suficiente de alimento alrededor de la colonia, a excepción de

los días subsecuentes al paso de dos fenómenos meteorológicos, en los cuáles murieron algunos pollos.

- Machos y hembras pasaron el mismo tiempo cuidando los nidos.
- Los bobos cafés dedicaron tiempos similares de atención a los nidos entre los meses de estudio, lo que también sugiere una buena disponibilidad de alimento.
- La depredación no fue un factor determinante en los fallos reproductivos del bobo café en Morros del Potosí, pero condiciones meteorológicas adversas si lo fueron.

## VI. LITERATURA CITADA

- Adams, N. J. y C. B. Walter. 1993. Maximum diving depths of Cape Gannets. *Condor* 95: 734-736 p.
- Ainley, D. G., R. G. Ford, E. D. Brown, R. M. Suryan y D. B. Irons. 2003. Prey resources, competition, and geographic structure of Kittiwake colonies in Prince William Sound. *Ecology* 84: 709-723 p.
- Ainley, D. G. y R. J. Boejelheide. 1983. An ecological comparison of oceanic seabird communities of the South Pacific Ocean. *Studies in Avian Biology* 8: 2-23 p.
- Alves, V. S., A. B. A. Soares, G. S. Couto, M. A. Efe y A. B. B. 2004. Aves marinhas de Abrolhos. En: J. O. Branco (ed.). *Aves marinhas e insulares brasileiras: biologia e conservacao*. Editora da Univali. Itajaí. 266 p.
- Anderson, D. 1983. The seabirds. En: T.J. Case y M.L. Cody (eds.). *Island biogeography in the Sea of Cortéz*. University of California. Berkeley. 246-264 p.
- Anderson, D. J. y R. E. Rickleffs. 1992. Brood size and food provisioning in Masked and Blue-footed Boobies (*Sula spp.*). *Ecology* 73: 1363-1374 p.
- Angeles-Pérez, A., Tershy, B. R. y D. Breese. 1991. Diet of male and female Brown Boobies on the Isla San Pedro Martir, Gulf of California, Mexico. Abstracts of the Pacific Seabird Group Annual Meeting, Monterey, California, Enero 1991. 18:39.
- Ashmole, N. P. 1971. Seabird ecology and the marine environment. En: D. S. Farner y J. R. King (eds.). *Avian Biology*. Academic. New York. 233-286 p.

- Balance, L. T. y R. L. Pitman. 1999. Foraging ecology of tropical seabirds. En: N. J. Adams y R. H. Slotow (eds.). Proceedings of the International Ornithological Congress 22: 2057-2071 p.
- Bell, W. J. 1991. Searching behaviour: The Behavioural Ecology of Finding Resources. Chapman and Hall, London. 358 p.
- Bost, C.A. y L. Maho. 1993. Seabirds as bio-indicators of changing marine ecosystems: new perspectives. Acta Oecologica 14: 463-470 p.
- Both, R. y T. R. O. Freitas. 2001. A dieta de *Sula leucogaster*, *Anous stolidus* e *Anous minutus* no Arquipélago de Sao Pedro e Sao Paulo, Brasil. En: J. B. Albuquerque, J. F. Candido Jr., F. C. Straube y A. L. Roos (eds.). Ornitología e Conservacao: da ciencia ás estratégias. Editora Unisul. Tubarao. 313-337 p.
- 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 p.
- Branco, J. O. 2001. Descartes da pesca do camarao sete-barbas como fonte de alimento para aves marinhas. Revista Brasileira de Zoologia 18: 293-300 p.
- Branco, J. O. 2004. Aves marinhas das Ilhas de Santa Catarina. En: J. O. Branco (ed.). Aves marinhas insulares brasileiras: biología e conservacao. Editora da Univali. Itajaí. 15-36 p.
- Brierley, A. S. y P. G. Fernandes. 2001. Diving Depths of Northern Gannets: Acoustic Observations of *Sula bassana* from an Autonomous Underwater Vehicle. Auk 118: 529-534 p.

- Burguer, 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 p.
- Cairns, D.K. 1987. Seabirds as indicators of marine food supplies. *Biological Oceanography* 5: 261-271 p.
- Cairns, D. K. 1992. Bridging the gap between ornithology and fisheries science: use of seabirds data in stock assessment models. *Condor* 94: 811-824 p.
- Calladine, J. 1997. A comparison of herring gull *Larus argentatus* and lesser black-backed gull *Larus fuscus* nest site: their characteristic and relationships with breeding success. *Bird Study* 44: 318-326 p.
- Carlson, A. y L. Moreno. 1985. Central place foraging in wheatears (*Oenanthe oenanthe*) – foraging itineraries when feeding nestlings. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 16: 307-316 p.
- Castillo-Guerrero, J. A. 2003. Respuestas del bobo de patas azules (*Sula nebouxii*) a las características del hábitat, con énfasis en las relaciones interespecíficas, en Isla El Rancho, Sinaloa, durante la temporada reproductiva 2003. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Ensenada, B. C. 98 p.
- Castillo Guerrero, J.A. y E. Mellink 2005. Catálogo de edades: *Sula leucogaster*. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Ensenada, B.C.
- Castillo-Guerrero, J. A., E. Mellink y A. Aguilar. 2005. Bigamy in the Blue-footed Booby and the Brown Booby? *Waterbirds* 28: 400-402 p.

- Castillo-Guerrero, J. A., J. P. Ceyca y E. Mellink. 2007. A Nesting Record of the Masked Booby from Guerrero, Southern Mexico. *Western Birds* 38: 229-231 p.
- Charrassin, J.B., C. A. Bost. 2001. Utilization of the oceanic habitat by king penguins over the annual cycle. *Marine Ecology Progress Series* 2001:285-297 p.
- Charrassin, J.B., C.A. Bost, K. Putz, J. Lage, T. Dahier, T. Zorn, Y. Le Maho. 1998. Foraging strategies of incubating and brooding king penguins *Aptenodytes patagonicus*. *Oecologia* 114: 194-201 p.
- Clifford, L. D. y D. J. Anderson. 2001. Food limitation explains most clutch size variation in the Nazca booby. *Journal of Animal Ecology* 70: 539-545 p.
- Clifford, L. D. y D. J. Anderson. 2002. Clutch size variation in the Nazca booby: a test of the egg quality hypothesis. *Behavioral Ecology* 13: 274-279 p.
- Cody, M. L. 1985. *Habitat Selection in Birds*. Academic Press. London. 558 p.
- Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/> [Junio de 2006].
- Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional: Productos climatológicos. <http://smn.cna.gob.mx/> [Noviembre de 2006].
- Cramp S. y K. E. L. Simmons. 1977. *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. The Birds of Western Palearctic 1*. University Press. Oxford.

- Davoren, G. K., W. A. Montevecchi, J. T. Anderson. 2003. Distributional patterns of a marine bird and its prey: habitat selection based on prey and conspecific behaviour. *Marine Ecology Progress Series* 256: 229-242 p.
- Diamond, A. W. 1974. The red-footed booby on Aldabra Atoll, Indian Ocean. *Ardea* 62: 196-218 p.
- Dorward, D. F. 1962. Comparative biology of the white booby and the brown booby, *Sula spp.*, at Ascencion. *Ibis* 103: 174-220 p.
- 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 la pesca. Pacífico centro-oriental. FAO. Roma.
- Frank, D. y P. H. Becker. 1992. Body-mass and nest reliefs in Common Terns *Sterna hirundo* exposed to different feeding conditions. *Ardea* 80: 56-69 p.
- Furness, R. W. 2003. Impacts of fisheries on seabird communities. En: *Mediterranean seabirds and their conservation*. E. Mínguez, D. Oro, E. De Juana y A. Martínez-Abraín (eds.). *Scientia Marina*. 67: 33-45 p.
- Garthe, S., D. Grémillet y R. W. Furness. 1999. At-sea-activity and foraging efficiency in chick-rearing northern gannets *Sula bassana*: a case study in Shetland. *Marine Ecology Progress Series* 185: 93-99 p.
- Garthe, S., S. Benvenuto y W. A. Montevecchi. 2000. Pursuit plunging by Northern Gannets (*Sula bassana*) feeding on capelin (*Mallotus villosus*). *Proceedings of the Royal Society of London – Biological Sciences* 267: 1717-1722 p.
- González-Bernal, M.A., E. Mellink y J.R. Fong-Mendoza. 2002. Nesting birds of Farallón de San Ignacio, Sinaloa, México. *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 nesting-site characteristics. *Condor* 104: 353-365 p.
- Guerra, M. y H. Drummond. 1995. Reversed sexual size dimorphism and parental care: minimal division of labour in the Blue-footed Booby. *Behaviour* 132: 479-496 p.
- Hamer, K. C., R. A. Phillips, J. K. Hill, S. Wanless y A. G. Wood. 2001. Contrasting foraging strategies of gannets *Morus bassanus* at two North Atlantic colonies: foraging trip duration and foraging area fidelity. *Marine Ecology Progress Series* 224: 283-290 p.
- Hamer, K. C., R. A. Phillips, S. Wanless, M. P. Harris y A. G. Wood. 2000. Foraging ranges, diets and feeding locations of Gannets *Morus bassanus* in the North sea: evidence from satellite telemetry. *Marine Ecology Progress Series* 200: 257-264 p.
- Harris, M. P., S. Wanless, T. R. Barton y D. A. Elston. 1997. Nest site characteristics, duration of use and breeding success in the Guillemot *Uria aalge*. *Ibis* 139: 468-476 p.
- Harrison, S., T. Hida y M. Seki. 1983. Hawaiian seabird feeding ecology. *Wildlife Monographs* 85: 1-71 p.
- Hays, H. y M. Lecroy. 1971. Field criteria for determining incubation stage in eggs of the Common Tern. *Wilson Bulletin* 83: 425-429 p.

- Heatwole, H., P. Abbott y M. Jones. 1990. Egg-size and clutch-size of the Brown Booby, *Sula leucogaster*, at Swain Reefs, Great Barrier Reef. *Corella* 14: 51-52 p.
- Hertel, F. y L. T. Ballance. 1999. Wing ecomorphology of seabirds from Johnston Atoll. *Condor* 101: 549-556 p.
- Howell, S.N.G. y S. Engel. 1993. Seabirds observations off Western Mexico. *Western Birds* 24: 167-181 p.
- Howell, S.N.G. y Webb, S. 1995. A guide to the birds of Mexico and northern Central America. Oxford University Press. Oxford.
- Hoyt, D.F. 1979. Practical methods of estimating volume and fresh weight of bird eggs. *Auk* 96: 73-77 p.
- Hull, C. L. 1999. The foraging zones of breeding Royal (*Eudyptes schlegeli*) and Rockhopper (*E. chrysocome*) Penguins: an assessment of techniques and species comparison. *Wildlife Research* 26: 789-803 p.
- Irons, D. B. 1998. Foraging area fidelity of individual seabirds in relation to tidal cycles and flock feeding. *Ecology* 79: 647-655 p.
- Jouventin, P. y H. Weimerskirch. 1990. Satellite tracking of wandering albatrosses. *Nature* 343: 746-748 p.
- Kacelnik, A. y I. Cuthill. 1990. Central place foraging in starlings *Sturnus vulgaris* II. Food allocation to chicks. *Journal of Animal Ecology* 59: 655-674 p.
- Kitaysky A.S. y E.G. Golubova. 2000. Climate change causes contrasting trends in reproductive performance of planktivorous and piscivorous alcids. *Journal of Animal Ecology* 69:248-262.

- Kooyman, G. L., C. Hull, O. Olsson, G. Robertson, J. P. Croxall y L. S. Davis. 1999. Foraging patterns of polar penguins. En: N. J. Adams y R. H. Slotow (eds.). Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Ornithology Congress, Durban. BirdLife South Africa. Johannesburg. 2021-2039 p.
- Lack, P. C. 1986. The Atlas of Wintering Birds in Britain and Ireland. Poyser. Calton.
- Lavín, M. F., E. Beier, J. Gómez-Valdés, V. M. Godínez y J. García. 2006. On the summer poleward coastal current off SW México. Geophysical Research Letters 33: L02601.
- Lee, D. N. y P. E. Redish. 1981. Plummeting gannets: a paradigm of ecological optics. Nature 293: 293-294 p.
- Lewis, S., E. A. Schreiber, F. Daunt, G. A. Schenk, K. Orr, A. Adams, S. Wanless y K. C. Hamer. 2005. Sex-specific foraging behavior in tropical boobies: does size matters? Ibis 147: 408-414 p.
- Lluch-Cota, D., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz, G. Salinas-Zavala, A. Vega-Velazquez, J. R. Lara-Lara, G. Hammann y J. Morales. 1999. Las pesquerías y El Niño. En: V. O. Magaña (ed.). Los impactos de El Niño en México. Secretaría de Gobernación. México. 137-180 p.
- Longhurst, A. R. y D. Pauly. 1987. Ecology of tropical ocean. Academic. San Diego, California. 407 p.

- Martin, T. E. 1993. Nest predation among vegetation layers and habitat types: revising the dogmas. *American Naturalist* 141: 897-913 p.
- Martins, F. de C. y M. M. Dias. 2003. Cuidado parental de *Sula leucogaster* (Boddaert) (Aves, Pelecaniformes, Sulidae) nas Ilhas dos Currais, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 20: 583-589 p.
- Massaro, M., J. W. Chardine e I. L. Jones. 2001. Relationships between Black-legged Kittiwake nest-site characteristic and susceptibility to predation by large gulls. *Condor* 103: 793-801 p.
- Mellink, E. 2000. Breeding of Brown Boobies in the Gulf of California: Seasonality and Apparent Effects of El Niño. *Waterbirds* 23: 89-99 p.
- Mellink, E. 2001. History and status of colonies of Heermann's Gull in Mexico. *Waterbirds* 24: 188-194 p.
- Mellink, E. 2003. Effect of the 1997-1998 El Niño and 1998-1999 La Niña events on breeding waterbirds and sea lions in the Upper Gulf of California, México. *Geofísica Internacional* 42: 539-546 p.
- Mellink, E. y M.E. Riojas-López. 2005. Breeding seabirds of Morros El Potosí, Guerrero, México. *Western Birds* 36: 59-63 p.
- Mellink, E., J. Domínguez y J. Luévano. 2001. Diet of Eastern Pacific Brown Boobies *Sula leucogaster brewsteri* on Isla San Jorge, north-eastern Gulf of California, and an April comparison with diets in the Middle Gulf of California. *Marine Ornithology* 29: 39-44 p.

- Montevecchi W.A. 1993. Birds as indicators of change in marine prey stocks. En: R. W. Furness y J. J. D. Greenwood (eds.). Birds as Monitors of Environmental Change. Chapman & Hall. 217-253 p.
- Montevecchi, W.A. y R.A. Myers. 1995. Prey harvest of seabirds reflect pelagic fish and squid abundance on multiple spatial and temporal scales. Marine Ecology Progress Series 117: 1-9 p.
- Montevecchi, W.A. y R.A. Myers. 1996. Dietary changes of seabirds indicate shifts in pelagic food webs. Sarsia 80: 313-322 p.
- Murphy, R. C. 1936. Oceanic Birds of South America. American Museum Natural History. New York.
- Nelson, J.B. 1978. The Sulidae. Gannets and boobies. Oxford University Press. Oxford.
- Nisbet, I. C. T. 1978. Dependence of fledging success on egg size, parental performance and egg composition among common and roseate terns, *Sterna hirundo* and *S. dougallii*. Ibis 120: 207-215 p.
- Paredes, R. y C. B. Zavalaga. 2001. Nesting sites and nest types as important factors for the conservation of humboldts penguins (*Spheniscus humboldti*). Biological Conservation 100: 199-205 p.
- Partridge, L. 1978. Habitat selection. En: J. R. Krebs y N. B. Davies (eds.). Behavioural ecology: an evolutionary approach. Blackwell. Oxford, United Kingdom. 351-376 p.

- Peñaloza-Padilla, E. A. 2006. Cuidado parental y ecología de forrajeo del bobo café (*Sula leucogaster brewesteri*) en el Farallón de San Ignacio, Sinaloa, México, en la temporada reproductiva 2004. Tesis (Licenciatura) – Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. División de Ciencias Biológicas y ambientales. Zapopan, Jalisco.
- Prince, P. A., H. Weimerskirch, A. G. Wood y J. P. Croxall. 1999. Areas and scales of interactions between albatrosses and the marine environment: species, populations and sexes. En: N. J. Adams y R. H. Slotow (eds.). Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Ornithology Congress. Durban. BirdLife South Africa. Johannesburg. 2001-2020 p.
- Regehr, H. M. y W. A. Montevecchi. 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 Ecology Progress Series 155: 249-260 p.
- Ricklefs, R. E., D. C. Duffy y M. Coulter. 1984. Weight gain of Blue-footed Booby chicks: an indicator of marine resources. *Ornis Scandinavica* 15: 162-166 p.
- Robert-Coudert, Y., D. Grémillet, P. Ryan, A. Kato, Y. Naito y Y. Le Maho. 2004a. Between air and water, the plunge dive of Cape gannet *Morus capensis*. *Ibis* 146: 281-290 p.
- Robert-Coudert, Y., D. Grémillet, A. Kato, P. Ryan, Y. Naito y Y. Le Maho. 2004b. A fine-scale time budget of Cape gannets provides insights into the foraging strategies of coastal seabirds. *Animal Behavior* 65: 985-992 p.

- Schreiber, E. A. y R. B. Clapp. 1987. Pelicaniform feeding ecology. En: J. P. Croxall (ed.). Seabirds: feeding biology and role in marine ecosystem. Cambridge University Press. Cambridge. 173-188 p.
- Schreiber, E. A., R. W. Schreiber y G. A. Schenk. 1996. Red-footed Booby (*Sula sula*). En: F. B. Gill y A. Poole (eds.). The birds of North America 241. Academy of Natural Sciences y American Ornithologists' Union. Philadelphia.
- Schreiber, R.W. 1970. Breeding biology of Western Gulls (*Larus occidentalis*) on San Nicholas Island, California, 1968. Condor 72: 133-140 p.
- Schreiber, E. A. y J. Burger. 2001. Biology of marine birds. Boca Raton, CRC Press. 744 p.
- Schreiber, E. A. y R. L. Norton. 2002. Brown Booby (*Sula leucogaster*). En: F. B. Gill y A. Poole (eds.). The Birds of North America 649. The Birds of North America, Inc. Philadelphia.
- Simmons, K. E. L. 1967. Ecological adaptations in the life history of the Brown Booby at Ascension Island. Living Bird 6: 187-212 p.
- Simmons, R. E. 1997. Why don't all siblicidal eagles lay insurance eggs? The egg quality hipótesis. Behavioral Ecology 8: 544-550 p.
- Suazo, E. 2004. Biología reproductiva y hábitos de forrajeo del bobo café, *Sula leucogaster*, en dos islas del Golfo de California, 2003-2004. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, B.C.

- Tershy, B.R., D. Breese, A. Angeles-P., A. Cervantes-A., A. Mandujano-H., E. Hernández-N. y A. Córdoba-A. 1992. Natural history and management of Isla San Pedro Mártir, Gula of California. Conservation International, Guaymas, México.
- Tershy, B. y D. Croll. 2000. Parental investment, adult sex ratios, and sexual selection in a socially monogamous seabird. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 48: 52-60 p.
- Thompson P.M. y J.C. Ollason. 2001. Lagged effects of ocean climate change on fulmar population dynamics. *Nature* 413: 417-420 p.
- Tovar, H., V. Guillén y M. E. Nakama. 1987. Monthly population size of three guano bird species of Peru, 1953 to 1992. En: Pauly D. e I. Tsukayama (eds.). *The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: Three decades of change*. ICLARM Studies and Reviews 15. IMARPE, GTZ, ICLARM. Manila, Filipinas. 208-218 p.
- Velarde, E., E. Ezcurra, M.A. Cisneros-Mata y M.F. Lavin. 2004. Seabird ecology, El Niño anomalies, and prediction of sardine fisheries in the Gulf of California. *Ecological Applications* 14: 607-615 p.
- Wang, C. y D. B. Enfield. 2001. The tropical Western Hemisphere warm pool. *Geophysical Research Letters* 28: 1635-1638 p.
- Wanless S., P. J. Bacon, M. P. Harris, A. D. Webb, S. P. R. Greenstreet y A. Webb. 1997. Modelling environmental and energetic effects on feeding performance and distribution of shags (*Phalacrocorax aristotelis*): integrating

- telemetry geographical information systems and modeling techniques. *ICES Journal of Marine Sciences* 54: 524-544 p.
- Weimerskirch, H., M. Le Corre, Y. Ropert-Coudert, A. Kato y F. Marsac. 2005. The three-dimensional flight of red-footed boobies: adaptations to foraging in a tropical environment? *Proceedings of the Royal Society B* 272: 53-61 p.
- Westerkov, K. 1950. Methods for determining the age of game bird eggs. *Journal of Wildlife Management* 14: 56-67 p.
- Woodward, P. W. 1972. The natural history of Kure Atoll, northwestern Hawaiian Islands. *Atoll Research Bulletin* 164: 1-318 p.
- Wyrski, K. 1964. The thermal structure of the Eastern Pacific Ocean. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Ergänzungsheft A* 6: 84 p.
- Wyrski, K. 1975. El Niño – the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *Journal of Physical Oceanography* 5: 572-584 p.
- Zar, J.H. 1974. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. New York. 662 p.

Apéndice I. Pruebas estadísticas aplicadas a los datos de la especie *Sula leucogaster* obtenidos en Morros del Potosí, Guerrero. Temporada 2006 (Zar 1974).

| Caso   | Estadístico utilizado   |
|--|-------------------------|
| Comparación de la densidad de nidos activos entre zonas de la colonia.<br><br><i>Ho</i> : La densidad de nidos activos es igual en la cima y en la ladera.       | t – student.            |
| Comparación de la densidad de nidos con huevos entre zonas de la colonia.<br><br><i>Ho</i> : La densidad de nidos con huevos es igual en la cima y en la ladera. | t – student.            |
| Comparación de la densidad de nidos con pollos entre zonas de la colonia.<br><br><i>Ho</i> : La densidad de nidos con pollos es igual en la cima y en la ladera. | t – student.            |
| Comparación del éxito de eclosión entre zonas de la colonia.<br><br><i>Ho</i> : El éxito de eclosión es igual en la cima y en la ladera.                         | Prueba de proporciones. |
| Comparación del tamaño de nidada entre zonas de la colonia.  | U de Mann – Whitney.    |

*Ho*: El tamaño de nidada es igual en la cima y en la ladera.

Comparación de las dimensiones lineares entre el primer huevo puesto y el segundo en nidos con 2 huevos.

- Largo

U de Mann – Whitney.

*Ho*: El largo del primer huevo puesto es igual al largo del segundo.

- Ancho: Prueba U de Mann – Whitney.

U de Mann – Whitney.

*Ho*: El ancho del primer huevo puesto es igual al ancho del segundo.

- Masa: Prueba U de Mann – Whitney.

U de Mann – Whitney.

*Ho*: La masa del primer huevo puesto es igual a la masa del segundo.

Comparación del volumen entre el primer huevo puesto y el segundo en nidos con 2 huevos.

U de Mann – Whitney.

*Ho*: El volumen del primer huevo puesto es igual al volumen del segundo.

Comparación de las dimensiones lineares entre el primer huevo puesto en nidos con 2 huevos y el primer huevo puesto en nidos con 1 huevo.

- Largo: Prueba U de Mann – Whitney.

U de Mann – Whitney.

*Ho:* El largo del primer huevo puesto en nidos con 2 huevos es igual al largo del primer huevo puesto en nidos con 1 huevo.

- Ancho: Prueba U de Mann – Whitney.

U de Mann – Whitney.

*Ho:* El ancho del primer huevo puesto en nidos con 2 huevos es igual al ancho del primer huevo puesto en nidos con 1 huevo.

- Masa: Prueba U de Mann – Whitney.

U de Mann – Whitney.

*Ho:* La masa del primer huevo puesto en nidos con 2 huevos es igual a la masa del primer huevo puesto en nidos con 1 huevo.

Comparación del volumen entre el primer huevo puesto en nidos con 2 huevos y el primer huevo puesto en nidos con 1 huevo.

U de Mann – Whitney.

*Ho:* El volumen del primer huevo puesto en nidos con 2 huevos es igual al volumen del primer huevo puesto en nidos con 1 huevo.

Comparación de la profundidad máxima de buceo entre sexos.

U de Mann – Whitney.

*Ho:* La profundidad máxima de buceo es igual en machos y hembras.

Comparación de la profundidad máxima de buceo entre meses.

H de Kruskal – Wallis.

*Ho:* La profundidad máxima de buceo es igual en todos los meses.

Comparación del tiempo de permanencia de los padres en nidos de *S. leucogaster*, en función del contenido del nido.

U de Mann – Whitney.

*Ho:* El tiempo de permanencia de los padres es igual en nidos con huevos y en nidos con pollos.

Comparación del tiempo de permanencia de los padres en nidos con huevos, en función del sexo del ave.

U de Mann – Whitney.

*Ho:* El tiempo de permanencia de los padres en nidos con huevos es igual entre machos y hembras.

Comparación del tiempo de permanencia de los padres en nidos con huevos, en función del mes de observación.

H de Kruskal – Wallis.

*Ho:* El tiempo de permanencia de los padres

- en nidos con huevos es igual entre meses.
- Comparación del tiempo de permanencia de los padres en nidos con pollos, en función del sexo del ave. U de Mann – Whitney.
- Ho:* El tiempo de permanencia de los padres en nidos con pollos es igual entre machos y hembras.
- Comparación del tiempo de permanencia de los padres en nidos con pollos, en función del mes de observación. H de Kruskal – Wallis.
- Ho:* El tiempo de permanencia de los padres en nidos con pollos es igual entre meses.
- Comparación del tiempo de permanencia de ambos padres en nidos con huevos, en función mes de observación. H de Kruskal – Wallis.
- Ho:* El tiempo de permanencia de ambos padres en nidos con huevos es igual en todos los meses.
- Comparación del tiempo de permanencia de ambos padres en nidos con pollos, en función mes de observación. H de Kruskal – Wallis.
- Ho:* El tiempo de permanencia de ambos

padres en nidos con pollos es igual en todos los meses.

Comparación de la duración de los viajes de forrajeo de los padres, en función del sexo del ave. U de Mann – Whitney.

*Ho:* La duración de los viajes de forrajeo de los padres es igual entre machos y hembras.

Comparación de la duración de los viajes de forrajeo de los padres, en función del mes de observación. H de Kruskal – Wallis.

*Ho:* La duración de los viajes de forrajeo de los padres es igual entre meses.

Comparación de la visibilidad del sitio de anidación entre la ladera y la cima. t – student.

*Ho:* La visibilidad alrededor del nido es igual en la ladera y en la cima.

Comparación de la inclinación del sitio de anidación entre la ladera y la cima. t – student.

*Ho:* La inclinación del sitio de anidación es igual en la ladera y en la cima.

Comparación de la densidad de nidos en un radio t – student.

de 3 m, entre nidos de la ladera y de la cima.

*H<sub>0</sub>*: La densidad de nidos es igual entre nidos de la ladera y de la cima.

Influencia de las características físicas de los nidos en el éxito de eclosión. Análisis discriminante.

*H<sub>0</sub>*: Las características físicas medidas (zona de la colonia, visibilidad, inclinación y densidad de nidos) no influyen en el éxito de eclosión.

---