



Ecología reproductiva del bobo café (*Sula leucogaster*) en Morros El Potosí, Guerrero, México

Reproductive ecology of Brown Boobies (*Sula leucogaster*) at Morros El Potosí, Guerrero, Mexico

Juan Pablo Ceyca^{1,2} y Eric Mellink^{1*}

¹Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C., Apartado postal 360, 22860 Ensenada, Baja California, México.

²Dirección actual: Cuerpos de Conservación Guanajuato, A. C. Alhóndiga 68 Int. 1, 36020 Guanajuato, Guanajuato, México.

*Correspondencia: emellink@cicese.mx

Resumen. Entre enero y junio de 2006 se estudió la ecología reproductiva del bobo café (*Sula leucogaster*) en Morros El Potosí, Guerrero. Determinamos parámetros reproductivos, profundidad máxima de buceo, duración de viajes de forrajeo y porcentaje de atención al nido. Los bobos cafés anidaron durante gran parte del año y exhibieron 2 picos reproductivos: otoño y primavera. Durante este último, el éxito de eclosión fue 61%. Estimamos densidades de 1 300 nidos/ha en la ladera y de 2 000 nidos/ha en la cima de la isla. No observamos depredación, pero condiciones meteorológicas adversas causaron pérdida de huevos y muerte de pollos. Los viajes de forrajeo más largos (5.78 ± 0.21 h) y los buceos más profundos (5.52 ± 0.42 m) en Morros El Potosí que en otras colonias, sugirieron que los bobos cafés requirieron aquí un mayor esfuerzo de forrajeo, quizás por estar en aguas más calientes, con menos recursos. Los bobos cafés hembra atendieron por más tiempo los nidos con huevos o con pollos que los machos. No hubo diferencias en el tiempo de presencia de los padres en el nido entre meses, lo que, aunado a la variación en la duración de los viajes de forrajeo entre meses, sugiere que hubo fluctuaciones de corta duración en la disponibilidad de alimento durante el periodo de estudio.

Palabras clave: éxito reproductivo, buceo, viajes de forrajeo, cuidado parental.

Abstract. We studied the breeding ecology of Brown Boobies (*Sula leucogaster*) at Morros El Potosí, Guerrero, between January and June 2006. We determined breeding parameters, foraging habits, and patterns of parental care, and evaluated their effects upon breeding success. Brown Boobies nested during a great part of the year, and exhibited 2 breeding peaks: Fall and Spring. During the later, hatching success was 61%. We estimated 1 300 nests/ha on the slope of the island, and 2 000 nests/ha on the top. We did not record predation, but adverse meteorological conditions caused the loss of eggs and chicks. The longer foraging trips (5.78 ± 0.21 h) and deeper diving (5.52 ± 0.42 m) at Morros El Potosí than at other locations suggested that they required a larger foraging effort here, maybe due to warmer water with less resources. Female Brown Boobies spent more time than males tending nests with eggs, or chicks. There were no differences in parental care of the nest among months, which along with variations in the length of foraging trips among months suggests that there were short-term fluctuations in food availability throughout the study.

Key words: reproductive success, diving, foraging, parental care.

Introducción

Las aves marinas desempeñan 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 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 buenas indicadoras de problemas de conservación o de cambios en las redes tróficas del océano (Bost y Maho, 1993; Montevecchi y Myers, 1995, 1996).

El bobo café (*Sula leucogaster*) es un ave marina común en aguas tropicales de todo el mundo (Schreiber y Norton, 2002) y una especie bastante numerosa y bien distribuida en el Pacífico mexicano, con colonias desde el norte del golfo de California hasta Guerrero (Anderson, 1983; Vogt in Nelson, 1978; Mellink y Riojas-López, 2005). Por ello, es un buen modelo de especie centinela: con poblaciones grandes, colonias distribuidas ampliamente y fáciles de estudiar; además, son relativamente sensibles

a las características del medio y de manera notable a los cambios en la disponibilidad de alimento, al menos durante la época reproductiva. Por esta razón, en años recientes se han realizado estudios sobre la ecología del bobo café en el noroeste de México, particularmente en el golfo de California (e.g. Mellink, 2000; Mellink et al., 2001; Suazo-Guillén, 2004; Peñaloza-Padilla, 2006), pero la información en la costa del Pacífico sur del país era escasa.

La única colonia de bobo café conocida del sur del Pacífico mexicano es la de Morros El Potosí, Guerrero (Goldman, 1951; Howell y Engel, 1993; Howell y Webb, 1995; Mellink y Riojas-López, 2005). Esta colonia fue documentada por primera vez en 1903 por E. W. Nelson y E. A. Goldman (Goldman, 1951). La subespecie local es *S. l. brewsteri* (Goldman, 1951; Mellink y Riojas-López, 2005), al igual que en las demás colonias de la costa del Pacífico mexicano. Mellink y Riojas-López (2005) opinaron que parecía ser la colonia más densa del Pacífico mexicano y estimaron 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 3 islas de este conjunto.

Fuera de visitas breves en 1903 y 1992 (Howell y Engel, 1993), y un estudio corto en 2003 y 2004 (Mellink y Riojas-López, 2005), las colonias de aves marinas de Morros El Potosí no se habían estudiado en detalle. Durante la temporada de anidación 2006 se estudió la colonia del bobo café en Morros El Potosí, con la finalidad de conocer su desempeño reproductivo y determinar variables objetivas para la comparación de esta colonia con otras, o con la misma en ocasiones futuras. Se estableció como objetivo determinar el éxito reproductivo de la colonia, la profundidad máxima de buceo de los adultos y el porcentaje de atención al nido de los padres.

Materiales y métodos

Área de estudio. Morros El Potosí (17° 31'57" N, 101° 29'18" O) son 3 pequeñas islas y varias rocas localizadas a 3 km de la costa y a 15 km de la ciudad de Zihuatanejo, Guerrero (Fig. 1). Las islas principales miden entre 50 y 65 m de alto y son muy escarpadas, con acantilados en su lado sur. El sustrato es de rocas cubiertas de guano, sin vegetación. Además de la colonia de bobos cafés (*S. leucogaster*), las islas alojan colonias de rabijuncos (*Phaethon aethereus*), gallitos de mar embridados (*Sterna anaethetus*) y charrán-bobos cafés (*Anous stolidus*; Howell y Engel, 1993; Mellink y Riojas-López, 2005) y recientemente se registró la anidación de 2 parejas de bobos enmascarados (*Sula dactylatra*; Castillo-Guerrero et al., 2007).

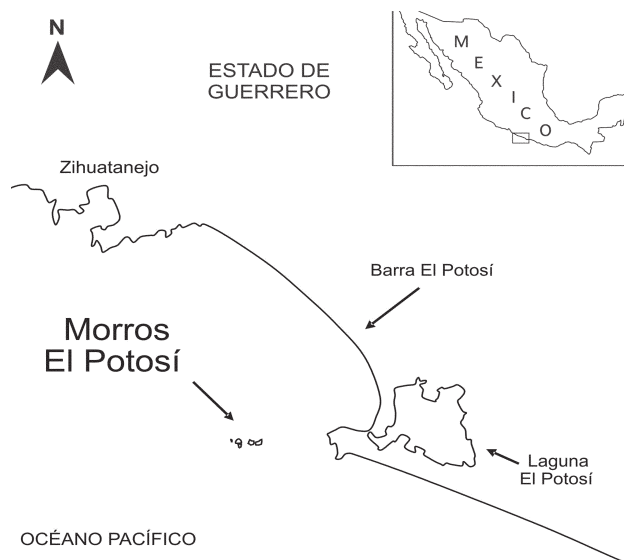


Figura 1. Ubicación geográfica de Morros El Potosí.

Trabajo de campo. Entre enero y junio de 2006, visitamos la isla del este en 8 ocasiones, por periodos de 3-4 días. Establecimos 10 parcelas de 10 × 10 m, que en total contenían 190 nidos. Las parcelas se revisaron durante cada visita para determinar 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 los 190 nidos se marcaron individualmente, escribiendo con marcador permanente el número de nido y el orden de puesta. Todos los huevos se pesaron y se les midió su largo y diámetro máximo. Para comprobar si el primer huevo puesto tuvo un tamaño mayor que el segundo, se aplicó el método de Westerkov (1950) a los huevos de 40 nidos elegidos aleatoriamente. Este método consiste en sumergir los huevos en un recipiente con agua y observar su verticalidad y 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).

Determinamos los patrones de atención al nido e inferimos sobre la duración de los viajes de forrajeo a partir de la observación de 30 nidos seleccionados aleatoriamente en cada ocasión, un día de cada mes. Cada nido se marcó con un número escrito en el extremo superior de un abatelenguas de madera. Se registró el contenido del nido (huevos o pollos) y la edad aproximada de los pollos, si los había (Martin y Bateson, 1986). La edad de los pollos se determinó con base en la guía de Castillo-Guerrero y Mellink, (2005): 1 semana (pollos desnudos a ligeramente cubiertos por plumón), 2-3 semanas

(pollos casi completamente cubiertos por plumón), 4 semanas (completamente cubiertos por plumón y casi del tamaño de los adultos), 5 semanas (las plumas primarias, secundarias y rectrices comienzan a encañonar), 6 semanas (crecimiento de las plumas primarias, secundarias y terciarias; las plumas cobertoras del manto comienzan a encañonar), 7-8 semanas (crecimiento de las plumas del manto; las plumas del pecho comienzan a encañonar; zonas oscuras de la espalda y las alas muy evidentes), 9-10 semanas (El plumón comienza a ser sustituido por plumas en casi todo el cuerpo; las plumas primarias, secundarias y terciarias terminan de crecer), 11 semanas (sólo hay restos de plumón en el cuello, cabeza y cobertoras de las alas), 12 semanas (plumaje juvenil casi completo, aunque opaco, con solo unos cuantos vestigios de plumón que se desprende fácilmente), 13 semanas (plumaje juvenil completo y lustroso).

Los nidos se revisaron cada hora (durante 11 horas en enero, febrero, marzo y abril, y durante 12 horas en mayo), anotando el sexo del padre incubando o cuidando a los pollos, según fuera el caso en cada nido. Se registró el porcentaje de tiempo que los padres permanecieron sobre el nido. El porcentaje de tiempo de ausencia de alguno de los padres, se consideró como la duración de los viajes de forrajeo. Obtuvimos información limitada sobre la dieta de adultos a partir de 17 regurgitados del 11 de marzo, 1 de abril y 13 de mayo.

Determinamos la profundidad máxima de buceo (PMB) de 87 adultos anidantes (45 machos y 42 hembras) mediante la colocación de 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 y se sellaron con plástico derretido en uno de sus extremos (Burger y Wilson, 1988). La profundidad máxima de buceo se registra en el capilar conforme la profundidad se incrementa, puesto que 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 PMB 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 (Burger y Wilson, 1988). Los tubos se pegaron con cinta adhesiva sobre una de las plumas rectrices de adultos capturados en sus nidos. Estos nidos se señalaron con un marcador en una roca adyacente. Los tubos capilares se recuperaron en promedio 30 horas después de su colocación.

Análisis de datos. Se aplicaron pruebas de normalidad (prueba de bondad de ajuste) y de homogeneidad de varianzas (Bartlett) a todos los grupos de datos obtenidos. Ningún grupo de datos cumplió con los requerimientos, por lo que se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas.

Se realizó la transformación de arco-seno a los datos porcentuales. Las dimensiones lineares y la masa de los huevos de nidos con 2 huevos y de nidos con 1 huevo se compararon mediante una prueba U de Mann-Whitney, al igual que la PMB y la duración de los viajes de forrajeo entre machos y hembras.

Los porcentajes de tiempo de atención al nido en función del contenido del nido y del sexo del padre que lo atiende se compararon con una prueba U de Mann-Whitney, tanto para nidos con huevos como para nidos con pollos. Los porcentajes de tiempo de atención al nido en función del mes de observación se compararon con una prueba H de Kruskal-Wallis, tanto para nidos con huevos como para nidos con pollos. La duración de los viajes de forrajeo y la PMB entre los meses de estudio se comparó con una prueba H de Kruskal-Wallis. Todas las pruebas estadísticas se consideraron significativas con $\alpha \leq 0.05$, y los valores se registran como promedio \pm error estándar. Se utilizó el programa Statistica 7 (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma) para el análisis de los datos.

Resultados

La temporada de anidación 2006 en Morros El Potosí fue asincrónica. Hubo un primer pico reproductivo en el otoño del año anterior que se identificó en enero con una densidad estimada de 100 nidos por hectárea en la ladera y de 200 nidos por hectárea en la cima de la isla. Dentro de las parcelas había 18 nidos con pollos y 1 con huevos. Los pollos tenían desde menos de 1 semana hasta 12 semanas de edad. En la colonia, algunas parejas se encontraban cortejando. En marzo se observó un segundo pico de anidación, que continuó hasta mayo y tuvo su máximo durante los primeros días de abril (Fig. 2). Durante este máximo se estimó una densidad de 1300 nidos por hectárea en la ladera y de 2000 nidos por hectárea en la cima de la isla.

El tamaño promedio de nidada fue de 1.59 ± 0.04 huevos/nido y sólo hubo nidadas con 1 y 2 huevos. El 59% de los 190 nidos marcados, tuvo nidadas de 2 huevos, y el 41% tuvo nidadas de 1 huevo. Los huevos midieron 59.41 ± 0.14 mm de largo x 40.24 ± 0.11 mm de ancho y pesaron 48.89 ± 0.26 g. En las nidadas con 2 huevos, el primero fue significativamente más largo, ancho y pesado que el segundo (Cuadro 1). No hubo diferencias significativas en tamaño y masa entre el primer huevo de nidadas con 2 huevos y el único huevo de las nidadas con 1 huevo (Cuadro 2).

El éxito de eclosión en los nidos marcados fue de 61%. El éxito de eclosión fue de 46% en los nidos con 1 huevo y de 73% en los de 2 huevos. Con toda certeza, 3

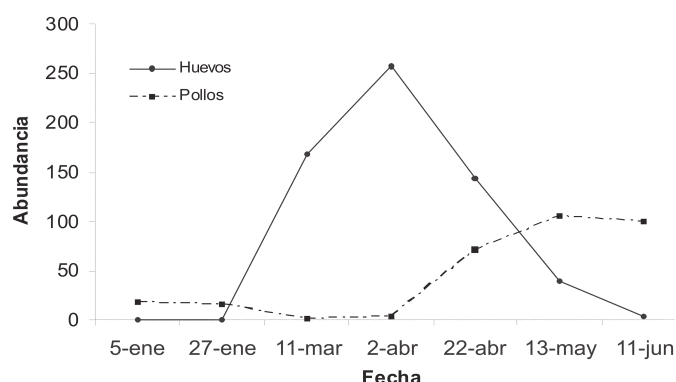


Figura 2. Abundancia de huevos y pollos en 190 nidos seleccionados de *S. leucogaster* en Morros El Potosí, Guerrero. Enero – junio de 2006.

Cuadro 1. Medidas (media \pm SE) del primer huevo y del segundo en nidos con dos huevos de *S. leucogaster* en Morros El Potosí Guerrero. Enero – junio de 2006

| | Primer huevo | Segundo huevo | U | P |
|------------|------------------|------------------|--------|--------|
| Largo (mm) | 60.28 \pm 0.19 | 50.02 \pm 0.23 | 2459.5 | <0.001 |
| Ancho (mm) | 40.54 \pm 0.14 | 39.64 \pm 0.22 | 3687.5 | <0.001 |
| Masa (g) | 50.29 \pm 0.34 | 46.53 \pm 0.42 | 2806.0 | <0.001 |

Cuadro 2. Medidas (media \pm SE) del primer huevo puesto en nidos con dos huevos y del único huevo puesto en nidos con un huevo de *S. leucogaster* en Morros El Potosí Guerrero. Enero – junio de 2006

| | Primer huevo en nidos con 2 huevos | Huevo en nidos con 1 huevo | U | p |
|------------|------------------------------------|----------------------------|--------|-------|
| 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 |

de los huevos seleccionados eran el segundo huevo, pero en la mayoría fue el primero. De los 302 huevos que se marcaron en el estudio se perdió el 62% (186): 24% al ser abandonados después de la eclosión exitosa del primer huevo, 26% por desplazamiento del huevo fuera del nido y 12% a causa de las lluvias intensas ocasionadas por la tormenta tropical Aletta (27-30 de mayo) y la depresión tropical 2E (3-4 de junio; Comisión Nacional del Agua, 2006), tal como se registró en una visita inmediatamente después de estos eventos. En los 190 nidos estudiados se observaron únicamente 2 nidos con 2 pollos, de los cuales sólo en 1 se mantuvieron las 2 crías hasta las 8 semanas de edad. En general, la mortalidad de pollos en las parcelas entre enero y junio de 2006 fue baja (13%). Las lluvias causaron la muerte del 5% de los pollos marcados y 8% desapareció sin dejar rastro. Durante las visitas no se observó depredación ni depredadores potenciales en la isla.

A lo largo del estudio, el contenido de los nidos no determinó la presencia de los padres sobre los nidos. Es decir, la permanencia de los padres en nidos con huevos y en nidos con pollos no fue diferente (Mann-Whitney: $U = 9755$, $p = 0.103$). El porcentaje de tiempo que permanecieron las hembras en el nido fue mayor que el de los machos, ya fuera cuidando huevos (50.81% \pm 4.30 vs. 32.75% \pm 4.25, respectivamente; Mann-Whitney: $U = 1418.5$, $p = 0.005$) o cuidando pollos (39.95% \pm 3.09 vs. 26.41% \pm 2.55, respectivamente; Mann-Whitney: $U = 2706.5$, $p = 0.001$). En contraste, no hubo diferencias significativas entre meses en el porcentaje de tiempo 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: $H(4, N = 174) = 9.127$, $p = 0.058$).

Las ausencias de los adultos del nido, una aproximación a la duración de 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 sí entre meses (Kruskal-Wallis: $H(4, N = 317) = 11.365$, $p = 0.022$; Fig. 3). La PMB fue en promedio de 5.52 \pm 0.42 m, con profundidades máximas de 19.71 m. El 78% de los buceos estuvieron entre 2 y 9 m y no se observaron diferencias significativas en las PMB de machos (5.72 \pm 0.64 m) y hembras (5.30 \pm 0.53 m; Mann-Whitney: $U = 922$, $p = 0.849$), pero sí diferencias significativas entre los meses de estudio (Kruskal-Wallis: $H(3, n = 87) = 33.765$, $p = 0.000$; Fig. 4).

La dieta del bobo café durante la temporada 2006 incluyó 9 especies de peces de hábitos pelágicos: peces voladores (Exocoetidae: *Cheilopogon* sp., *Exocoetus* sp., *Hirundichthys speculiger* y *Hirundichthys* sp.), pajaritos (Hemiramphidae: *Hemiramphus saltator* y *Oxyporhamphus micropterus*), 1 sardina (Clupeidae: *Lile* sp.), jurel (Carangidae: *Caranx vinctus*) y 1 macarela no identificada

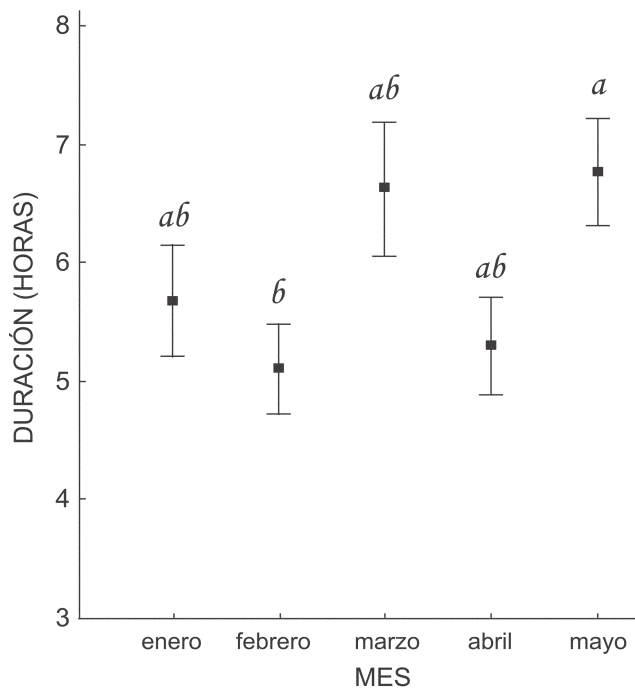


Figura 3. Duración de los viajes de forrajeo de *Sula leucogaster* en función del mes de observación, en Morros El Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (media \pm error estándar).

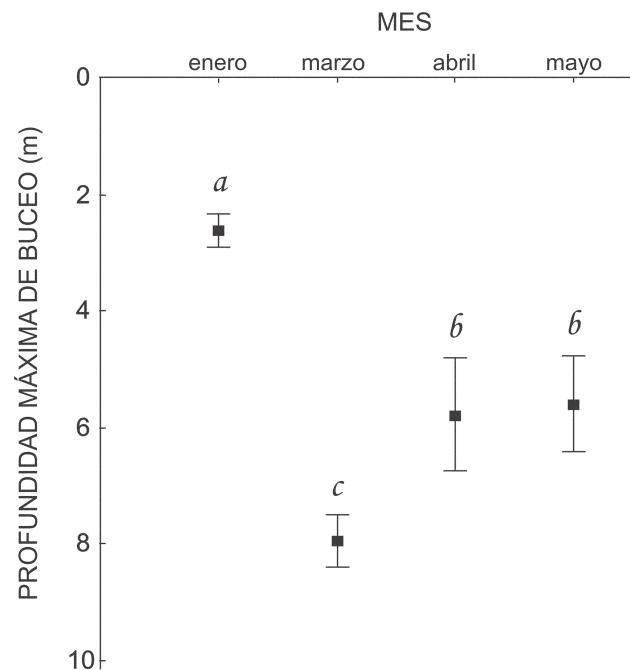


Figura 4. Profundidad máxima de buceo de *Sula leucogaster*, en función del mes, en Morros El Potosí, Guerrero. Temporada de anidación 2006 (media \pm error estándar).

(Scombridae). La longitud estándar de los peces que se obtuvieron completos varió entre 70 (jurel) y 260 mm (algunos peces voladores y macarela).

Discusión

La cronología de anidación de los bobos cafés 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 y, posiblemente, isla Isabel, Nayarit). Nelson (1978), Gaviño de la Torre (1988), Schreiber y Norton (2002), Branco (2004) y Mellink y Riojas-López (2005) no explican el porqué de la anidación más tardía en Morros El Potosí, que en las islas del golfo de California. En Morros El Potosí se observó que ya había pollos de diferentes edades al inicio de este estudio en el mes de enero, lo que sugiere que aquí los bobos cafés anidaron 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 2 picos reproductivos

definidos: otoño (octubre-noviembre, inferida de los datos) y primavera (marzo-abril).

La densidad de anidación en los bobos cafés es muy variable y frecuentemente está dictada por el sustrato (Schreiber y Norton, 2002). En isla Navidad, la densidad de nidos fue de 0.07 nidos/m² (Nelson, 1978), en La Pajarera, Jalisco de 0.07 nidos/m² (Gaviño de la Torre, 1993), en isla San Jorge de 0.06 nidos/m² y en el farallón de San Ignacio de 0.08 nidos/m² (Suazo-Guillén, 2004). En el estudio realizado en 2004 en Morros El Potosí, la densidad de nidos fue mayor (0.20 nidos/m², en la ladera; 0.33 nidos/m², en la cima; Mellink y Riojas-López, 2005) que en el presente estudio, lo que pudo deberse a una diferencia real o a un sesgo en el método de determinación de la densidad (cuadrantes centrados en un punto, en Mellink y Riojas-López, 2005). Aún así, la densidad de nidos en Morros El Potosí fue mayor que la registrada en otras colonias (1300 nidos/ha = 0.13 nidos/m², en la ladera; 2000 nidos/ha = 0.20 nidos/m², en la cima), lo que se podría deber a que el sustrato escalonado de la isla permite que los nidos sean construidos a menor distancia unos de otros.

Aunque en algunas colonias los bobos cafés pueden tener nidadas de 3 huevos (e.g. isla Cape Verde, islas del Swain Reefs, isla San Jorge; Hazevoet, 1995; Schreiber y Norton, 2002; Suazo-Guillén, 2004), lo común es que sean

de 2 (Schreiber y Norton, 2002). En casi todas las colonias el porcentaje de nidos con 2 huevos ha sido superior al 58% (Woodward, 1972; Hazevoet, 1995; Schreiber y Norton, 2002), igual que en Morros El Potosí (59% de nidos con 2 huevos, 41% de nidos con 1 huevo). Al igual que otros sólidos, generalmente se produce un solo pollo volantón, lo que ha sido motivo de investigación para dilucidar la razón del segundo huevo.

Un argumento es que el segundo huevo es un seguro contra el fallo del primer huevo o pollo. En bobos Nazca (*Sula granti*) se probó experimentalmente que el éxito reproductivo general de las parejas con nidadas de 2 huevos era superior al de las parejas con 1 (Clifford y Anderson 2001). En San Pedro Mártir, el segundo huevo funcionó como seguro de huevos de bobos cafés sólo durante una semana, pero fue así en 14.6% de los nidos con 2 huevos (Tershy et al. 2000). Además, en esta colonia, en 4.9% de los nidos con 2 huevos se produjeron 2 pollos (Tershy et al. 2000). Se había pensado que los huevos segundos contendrían menos andrógenos que los primeros en esta especie, pero ello se descalificó y se determinó que el segundo pollo tiene una fuerte desventaja frente al primero debido a la diferencia de 5 días en su eclosión (Drummond et al. 2008). Los bobos de los Morros El Potosí fueron coherentes con esta segunda hipótesis, ya que menos en 2 casos, la incubación se abandonó después de tener un primer pollo. A nivel de colonia, sólo encontramos 3 pollos muertos, que podrían haber reflejado fraticidio, y los adultos, más bien, dejaron de incubar el segundo huevo después de eclosionar el primero. De los 2 casos en que hubo 2 pollos, sólo 1 sobrevivió hasta las 8 semanas.

Se ha indicado que en especies como los bobos hay una compensación entre calidad y cantidad de huevos, pues algunos individuos producen sólo 1 huevo altamente eclosionable, mientras otros producen 2 huevos pequeños de menor calidad (Simmons, 1997). En consecuencia, se ha propuesto que el tamaño de huevo puede ser más grande en nidadas con un solo huevo, en comparación con nidadas con 2 huevos (Heatwole et al., 1990). Ni en bobos Nazca (Clifford y Anderson 2002) ni en los bobos cafés de Morros El Potosí se cumplió esa predicción, ya que no hubo diferencias significativas entre el primer huevo de las nidadas de 2 huevos, en largo, ancho y masa, y los huevos de las nidadas de 1 huevo (Cuadro 2).

Un factor de mortalidad no anticipado en Morros El Potosí fueron condiciones meteorológicas adversas. Dada su ubicación, Morros El Potosí recibe relativamente temprano la temporada de huracanes y depresiones tropicales en comparación con colonias más nortenas, por esta razón, las lluvias intensas causaron la pérdida del 12% de los huevos. Dado que fuimos evacuados de la isla antes de la entrada de la tormenta tropical, sólo pudimos

ver los efectos cuando pasaron los eventos. El mal tiempo provocó la muerte del 5% de los pollos, ya fuera ahogados a causa de las lluvias o, quizás, de inanición si los padres no pudieron forrajear durante los días lluviosos.

El éxito reproductivo puede estar influenciado por muchos factores bióticos y abióticos (Rotenberry y Wiens, 1991). Sin embargo, en general, en aves marinas se puede utilizar como un indicador de la calidad del ambiente, pues refleja la disponibilidad de alimento en el mar (Cairns, 1992; Furness, 2003). Los bobos cafés de Morros El Potosí tuvieron un éxito de eclosión del 61% en la temporada 2006, similar a registros de San Pedro Mártir (63.6%; Tershy et al., 2000), las islas Kure (61.2%, Woodward 1972) y el atolón de Johnston (63%, Amerson y Shelton 1976), y algo mayor a la isla de Navidad (51%, Nelson 1978). En contraste, en las colonias del golfo de California el éxito de eclosión en 2003 fue muy bajo (23.7% en isla San Jorge y 16.4% en el farallón de San Ignacio), lo que fue atribuido a la presencia de condiciones de El Niño (Suazo-Guillén, 2004).

En sólidos, la permanencia de los padres en el nido frecuentemente depende del contenido del nido: huevos o pollos (González y Osorno, en Guerra y Drummond, 1995; Suazo-Guillén, 2004), o de la edad de los pollos (J.A. Castillo-Guerrero, comm. pers.). En los bobos cafés de Morros El Potosí no se observó esta diferencia, y el cuidado de los padres fue similar en los períodos de incubación y de cría de pollos desde una hasta 12 semanas.

En los bobos cafés de Morros El Potosí, las hembras incubaron durante más tiempo que los machos, similar a lo reportado para las islas de la costa brasileña (Martins y Dias, 2003) e Isla San Jorge, en 2004 (Suazo-Guillén, 2004). En cuanto 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 (J.A. Castillo-Guerrero, comm. pers.) y bobos cafés de Isla San Jorge (Suazo Guillén, 2004) y del Farallón de San Ignacio (Peñaloza-Padilla, 2006). En contraste, en Morros El Potosí las hembras de bobo café cuidaron a los nidos con pollos un porcentaje mayor de tiempo. Un mayor tiempo de incubación de las hembras se ha explicado por su tamaño mayor, pues pueden incubar más eficientemente los huevos (Snyder y Wiley, 1976) y que, ya que toleran mejor la inanición que los machos, pueden realizar periodos de incubación más largos (Snyder y Wiley, 1976; Korpimäki, 1986). Esta segunda razón podría explicar también su mayor atención a los pollos.

En muchos casos, el tiempo de estancia de los bobos cafés padres en los nidos disminuye conforme los pollos crecen (Martins y Dias, 2003; Peñaloza-Padilla, 2006),

lo que se ha atribuido a que conforme crecen los pollos requieren más alimento (Cairns, 1992). En Morros El Potosí no hubo diferencias en el tiempo dedicado al cuidado de los nidos a lo largo de la temporada de anidación medida. Asimismo, viajes de forrajeo más largos pueden llevar a una disminución del tiempo de atención al nido, dejando los huevos y pollos más susceptibles a la depredación (Regehr y Montevecchi, 1997; Massaro et. al. 2000). En Morros El Potosí, no se observó depredación de huevos y pollos durante la temporada 2006, ni causas importantes de muerte de pollos fuera de la indicada por condiciones meteorológicas.

Los bobos cafés realizaron buceos más profundos en Morros El Potosí, en la temporada de anidación 2006, que en el Atolón de Johnston (buceos menores a 1 m; Lewis et al., 2005) y en las islas del Golfo de California (2.9 m en 2003 y 2.3 m en 2004, en la Isla San Jorge, y ligeramente mayores a 3 m en el Farallón de San Ignacio; Suazo-Guillén, 2004; Peñaloza-Padilla, 2006, respectivamente). Las ausencias del nido (reflejando la duración de los viajes de forrajeo) fueron más largas en Morros El Potosí que en el Farallón de San Ignacio (Peñaloza-Padilla, 2006). Esto sugiere que en Morros El Potosí, los bobos cafés requirieron un mayor esfuerzo de forrajeo para satisfacer sus necesidades alimentarias y las de sus pollos. Las especies consumidas por los bobos en Morros El Potosí son, en lo general, similares a las consumidas en otras colonias.

Todas las observaciones anteriores sugieren que la disponibilidad de alimento cerca de la colonia de Morros El Potosí es menor que en otras colonias de bobo café, pero que, sin embargo, no es limitante para el desarrollo adecuado de los pollos, ya que fue posible subsanarlo con ajustes en el esfuerzo de forrajeo (tiempo y profundidad de buceo) y reparto de tiempo de atención del nido (mayor para hembras). Esta aparente menor disponibilidad general de alimento podría reflejar el carácter más tropical de las aguas de la región, pero ello se podrá evaluar sólo con trabajo futuro sobre el particular. Por otra parte, si bien no hubo un patrón claro de incremento en el esfuerzo de forrajeo con el tiempo, si hubo diferencias entre meses, sugiriendo que hay fluctuaciones de corta duración en la disponibilidad de alimento.

En conclusión, la colonia de bobos cafés de Morros El Potosí mantiene muchas de las características reproductivas básicas reportadas para la especie en diferentes lugares del mundo. Los datos respaldan la hipótesis de que el segundo huevo es de seguridad. La colonia también refleja las condiciones tropicales de su ubicación y comparte con algunas otras de latitudes bajas un periodo reproductivo sin estacionalidad marcada, que tiene lugar la mayor parte, si no es que durante todo el año. Los datos de esta colonia

sugieren que la disponibilidad de alimento regional es menor a la de colonias más norteñas del Pacífico mexicano, sin llegar a ser limitante para la reproducción efectiva de la especie. Esta menor disponibilidad de alimento podría ser una consecuencia de las aguas cálidas de la región. Por otra parte, debido a su ubicación, la colonia está sujeta a un factor de mortalidad no reportado para otros sitios: lluvias copiosas asociadas con tormentas y depresiones tropicales. La información aquí presentada sugiere que la comparación a mayor detalle de esta colonia y colonias más norteñas y, quizás, intermedias, tiene un buen potencial para entender la adaptabilidad de la especie a las condiciones locales y a la variabilidad del medio.

Agradecimientos

El financiamiento de este proyecto provino del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por mediación de un proyecto del segundo autor, y del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. Agradecemos a Armando Bañuelos y Jorge Cabrera por el transporte a la isla y a Alfredo Castillo-Guerrero, Miguel Prado, Xitlali Herrera, José María Aguilar y Akatzin Barba por su apoyo durante el trabajo de campo. Dos revisores anónimos ayudaron a mejorar el manuscrito sustancialmente.

Literatura citada

- Anderson, D. 1983. The seabirds. In *Island biogeography in the Sea of Cortez*, T. J. Case y M. L. Cody (eds.). University of California, Berkeley. p. 246-264.
- Anderson, D. J. 1989. Differential responses of boobies and other seabirds in the Galápagos to the 1986-87 El Niño-southern oscillation event. *Marine Ecology Progress Series* 52: 209-216.
- Bost, C. A. y L. Maho. 1993. Seabirds as bio-indicators of changing marine ecosystems: new perspectives. *Acta Oecologica* 14:463-470.
- Branco, J. O. 2004. Aves marinhas das Ilhas de Santa Catarina. In *Aves marinhas insulares brasileiras: biología e conservacao*, J. O. Branco (ed.). Editora da Univali, Itajaí. p. 15-36.
- 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.
- Cairns, D. K. 1987. Seabirds as indicators of marine food supplies. *Biological Oceanography* 5:261-271.
- Cairns, D. K. 1992. Bridging the gap between ornithology and fisheries science: use of seabirds data in stock assessment models. *Condor* 94:811-824.
- 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. Tesis maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California. 98 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.
- Charrassin, J. B. y C. A. Bost. 2001. Utilization of the oceanic habitat by king penguins over the annual cycle. *Marine Ecology Progress Series* 201:285-297.
- Charrassin, J. B., C. A. Bost, K. Putz, J. Lage, T. Dahier, T. Zorn e Y. LeMaho. 1998. Foraging strategies of incubating and brooding king penguins *Aptenodytes patagonicus*. *Oecologia* 114:194-201.
- Clifford, L.D. y D. J. Anderson. 2001. Experimental demonstration of the insurance value of extra eggs in an obligately siblicidal seabird. *Behavioral Ecology* 12: 340-347.
- 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.
- Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/>; fecha de consulta: 15 junio, 2006.
- Drummond, H., C. Rodríguez y H. Schwabl. 2008. Do mothers regulate facultative and obligate siblicide by differentially provisioning eggs with hormones? *Journal of Avian Biology* 39: 139-143.
- Furness, R. W. 2003. Impacts of fisheries on seabird communities. *Scientia Marina* 67:33-45.
- Gaviño de la Torre, G. 1988. Aves de la isla Isabel, Nayarit, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, serie Zoología* 58:751-812.
- Gaviño de la Torre, G. 1993. Reproducción de la sula cuellioscuro *Sula leucogaster* en la isla Pajarera, Bahía de Chamela, Jalisco, Mexico. *Universidad, Ciencia y Tecnología* 3:1-19.
- Goldman, E. A. 1951. Biological investigations in Mexico. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 115:1-476.
- 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.
- Hazevoet, C. J. 1995. The birds of the Cape Verde Islands: an annotated checklist. *BOU Checklist* 13. British Museum of Natural History. Tring, Hertfordshire. 192 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.
- Howell, S. N. G. y S. Engel. 1993. Seabirds observations off Western Mexico. *Western Birds* 24:167-181.
- Howell, S. N. G. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and northern Central America. Oxford University Press, Oxford. 851 p.
- Korpimäki, E. 1986. Reversed size dimorphism in birds of prey, especially in Tengmalm Owl *Aegolius funereus*: a test of the starvation hypothesis. *Ornis Scandinavica* 17: 326-332.
- 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.
- Martins, F. 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.
- Martin, P. y P. Bateson. 1986. *Measuring Behaviour: An introductory guide*. Cambridge, Cambridge University Press, Cambridge. 200 p.
- Massaro, M., J. W. Chardine, I. L. Jones y G. J. Robertson. 2000. Delayed capelin (*Mallotus villosus*) availability influences predatory behaviour of large gulls on Black-legged Kittiwakes (*Rissa tridactyla*), causing a reduction in kittiwake breeding success. *Canadian Journal of Zoology* 78:1588-1596.
- Mellink, E. 2000. Breeding of Brown Boobies in the Gulf of California: Seasonality and apparent effects of El Niño. *Waterbirds* 23:89-99.
- Mellink, E. y M. E. Riojas-López. 2005. Breeding seabirds of Morros El Potosí, Guerrero, México. *Western Birds* 36:59-63.
- 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.
- Montevecchi, W. A. 1993. Birds as indicators of change in marine prey stocks. In *Birds as monitors of environmental change*, R. W. Furness y J. J. D. Greenwood (eds.). Chapman and Hall, London. p. 217-266.
- Montevecchi, W. A. y R. A. Myers. 1995. Prey harvest of seabirds reflects pelagic fish and squid abundance on multiple spatial and temporal scales. *Marine Ecology Progress Series* 117:1-9.
- Montevecchi, W. A. y R. A. Myers. 1996. Dietary changes of seabirds indicate shifts in pelagic food webs. *Sarsia* 80:313-322.
- Nelson, J. B. 1978. *The Sulidae. Gannets and boobies*. Oxford University Press. Oxford. 1012 p.
- Peñaloza-Padilla, E. A. 2006. Cuidado parental y ecología de forrajeo del bobo café (*Sula leucogaster brewsteri*) en el farallón de San Ignacio, Sinaloa, México, en la temporada reproductiva 2004. Tesis, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México. 39 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.
- Rotenberry, J. T. y J. A. Wiens. 1991. Weather and reproductive variation in shrubsteppe sparrows: a hierarchical analysis. *Ecology* 72: 1325-1335.
- Schreiber, E. A. y R. L. Norton. 2002. Brown Booby (*Sula leucogaster*). In *The Birds of North America*, F. B. Gill y A. Poole (eds.). The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, Pennsylvania. p. 649.
- Simmons, R. E. 1997. Why don't all siblicidal eagles lay insurance eggs? The egg quality hipótesis. *Behavioral Ecology* 8:544-550.
- Snyder, N. F. R. y J. W. Wiley. 1976. Sexual dimorphism in hawks and owls of North America. *Ornithological Monographs* 20:1-96.
- Suazo-Guillén, E. 2004. Biología reproductiva y hábitos de forrajeo del bobo café, *Sula leucogaster*, en dos islas del Golfo de California, 2003-2004. Tesis Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C., México. 74 p.
- Tershy, B.R., Breese, D. y D.A. Croll. 2000. Insurance eggs versus additional eggs: Do Brown Boobies practice obligate siblicide? *Auk* 117:817-820.
- Westerkov, K. 1950. Methods for determinig the age of game bird eggs. *Journal of Wildlife Management* 14:56-67.
- Woodward, W. 1972. The natural history of Kure Atoll, northwestern Hawaiian Islands. *Atoll Research Bulletin* 164:1-318.