

03041

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



**INSTITUTO DE ECOLOGÍA**

**LA REPRODUCCIÓN DEL BOBO DE PATAS AZULES (*Sula nebouxi*)  
COMO UN INDICADOR DE LA ABUNDANCIA FUTURA DE PESCA**

TESIS

Que para obtener el grado académico de Maestro en Ecología Básica

Presenta

**Juan Francisco Meraz Hernando**

Director Dr. Hugh Drummond

Laboratorio de Conducta Animal, Departamento de Ecología Evolutiva



INSTITUTO  
DE ECOLOGÍA  
UNAM

México, D. F. Abril 2005

m343495



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Fe de erratas

La tabla de la página 30 tiene algunos valores incorrectos. La tabla correcta es la siguiente:

Tabla II. Cargas factoriales de las variables independientes, agrupadas en dos factores reproductivos, obtenidas por medio del método de máxima probabilidad, empleando la rotación varimax.

Variable	Factor 1	Factor 2	Comunalidad
Número de puestas	*0.987	0.074	0.980
Número de puestas grandes	*0.923	0.116	0.865
Proporción de puestas grandes	*-0.845	-0.363	0.846
Número de eclosiones	*0.910	-0.415	1
Éxito de eclosión	-0.072	*-0.997	1
Número de emplumados	*0.844	-0.478	0.940
Éxito de emplumados	*0.926	0.024	0.858
Proporción de huevos que emplumaron	*0.845	-0.436	0.904
Varianza	5.6573	1.736	7.3948
Porcentaje explicado de la varianza	70.7	21.7	0.924

\*Valores significativos

Los valores negativos significan que el efecto de esa variable dentro del factor es en sentido inverso. Para el factor 1 la proporción de puestas nuevas grandes tiene una relación significativa negativa con el resto de las variables. Por su parte, el éxito de eclosión es la única variable significativa para el factor 2 y su efecto es negativo.

En la página 34 el quinto renglón del segundo párrafo dice: "...y la CPUE durante el periodo entre junio y diciembre (Tabla VII)...", y debe decir "...y la CPUE durante el periodo entre junio y diciembre...".

En la página 39 en la leyenda del eje x de la segunda gráfica dice: "Proporción de puestas grandes en 20 de abril", y debe decir "Proporción de puestas grandes en 30 de abril".



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
INSTITUTO DE ECOLOGIA

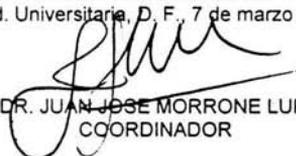
ING. LEOPOLDO SILVA GUTIERREZ  
Director General de  
Administración Escolar, UNAM  
Presente.

Por la presente me permito informar a usted que en reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el 6 de diciembre de 2004, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de **Maestro en Ecología Básica** del alumno: **Juan Francisco Meraz Hernando** con No. De Cta. 97800471 Exp. 30971084 con la tesis titulada: **"La reproducción del bobo de patas azules (*Sula nebouxii*) como un indicador de la abundancia futura de pesca"**, dirigida por el Dr. Hugh Michael Drummond Durey.

Presidente:	Dr. Adolfo Gracia Gasca
Secretario:	Dr. Hugh Michael Drummond Durey.
Vocal:	Dra. Robyn Elizabeth Hudson
Suplente:	Dr. César Augusto Domínguez Pérez-Tejada
Suplente:	Dra. Laura Roxana Torres Avilés

Sin otro particular quedo de usted.

Atentamente.  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Ciudad. Universitaria, D. F., 7 de marzo de 2005

  
DR. JUAN JOSÉ MORRONE LUPI  
COORDINADOR

## **Agradecimientos**

A Hugh Drummond por su dirección y apoyo, sus estrictos comentarios y una amabilidad y paciencia admirables. Gracias por sus revisiones claras y rápidas, por apoyarme en mi trabajo y estar al pendiente de mi vida profesional. Por siempre, un abrazo.

A mi Comité Tutorial por sus aportes y enseñanzas: José Luis Osorno (†) por sus consejos, ideas y buen humor; César Domínguez por sus revisiones y sugerencias, su tiempo y disposición ya que leyó el documento varias veces. Muchas gracias a Robyn Hudson por entusiasmarse con el tema, por sus comentarios y apoyo.

A Adolfo Gracia por enriquecer enormemente el trabajo y darme ideas interesantes. A Roxana Torres por sus cuestionamientos y sus pláticas en la Isla Isabel.

No puedo dejar de mencionar a Cristina Rodríguez, así como a Mario Fuente, por su enorme apoyo y amistad.

Muchos fueron quienes apoyaron con su trabajo en la isla: tesistas, voluntarios, asistentes... y cómo olvidar a la mismísima Isabel, un lugar maravilloso donde fue un placer trabajar, y qué decir de los bobos de patas azules, aves maravillosas.

Aportes, sugerencias y revisiones han de agradecerse a Salvador Sánchez, Mercedes Jacob, Lourdes Lyle y Alberto Montoya.

Por sus comentarios debo dar gracias Carlos Robinson, Kurt Drekman, Felipe Becerril y Pedro Cervantes.

Este trabajo no hubiera sido posible sin el financiamiento y apoyo logístico de la UNAM (DGAPA-IN211491), CONACyT (D112-903581, PCCNCNA-031528, 071PÑ-1297), National Geographic Society (3065-85, 4535-91), Conservation Research Foundation, Armada de México, SEMARNAP (y predecesoras), CRIP Mazatlán y la UMAR.

En realidad fueron muchos, muchos más quienes de alguna manera me otorgaron su ayuda o apoyo.

A todos aquellos que han hecho de mí lo que soy; en especial al CET-Mar de Tuxpan (donde me inicié en los dominios de la Biología), y la UAM Iztapalapa (mi *alma mater*).

Mi mayor agradecimiento a mis padres, Manuel Meraz (†) y Josefina Hernando (†), por sus dos grandes herencias: la educación y sus genes.

Mis hermanos siempre conmigo, siempre apoyando, siempre ahí... siempre cuando se necesitan: Martha, Manuel, Miguel, Marilú y Toyo (†).

A Betzabeth por compartir su vida conmigo, su apoyo y la revisión que hizo del documento final. A Constanza por empujarme a salir siempre adelante... es maravilloso el enorme espacio que puede llenar alguien tan pequeño.

## **Dedicatoria**

**Al pueblo de México por haberme dado educación de calidad**

## Índice

---

	<b>Página</b>
<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Introducción</b>	<b>2</b>
<b>La Dinámica Pesquería-Aves Marinas</b>	<b>4</b>
<b>La Pesquería de Pelágicos Menores en el Pacífico Mexicano</b>	<b>6</b>
<b>Las Aves Marinas como Indicadores de la Abundancia de Peces</b>	<b>7</b>
<b>El Fenómeno de El Niño y las Aves Marinas</b>	<b>10</b>
<b>Alimentación y Reproducción del Bobo de Patas Azules</b>	<b>14</b>
<b>Objetivo</b>	<b>15</b>
<b>Hipótesis</b>	<b>15</b>
<b>Material y Métodos</b>	<b>15</b>
<b>Descripción del Área de Estudio</b>	<b>15</b>
<b>Trabajo de Campo</b>	<b>17</b>
<b>Registros Pesqueros</b>	<b>18</b>
<b>Registros de Temperatura del Mar</b>	<b>19</b>
<b>Análisis de Datos</b>	<b>19</b>
<b>Resultados</b>	<b>22</b>
<b>Variación Interanual</b>	<b>22</b>
<b>Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE)</b>	<b>23</b>
<b>Temperatura Superficial del Mar</b>	<b>23</b>
<b>Número de Puestas</b>	<b>25</b>
<b>Número de Puestas Grandes</b>	<b>26</b>

<b>Proporción de Puestas Grandes</b>	<b>26</b>
<b>Frecuencia Promedio de Eclosiones</b>	<b>26</b>
<b>Variación y El Niño</b>	<b>26</b>
<b>Relaciones entre CPUE y las Variables Independientes</b>	<b>29</b>
<b>Estimación de los Valores de los Factores Reproductivos</b>	<b>29</b>
<b>Relación entre la CPUE de junio a diciembre y las Variables Independientes</b>	<b>31</b>
<b>Relación entre la CPUE de junio a diciembre y las Variables Independientes durante los años con y sin El Niño</b>	<b>36</b>
<b>Discusión</b>	<b>38</b>
<b>Literatura Citada</b>	<b>46</b>
<b>Anexo</b>	<b>52</b>

**Resumen**

A fin de establecer si el bobo de patas azules (*Sula nebouxii*) en la Isla Isabel, Nayarit, sirve como predictor de la abundancia futura de pesca en la zona, se analizaron ocho variables reproductivas de esta ave entre enero y mayo, con las capturas pesqueras (CPUE) de pelágicos menores entre junio y diciembre, durante un periodo de 13 años. Mediante un análisis de factores se agruparon las variables reproductivas de los bobos en dos factores que fueron considerados como variables independientes en un análisis de regresión, con la CPUE como variable dependiente. El primer factor tuvo una relación significativa con la CPUE, explicando un 33% de la varianza entre años. Además se encontró una relación significativa entre la proporción de puestas grandes (una variable fácil de medir) y la CPUE (con un coeficiente de determinación del 41%), y posteriores regresiones relacionaron la proporción de puestas grandes de los días 15 y 30 de los meses de marzo, abril y mayo como variables independientes, con la CPUE para el periodo junio a diciembre. Destacó la relación entre la proporción de puestas nuevas de los días 30 de abril y 15 de mayo y la CPUE, obtenida a partir de un análisis de regresión múltiple por pasos, que alcanzó explicar el 60% de la varianza entre años. Durante los años en que no se presentó el fenómeno de El Niño, la CPUE tuvo una relación significativa con los dos factores obtenidos, los cuales explicaron un 52% de la varianza entre años, mientras que en años El Niño la CPUE se relacionó con el primer factor, el cual explicó un 63% de la varianza, así como con la proporción de puestas grandes obtenidas el 15 y 30 de abril, así como el 15 de mayo (explicando el 67%, 73% y 69% de la varianza, respectivamente). Estos resultados indican que existe una relación entre algunas variables reproductivas del bobo de patas azules, para los primeros cinco meses del año, con las capturas pesqueras registradas para los meses siguientes, lo que hace de esta ave un potencial predictor de la abundancia futura de pesca para la zona.

## Introducción

Las aves marinas son consumidores superiores de la red trófica de los mares, por lo que tienen estrecha relación con la productividad y las interacciones bióticas (Montevecchi, 1993). Son mayoritariamente depredadores oportunistas, que consumen recursos marinos más con base en su hábitat que por un tipo de presa en particular (Hunt y Schneider, 1987), desplegando para ello diversas técnicas de pesca (Ashmole, 1971). A pesar de que pueden depredar directamente al plancton (Ashmole, 1971; Hunt y Schneider, 1987), en los primeros niveles tróficos, su alimento más común son los peces, considerándose entre sus principales depredadores, junto con mamíferos marinos y otros peces (Yodzis, 2001).

La sobrevivencia de las aves marinas y sus crías depende básicamente de la disponibilidad de alimento, y su capacidad para encontrarlo en suficientes cantidades (Powers, 1983). De hecho, la cantidad de alimento disponible ha sido señalada como el factor principal que regula las poblaciones de aves marinas (Nelson, 1966; Anderson y Gress, 1984; Birt *et al.* 1987; Lewis *et al.* 2001).

Se han observado bajas densidades de peces cercanas a las colonias de crianza de aves que forrajean en la costa (Lewis *et al.* 2001), posiblemente por efecto de la alimentación de las propias aves; por ejemplo, se ha observado que la densidad de peces que son presa del cormorán de doble cresta (*Phalacrocrax auritus*) disminuye con la proximidad de la colonia de aves (Birt *et al.* 1987). La disminución local de peces puede causar que las aves que crían en colonias grandes deban viajar más lejos para encontrar alimento para sus pollos, como se ha registrado para los alcatraces *Morus bassanus* (Lewis *et al.* 2001). Esto significa que el número de aves marinas puede estar limitado por factores densodependientes, como la competencia intraespecífica por alimento alrededor de las colonias durante la época de crianza (Ashmole, 1971; Furness y Birkhead, 1984; Birt *et al.* 1987).

La gran dificultad para allegarse de presas radica en el hecho de que éstas están distribuidas frecuentemente en parches irregulares y móviles (Powers, 1983; Montevecchi, 1993), que muchas veces son impredecibles (Robinson *et al.* 2002). En otros casos los peces responden, a su vez, a los parches de plancton, por lo que la distribución de estos últimos puede influir en la distribución de las aves (Hunt y Schneider, 1987).

En especies con puestas de varios huevos y cuyas poblaciones fluctúan en número a lo largo del tiempo, el número de huevos varía frecuentemente en respuesta a la cantidad de alimento (Montevecchi, 1993). En las poblaciones de aves es común el declive temporal en el tamaño de puesta: los individuos que anidan al inicio de la temporada de crianza, generalmente ponen más huevos que aquellos que anidan después (Rowe *et al.* 1994). El éxito reproductivo del bobo de patas azules *Sula nebouxi*, disminuye conforme la puesta es más tardía (García-Cerecedo y Saavedra-Sordo, 1997). Por otra parte, las aves que anidan tempranamente, en algunos casos tienen más experiencia y mayor habilidad para competir (Velandó, 2000). En el otro extremo, el abandono de nidos y la ampliación de las áreas de dispersión de los sitios de anidación, puede ser una respuesta adaptativa en periodos de baja disponibilidad de alimento, permitiendo a los adultos usar el poco alimento disponible en su propia sobrevivencia, más que en alimentar a sus crías (Barber y Chávez, 1983).

Las condiciones oceanográficas, como la temperatura del mar, restringen la conducta y fisiología de los animales marinos afectando su producción, distribución y abundancia (Montevecchi, 1993), así como la disposición del alimento para las aves marinas (Anderson y Gress, 1984; Briggs *et al.* 1984), influenciando el éxito reproductivo de estas (Montevecchi y Myers, 1997). Cambios en la temperatura del mar en la región de la corriente de California producen variaciones en el número de especies de aves marinas, encontrándose un mayor número de especies de aguas frías en años con temperaturas bajas y vice-versa. Ello ejemplifica la respuesta de estas aves, en el corto tiempo, a los cambios de gran escala en las condiciones oceánicas, particularmente la temperatura superficial del mar (Ainley *et al.* 1995).

## La dinámica Pesquería-Aves Marinas

La extracción de peces marinos, a escala global, ha superado el límite de captura máximo permitido. Las poblaciones sobre-explotadas, así como los efectos indirectos de las pesquerías sobre los ecosistemas marinos, indican que el manejo ha fallado en alcanzar su principal objetivo, la sustentabilidad (Botsford *et al.* 1997). De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), las capturas comerciales anuales a nivel mundial pasaron de 30 millones de Ton en 1955, a unos 100 millones en los años noventa (Valiela, 1995; Botsford *et al.* 1997), afectando severamente las poblaciones de la mayoría de las especies comerciales de peces (Valiela, 1995). Se han colapsado ya muchas pesquerías en aguas de países “avanzados” (Steele, 1998) por efectos de la mecanización en la pesca y contaminación (Ricklefs *et al.* 1984), presentándose los mayores impactos en las zonas costeras (Valiela, 1995). Ejemplo de esta situación lo representa el drástico declive en las capturas de la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) en la Corriente de California. Al disminuir sus poblaciones, se incrementó la abundancia de la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), reemplazando a las sardinas originales en las capturas (Stiling, 1996). Mientras que la biomasa de sardinas, en el Golfo de California y costa oeste de Baja California Sur, se estimaba en 553 000 Ton en 1956, disminuyó hasta las 17 000 Ton en 1984. Para 1986, la implementación de una veda temporal provocó un importante repunte que alcanzó las 394 900 Ton. (Cisneros-Mata, 1988).

Aunque no se tenían evidencias reales de riesgo en la pesquería de las sardinas crinudas (género *Opisthonema*) hasta 1992, era de esperarse una crisis en la pesquería en el Golfo de California porque las capturas de los años anteriores habían rebasado hasta en un 70% los niveles de rendimiento máximo estimado (Ruiz y Lyle, 1992). Ello ha provocado que los cardúmenes de estas sardinas se incrementen en tamaño y biomasa, pero disminuyan en número (Ruiz y Lyle, 1992).

Las interacciones descritas en la literatura entre aves marinas y los pescadores son diversas, resultando en la variación de la reproducción de las aves que compiten con las pesquerías por una presa común (Duffy y Schneider, 1994). A este respecto, es importante mencionar que se ha estimado que las poblaciones de aves marinas pueden consumir el 22-29% de la producción local de peces en ciertas regiones (Wiens y Scott, 1975, citados en Croll y Tershy, 1998; Furness, 1984; McCall, 1984). Los efectos negativos de la pesca sobre las aves marinas incluyen decrementos en el número de aves (Furness, 1984; Montevecchi, 1993; Newton, 1998), ya sea impactándolas de manera directa como la muerte por captura incidental en redes y líneas pesqueras (Tuck *et al.* 2001), o afectándolas indirectamente al causar disminuciones en las poblaciones de sus presas (Duffy y Schneider, 1994). Ejemplo de esto lo representa la sobrepesca de la anchoveta peruana (*E. ringens*) en la Corriente de Humboldt, que ha causado el aumento en la mortalidad de la población local de cormoranes *Phalacrocorax bougainvillei*, así como de bobos y pelícanos (Ashmole, 1975, citado en Schreiber y Clapp, 1987). Por el contrario, incrementos en el número de aves por efecto de la pesca, pueden deberse al aprovechamiento, por parte de las aves, de las descargas de desechos de peces de los barcos, las cuales significan un incremento masivo en el alimento disponible (Newton, 1998).

El manejo de las interacciones pesquerías-aves marinas debe enfrentarse con pocos datos y ambientes altamente variables, lo que dificulta el análisis de esas interacciones (Duffy y Schneider, 1994). Es importante avanzar en el conocimiento sobre las relaciones entre pesquerías y aves marinas, ya que estas aves son importantes componentes del ecosistema marino al ser depredadores de alto nivel y, por ello, deberían considerarse en la elaboración de estrategias de manejo de los recursos pesqueros (Croll y Tershy, 1998).

## La Pesquería de Pelágicos Menores en el Pacífico Mexicano

En México la pesquería de peces pequeños concentrados en grandes cardúmenes, que por su distribución se conocen como pelágicos menores, se basa principalmente en las sardinas monterrey o del Pacífico (*Sardinops caeruleus*), crinuda, bocona (*Cetengraulis mysticetus*) y japonesa (*Etrumeus teres*), así como macarela (*Scomber japonicus*) y anchoveta norteña. De estas, las principales descargas corresponden a sardinas monterrey (77.5%) y crinudas (10.9%); mientras que, hasta 1988, la anchoveta representaba una pequeña fracción en la pesquería (0.5%) (Cisneros-Mata, 1988).

La pesquería de sardina en el Golfo de California está compuesta por la sardina monterrey, de zonas templadas, y las crinudas que incluyen especies tropicales (Lluch-Belda *et al.* 1986). La sardina monterrey se distribuye desde el Golfo de California hacia el norte, mientras que las tres especies de crinudas (*O. medirastre*, *O. libertate* y *O. bulleri*) se distribuyen del Golfo de California hacia el sur (Cisneros-Mata, 1988). Por lo anterior, las mayores capturas de sardinas, en general, se llevan al cabo en el propio Golfo (Cisneros-Mata, 1988; Cisneros-Mata *et al.* 1995).

En el sur de California, el declive de la población de sardinas (en el periodo 1957-1960) fue seguido por un incremento en la abundancia de anchovetas (McCall, 1984). Posteriormente, en 1985 se descubrieron juveniles de anchoveta norteña en el Golfo de California, y en 1986 aparecieron ejemplares adultos en las descargas comerciales de sardina. Estas observaciones sugieren la existencia de un proceso de liberación competitiva (Botsford *et al.* 1997), en la que una especie incrementa el tamaño de su población por efecto de la remoción de otra especie competidora.

Las características biológicas de los pelágicos menores los hacen altamente sensibles a las fluctuaciones del ambiente (Stenseth *et al.* 2002). Lluch-Belda *et al.* (1991, citados en Vidal-Talamantes, 1995) afirman que los regímenes fríos favorecen a las anchovetas, mientras que los más cálidos son favorables para la sardina. Con el enfriamiento del mar, en invierno, las sardinas monterrey migran hacia el sur para reproducirse, regresando en verano (Cisneros-Mata, 1988).

La captura de anchovetas en el Pacífico mexicano mostró un crecimiento gradual desde 1972 hasta 1982. De 1983 a 1989 las capturas mensuales fueron máximas de julio a septiembre, moderadas entre octubre y diciembre, así como entre abril y junio, y casi nulas entre enero y marzo (Vidal-Talamantes, 1995). Tras el establecimiento de tallas mínimas de captura de sardinas crinuda y monterrey a partir de 1984, así como una veda parcial en el verano de 1985 (Cisneros-Mata, 1988), las máximas descargas de sardinas, para el periodo 1969-1992, se alcanzaron en la temporada 1988-1989 (Cisneros-Mata *et al.* 1995). A partir de 1990 y hasta 1992 se presentó una caída en la captura, tanto de sardinas como de anchovetas (Cisneros-Mata *et al.* 1995; Vidal-Talamantes, 1995).

Existe un grupo de sardina crinuda sureña en Jalisco y otro norteño de Sonora a Sinaloa. Con el enfriamiento del Golfo de California en otoño, la porción norteña se mueve hacia el sur de Sinaloa y norte de Nayarit. Durante el periodo de octubre a abril la flota de Mazatlán captura los mayores volúmenes. Posteriormente, de mayo a septiembre, con el calentamiento del agua se inicia el regreso al norte, dándose los desoves de mayo a julio (Cisneros-Mata, 1988; fig.1).

### **Las Aves Marinas como Indicadores de la Abundancia de Peces**

Por milenios los humanos han seguido a las aves al mar para localizar peces y mamíferos (Montevecchi, 1993; Montevecchi, 2002). Sin embargo, existe incertidumbre sobre si pueden ser usadas para proveer información sobre la abundancia de peces. Algunos estudios sugieren que

esto puede ser posible (Furness, 1984; Furness y Monaghan, 1987), sobre todo cuando la distribución pelágica de las aves esté relacionada con la distribución de los propios peces (Hunt y Schneider, 1987). Las aves marinas podrían verse entonces como indicadores de alguna utilidad específica en el manejo de recursos pesqueros (Anderson y Gress, 1984; Velarde *et al.* 1994), o como complemento de los resultados de las capturas comerciales (Montevecchi, 1993; Velarde *et al.* 1994) para estimar la abundancia de peces.

La tasa reproductiva en aves depende en parte del número de huevos puestos, y es el resultado de muchas interacciones diferentes en la historia de vida de un individuo en relación con su medio (Ricklefs, 2000). Por fortuna es posible muestrear colonias reproductivas de aves marinas con un mínimo de perturbación (Montevecchi, 1993) y emplear tales muestreos como una medida de alerta barata que indicara la falla en el reclutamiento, o disminución del stock pesquero (Furness y Monaghan, 1987), principalmente donde los registros pesqueros no están disponibles (Harris y Wanless, 1990).

Se ha documentado ampliamente la relación existente entre el éxito de crianza de las aves marinas y la abundancia de presas en el medio (Anderson y Gress, 1984; Hunt y Schneider, 1987); encontrándose que el éxito reproductivo de varias especies de aves marinas es mayor cuando el alimento es abundante, resaltando los trabajos con el pelicano café (*P. occidentalis*), las gaviotas (*Larus occidentalis* y *Rissa tridactyla*) y los patos (*Endomychura hypoleuca* y *Synthliboramphus hipoleucas*) (Anderson *et al.* 1982; Anderson y Gress, 1984; Furness y Monaghan, 1987; Harris y Wanless, 1990; Duffy y Schneider, 1994).

Con base en los resultados obtenidos en un estudio en las Islas Galápagos, donde se midieron las ganancias en peso entre pollos de *S. nebowii* en varias localidades a lo largo de 5 días, se estableció que el crecimiento más rápido de los pollos estaba asociado con temperaturas

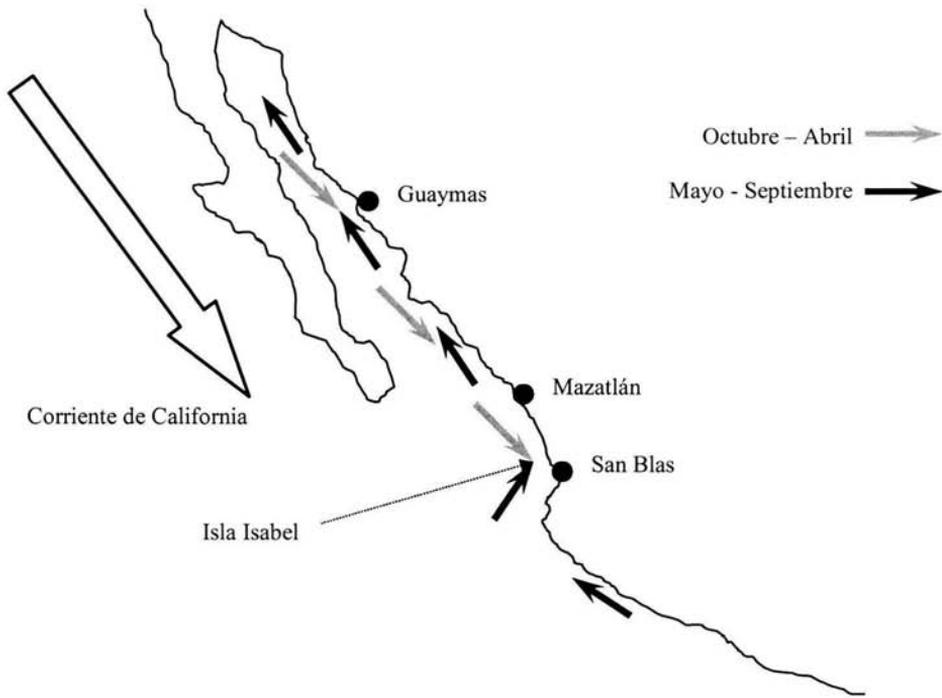


Figura 1. Migración de la sardina crinuda *Opistonema libertate* (tomado de Cisneros-Mata, 1988).

bajas del mar en las inmediaciones de las colonias de anidación, lo cual puede ser un valioso indicador de la abundancia de presas, potencialmente útil para oceanógrafos, ecólogos y administradores de recursos marinos (Ricklefs *et al.* 1984).

El hecho de que alguna medida del éxito reproductivo de las aves marinas varíe entre temporadas reproductivas, hace pensar que existen variaciones ecológicas interanuales que se ven reflejadas en la reproducción de las aves. De manera directa, los cambios en la disponibilidad de alimento serían la más evidente causa ecológica de variación en el éxito reproductivo de las aves, por lo que es posible que respondan de manera anticipada a las variaciones en la disponibilidad

de alimento. Por ejemplo, ajusten en enero y febrero el número de sus crías, basándose en indicadores ambientales que les permitan estimar la abundancia de peces entre marzo y julio. De esta manera ajustarían en enero y febrero el número de las crías que van a alimentar entre marzo y julio. Más aún, las aves podrían estimar la abundancia de pesca entre los meses de agosto y diciembre, precisamente cuando sus crías, ya independientes, van a tener que encontrar alimento sin la ayuda de sus padres. De esta capacidad de predicción dependerá el éxito de su descendencia y, de aprovecharse, permitiría evaluar el recurso pesquero en el futuro mediato, por lo que el presente trabajo pretende establecer la relación entre el éxito reproductivo en los primeros cinco meses del año con la cantidad de pesca en el resto del año.

Las variaciones en la cantidad de peces podrían estar influenciadas por efectos del medio (Stienen y Brenninkmeijer, 2002; Moller, 2002), por lo que se podría determinar si la temperatura del mar en los primeros cinco meses del año predice la cantidad de pesca en los siete meses restantes del año. Ejemplo de ello lo representa el cambio producido por el fenómeno de El Niño en las condiciones oceanográficas, que ha resultado ser el mejor indicador de la baja disponibilidad de peces (Schreiber y Schreiber, 1989). En todo caso, lo relevante es analizar el posible ajuste en la reproducción de las aves marinas a la abundancia futura de peces.

### **El Fenómeno de El Niño y las Aves Marinas**

La oceanografía del Pacífico subtropical en el hemisferio norte, incluyendo el Golfo de California, está controlada por la influencia de la Corriente Norecuatorial, el Giro Subtropical del Pacífico Norte y el calentamiento oceánico (Bernal *et al.* 2001). La temperatura superficial del mar es un parámetro físico de gran importancia, no solamente por su relación directa con la atmósfera, sino también por los efectos que produce en los organismos marinos (Troncoso-Gaytán y Reyes-Coca, 2002). Las zonas de surgencia provocan frías temperaturas en la superficie del mar y una termoclina somera, dando como resultado una elevada productividad en todos los niveles tróficos del ecosistema marino (Barber y Chávez, 1983).

El fenómeno de El Niño está definido por la aparición y persistencia, durante 6-18 meses, de aguas anormalmente cálidas en la costa ecuatorial del océano Pacífico oriental (Barber y Chávez, 1983) y se presenta periódicamente a intervalos muy variables. Tiene profundas consecuencias en el clima y el sistema oceánico (Cane, 1983; Turk *et al.* 2001), sobre todo si está asociado con otros fenómenos como tormentas o ciclones (Reyes-Coca y Troncoso-Gaytán, 1998), o la oscilación del Atlántico del norte (Thompson y Wallace, 2001).

Gilbert Walker, a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, puso en evidencia la presencia de una fluctuación interanual, entre las presiones sobre el Océano Índico y el Pacífico tropical del este. A esta oscilación la llamó Oscilación del Sur (Philander, 1992). De hecho, El Niño es una fase de esta oscilación. Cuando existe un enfriamiento notable en la superficie del mar, se presenta La Niña, que puede tener efectos muy fuertes en primavera (Ribic *et al.* 1992). La unión de estos fenómenos se conoce como El Niño Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés). La naturaleza oscilatoria, o periodicidad en su aparición, se da a través de eventos El Niño-La Niña de características opuestas (Capurro, 1998).

Aunque se ignora el origen de las condiciones en las que se manifiesta El Niño, los cambios biológicos vinculados con él están claramente relacionados con cambios físicos en el mar, y se considera que la reducción en la abundancia de peces (en el Pacífico tropical oriental) es causada por decrementos en la productividad primaria que afectan la trama trófica entera (Barber *et al.* 1985; Newton, 1998). La más importante consecuencia de El Niño ha sido la disminución en la pesca de la anchoveta peruana *E. ringens* (Barber y Chávez, 1983) en el Pacífico oriental tropical, en Sudamérica.

En el Golfo de California, las surgencias y aguas frías se correlacionan con las Capturas Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) más altas de la sardina monterrey, mientras que las aguas cálidas están relacionadas con las capturas más bajas, especialmente durante El Niño (Lluch-

Belda *et al.* 1986). Lo contrario ocurre con la pesquería de sardina crinuda (Lluch-Belda *et al.* 1986; Instituto Nacional de la Pesca, 2000), que presenta las capturas mayores cuando las temperaturas del mar son altas. Esto trae como resultado que en los años fríos se incrementa el área de disponibilidad de la sardina monterrey, mientras que en los cálidos se mantiene la disponibilidad normal de crinudas y disminuye la de sardinas monterrey (Lluch-Belda *et al.* 1986).

Los efectos negativos de El Niño sobre los peces, originados por el calentamiento del mar (Cane, 1983), causan un colapso en las aves ictiófagas (Valiela, 1995). Esto ha producido mortalidad de adultos así como fallas reproductivas, evidenciadas por el abandono de huevos y crías, en las islas asociadas a la Corriente de Perú (Schreiber y Schreiber, 1984; Hunt y Schneider, 1987; Glynn, 1988; Ricklefs, 1990; Johnsgard, 1993). Los efectos producidos por El Niño (incremento en la temperatura del mar y variaciones en el régimen climático, principalmente) no sólo se presentan en la costa sudamericana, también se observan de manera directa en todo el Pacífico tropical, e indirectamente a lo largo del mundo (Cane, 1983). Por esta razón, los ornitólogos reconocen que algunos ENSO pueden tener efectos negativos globales sobre las aves (Schreiber y Schreiber, 1989; Schreiber, 2002; Shealer, 2002).

Varios estudios han puesto de manifiesto la sensibilidad de las aves marinas a los cambios producidos por El Niño, incluyendo lo que se ha llamado “falla característica de crianza” (Schreiber y Schreiber, 1989). Antes de que los oceanógrafos y científicos atmosféricos supieran del evento de El Niño en 1982, los patrones de crianza de las aves habían cambiado en Isla Natividad. Los números de bobos de patas rojas (*S. sula*) y de nazca (*S. granti*, antes bobo enmascarado *S. dactylatra*) se redujeron, y aquellos que intentaban criar lo hicieron 1-2 meses más tarde (Barber y Chávez, 1983; Schreiber y Schreiber, 1989), lo mismo sucedió con el número de fragatas *Fregata minor* (Barber y Chávez, 1983). En enero de 1986 se llamó a

observación por un posible El Niño y después se registró una sensible disminución en la disponibilidad de alimento de la colonia del bobo enmascarado en la Isla Navidad. Dos aspectos indicaban el acercamiento de un ENSO y pudieron ser los responsables en la variación en la disponibilidad de alimento para las aves: vientos fuertes del oeste intermitentes en julio y agosto (un periodo normalmente calmado) y un pronunciado hundimiento de la termoclina (Schreiber y Schreiber, 1989). Se estima que el evento El Niño 1986-1987 causó la muerte de hasta el 90% de los 10-12 millones de aves marinas que criaban en la Isla Natividad (Schreiber y Schreiber, 1989).

En una colonia de bobo de patas azules en las Islas Galápagos, antes y durante El Niño 1986-1987, se observó un fracaso en los intentos reproductivos, y las colonias de crianza se abandonaron después de que la temperatura superficial del mar se incrementó de manera anormal. El abandono aparente se asoció con la reducción en tallas de la sardinas regurgitadas, las cuales fueron significativamente más pequeñas en 1987 con respecto a 1986 (Anderson, 1989).

En el sur de California las gaviotas del oeste, *Larus occidentalis*, experimentaron reducciones en su tamaño de puesta y cambios de dieta durante la temporada reproductiva de 1983, coincidiendo con un evento El Niño (Schreiber y Schreiber, 1989, a partir del comentario personal de G. Hunt). De igual manera, El Niño de 1997-1998 causó el cese prematuro de la temporada de crianza de la colonia de bobo café (*S. leucogaster*) en la Isla San Jorge, en el Golfo de California (Mellink, 2000).

### Alimentación y Reproducción del Bobo de Patas Azules

El bobo de patas azules, *Sula nebouxii*, se distribuye desde el Mar de Cortés hasta el Ecuador y las Islas Galápagos (Nelson, 1978; Schreiber y Clapp, 1987; American Ornithologists' Union, 1998). En México se le encuentra en islas áridas, asociadas con la relativa proximidad del agua fría de la Corriente de California (Nelson, 1978).

El ciclo reproductivo del bobo de patas azules es el más corto entre los súlidos pudiendo criar en intervalos menores a un año en las Galápagos (Nelson, 1978). Pone 1-3 huevos (Ricklefs, 1984), con 5 días de intervalo entre ellos, seguido de 41 días de incubación (Nelson, 1978). En la Isla Isabel su puesta modal es de 2 huevos de tamaño similar, que eclosionan en promedio con 4 días de diferencia (Drummond *et al.* 1986; Osorno y Drummond, 1995). Estas nidadas de 2 huevos son más exitosas que las de uno (Castillo y Chávez-Peón, 1983).

El bobo de patas azules presenta reducción facultativa de la nidada (Nelson, 1978; Drummond, *et al.* 1986), aparentemente ajustando el número de crías a solo aquellas que se puedan criar hasta la independencia. A veces solo el primer pollo en eclosionar sobrevive al periodo de cuidado paterno, mientras el segundo muere de hambre o por expulsión del nido (Nelson, 1978; Ricklefs *et al.* 1984). La ingesta insuficiente del alimento durante el periodo de alimentación parental, provoca que el pollo mayor incremente su agresión y propicia la muerte del segundo (Drummond y García-Chavelas, 1989).

Esta ave se alimenta de peces, incluyendo sardinias, anchovetas, macarelas y peces voladores del género *Exocoetus* (Nelson, 1978; Carboneras, 1992). En la isla Isabel se han encontrado en su dieta peces de diez familias (Engraulidae, Clupeidae, Carangidae, Scombridae, Stromatidae, Sphyrnidae, Sciaenidae, Albulidae, Hemirhamphidae y Belontiidae), siendo sus principales presas las especies *C. mysticetus* y *O. libertate*, *O. medirastre* y *O. bulleri* (Calixto y Drummond en prep.).

## **Objetivo**

Evaluar la relación entre las variables reproductivas del bobo de patas azules y la temperatura superficial del mar, para los cinco primeros meses del año, y las capturas pesqueras del resto del año. Con ello, se pretende establecer si la reproducción del bobo de patas azules es un indicador que permite predecir la abundancia futura de pesca, y si es mejor que la temperatura del mar.

## **Hipótesis**

El bobo de patas azules regula su esfuerzo reproductivo (en respuesta a estímulos ambientales desconocidos) durante el periodo de puesta e incubación, ajustándolo a la abundancia de alimento que se presentará posteriormente durante el crecimiento y transición a la independencia de las crías.

## **Material y Métodos**

### **Descripción del Área de Estudio**

La Isla Isabel pertenece al Estado de Nayarit, encontrándose a 28 Km. del continente y a 72.5 Km. al NO del Puerto de San Blas (21°52'30" LN y 105°54' LO; fig. 2). Es una isla de origen volcánico (Gaviño-de la Torre, 1987; Rebón-Gallardo *et al.* s.a.) de clima cálido húmedo con lluvias en verano, de junio a septiembre (Gaviño-de la Torre, 1987).

La Isla Isabel es un sitio importante para la reproducción de algunas aves marinas, entre las que destaca el bobo de patas azules, por lo que desde 1981 es un parque nacional (Ibarra-Contreras, 2000; Rebón-Gallardo *et al.* s.a.). Los bobos de patas azules que anidan en la isla, pescan en las inmediaciones de esta, en un radio estimado de hasta 20 Km. (Meraz y Drummond, 2001), zambulléndose para ello varios metros en la columna de agua (Ashmole, 1971).

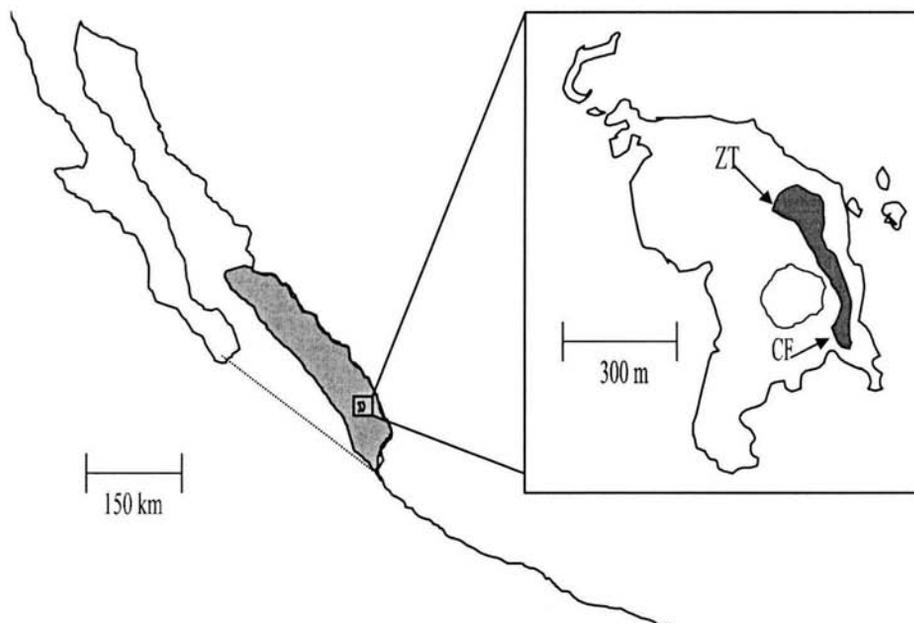


Figura 2. Ubicación de la Isla Isabel. La línea punteada corresponde a la boca del Golfo de California, mientras que la parte sombreada corresponde a la zona de administración pesquera No 5 del CRIP Mazatlán. En el recuadro aparece la Isla Isabel mostrando en la parte sombreada las dos zonas de estudio: ZT= Zona de Trabajo y CF= Costa Fragatas (modificado de Osorio-Beristain y Drummond, 1993).

Empleando sistemas de rastreo por radio en la Isla Española, en el Archipiélago de las Galápagos, se encontró que el bobo de patas azules se alimentaba en grupos a 27-32 Km de la colonia de anidación (Anderson y Ricklefs, 1987).

Las especies de peces pelágicos menores que pueden encontrarse en el mar adyacente a la Isla Isabel son las anchovetas y anchoas *Engraulis mordax*, *Anchoiella analis*, *Anchoa argentivittata*, *A. compressa*, *A. curta*, *A. delicatissima*, *A. exigua*, *A. ischana*, *A. lucida*, *A. mondeola*, *A. nasus*, *A. scofieldi*, *A. walkeri*, *Anchovia macrolepidota*, y *Cetengraulis mysticetus*;

así como las sardinias *Sardinops caeruleus*, *Harengula thrissina*, *Opisthonema bulleri*, *O. libertate*, *O. medirastre*, *Alosa sapidissima*, *Plioteostoma lutipinnis*, *Neopisthopterus tropicus* y *Opisthopterus douii* (Whitehead *et al.* 1988).

### Trabajo de Campo

Durante la mayor parte de cada temporada de crianza de la colonia del bobo de patas azules, en 13 años entre 1986 y 1999, se registraron los nidos en dos zonas permanentes de estudio: la Zona de Trabajo, en la orilla nor-oriental de la Isla Isabel, con un área de 20 800 m<sup>2</sup>, y Costa Fragatas, en la porción oriental, con un área de 6 089 m<sup>2</sup>. La revisión de nidos se realizó cada tres días al inicio de cada temporada (de febrero a marzo aproximadamente), y cada cinco días cuando la mayoría de las crías había alcanzado los 30 días de edad (de abril a julio aproximadamente). En cada revisión se registró la presencia de huevos y pollos, a los que se colocaron anillos temporales de plástico hasta el emplumado a los 70 días de edad, cuando se les sustituían por anillos metálicos permanentes. Las edades de las crías presentes en la primera revisión se estimaron con base en los tamaños del pico y la ulna y las curvas de crecimiento de las crías de la colonia (Drummond *et al.* 2003).

Para este estudio se consideraron todas las puestas y crías registradas durante las revisiones hasta el mes de mayo, más aquellas presentes al inicio de las revisiones y que fue posible estimar la fecha de puesta del primer huevo, a partir del mes de enero. Dado que hubo huevos que se perdieron antes del inicio de las revisiones, no se pudo estimar el tamaño de puesta en aquellas puestas presentes al momento de la primera revisión. De la misma manera, los nidos con huevos presentes en la primera revisión, y que no les fue posible estimar la fecha de puesta, no fueron incluidos en los análisis. Se incluyeron todas las temporadas de 1986-1999, salvo 1988 en que no se llevaron a cabo las revisiones.

## Registros Pesqueros

Los registros pesqueros se obtuvieron con el apoyo del Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) en Mazatlán, Sinaloa. En esta institución, dependiente del Instituto Nacional de la Pesca de la ex SEMARNAP, se revisaron los registros de las bitácoras de los barcos que operaron en la zona de administración No. 5, que comprende desde el norte de Nayarit hasta Cabo Corrientes en Jalisco (Ruiz y Lyle, 1992), donde se incluye la Isla Isabel (fig. 2). Con las capturas registradas, y el número de embarcaciones que operaron durante las capturas, se calculó la captura mensual por unidad de esfuerzo (CPUE), durante cada una de las 13 temporadas. Esta CPUE equivale al promedio de las capturas mensuales y anuales, en toneladas de sardinas, capturadas por embarcación y fue empleada como un indicador de la abundancia de peces.

Es importante resaltar que en los registros pesqueros se referían de manera general como sardinas boconas a las de la especie *C. mysticetus*, y como sardinas crinudas a las tres especies del género *Opisthonema*, no existiendo referencias sobre otras posibles especies capturadas. Además, en algunos años no se hizo referencia alguna sobre el tipo de sardina pescada. Por consiguiente, los datos de CPUE empleados en el presente trabajo representan el conjunto de sardinas boconas más crinudas. Estas especies son la principal presa de los bobos de patas azules en la Isla Isabel, representando las boconas el 21.8% de los peces regurgitados durante 5 temporadas reproductivas (1981-1985), seguidas por las crinudas, con el 8.2% de los peces regurgitados durante el mismo periodo (Calixto y Drummond en prep.).

Los datos pesqueros corresponden a las capturas que forman parte de las operaciones pesqueras comerciales de la flota sardinero-anchovetera de Mazatlán. Dado que no se trató de colectas sistemáticas con fines científicos, los registros están limitados ya que carecen de la ubicación exacta de cada lance, del registro de las condiciones meteorológicas al momento de las capturas, así como de los intervalos de duración de cada captura, entre otros datos. De igual

manera, no hubo registros pesqueros cuando los cardúmenes eran muy pequeños, simplemente porque no se realizaron actividades pesqueras. El que no hubiera capturas en algunos meses no significa que no hubiera peces, más bien indica que se encontraban en cantidades pequeñas. Por tal motivo, para los meses en que no hubo registro de capturas pesqueras, se asignó el valor histórico más bajo registrado de captura mensual (4.9 Ton/embarcación).

### **Registros de Temperatura del Mar**

Se obtuvieron los registros de temperatura superficial del mar promedio, para cada uno de los primeros cinco meses, de los 13 años analizados. Estas temperaturas fueron medidas en un punto a 9 Km al sureste de la Isla Isabel, mediante una combinación de registros directos desde embarcaciones, así como vía satélite y se encuentran en una base histórica de la Universidad de Columbia (<http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/.Indices/.ensomonitor.html/>).

Se incluyen en los análisis de 1986 a 1999 tres eventos El Niño: 1986-1987 y 1990-1994, que se consideraron eventos moderados; y 1997-1998, que se consideró un evento fuerte (Schreiber, 2002).

### **Análisis de Datos**

En dos años (1987 y 1990) no se tuvieron registros de la colonia de bobos en Costa Fraguatas, por lo que se estimaron los valores correspondientes de dicha zona, para cada variable reproductiva de los bobos. Para estimar estos valores faltantes se calculó el porcentaje aportado por Costa Fraguatas, con relación al aportado por la Zona de Trabajo, para cada uno de los 11 años en que sí se tuvieron registros en Costa Fraguatas. Posteriormente se obtuvo el promedio de esos porcentajes calculados y se estimó el valor de cada variable reproductiva de bobos con relación a los valores obtenidos en la Zona de Trabajo y el porcentaje calculado para Costa Fraguatas. De la misma manera se estimaron, para los años 1986 y 1987, los valores para cada variable de los bobos que aportaron los cuadrantes que fueron añadidos, a partir de 1989, en la Zona de Trabajo.

Se incluyeron diez variables en los análisis. La *captura por unidad de esfuerzo (CPUE)* es un indicador de la abundancia relativa de peces. Representa las capturas mensuales de sardinas y anchovetas (en toneladas) promedio por embarcación, considerando que cada embarcación realiza el mismo esfuerzo de captura con el mismo éxito por lance de pesca (Meraz y Drummond, 2001). Se consideró la CPUE de cada uno de los siete meses entre junio y diciembre para cada año. La *temperatura superficial del mar* es el valor promedio mensual de la temperatura en la superficie del mar en las cercanías de la isla Isabel, en grados centígrados. Se consideró el promedio de cada uno de los cinco meses entre enero y mayo de cada año.

El *número de puestas* es el número mensual de puestas entre enero y mayo de cada año, excluyendo aquellas cuya fecha de puesta no se pudo estimar. El *número de puestas grandes* es el número de puestas mensuales con dos o tres huevos, entre enero y mayo. La *proporción de puestas grandes* corresponde a la proporción mensual de puestas de dos y tres huevos con respecto al total, de los cinco meses entre enero y mayo.

El *número de eclosiones* es el número de huevos que eclosionaron cada mes durante las revisiones. El *éxito de eclosión* es el total de huevos eclosionados durante las revisiones, incluyendo aquellos que fueron puestas antes del inicio de las revisiones, entre el número de huevos puestos. El *número de emplumados* es el número de crías que emplumaron (se anillaron) durante los registros en toda la temporada. El *éxito de emplumado* es el total de crías emplumadas (anilladas) entre el total de crías eclosionadas durante toda la temporada, incluyendo las crías presentes en la primera revisión. La *proporción de huevos puestos que emplumaron* es el total de crías emplumadas (anilladas) entre el total de huevos puestos durante toda la temporada, incluyendo las crías y huevos presentes al inicio de las revisiones.

A fin de determinar si existían diferencias significativas intranuales e interanuales en los valores obtenidos, se realizó una prueba de ANOVA de dos vías (años y meses), para cada variable, excepto el éxito de eclosión, el éxito de emplumado y la proporción de huevos que emplumaron, debido a que se obtuvo un solo dato para cada año para estas tres variables. Se aplicó una ANOVA balanceada que considera la variación entre años con los meses como factor de bloqueo, así como entre meses con los años como factor de bloqueo. Al considerar estos bloqueos, el modelo no presenta el efecto de las interacciones. Antes de aplicar las pruebas de ANOVA, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks (Fry, 1999; Sokal y Rohlf, 1995; Zar, 1999). Cuando no se cumplió el supuesto de normalidad se realizaron las transformaciones necesarias (Fry, 1999). Las transformaciones empleadas consistieron en elevar al exponente 0.5 el número de puestas y el número de puestas grandes, elevar al exponente 0.3 el número de eclosiones así como obtener el arcoseno de la proporción de puestas grandes. Al no cumplirse el supuesto de normalidad, aun transformando los datos, se aplicó la prueba no-paramétrica de Friedman (Sokal y Rohlf, 1999; Zar, 1999). Para todos los casos se aplicó la transformación arcoseno de la proporción de puestas grandes, debido a que las proporciones y los porcentajes tienden a tener una distribución binomial (Zar, 1999).

Debido a que las variables reproductivas de los bobos (independientes) pueden estar correlacionadas, y con la finalidad de seleccionar los subgrupos de ellas que mejor sirvan como predictoras de la variable dependiente (Lawley y Maxwell, 1973), se realizó un análisis de factores para buscar aquellos que agrupan a estas: número de puestas, número de puestas grandes, proporción de puestas grandes, número de eclosiones, éxito de eclosión, número de emplumados, éxito de emplumado y proporción de huevos que emplumaron, mediante el método de máxima probabilidad. Se determinó el número de factores a obtener con base en los valores de la raíz latente (autovalores), considerando aquellos que presentaban valores mayores a 1, lo que

significa que explican al menos una variable (Hair *et al.* 1999). Se calcularon las cargas factoriales de las variables agrupadas para determinar su contribución a cada factor obtenido. De igual manera se obtuvieron las comunalidades, que representan la proporción de la varianza con la que contribuye cada variable a la solución final, considerando como niveles aceptables los valores mayores a 0.5 (Hair *et al.* 1999). Se aplicaron las diferentes rotaciones, considerándose aquella que presentara los mayores valores en las cargas factoriales.

A los factores obtenidos se les calcularon los scores para cada año, y se consideraron como variables independientes. Estas variables reproductivas, junto con la temperatura superficial del mar, fueron relacionadas con la CPUE en un análisis de regresión lineal múltiple por pasos (Neter *et al.* 1996), con la finalidad de emplearlas como un predictor de la abundancia futura de pesca. Posteriormente se realizaron dos regresiones múltiples por pasos entre la CPUE y los factores obtenidos y la temperatura; una regresión considerando únicamente los años en que se presentó El Niño durante la temporada reproductiva de los bobos, y otra regresión durante los años en que no se presentó dicho fenómeno. Esto último con la finalidad de determinar si había diferencias, en la relación entre las variables reproductivas de los bobos y la temperatura del mar con las capturas pesqueras, entre años con El Niño y años sin este evento. De esta manera, se pretendió identificar si la reproducción de los bobos era un indicador de la abundancia futura de pesca en años normales o en años El Niño.

## **Resultados**

### **Variación Interanual**

Todas las variables dependientes e independientes mostraron diferencias significativas entre años en las frecuencias o proporciones mensuales, salvo la proporción de puestas grandes (Tabla I). Por otra parte, hubo diferencias significativas entre meses para todas las variables, con excepción de la CPUE y la proporción de puestas grandes. El año 1992 presentó valores mínimos

(diferiendo estadísticamente de los demás con base en la prueba post-hoc de Tukey) con respecto al resto de los años, en la CPUE, número de puestas nuevas, número de puestas nuevas grandes y número de eclosiones (ver adelante). Este mismo año presentó los valores más altos en la temperatura superficial del mar siendo diferente estadísticamente con base en la prueba de Tukey.

*Captura por unidad de esfuerzo (CPUE).* La variación entre los 13 años en el éxito pesquero durante el periodo junio-diciembre fue sustancial y significativa (fig. 3). Se observan las mayores capturas promedio (superiores a las 90 Ton./embarcación) en los años 1989, 1993 y 1997. Aparte del año 1992, en 1987 se registraron capturas muy inferiores al resto de los años, representando una décima parte del valor máximo, alcanzado durante 1993. Cuando El Niño se presentó en 1987, 1991 y 1998, en cada uno de estos años la CPUE cayó sustancialmente con respecto al año anterior. De los cuatro años con las mayores capturas pesqueras (1989, 1993, 1995 y 1997), solo 1993 coincidió con un evento El Niño. De hecho, este último año registró los valores más altos de CPUE para el periodo de estudio (fig. 3).

*Temperatura superficial del mar.* En los años 1992 y 1998 se dieron elevadas temperaturas entre enero y mayo coincidiendo con El Niño durante la temporada reproductiva de bobos en la Isla Isabel (fig.4). Sin embargo, cuando se dieron altos valores en la temperatura superficial del mar en 1990 El Niño no coincidió con la época reproductiva de los bobos. Las temperaturas más bajas se presentaron en los años 1989 y 1999 (menores a 23.6°C), en años sin eventos El Niño. En 1987 y 1997, a pesar de ser años de El Niño las temperaturas fueron bajas. Las temperaturas más elevadas ocurrieron durante El Niño moderado (1992), superando en 0.2°C la temperatura promedio de El Niño fuerte de 1998.

Tabla I. Variación interanual durante 1986-1999 para seis variables. Cuando los años son el factor principal se considera a los meses (junio- diciembre para la CPUE y enero-mayo para las demás variables) como el factor de bloqueo. De manera inversa, cuando los meses son el factor principal se considera a los años como el factor de bloqueo. Se empleó la ANOVA balanceada que, al considerar el efecto del factor de bloqueo, no presenta el efecto de las interacciones. Las variables éxito de eclosión, éxito de emplumado y proporción de huevos que emplumaron, no se consideraron debido a que se tenía un solo valor para cada año.

Variable	Prueba	Años		Meses	
		g.l.	p	g.l.	p
Número de puestas	ANOVA	12,4	*0.014	4,12	*0.026
Número de puestas grandes	ANOVA	12,4	*0.026	4,12	*0.034
Proporción de puestas grandes	Friedman	12,4	0.753	4,12	0.146
Número de eclosiones	ANOVA	12,4	*0.042	4,12	*0.005
Temperatura superficial del mar	ANOVA	12,4	*0.001	4,12	*0.000
CPUE	Friedman	12,6	*0.000	6,12	0.115

\*Valores significativos

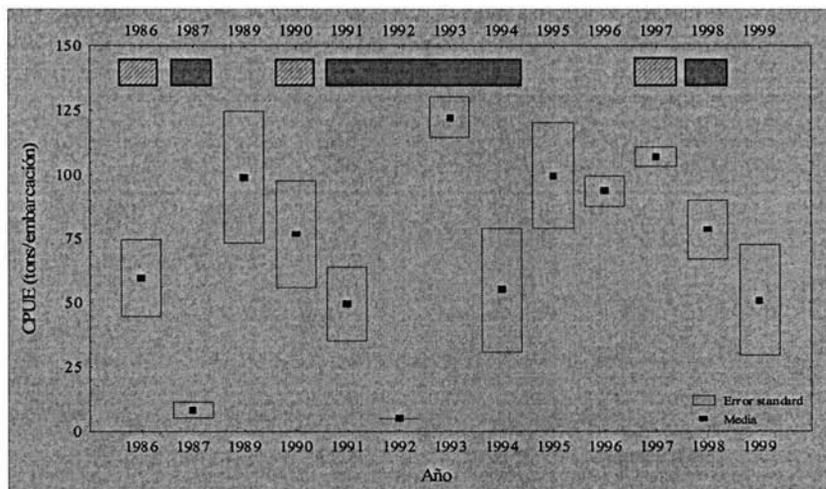


Figura 3. Variación interanual en la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), entre junio y diciembre, de sardinas y anchovetas, en la región aledaña a la Isla Isabel.

■ Años con El Niño, a partir de Schreiber (2002), durante la época reproductiva de los bobos (enero-julio).

▨ Años con El Niño fuera de la época reproductiva de los bobos (agosto-diciembre).

*Número de puestas.* Los promedios más altos en las frecuencias mensuales de puestas (entre enero y mayo) se alcanzaron en los años 1991, 1994, 1996 y 1997 (mayores a las 280 puestas mensuales; fig. 5a), mientras que los valores más bajos se presentaron en los años 1989, 1990 y 1992 (con registros menores de 200 puestas mensuales; fig. 5a). No hay una clara relación entre El Niño y las frecuencias de puestas y en los cuatro años que tuvieron el mayor número de puestas, dos coincidieron con El Niño (1991 y 1994).

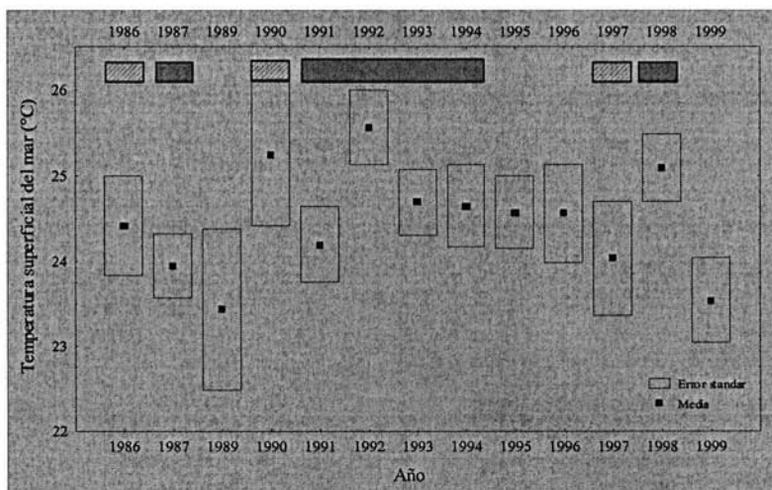


Figura 4. Variación interanual de enero a mayo en la temperatura superficial del mar, en un punto cercano a la Isla Isabel.

■ Años con El Niño, a partir de Schreiber (2002), durante la época reproductiva de los bobos (enero-julio).

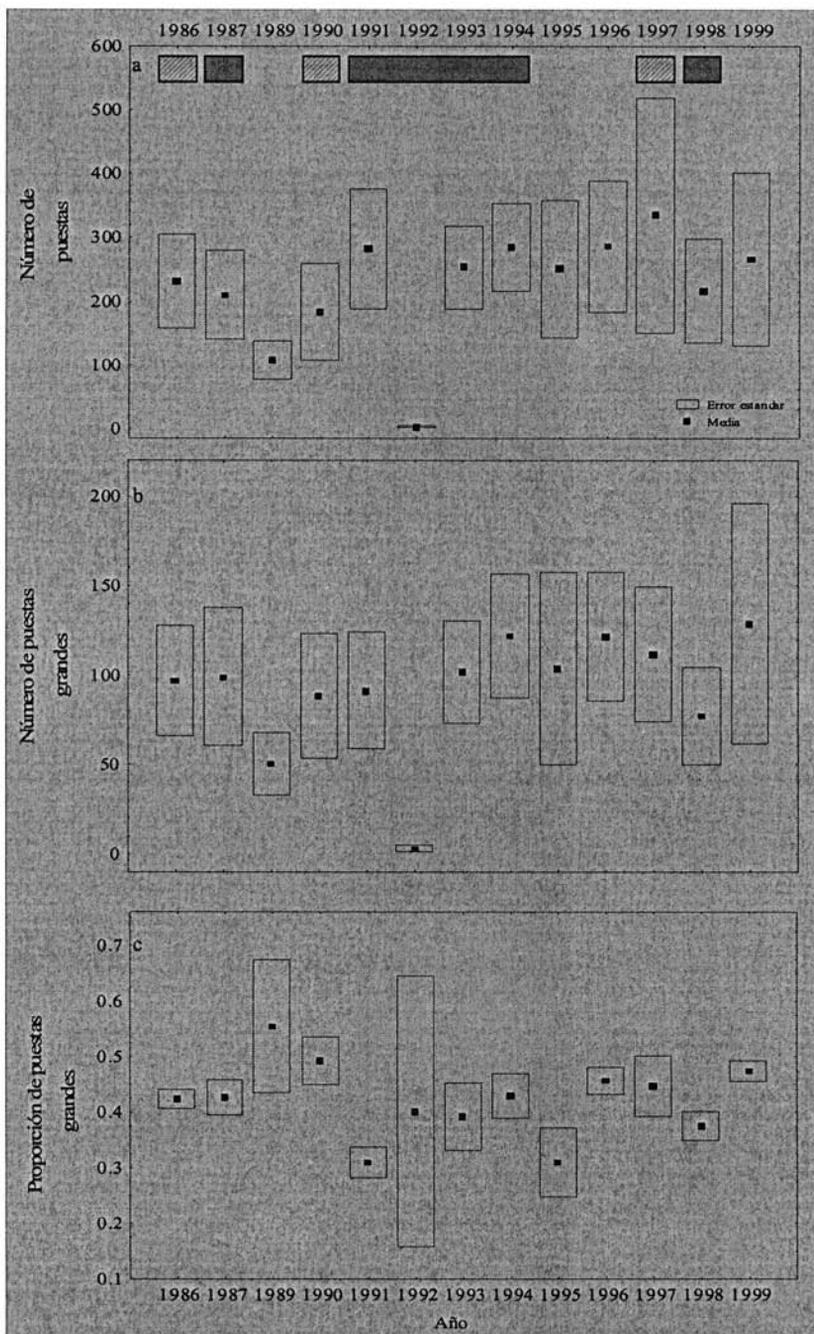
▨ Años con El Niño fuera de la época reproductiva de los bobos (agosto-diciembre).

*Número de puestas grandes.* Las frecuencias promedio mensuales de las puestas grandes variaron poco a lo largo de todo el periodo de estudio. Esta variación fue similar a la observada en las frecuencias mensuales de puestas. En los años 1989, 1992 y 1998 se observaron descensos en el número de puestas (fig. 5b). Esta variable no mostró ninguna relación con el fenómeno de El Niño.

*Proporción de puestas grandes.* Los valores observados para esta variable entre los meses de enero y mayo muestran a los años 1989 y 1990 con las proporciones más altas (con una media  $>0.49$ ), considerando la proporción promedio de todos los años (0.42). Por su parte, los años 1991 y 1995 tuvieron las proporciones más bajas (con una media  $<0.31$ ; fig. 5c). A pesar de las diferencias, la variación anual en esta variable no es significativa y su relación con El Niño no es clara.

*Frecuencia promedio de eclosiones.* Entre 1993 y 1999, con excepción de 1995 y 1998, hubo muchas eclosiones (fig. 6); mientras que los años 1989 y 1992 presentaron las frecuencias más bajas. Sin embargo, estas variaciones no presentan ninguna relación evidente con El Niño.

*Variación y El Niño.* Contrario a lo que se esperaba, los eventos El Niño no coincidieron con las elevadas temperaturas del mar en las cercanías de la Isla Isabel, ni tampoco con valores bajos de CPUE. De hecho, el valor más elevado de CPUE (en 1993) coincidió con la presencia de El Niño. Para el primer año de cada uno de los tres eventos El Niño durante la época reproductiva de los bobos (1987, 1991 y 1998), se observa una caída en la CPUE con respecto al año anterior, pero se trata de una caída importante solo para 1987 (llegando a ser el año con las capturas más bajas, solo mayores a las registradas en 1992). El año con las temperaturas promedio más bajas en la superficie del mar (además de 1992) fue 1989, siendo un año entre dos eventos El Niño.



Página anterior

Figura 5. Variación interanual en las frecuencias promedio mensuales, entre enero y mayo, de las son grandes.

■ Años con El Niño, a partir de Schreiber (2002), durante la época reproductiva de los bobos (enero-julio).

▨ Años con El Niño fuera de la época reproductiva de los bobos (agosto-diciembre).

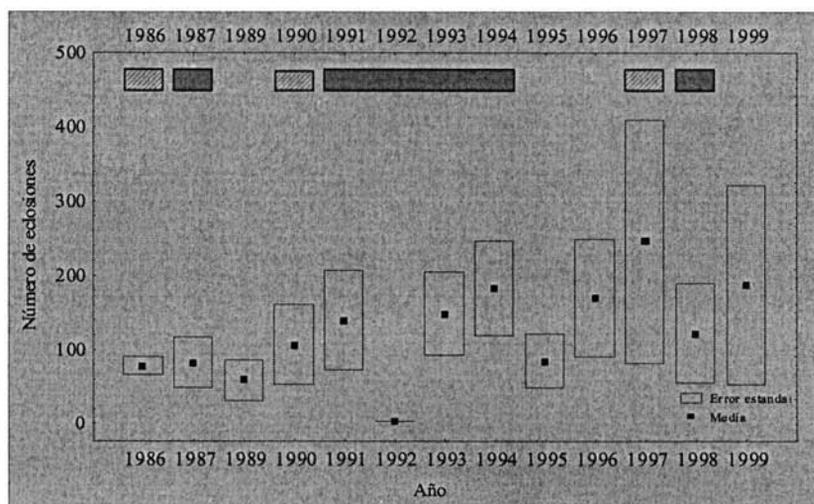


Figura 6. Variación interanual en las frecuencias promedio mensuales de las eclosiones durante los registros.

■ Años con El Niño, a partir de Schreiber (2002), durante la época reproductiva de los bobos (enero-julio).

▨ Años con El Niño fuera de la época reproductiva de los bobos (agosto-diciembre).

Al igual que con las capturas y la temperatura del mar, no se observó una relación clara entre los eventos El Niño durante la reproducción de los bobos con la frecuencia o tamaño de puestas ni con la frecuencia de eclosiones. El Niño de 1998, considerado fuerte, significó descensos en los valores de todas las variables reproductivas de los bobos con respecto al año anterior, lo que no ocurrió con los otros El Niño considerados moderados. Coincidentemente con la temperatura superficial del mar, en 1989 se presentaron los valores más bajos (exceptuando 1992) para todas las variables reproductivas de bobos, salvo la proporción de puestas grandes que, contrariamente, registró los valores más altos para todo el periodo analizado.

Tanto las capturas pesqueras, como el número de puestas, mostraron valores altos entre 1995 y 1997, entre dos eventos El Niño, pero en los años 1989 y 1990, también entre dos eventos El Niño, no se vio tal patrón.

Lo anterior muestra que la relación con El Niño está ausente, o no es clara, para las variables reproductivas de los bobos y la CPUE. Sin embargo, existe la posibilidad de detectar asociaciones entre la CPUE y la reproducción de los bobos o la temperatura del mar.

### **Relaciones entre CPUE y las Variables Independientes**

#### *Estimación de los valores de los factores reproductivos.*

Se consideraron para los análisis los dos factores que obtuvieron valores de raíz latente superiores a uno (fig. 7). Con base en las cargas factoriales obtenidas por medio de una rotación varimax se agruparon las variables independientes en dos factores. El factor 1 agrupó a las variables: número de puestas, número de puestas grandes, proporción de puestas grandes, número de eclosiones, número de emplumados, éxito de emplumados y proporción de huevos que emplumaron, mientras el factor 2 incluyó a la variable éxito de eclosión (Tabla II). Las cargas factoriales de las variables independientes explican el 70.7% de la varianza total en el primer factor reproductivo, y el 21.7% de la varianza total en el segundo factor (Tabla II).

Tabla II. Cargas factoriales de las variables independientes, agrupadas en dos factores reproductivos, obtenidas por medio del método de máxima probabilidad.

<b>Variable</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Comunalidad</b>
Número de puestas	*0.99	-0.015	0.98
Número de puestas grandes	*0.93	0.033	0.865
Proporción de puestas grandes	*-0.88	-0.268	0.847
Número de eclosiones	*0.869	-0.495	1
Exito de eclosión	-0.161	*-0.987	1
Número de emplumados	*0.797	-0.552	0.94
Exito de emplumados	*0.924	-0.059	0.858
Proporción de huevos que emplumaron	*0.802	-0.51	0.904
<b>Varianza</b>	<b>5.5349</b>	<b>1.86</b>	<b>7.3948</b>
<b>Porcentaje explicado de la varianza</b>	<b>0.692</b>	<b>0.232</b>	<b>0.924</b>

\*Valores significativos

Los valores negativos significan que el efecto de esa variable dentro del factor es en sentido inverso. Para el factor 1 la proporción de puestas nuevas grandes tiene una relación significativa negativa con el resto de las variables. Por su parte, el éxito de eclosión es la única variable significativa para el factor 2 y su efecto es negativo.

Cada variable tiene una carga factorial, o un valor que la relaciona con las demás variables, para cada uno de los factores obtenidos. Cada factor se conformó con las variables que mostraban las cargas significativas para dicho factor. En este caso resultó muy obvio determinar las variables que conformaban cada uno de los dos factores, debido a que mostraban cargas notablemente superiores en un factor en particular ( $>0.8$ , Tabla II). La comunalidad representa la proporción de varianza con la que contribuye cada variable a la solución final (Hair *et al.* 1999) y, como puede observarse, excede el 80% en todos los casos (de hecho, para las variables número de eclosiones y éxito de eclosión se obtuvieron proporciones del 100%). Para cada variable en que la comunalidad no alcanzó el valor de 1.00, una proporción de su varianza estaría siendo

explicada por otros factores no considerados. De hecho, el encontrar valores altos de comunalidad implica que no hay necesidad de agregar más factores (lo que apoya el criterio de la raíz latente, fig. 7). Un punto a resaltar es que cada una de las variables incluidas presentó cargas significativas sobre algún factor, por lo que no hubo necesidad de eliminar ninguna variable.

*Relación entre la CPUE de junio a diciembre y las variables independientes.*

Los scores obtenidos a partir de los valores de todas las variables reproductivas de los bobos, y sus cargas factoriales, generaron los valores anuales de dos nuevas variables independientes o factores reproductivos (Tabla III). Por medio de un análisis de regresión múltiple por pasos, considerando como variables independientes a los dos factores obtenidos así como a la temperatura superficial del mar, se encontró una relación significativa entre el factor reproductivo 1 y la CPUE de junio a diciembre ( $r=0.573$ ,  $r^2=0.328$ ,  $p=0.040$ ; fig. 8). Esto

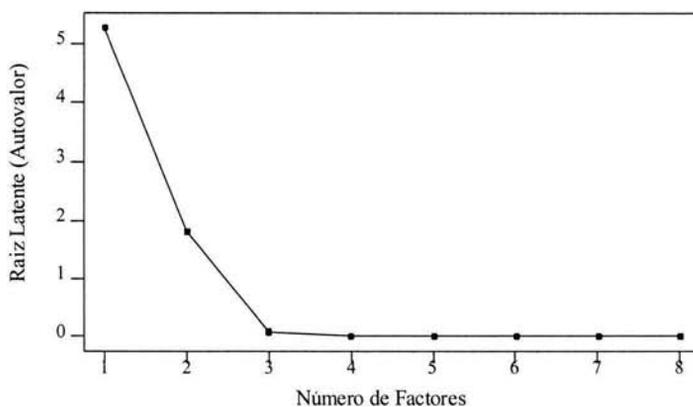


Figura 7. Valores de raíz latente para los diferentes números de factores. El número de factores a considerar en los análisis corresponderá a aquellos que tengan valores de raíz latente superiores a uno.

Tabla III. Valores anuales (scores) de los factores reproductivos.

Año	Factor 1	Factor 2
1986	-0.378	-1.850
1987	-0.323	-1.065
1989	-1.014	-0.071
1990	-0.235	-0.041
1991	0.453	-0.349
1992	-2.628	1.321
1993	-0.029	0.085
1994	0.914	0.684
1995	0.398	-1.383
1996	0.970	0.222
1997	1.364	1.345
1998	0.070	-0.025
1999	0.437	1.126

Los scores representan la suma de los valores de las variables independientes, y el efecto de su carga factorial, incluidas en cada factor. Los valores negativos corresponden a cargas factoriales con un efecto negativo dentro de su factor.

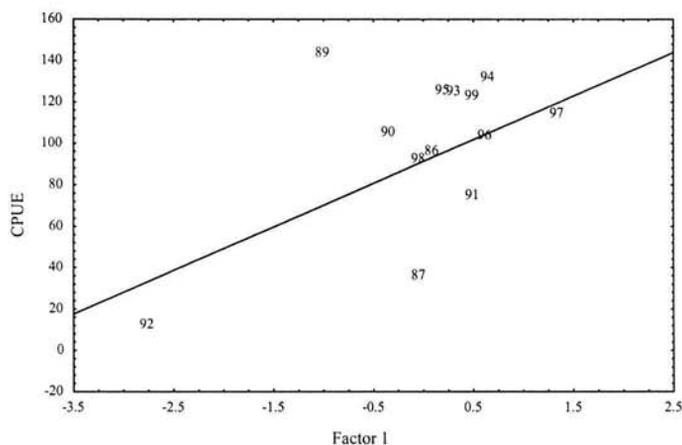


Figura 8. Relación significativa entre el Factor 1 y la CPUE ( $r=0.573$ ,  $r^2=0.328$ ,  $p=0.040$ ). La ecuación de predicción es:  $CPUE=91.38+21.466$  (score del factor reproductivo 1).

significa que a valores altos del factor 1 le corresponden valores de CPUE también altos y vice-versa, con cerca del 33% de la variación de CPUE explicado por la variación del factor 1. La variable factor 2 no tuvo un efecto significativo con la CPUE ( $r=0.000$ ,  $r^2=0.000$ ,  $p=0.998$ ), así como tampoco la temperatura del mar ( $r=0.397$ ,  $r^2=0.158$ ,  $p=0.178$ ).

A pesar de que el factor 1 tuvo una relación significativa con la futura CPUE, es importante tomar en cuenta dos consideraciones. Por un lado el coeficiente de determinación es del 33%, lo cual significa un porcentaje no muy alto de certeza sobre la abundancia de capturas pesqueras para los siguientes siete meses, a partir de los datos obtenidos en la colonia de bobos. Por otro lado, generar una variable compleja (factor 1) requiere la obtención de ocho variables reproductivas de los bobos, lo cual resulta poco práctico considerando el porcentaje de certeza obtenido. Por ello se realizaron regresiones lineales simples por un lado entre las tres variables reproductivas de bobos que se miden de manera más rápida (y combinaciones de ellas) y, por el otro, el CPUE (Tabla IV).

Tabla IV. Regresiones lineales simples entre las variables independientes número de puestas, número de puestas grandes y proporción de puestas grandes (y sus combinaciones) y la variable dependiente CPUE.

<b>Variables</b>	<b>r</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>p</b>	<b>g.l.</b>
Número de puestas	0.494	0.244	0.085	1,11
Número de puestas + número de puestas grandes	0.541	0.293	0.176	2,10
Número de puestas + número de puestas grandes + proporción de puestas grandes	0.679	0.462	0.118	3,9
Número de puestas grandes	0.541	0.292	0.056	1,11
Número de puestas grandes + proporción de puestas grandes	0.648	0.420	0.065	2,10
Número de puestas + proporción de puestas grandes	0.646	0.418	0.066	2,10
Proporción de puestas grandes	0.643	0.414	*0.017	1,11

\*Regresión significativa

Debido a que la proporción de puestas grandes fue la variable reproductiva de los bobos que mostró tener una relación significativa con las capturas pesqueras, se empleó para un nuevo análisis de regresión. En este caso, se consideró la proporción de puestas grandes registradas en cada uno de los siguientes seis días: 15 y 30 de marzo, 15 y 30 de abril y 15 y 30 de mayo de cada año (Tabla V). A fin de determinar el efecto conjunto de las variables que mostraron tener una relación significativa con la CPUE, se realizó un análisis de regresión múltiple, empleándose el modelo por pasos. Las variables que se incluyeron en el modelo fueron la proporción de puestas grandes del 30 de abril y la proporción de puestas grandes del 15 de mayo ( $r=-0.780$ ,  $r^2=0.609$ ,  $p=0.009$ ).

Estos resultados sugieren que la reproducción del bobo de patas azules puede permitirnos predecir la abundancia de peces más tarde en el año. Pero tal vez la abundancia de peces en la primavera sirva como predictor alternativo de la abundancia de peces de junio a diciembre. Ante esta posibilidad se realizó un análisis de regresión entre la CPUE de los meses de abril y mayo (variables independientes), y la CPUE durante el periodo entre junio y diciembre (Tabla VII). No se encontró una relación entre la variable dependiente y la captura del mes de abril ( $r=0.356$ ,  $r^2=0.127$ ,  $p=0.231$ ), pero sí hubo una relación, explicando el 36% de la variación, en la pesca entre junio y diciembre y la CPUE del mes de mayo ( $r=0.601$ ,  $r^2=0.361$ ,  $p=0.029$ ; fig. 9). Esto significa que las abundancias en las poblaciones de peces en mayo tienen una relación con aquellas para el periodo entre junio y diciembre, y es precisamente entre abril y mayo cuando inicia el periodo reproductivo de las sardinas crinudas (Cisneros-Mata, 1988).

Tabla V. Relaciones obtenidas mediante seis análisis de regresión entre la variable independiente proporción de puestas grandes, para cada uno de los seis días especificados, y la variable dependiente CPUE. Los resultados se presentan para la totalidad de los años estudiados, así como sólo para los años El Niño como los años en que no se presentó este fenómeno.

<b>Todos los años</b>				
<b>Variables</b>	<b>r</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>p</b>	<b>g.l.</b>
15 de marzo	0.564	0.318	*0.044	1,11
30 de marzo	0.606	0.367	*0.028	1,11
15 de abril	0.734	0.540	*0.004	1,11
30 de abril	0.755	0.570	*0.002	1,11
15 de mayo	0.554	0.307	*0.048	1,11
30 de mayo	0.514	0.265	0.071	1,11

<b>Años El Niño</b>				
<b>Variables</b>	<b>r</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>p</b>	<b>g.l.</b>
15 de marzo	0.566	0.321	0.241	1,4
30 de marzo	0.604	0.365	0.203	1,4
15 de abril	0.820	0.672	*0.045	1,4
30 de abril	0.856	0.733	*0.029	1,4
15 de mayo	0.834	0.697	*0.038	1,4
30 de mayo	0.721	0.520	0.105	1,4

<b>Años sin El Niño</b>				
<b>Variables</b>	<b>r</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>p</b>	<b>g.l.</b>
15 de marzo	0.996	0.246	0.257	1,5
30 de marzo	0.153	0.023	0.741	1,5
15 de abril	0.279	0.078	0.543	1,5
30 de abril	0.199	0.039	0.668	1,5
15 de mayo	0.381	0.145	0.398	1,5
30 de mayo	0.340	0.115	0.455	1,5

\*Regresión significativa

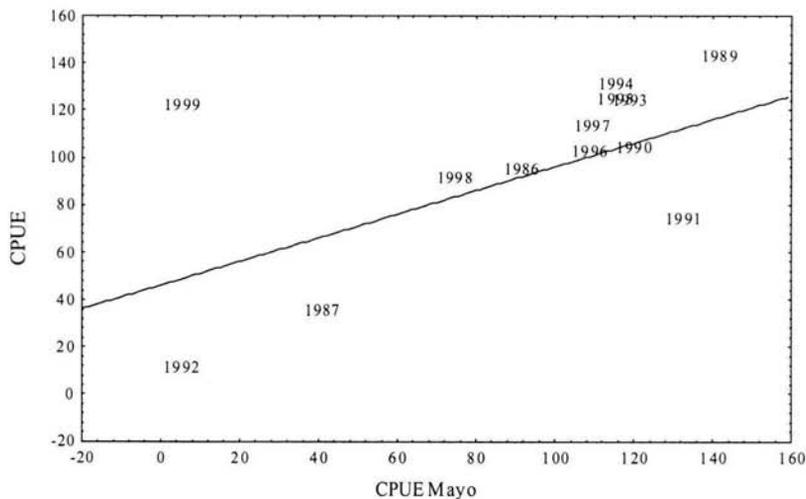


Figura 9. Relación entre la variable dependiente CPUE, para el periodo junio-diciembre, y la variable independiente CPUE del mes de mayo ( $r=0.601$ ,  $r^2=0.361$ ,  $p=0.029$ ).

*Relación entre la CPUE de junio a diciembre y las variables independientes durante los años con y sin El Niño.*

Para los años en que no se presentó el fenómeno de El Niño durante la temporada reproductiva de bobos (1986, 1989, 1990, 1995, 1996, 1997 y 1999), no se encontró una relación significativa entre la CPUE y las variables independientes: Factor 1, Factor 2 y temperatura superficial del mar ( $r=0.727$ ,  $r^2=0.528$ ,  $p=0.463$ ). Sin embargo, para aquellos años en que sí se presentó El Niño (1987, 1991, 1992, 1993, 1994, 1998), hubo una relación marginalmente no significativa entre la CPUE y el factor 1 que explicó el 63% de la varianza ( $r=0.794$ ,  $r^2=0.631$ ,  $p=0.059$ ; fig.10). Esto significa que podría haber una relación importante solo en los años en que se presentó El Niño. En el caso de regresiones entre las tres variables reproductivas de los bobos que se miden de manera más rápida (número de puestas, número de puestas grandes y proporción

de puestas grandes) y las capturas pesqueras para años en que se presentó el fenómeno de El Niño, y aquellos en que no se presentó dicho fenómeno, no se encontraron relaciones significativas en años El Niño o años sin El Niño (Tabla VI).

La proporción de puestas grandes durante los días 15 y 30 de los meses de marzo, abril y mayo, no tuvo relación significativa con la CPUE para los años en que no se presentó el fenómeno de El Niño. Por el contrario, para los años El Niño, el análisis de regresión mostró que la CPUE tuvo relación significativa con la proporción de puestas grandes del día 15 de abril, con una proporción de la varianza explicada del 67% ( $r=0.820$ ,  $r^2=0.672$ ,  $p=0.045$ ; Tabla V; figura 11a), con el 30 de abril con una proporción de la varianza explicada del 73% ( $r=0.856$ ,  $r^2=0.733$ ,  $p=0.029$ ; Tabla V; fig. 11b) y con el 15 de mayo explicando un 69% de la varianza ( $r=0.834$ ,  $r^2=0.697$ ,  $p=0.038$ ; Tabla V; figura 11c).

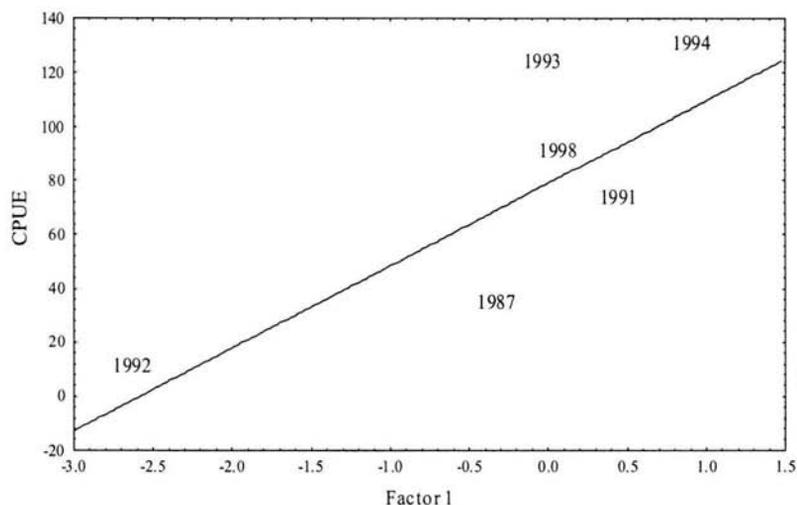


Figura 10. Relación significativa entre la variable dependiente (CPUE) y el factor reproductivo 1 para aquellos años en que sí se presentó El Niño durante la temporada reproductiva de bobos ( $r=0.794$ ,  $r^2=0.631$ ,  $p=0.059$ ). La ecuación de predicción es:  $CPUE=77.163+30.639(\text{store del factor reproductivo 1})$ .

Tabla VI. Regresión entre las variables independientes número de puestas, número de puestas grandes y proporción de puestas grandes y la variable dependiente CPUE, para años El Niño y años sin El Niño.

Variables	r	r <sup>2</sup>	p	g.l.
<b>Años El Niño</b>				
Número de puestas	0.466	0.217	0.291	1,5
Número de puestas grandes	0.487	0.237	0.267	1,5
Proporción de puestas grandes	0.230	0.053	0.618	1,5
<b>Años sin El Niño</b>				
Número de puestas	0.775	0.601	0.067	1,4
Número de puestas grandes	0.722	0.565	0.084	1,4
Proporción de puestas grandes	0.690	0.476	0.129	1,4

## Discusión

La variación de la temperatura superficial del mar de enero a mayo y la abundancia de peces de junio a diciembre no presentaron una relación significativa entre sí. Esto implica que las capturas pesqueras entre julio y diciembre no son sensibles a los cambios de temperatura entre enero y mayo, a pesar de que dichos cambios fueron grandes a lo largo de los 13 años de estudio. Debido a que los registros pesqueros no ofrecieron detalles sobre la composición de especies, no pudo determinarse la variación en la abundancia de peces de algún *taxon* en particular. Por consiguiente, no se descarta la posibilidad de que hubieran proporciones diferentes de especies de pelágicos menores a lo largo del periodo de estudio. Esta idea puede apoyarse en la variación interanual en la composición de la dieta de los bobos registrada por Calixto y Drummond (en prep.).

La proporción de puestas grandes entre enero y mayo resultó ser una variable que presentó una relación con la CPUE entre junio y diciembre mayor que el factor 1, explicando un 41% de la varianza, al tiempo que es de más fácil medición. Para obtener esta variable solo se requiere dividir el número de puestas grandes (de dos o tres huevos), puestas entre los meses de

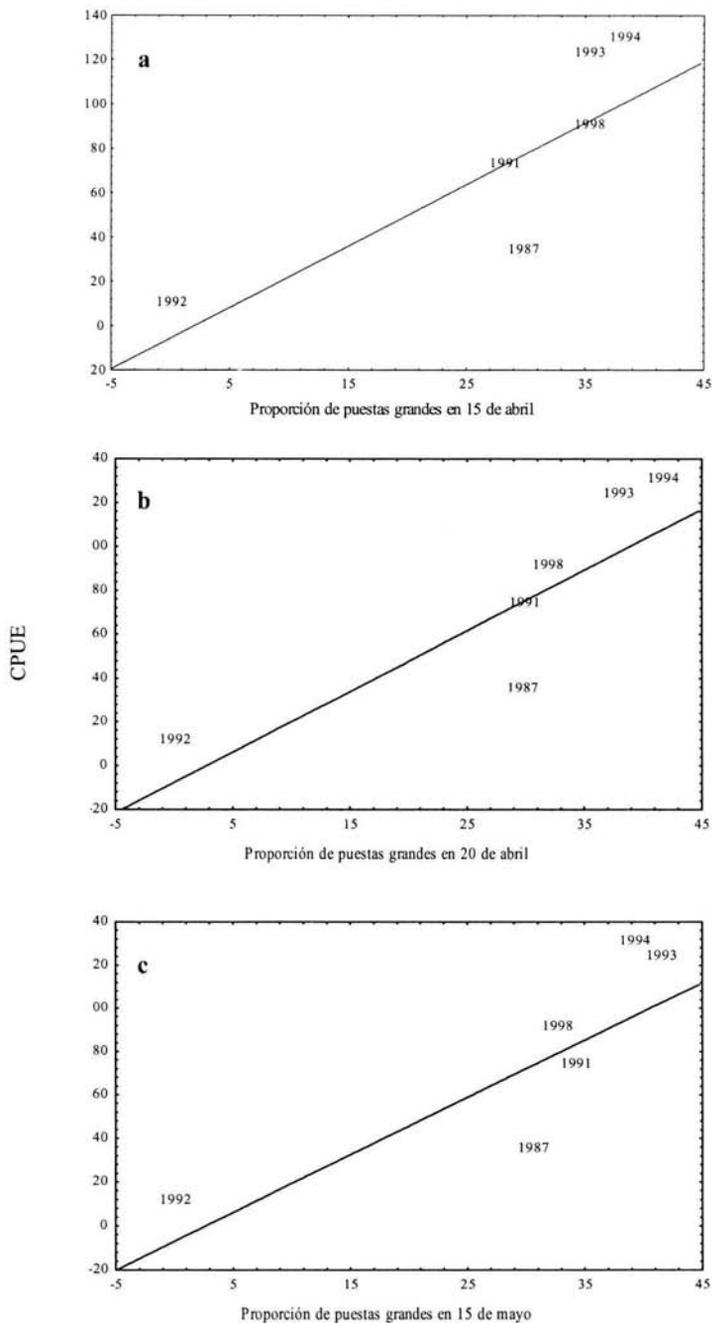


Figura 11. Relación entre la CPUE y la proporción de puestas grandes para los días 15 de abril ( $r=0.820$ ,  $r^2=0.672$ ,  $p=0.045$ ), 30 de abril ( $r=0.856$ ,  $r^2=0.733$ ,  $p=0.029$ ), y 15 de mayo ( $r=0.834$ ,  $r^2=0.697$ ,  $p=0.038$ ).

enero y mayo, entre el total de puestas registradas (de uno, dos y tres huevos) para el mismo periodo. La proporción de puestas grandes es una variable que refleja con mucha claridad el esfuerzo reproductivo, y cómo este se incrementa bajo condiciones favorables.

Con la finalidad de encontrar una variable de fácil y rápida medición, y habiendo detectado que la proporción de puestas grandes tenía una elevada relación con las capturas pesqueras, se estimó la proporción de puestas grandes para seis días específicos, resultando estar más relacionadas con las capturas la proporción de puestas grandes de los días 30 de abril y 15 de mayo. Así esta variable podría ser un indicador práctico para predecir la abundancia de peces en los siguientes siete meses. Aunque la CPUE del mes de mayo tuvo una relación significativa con la CPUE para el periodo entre junio y diciembre, explicando el 36% de la varianza, convirtiendo así las capturas del mes de mayo como un indicador de la abundancia futura de pesca, la relación fue mayor (con coeficientes de determinación superiores al 50%) entre la proporción de puestas grandes para los días 15 y 30 de abril y las capturas pesqueras a futuro. Esto coincide con el hecho de que es en abril cuando las sardinas crinudas inician su reproducción (Instituto Nacional de la Pesca, 2000), con desoves desde el sur de Sonora hasta el sur de Sinaloa (Cisneros-Mata, 1988). Por su parte, aunque las sardinas boconas se reproducen todo el año presentan un máximo de intensidad a fines de invierno e inicio de la primavera (Ruíz-Durá, 1993); es decir entre marzo y abril.

Existen dos subpoblaciones identificadas de sardinas crinudas; una norteña en Sonora y Sinaloa, y otra sureña en Jalisco (Cisneros-Mata, 1988). El grupo norteño migra al sur, llegando hasta Nayarit, entre octubre y abril (estando disponible para las aves en la Isla Isabel), y el sureño lo hace al sur de Jalisco. Dentro de ese periodo los bobos forman sus parejas (entre diciembre y febrero), ponen sus huevos (entre enero y marzo) y se da la eclosión de estos.

La migración de las sardinas hacia el norte se da entre mayo y septiembre (fig. 1); alejándose la subpoblación norteña de la Isla Isabel, pero acercándose la sureña. Durante este periodo, la mayoría de las crías de los bobos llegan al emplumado y deben pescar su propio alimento.

Lo anterior hace suponer que las posibles explicaciones sobre qué es lo que informa a los bobos sobre la abundancia futura de pesca, sean la intensidad de la reproducción en las sardinas (tanto crinudas como boconas) entre octubre y abril, o la abundancia de reclutas de estos peces. Esto implicaría que las aves comenzaran a formar sus parejas al momento en que los peces, crinudas principalmente, migran hacia el sur. Dependiendo de la abundancia de reclutas de peces, o de su intensidad reproductiva, los bobos ajustarán su propio esfuerzo reproductivo. Finalmente, las crías de los bobos emplumarían y buscarían su alimento durante el periodo en que las crinudas migran hacia el norte. Esto implicaría que los bobos habrían de predecir la abundancia futura de pesca a partir de los reclutas de sardinas de la población norteña y, muy posiblemente, los pollos emplumados se alimenten de las sardinas de la población sureña (fig. 12).

Adicionalmente, el hecho de que las variables reproductivas de los bobos agrupadas en el factor 1 en lo general, y la proporción de puestas grandes en lo particular, tengan una relación significativa con las capturas pesqueras entre junio y diciembre, lo que no ocurrió con la temperatura superficial del mar, significa que dichas variables biológicas de los bobos son un mejor indicador de la abundancia futura de pesca que la temperatura del mar. Esto considerando que la temperatura del mar es representativa de la zona, donde se desarrollan las pesquerías y se alimentan las aves.

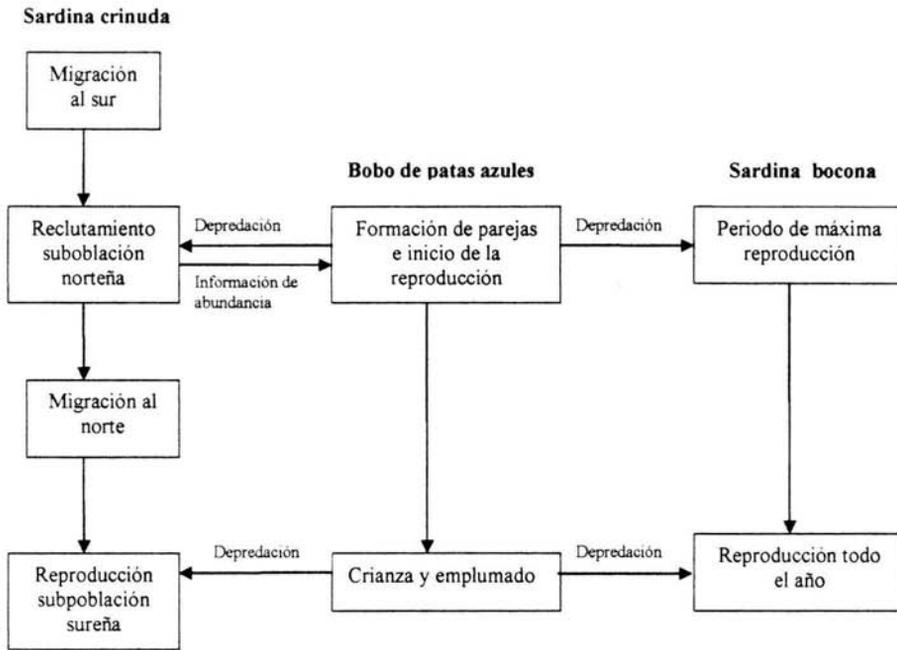


Figura 12. Relación entre el reclutamiento, migración y reproducción de las sardinillas crinada y bocona, con la reproducción y crianza del bobo de patas azules (basado en Gracia y Lozano, 1980).

Para aquellos años en que se presentó el fenómeno de El Niño, las relaciones entre los factores reproductivos y las capturas pesqueras fueron grandes y significativas, llegando a obtenerse un valor alto del coeficiente de regresión (0.79) con un porcentaje de confianza alto (63%). Esto indica que la relación entre las variables reproductivas de los bobos y la CPUE es sensible a la presencia de El Niño. Esto apoya lo propuesto por Cairns (1987; citado en Montevecchi, 1993), quien considera que variables como el éxito reproductivo o el crecimiento de los pollos de aves marinas pueden ser mejores indicadores de la disponibilidad de alimento cuando este alimento es escaso. Aunque la relación entre las variables agrupadas en los dos factores y las capturas pesqueras no resultó ser significativa para años sin El Niño, sí fue alta (explicando el 52% de la varianza).

La acción de los gobiernos para promover el crecimiento y desarrollo de sus pesquerías (compra de barcos o construcción de instalaciones de almacenamiento) ha tenido mayor prioridad que la toma de decisiones sobre la regulación del esfuerzo pesquero (Gulland, 1982). La planeación pesquera se ha basado principalmente en el conocimiento empírico, donde los encargados de las embarcaciones determinan las zonas y fechas de captura en función de su propia experiencia. Salvo el periodo de agosto a octubre, cuando se implementa una veda temporal (Instituto Nacional de la Pesca, 1994), las embarcaciones sardinero-anchoveteras siguen derroteros tradicionales pescando cada vez que encuentran cardúmenes de tamaño considerable.

Los programas de monitoreo de peces a gran escala son costosos (hasta \$10,000-20,000 dólares estadounidenses por día según Cairns, 1992) ya que incluyen muestreos, trabajo de laboratorio y de análisis de datos. Por ello el empleo de indicadores de abundancia de peces, como el esfuerzo y éxito reproductivo de las aves ictiófagas, podrían ser una herramienta útil en la planeación de las actividades pesqueras. No obstante, y a pesar de haber encontrado relaciones significativas entre las capturas pesqueras y algunas variables reproductivas de los bobos de patas azules en la Isla Isabel, los coeficientes de determinación fueron del orden del 0.6. Hasta el 60% de la variación en las capturas fue explicada por los indicadores obtenidos de las aves, un porcentaje de certidumbre moderado. El uso de indicadores biológicos, como los obtenidos en el presente estudio, dependerá de su utilidad en la planeación de la pesquería de pelágicos menores, empleándose incluso como información complementaria de los modelos pesqueros (Cairns, 1992).

Trabajos pioneros como el de Ricklefs y colaboradores (1984) se abocaron a la búsqueda de información relacionada con las pesquerías en las colonias reproductivas de aves marinas, sugiriendo que el crecimiento de los pollos de estas aves puede proveer un indicador de la cantidad de alimento disponible. Desde entonces muchos han sido los trabajos que han

encontrado relaciones entre variables reproductivas de aves pescadoras y la abundancia de alimento en el mar, bajo el supuesto de que una elevada abundancia en la pesca estaría acompañada de un mayor éxito reproductivo y *viceversa*. Por ejemplo, la gaviota del kelp *L. dominicanus* presenta mayores esfuerzos reproductivos cuando hay buenas condiciones climáticas y abundancia de krill como alimento (Silva *et al.* 2001). Las medidas convencionales del éxito reproductivo (tasa de eclosión y el éxito de emplumado p. ej.) resultaron ser mejores indicadores de la abundancia de peces y otras presas que los atributos conductuales en las gaviotas *R. tridactyla*. No obstante, conductas como la atención de los adultos para con los pollos mayores o la tasa de solicitud de las crías pueden ser usadas para monitorear las condiciones del medio en estudios de corta duración (Gill *et al.* 2002).

Existen evidencias de que el éxito reproductivo del alca *Cepphus columba* varía entre individuos generalistas y especialistas. Las parejas especializadas en consumir presas particulares durante el periodo de crianza empluman más crías que aquellas parejas generalistas (Golet *et al.* 2000). Además, el éxito de un ave para encontrar alimento, con su consiguiente implicación en su éxito reproductivo, puede variar con la experiencia de cada individuo. En gaviotas *R. tridactyla* se encontró que cuando las aves estaban en sus primeros años de crianza había desatención de pollos, lo que redujo el número de emplumados (Irons, 1998). Por otra parte, según registros del alimento regurgitado en el bobo de patas azules en la Isla Isabel, las presas varían entre años, indicando la capacidad del ave de cambiar de presa conforme varían las abundancias de las diferentes especies de peces en la zona.

Ricklefs *et al.* (1984) dieron los primeros pasos en el empleo del bobo de patas azules como indicador de las condiciones alimenticias. Emplearon la ganancia en peso de las crías, medidas cada cinco días durante el mes de julio en 13 localidades de las Islas Galápagos, para conocer fluctuaciones en el corto plazo en la cantidad de recursos alimenticios. Una ventaja

importante en el presente trabajo, sobre lo reportado por Ricklefs y colaboradores (1984), consiste en que la medición de la proporción de puestas grandes durante el 30 de abril y el 15 de mayo resulta más fácil y práctica que medir varias veces a un determinado número de pollos durante todo un mes. Estimar la proporción de puestas grandes implica poca manipulación de los organismos, aunque si implica estorbar y asustar a los adultos que incuban huevos, lo cual generalmente provoca la pérdida de algunos huevos o puestas, especialmente cuando depredadores de huevos como la gaviota parda (*L. Heermanni*) están presentes (Castillo y Chávez-Peón, 1983).

A pesar de que el tema de las aves marinas como indicadores de abundancia de pesca ha sido abordado en muchos trabajos, no hay muchos los que traten sobre el uso de variables reproductivas de estas aves como indicadores de la abundancia de recursos pesqueros *a futuro*. Se ha encontrado que variables reproductivas de la gaviota ploma (*Larus Heermanni*) y el gallito marino (*Sterna elegans*) pueden ser un indicador de la abundancia futura de pesca en el Golfo de California (Velarde *et al.* 2004). Debido a que el bobo de patas azules se alimenta por pesca directa (no practicando cleptoparasitismo ni comiendo de desperdicios de barcos pesqueros), toda vez que tampoco practica el canibalismo o roba huevos (como las gaviotas), es especialmente susceptible a fluctuaciones en la abundancia de peces (Drummond com. pers.). Establecer una relación clara entre la reproducción de las aves marinas y la abundancia futura de alimento ayudaría a planificar las actividades pesqueras, entender las relaciones tróficas en el mar, determinar el impacto causado a las poblaciones explotadas y aportaría datos a considerar en estudios sobre éxito reproductivo, sobretodo en especies, como el bobo de patas azules, con reducción facultativa de la nidada.

## Literatura Citada

- Ainley, D.G., R.L. Veit, S.G. Allen, L.B. Spear y P. Pyle, 1995. Variations in marine bird communities of the California current, 1986-1994. *CalCOFI Reports*, 36:72-77.
- American Ornithologists' Union, 1998. Check-List of North American birds. Allen Press, Lawrence. 829 pp.
- Anderson, D.J., 1989. Differential responses of boobies and other seabirds in the Galápagos to the 1986-1987 El Niño Southern Oscillation event. *Marine Ecology Progress Series*, 52:209-216.
- Anderson, D.W., F. Gress y K.F. Mais, 1982. Brown pelicans: influence of food supply on reproduction. *Oikos*, 39:23-31.
- Anderson, D.W. y F. Gress, 1984. Brown pelicans and the anchovy fishery off southern California. En Nettleship D.N., G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.), *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*: 128-135. A special publication compiled by the Canadian Wildlife Services for the Pacific Seabird Group, Canadá.
- Anderson, D.J. y R.E. Ricklefs, 1987. Brood size and food provisioning in masked and blue-footed boobies (*Sula spp.*). *Ecology*, 73(4):1363-1374.
- Ashmole, N.P., 1971. Sea bird ecology and the marine environment. En Farner, S. y J.R. King (eds.), *Avian biology*: 223-286. Academic Press, New York.
- Barber, R.T., J. E. Kogelschatz, y F.P. Chávez, 1985. Origin of productivity anomalies during the 1982-83 El Niño. *CalCOFI Reports*, 26:65-71.
- Barber, R.T. y F.P. Chávez, 1983. Biological consequences of El Niño. *Science*, 222(4629):1203-1210.
- Bernal, G., P. Ripa y J. C. Reguera, 2001. Variabilidad oceanográfica y climática en el bajo Golfo de California. Influencias del trópico y Pacífico Norte. *Ciencias Marinas*, 27(4):595-617.
- Birt, V.J., T.P. Birt, D. Goulet, D.K. Cairns y W.A. Montevecchi, 1987. Ashmole's halo: direct evidence for prey depletion by a seabird. *Marine Ecology Progress Series*, 40:205-208.
- Botsford, L.W., J.C. Castilla y C.H. Peterson, 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science*, 277:509-515.
- Briggs, K.T., K.F. Dettman, D.B. Lewis y W.B. Tyler, 1984. Phalarope feeding in relation to autumn upwelling off California. En Nettleship D.N., G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.), *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*: 51-62. A special publication compiled by the Canadian Wildlife Services for the Pacific Seabird Group, Canadá.
- Cairns, D. K., 1992. Bridging the gap between ornithology and fisheries science: use of seabird data in stock assessment models. *The Condor*, 94:811-824.
- Cane, M.A., 1983. Oceanographic events during El Niño. *Science*, 222:1189-1195.
- Capurro, L., 1998. El fenómeno de El Niño: Oscilación del Sur. *Avance y Perspectiva*, 17:67-75.
- Carboneras, C., 1992. Sulidae. En del Hoyo, J., A Elliot y J. Sargatal. *Handbook of the birds of the world*, Vol. I. Lynx Edicions, Barcelona: 312-325.
- Castillo, A. y M.C. Chávez-Peón, 1983. Ecología reproductiva e influencia del comportamiento en el control del número de crías en el bobo de patas azules *Sula neboxii* en la isla Isabel, Nayarit. Tesis de licenciatura. UNAM, México, DF. 118pp.

- Cisneros-M., M.A., 1988. Pesquería de sardina. En PESCA-INP (eds.), Los recursos pesqueros del país: 287-302.
- Cisneros-Mata M.A., M.O. Nevárez-Martínez y M.G. Hammann, 1995. The rise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California. CalCOFI Reports, 36:136-143.
- Croll, D.A., y B.R. Tershy, 1998. Penguins, fur seals, and fishing: prey requirements and potential competition in the South Shetland Islands, Antarctica. Polar Biology, 19:365-374.
- Drummond, H., E. González y J.L. Osorno, 1986. Parent-offspring cooperation in the blue footed booby (*Sula nebouxi*): social roles in infanticidal brood reduction. Behavioral Ecology and Sociobiology, 19:365-372
- Drummond, H., y C. García-Chavelas, 1989. Food shortage influences sibling aggression in the blue-footed booby. Animal Behaviour, 37:806-819.
- Drummond, H., R. Torres y V.V. Krishnan, 2003. Buffered development: resilience after aggressive subordination in infancy. The American Naturalist, 161(5):794-807.
- Duffy, D.C. y D.C. Schneider, 1994. Seabird-fishery interactions: a manager's guide. En Nettleship D.N., G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.), Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships: 162-169. A special publication compiled by the Canadian Wildlife Services for the Pacific Seabird Group, Canada.
- Fry, J. C., 1999. One-way analysis of variance. En Fry, J.C. (ed.) Biological data analysis: 3-39. Oxford University Press, Oxford.
- Furness, R.W., 1984. Seabird fisheries relationships in the northeast Atlantic and North Sea. En Nettleship D.N., G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.), Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships: 26-38. A special publication compiled by the Canadian Wildlife Services for the Pacific Seabird Group, Canada.
- Furness, R.W. y T.R. Birkhead, 1984. Seabird colony distributions suggest competition for food supplies during the breeding season. Nature, 311(18):655-656.
- Furness, P.W. y P. Monaghan, 1987. Seabird ecology. Blackie, Glasgow. 164pp.
- García-Cerecedo, M.A. y M.T. Saavedra-Sordo, 1997. Variación interanual en el éxito reproductivo del bobo de patas azules (*Sula nebouxi*) y sus implicaciones en la reducción facultativa de la nidada. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM. 61 pp.
- Gaviño-de la Torre, G., 1987. Aves de la Isla Isabel, Nayarit, México. Anales del Instituto de Biología de la UNAM, Serie Zoológica, 58(2):751-812.
- Gill, V.A., S.A. Hatch y R.B. Lanctot, 2002. Sensitivity of breeding parameters to food supply in Black-legged Kittiwakes *Rissa tridactyla*. Ibis, 144:268-283.
- Glynn, P.W., 1988. El Niño-Southern Oscillation 1982-1983: nearshore population, community, and ecosystem responses. Annual Review of Ecology and Systematics, 19:309-345.
- Golet, G.H., K.J. Kuletz, D.D. Roby y D.B. Irons, 2000. Adult prey choice affects chick growth and reproduction success in pigeon guillemots. The Auk, 117(1):82-91.
- Gracia, A. y E. Lozano, 1980. Alimentación del bagre marino *Netuma platypogon* y su importancia como indicador de reclutamiento de postlarvas de langosta (Decapoda: Palinuridae), Guerrero, México. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, 7(2):199-206.
- Gulland, J. A., 1982. The management of tropical multispecies fisheries. En Pauly, D. y G. I. Murphy (eds.), Theory and management of tropical fisheries: 287-298. ICLARM Conference Proceedings. International Center of Living Aquatic Resources Management.

Hair, J.F., R.E. Anderson, R.L. Tatham y W.C. Black, 1999. Análisis multivariante. Prentice Hall, Madrid. 799pp.

Harris, M.P. y S. Wanless, 1990. Breeding succes of British Kittiwakes *Rissa tridactyla* in 1986-88: evidence for changing conditions in the northern Nort sea. *Journal of Applied Ecology*, 27(1):172-187.

Hunt, L.G. y D.C. Schneider, 1987. Scale-dependent processes in the physical and biological environment of marine birds. En Croxall J.P. (ed.), *Seabirds: 7-14*. Cambridge University Press, Cambridge.

Ibarra-Contreras, C.A., 2000. La planeación turística en los parques nacionales: el caso del Parque Nacional Isla Isabel. *Ciencia y Mar*, 12:47-48.

Instituto Nacional de la Pesca, 1994. Atlas pesquero de México. SEPESCA, México. 234 pp.

Instituto Nacional de la Pesca, 2000. Peces pelágicos menores. En Sustentabilidad y pesca responsable en México: 95-124. INP-SEMARNAP, México.

Irons, D.B., 1998. Foraging area fidelity of individual seabirds in relation to tidal cycles and flock feeding. *Ecology*, 79(2):647-655.

Johnsgard, P.A., 1993. Cormorants, darters, and pelicans of the world. Smithsonian Institution Press, Washington. 445 pp.

Lawley, D.N., y A.E. Maxwell, 1973. Regression and factor analysis. *Biometrika*, 60(2):331-338.

Lewis, S., T.N. Sherrat, K.C. Hamer y S. Wanless, 2001. Evidence of intra-specific competition for food in a pelagic seabird. *Nature*, 412(23):816-819.

Lluch-Belda, D., F.J. Magallón y R.A. Schwartzlose, 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: possible causes. *CalCOFI Reports*, 27:136-140.

McCall A.D., 1984. Seabird-fishery-trophic interactions in eastern Pacific boundary currents: California and Peru. En Nettleship D.N., G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.), *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships: 136-148*. A special publication compiled by the Canadian Wildlife Services for the Pacific Seabird Group, Canada.

Mellink, E., 2000. Breeding of brown boobies in the Gulf of California: seasonality and apparent effects of El Niño. *Waterbirds*, 23(3):494-499.

Meraz, J. Y H. Drummond, 2001. La reproducción del bobo de patas azules como indicador de la abundancia de peces. En Escobar-Briones, E., M. Bonilla, A. Badán, M. Caballero y A. Winckell (eds.), *Los efectos del fenómeno de El Niño en México 1997-1998: 199-204*. CONACYT, México.

Moller, A.P., 2002. North Atlantic Oscillation (NAO) effects of climate on the relative importance of first and second clutches in a migratory passerine bird. *Journal of Animal Ecology*, 71:201-210.

Montevocchi, W.A., 1993. Birds as indicators of change in marine prey stocks. En Furness R.W. y J.J.D. Greenwood (eds.), *Birds as monitors of environmental change: 217-267*. Chapman and Hall, Londres.

Montevocchi, W.A., 2002. Interactions between fisheries and seabirds. En Schreiber, E.A. y J. Burger (eds.) *Biology of marine birds: 527-557*. CRC Marine Biology series, Boca Raton.

Montevocchi, W.A. y R. Myers, 1997. Centurial and decadal oceanographic influences on changes in northern gannet populations and diets in yne north-west Atlantic : implications for climate change. *ICES Journal of Marine Science*, 54:608-614.

- Nelson, J.B., 1966. Population dynamics of the gannet (*Sula bassana*) at the Bass Rock, with comparative information from other Sulidae. *Journal of Applied Ecology*, 35(3):443-470.
- Nelson, J.B., 1978. *The Sulidae*. University of Aberdeen-Oxford University Press, Oxford. 1012pp.
- Neter, J., M.H. Kutner, C.J. Nachtsheim y W. Wasserman, 1996. *Applied linear statistical models*. WCB-McGraw-Hill, Boston. 1408pp.
- Newton, I., 1998. *Population limitation in birds*. Academic Press, San Diego. 597pp.
- Osorio-Beristain, M. y H. Drummond, 1993. Natal dispersal and deferred breeding in the Blue-footed Booby. *Auk*, 110:234-239.
- Osorno, J.L. y Drummond, 1995. The function of hatching asynchrony in the blue-footed booby. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 37:265-273.
- Philander, S.G., 1992. El Niño. *Oceanus*, 35(2):56-61.
- Powers, K.D., 1983. How seabirds adapt to ocean processes. *Oceanus*, 26(1):11-17.
- Rebón-Gallardo, M.F., N. Carrera y M. Osorio, s.a. Isla Isabel. En M. C. Arizmendi y L. Márquez-Valdelamar (eds.), *Áreas de importancia para la conservación de las aves en México*: 41. FMCN-CONABIO, México.
- Reyes-Coca, S. y R. Troncoso-Gaytán, 1998. El impacto del fenómeno El Niño Oscilación del Sur en la generación de ciclones tropicales alrededor de México. *Ciencia y Mar*, 2(5):3-22.
- Ribic, C.A., D.G. Ainley y L.B. Spear, 1992. Effects of El Niño and La Niña on seabird assemblages in the equatorial Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 80:109-124.
- Ricklefs, R.E., 1984. Prolongued incubation in pelagic seabirds: a comment on Boersma's paper. *The American Naturalist*, 123(5):710-720.
- Ricklefs, R.E., 1990. *Ecology* (3a ed.). W.H. Freeman and Company, New York. 896 pp.
- Ricklefs, R.E., 2000. Density dependence, evolutionary optimization, and the diversification of avian life histories. *The Condor*, 102:9-22.
- Ricklefs, R.E., D. Duffy y M. Coulter, 1984. Weight gain of blue footed booby chicks: an indicator of marine resources. *Ornis Scandinavica*, 15:162-166.
- Robinson, J.A., K.C. Hamer y L.S. Chivers, 2002. Developmental plasticity in Arctic Terns (*Sterna paradisaea*) and common terns (*S. hirundo*) in response to a period of extremely bad weather. *Ibis*, 144:344-346.
- Rowe, L., D. Ludwig y D. Schluter, 1994. Time, condition, and the seasonal decline of avian clutch size. *The American Naturalist*, 143 (4):698-722.
- Ruiz-Durá, M.F., 1993. *Recursos pesqueros de la costa de México*. Editorial Limusa, México 283pp.
- Ruiz, A. y L.P. Lyle, 1992. Fluctuaciones periódicas de la captura de sardina crinuda (*Opisthonema spp*) en el Golfo de California, 1972-1990. *CalCOFI Reports*, 33:124-129.
- Schreiber, E.A. 2002. Climate and weather effects on seabirds. En Schreiber, E.A. y J. Burger (eds.) *Biology of marine birds*: 179-215. CRC Marine Biology series, Boca Raton.
- Schreiber, R.W. y R.B. Clapp, 1987. Pelecaniform feeding ecology. En Croxall J.P. (ed.), *Seabirds*: 173-188. Cambridge University Press, Cambridge. 383 pp.

- Schreiber, R.W. y E.A. Schreiber, 1984. Central Pacific seabirds and the El Niño Southern Oscillation 1983 perspectives. *Science*, 225:413-716.
- Schreiber, E.A. y R.W. Schreiber, 1989. Insights into seabird ecology from a global "natural experiment". *National Geographic Research*, 5(1):64-81.
- Shealer, D.A., 2002. Foraging behavior and food of seabirds. En Schreiber, E.A. y J. Burger (eds.) *Biology of marine birds*: 137-177. CRC Marine Biology series, Boca Raton.
- Silva, M.P., M. Farero, S. Copello y R. Bastida, 2001. Does access to high quality pelagic prey increase the breeding success of kelp Gulls *Larus dominicanus* in the Antarctic Peninsula?. *Marine Ornithology*, 28:85-88.
- Sokal, R.R. y F.J. Rohlf, 1995. *Biometry*, 3ed. Ed. W.H. Freeman and Co., New York. 887 pp.
- Sokal, R.R. y F.J. Rohlf, 1999. *Introducción a la Bioestadística*. Editorial Reverté, S. A. México. 362 pp.
- Steele, J.H., 1998. Regime shifts in marine ecosystems. *Ecological applications*, 8(1) Supplement: 33-36.
- Stenseth, N.C., A. Mysterud, G. Ottersen, J.W. Hurrell, K.S. Chan y M. Lima, 2002. Ecological effects of climate fluctuations. *Science*, 297:1292-1296.
- Stienen, E.W.M. y A. Brenninkmeijer, 2002. variation in growth in Sandwich Terns chicks *Sterna sandvicensis*, and the consequences for pre- and post-fledging mortality. *Ibis*, 144:567-576.
- Stiling, P.D., 1996. *Ecology*. Prentice-Hall Inc., New Jersey. 539 pp.
- Thompson, D.W.J. y J.M. Wallace, 2001. Regional climate impacts of the northern hemisphere annular mode. *Science*, 293:85-89.
- Troncoso-Gaytán, R. Y S. Reyes-Coca, 2002. Análisis ondicular de la temperatura de la superficie del mar a lo largo de la costa del Pacífico mexicano. *Ciencia y Mar*. 16(6): 5-19.
- Tuck, G. N., T. Polacheck, J. P. Croxall y H. Weimerskirch, 2001. Modelling the impact of fishery by-catches on albatross populations. *Journal of Applied Ecology*. 38:1182-1196.
- Turk, D., M.J. Mc Phaden, A.J. Busalacchi y M.R. Lewis, 2001. Remotely sensed biological production in the equatorial Pacific. *Science*, 293:471-474.
- Valiela, I., 1995. *Marine ecological processes*. Springer-Verlag, New York. 686 pp.
- Velando, A., 2000. The importance of hatching date for dominance in young shags. *Animal Behaviour*, 60:181-185.
- Velarde, E., M de la S. Tordesillas, L. Vieyra y R. Esquivel, 1994. Seabirds as indicators of important fish populations in the Gulf of California. *CalCOFI Reports*, 35:137-143.
- 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(2):607-615.
- Vidal-Talamantes, R., 1995. Desarrollo de la pesquería de anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) en Baja California, durante el periodo 1972-1992. *Ciencias Marinas*, 21(3):243-263.
- Whitehead P.J.P., G.J. Nelson y T. Wongratana, 1988. *FAO species catalogue V. 7. Clupeoid fishes of the world. Part 2, Engraulidae*. Rome. 579 pp.
- Yodzis, P., 2001. Must top predators be culled for the sake of fisheries?. *Trends in Ecology and Evolution*, 16(2):78-84.

Zar, J.H., 1999. Biostatistical analysis, 4th. Ed. Prentice may, New Jersey. 663pp, app 41, index 123.

## Anexo

Tabla de valores promedio de las variables empleadas.

Año	CPUE	NP	NPG	PPG	NE	EEC	NEM	EEM	PHE	TSM
1986	88.6131579	1157	483	0.41745895	385	0.33275713	254	0.65974026	0.21953328	24.41
1987	28.6	1050	493	0.46952381	406	0.38666667	204	0.50246305	0.19428571	23.948
1989	136.169444	535	250	0.46728972	291	0.54392523	153	0.5257732	0.28598131	23.434
1990	97.8202899	920	440	0.47826087	531	0.57717391	219	0.41242938	0.23804348	25.25
1991	67.4286667	1404	455	0.32407407	695	0.49501425	437	0.62877698	0.31125356	24.194
1992	4.9	13	13	1	10	0.76923077	0	0	0	25.558
1993	117.575556	1266	507	0.40047393	739	0.58372828	451	0.61028417	0.35624013	24.688
1994	124.412	1417	608	0.42907551	912	0.64361327	745	0.81688596	0.52575865	24.648
1995	118.125	1253	517	0.41260974	421	0.33599362	245	0.58194774	0.19553073	24.572
1996	96.2554863	1426	607	0.4256662	845	0.59256662	709	0.83905325	0.49719495	24.56
1997	106.94029	1674	558	0.33333333	1226	0.73237754	1011	0.82463295	0.60394265	24.032
1998	84.8176471	1078	384	0.35621521	606	0.56215213	293	0.48349835	0.27179963	25.09
1999	115.470476	1325	644	0.48603774	934	0.70490566	709	0.75910064	0.53509434	23.536

Las variables son: CPUE (captura por unidad de esfuerzo), NP (número de puestas), NPG (número de puestas grandes), PPG (proporción de puestas grandes), NE (número de eclosiones), EEC (éxito de eclosión), NEM (número de emplumados), EEM (éxito de emplumado), PHE (proporción de huevos que emplumaron) y TSM (temperatura de la superficie del mar).

Para la CPUE se presenta el promedio para el periodo junio-diciembre de cada año, y para el resto de las variables el promedio para el periodo enero-mayo de cada año.