



CAPÍTULO 8:

Uso de las áreas naturales protegidas para recabar series de tiempo de largo plazo: el caso de las aves marinas para predecir la pesca comercial de la sardina monterrey en el golfo de California

Enriqueta Velarde González

Unidad de Investigaciones en Ecología de Pesquerías, Dirección General de Investigaciones, Universidad Veracruzana, Hidalgo 617, Col. Río Jamapa, Boca del Río, Veracruz, C.P. 94290, México.
enriqueta_velarde@yahoo.com.mx

Exequiel Ezcurra

San Diego Natural History Museum, P.O. Box 121390, San Diego, California, 92112-1390, USA.

Miguel Ángel Cisneros Mata

Instituto Nacional de la Pesca, Pitágoras 1320, 8º. Piso, Col. Santa Cruz Atoyac, C.P. 03310, México, D.F., México.

& Miguel Lavín

Departamento de Oceanografía Física, Centro de Investigaciones Científicas y Educación Superior de Ensenada (CICESE), km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California C.P. 22800, México.

Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica.

Gonzalo Halffter, Sergio Guevara & Antonio Melic (Editores)

- SOCIEDAD ENTOMOLÓGICA ARAGONESA (SEA), ZARAGOZA, ESPAÑA.
- COMISION NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO) MÉXICO.
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP) MÉXICO.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT) MÉXICO.
- INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C., MÉXICO.
- UNESCO-PROGRAMA MAB.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. GOBIERNO DE ESPAÑA.

m3m: Monografías Tercer Milenio

vol. 6, S.E.A., Zaragoza, España
ISBN: 978-84-935872-0-8
15 diciembre 2007
pp: 71-77.

Información sobre la publicación:
www.sea-entomologia.org

Uso de las áreas naturales protegidas para recabar series de tiempo de largo plazo: el caso de las aves marinas para predecir la pesca comercial de la sardina monterrey en el golfo de California

Enriqueta Velarde González, Exequiel Ezcurra,
Miguel Ángel Cisneros Mata & Miguel Lavín

Resumen: El manejo de los recursos pesqueros ha sido difícil a lo largo de la historia y la obtención de series de tiempo no se ha llevado a cabo en forma común ni constante. En el Golfo de California se ha capturado comercialmente la sardina Monterrey (*Sardinops sagax*). La pesquería inició en los años 1970's, tuvo un pico a fines de los 1980's y colapsó en 1992, en conjunción con la ocurrencia de un Año de El Niño, resultando en una severa crisis del sector pesquero y sus industrias conexas, como la producción de harina de pescado, alimentos balanceados, etc. Actualmente la industria ha tenido una substancial recuperación y existe interés por lograr un uso sustentable. Varios investigadores que trabajan con aves marinas han encontrado estrechas correlaciones entre la biología reproductiva y/o dieta de las aves y los recursos de los cuales se alimentan. Frecuentemente, la dieta de las aves marinas está compuesta por peces o invertebrados de importancia comercial. En el caso de las aves marinas que anidan en Isla Rasa, en el Golfo de California, se ha dado un seguimiento de sus parámetros reproductivos y dieta desde 1980. Estas especies se alimentaban casi exclusivamente de sardina Monterrey hasta finales de los 1980's, después de lo cual comenzó a disminuir esta especie y a incrementarse la anchoveta (*Engraulis mordax*) en su dieta. Los análisis de las series de tiempo obtenidas, en conjunción con datos oceanográficos y de pesquerías han permitido generar modelos de predicción de la captura total y captura por unidad de esfuerzo de la sardina Monterrey. Es deseable que esta información pueda ser integrada en los procesos de decisión del manejo de la pesquería de este importante recurso.

Palabras clave: aves marinas, modelos de predicción pesquera, peces pelágicos menores, Golfo de California.

The use of protected areas to obtain long term data series: the case of the use of seabird data to predict commercial sardine fishery in the gulf of California

Abstract: Historically, fisheries have been hard to manage and obtaining long term time series has not been a common goal. In the Gulf of California the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) has been commercially captured since the 1970's. Landings reached a peak at the end of the 1980's and collapsed in 1992, in conjunction with the occurrence of an El Niño event. This resulted in a severe economic crisis of the fisheries sector and related industries, such as production of fishmeal and balanced poultry food. At present the industry has had a substantial recovery and there is interest to attain a sustainable rate of use. Several seabird ecologists have found strong correlations between the seabird breeding biology and/or their diet, and their food resources. Frequently, seabird diets consist of commercially important fish or invertebrates. In the case of the seabird species that breed in Isla Rasa, Gulf of California, we have followed their breeding parameters and diet since 1980. These seabirds fed almost exclusively on Pacific sardine until the late 1980's, after which this species started to decline in their diet, with an increase of the northern anchovy (*Engraulis mordax*). The analysis of the time series that we have obtained, together with oceanographic and fisheries parameters, has allowed us to generate two predictive models: total catch and catch per unit effort, for the Pacific sardine. It is desirable that this information be integrated in the decision making process for the management of the fisheries of this important resource.

Key words: seabird ecology, fisheries prediction models, small pelagic fish, Gulf of California.

Introducción

Por razones históricas, económicas y administrativas, la obtención de datos poblacionales y otro tipo de información biológica de especies de interés, a largo plazo, no ha recibido el suficiente apoyo por parte de las autoridades gubernamentales del ambiente, organizaciones no gubernamentales de conservación, instituciones de investigación, etc., ni en las Áreas Naturales

Protegidas ni otras áreas de importancia para la conservación en México. Dado que las poblaciones están insertadas en ecosistemas más o menos complejos, cuyos procesos pueden presentar ciclos de varios años o, incluso, décadas, es importante obtener series de tiempo de largo plazo, para poder entender los procesos que los afectan, así como intentar predecir las fluctuaciones que ocurrirán en las poblaciones de interés. Esto se torna importante si queremos tomar decisiones de manejo, tanto en relación a especies de interés comercial como, en general, en relación a cualquier especie cuya importancia ecológica conozcamos o ignoremos.

En particular para el caso de las pesquerías, su manejo ha sido difícil a lo largo de la historia y, en la actualidad, su colapso amenaza muchas economías regionales (Botsford *et al.*, 1997; Radovich, 1982; Schwartzlose *et al.*, 1999; WRI, 1994). La mayoría de las pesquerías en el mundo están sobreexplotadas o cerca de la sobreexplotación (Botsford *et al.*, 1997). La pesquería de los peces pelágicos menores, como sardinias y anchovetas, constituyen aproximadamente el 25% de los desembarques a nivel mundial (Botsford *et al.*, 1997; WRI, 1994). De manera frecuente, las especies de peces que constituyen estas pesquerías muestran amplias fluctuaciones poblacionales, ya que son fuertemente afectadas por fenómenos oceanográficos y atmosféricos, como la Oscilación Austral de “El Niño” (ENSO, por sus siglas en Inglés) (Sánchez-Velasco *et al.*, 2000; Schwartzlose *et al.*, 1999). Consecuentemente, es difícil monitorear las poblaciones de estas especies de peces y, por lo tanto, es muy difícil obtener indicadores robustos de su abundancia y disponibilidad para las flotas.

Los peces pelágicos menores son la base de muchos ecosistemas marinos costeros, por ser el alimento fundamental para una gran variedad de peces mayores (muchos de ellos también de importancia comercial), de muchas especies de mamíferos marinos y de aves marinas (Sánchez-Velasco *et al.*, 2000; Velarde *et al.*, 1994; Anderson & Gress, 1984; Burger & Cooper, 1984; Furness, 1984; MacCall, 1984; Furness & Barrett, 1991; Furness & Nettleship, 1991; Montevecchi & Berruti, 1991).

Muchos estudios han mostrado el valor de los datos de la reproducción y dieta de las aves marinas, como herramientas para el monitoreo indirecto del estado de las poblaciones de peces de las cuales se alimentan. En general, estos estudios se han generado a partir de la interacción de las aves marinas con especies de peces o invertebrados de importancia comercial. Muchos de estos estudios han encontrado tendencias similares, mostrando correlaciones significativas entre la reproducción y dieta de las aves marinas y los parámetros pesqueros (Anderson & Gress, 1984; Anderson *et al.*, 1980; Bailey *et al.*, 1989; Barrett, 1991; Berruti & Colclough, 1987; Burger & Cooper, 1984; Crawford, 1998; Crawford & Dyer, 1995; Furness, 1984, 1999; Furness & Barrett, 1991; Furness & Nettleship, 1991; Hamer *et al.*, 1991; MacCall, 1984; Martin, 1989; Montevecchi & Berruti, 1991; Montevecchi & Myers, 1995; Phillips *et al.*, 1996; Ratcliffe *et al.*, 1998; Sánchez-Velasco *et al.*, 2000; Velarde *et al.*, 1994). Incluso, algunos investigadores han utilizado datos derivados

de los estudios de aves marinas como elementos importantes en los procesos de decisión para el manejo pesquero (ICES, 1999, 2000; Lewis *et al.*, 2001).

Por su parte, tradicionalmente los investigadores que trabajan con pesquerías han tratado de estimar la biomasa total, o encontrar correlaciones *post hoc* entre la captura real y estimada (Cisneros-Mata *et al.*, 1996; Deriso *et al.*, 1996; Furness & Tasker, 1999, 2000; Jacobson & MacCall, 1995; MacCall, 1979). En otros casos la captura mensual y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) han sido estimadas por medio de modelos que sólo son válidos dentro de ciertas tasas de reclutamiento de la especie de pez en cuestión (Conser *et al.*, 2001; Fletcher, 1992).

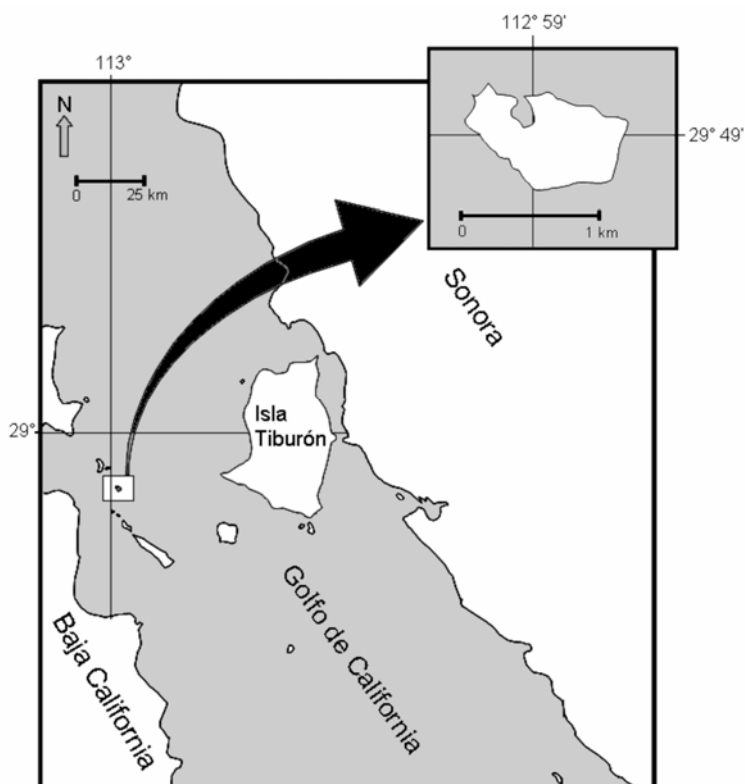
La explotación de las poblaciones de peces pelágicos se ha incrementado en las últimas décadas, en todo el mundo. México, en particular, casi ha duplicado su producción pesquera en las últimas décadas y hay años en que hasta el 70% de ella proviene del Golfo de California. Existen diversos ejemplos de extracción no informada de poblaciones de peces pelágicos en el mundo, en áreas oceanográficamente muy productivas y aparentemente inagotables. Esta explotación no informada ha llevado al colapso de las poblaciones de peces, de las pesquerías y de muchas de las poblaciones de aves marinas que de ellas dependían.

Desde 1980 se ha dado seguimiento a las poblaciones de aves que anidan en Isla Rasa, tanto en cuanto a su tamaño poblacional, como en cuanto a su dieta (Velarde, 1999; Tobón, 1992; Tordesillas, 1992; Velarde *et al.*, 1994, 2002, 2004, 2005; Ramírez *et al.*, en prensa). Con base en datos recabados en campo y en combinación con datos oceanográficos de la región, así como datos históricos de la pesquería de la sardina, en 2004, Velarde *et al.*, logran generar dos modelos efectivamente predictivos (uno para captura total y otro para captura por unidad de esfuerzo – CPUE) para la pesca de sardina Monterrey (*Sardinops sagax* Jenyns, 1842), para la región centro-norte del Golfo de California. y que integran información acerca de la ecología reproductiva y dieta de aves marinas, así como información de parámetros oceanográficos: temperatura superficial del agua y el índice de oscilación austral (ENSO). Estos modelos utilizan las dos especies de aves marinas consideradas dentro de la NOM-059-ECOL: la gaviota ploma (*Larus heermanni* Cassin, 1852) y el charrán elegante (*Sterna elegans* Gambel, 1849), y que anidan en el Área Natural Protegida de Isla Rasa, en el Golfo de California.

Descripción del Área

El Golfo de California es un mar subtropical con una hidrodinámica compleja y una productividad marina comparable a las más altas del planeta (Álvarez-Borrego, 1983). Fuertes surgencias marinas, principalmente de origen mareal, particularmente en la Región de las Grandes Islas, así como una compleja topografía submarina, son los principales factores que dan origen a la alta productividad marina en el Golfo de California (Álvarez-

Fig. 1. Mapa de localización de Isla Rasa, Golfo de California, México (modificado de Velarde *et al.*, 2004).



Borrego, 1983). Debido a su alta productividad y su ubicación geográfica en una zona limítrofe entre el Pacífico tropical y templado, en el Golfo de California se encuentran poblaciones de varios cientos de miles de aves marinas de más de 20 especies (Anderson, 1983). Entre estas especies se encuentran cinco consideradas como cuasi-endémicas (aquellas especies con más del 90% de su población reproduciéndose en una región restringida), dos de estas cinco son la gaviota ploma y el charrán elegante (Anderson, 1983), ambas con el 95% de su población mundial anidando en Isla Rasa, en la Región de las Grandes Islas, en el Golfo de California (Fig 1). El tamaño actual de sus poblaciones ha sido calculado en aproximadamente 260.000 y 180.000 individuos, respectivamente (Velarde *et al.*, 2005). En Isla Rasa también anida una proporción importante de charrán real (*Sterna máxima* Boddaert, 1783), dentro del Pacífico americano, con una población aproximada de 15.000 individuos (Velarde *et al.*, 2005).

La gaviota ploma y el charrán elegante están clasificadas como "amenazadas" dentro de la NOM050-ECOL-2004 debido a lo restringido y vulnerable de su principal área de anidación, una isla oceánica de menos de 1 km². A mediados de este siglo, debido a la intensa colecta a que estuvieron sujetos los huevos de estas aves marinas, sus poblaciones llegaron a disminuir a niveles tan bajos que causó alarma entre el sector académico, conservacionista y de gobierno de México y los Estados Unidos (ya que estas son aves migratorias que llegan hasta el sur de Canadá y las costas de Chile y Perú). Como resultado de ello Isla Rasa fue declarada una área natural protegida y, a partir de 1964, pero en forma constante desde 1979, se ha mantenido una actividad de protección, estudio y monitoreo de sus poblaciones por parte de biólogos, investigado-

res y estudiantes, de diversas instituciones académicas y de conservación (Velarde & Anderson, 1994). Durante 1995 se llevó a cabo un programa de erradicación de las poblaciones de roedores introducidos en Isla Rasa, ya que en ella existían rata negra (*Rattus rattus* Linnaeus, 1758) y ratón casero (*Mus musculus* Linnaeus, 1758) que se cree fueron introducidos durante el periodo en que se extraía el guano (Bahre, 1983). Se determinó que estos roedores estaban afectando negativamente el éxito reproductivo de las aves marinas que anidan en la isla, ya que éste se incrementó significativamente después de la erradicación de los roedores, específicamente en la zona de colinas rocosas, que es donde habitaban los roedores (Ramírez *et al.*, en prensa).

El Golfo de California, por su alta productividad y presencia de grandes poblaciones de estos peces, también es una región rica en aves y mamíferos marinos. En este golfo encontramos 21 especies de cetáceos (aproximadamente el 35% del total mundial), así como 181 especies de aves acuáticas (incluyendo marinas, costeras y de aguas salobres) (Velarde & Anderson, 1994). En el Golfo de California se reproducen 18 especies de aves marinas (Velarde *et al.*, 2005), cuyas grandes poblaciones se concentran en la zona durante la primavera, para su reproducción, extrayendo cientos de miles de toneladas de peces de la zona, como lo han venido haciendo, de forma normal, en los últimos cientos de miles de años o más. Después de la temporada de anidación la poblaciones de aves se dispersan en varias direcciones, algunas llegando hasta Canadá, y otras hasta el sur de Chile, relajando de forma significativa su presión sobre las poblaciones de peces pelágicos menores en la zona.

Las islas del Golfo de California constituyen un atractivo turístico de gran importancia en la región, así

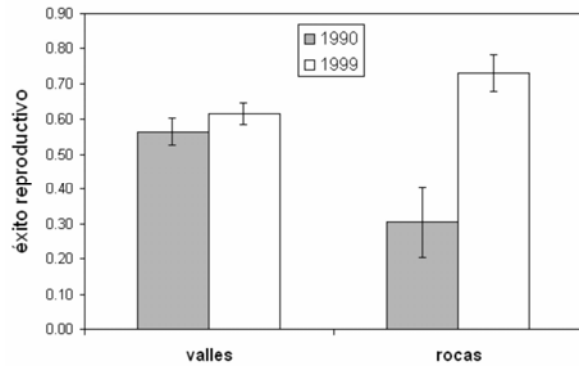


Fig. 2. Cambios en el éxito reproductivo de *L. heermanni* en zonas de valles y colinas rocosas en Isla Rasa, antes y después de la erradicación de roedores introducidos (modificada de Ramírez *et al.*, en prensa).

como laboratorios naturales para la evolución de especies en aislamiento y sitios ideales para la educación ambiental y el entrenamiento de personal técnico y científico. Actualmente, después de la pesquería, el turismo naturalístico es la actividad productiva más importante para la región, ya que muchas personas de México, el resto de Norteamérica, Europa, Sudamérica y Japón tienen un interés particular por visitar esta rica región marina, sus importantes y bellas islas, con grandes poblaciones de mamíferos marinos, enormes colonias de anidación de aves marinas y un gran número de reptiles, mamíferos, plantas e invertebrados endémicos (Bourillón *et al.*, 1988).

Métodos

En 1980 se inició un monitoreo permanente del tamaño de la población de la gaviota ploma y los charranes elegante y real. El tamaño poblacional de la gaviota ploma se estimó con base en cuadrantes establecidos al azar anualmente, de la forma que se detalla en Velarde (1999). El tamaño poblacional de los charranes elegante y real se establece, anualmente, por uno o varios de los tres métodos detallados por Tobón (1992). Éstos se basan en la estimación del número de cuadrantes ocupados y la densidad específica de anidación conocida para cada especie. También se estima el éxito reproductivo para las tres especies, definido como el número promedio de polluelos sobrevivientes a edad de volar, por huevo puesto (No. polluelos a edad de volar/No. de huevos puestos por nido), este dato es promediado para el total de la muestra estudiada cada año. El tamaño promedio de nidada para las dos especies de *Sterna* es de un huevo, y el tamaño de nidada para la gaviota ploma también se estima anualmente, como el promedio de huevos puestos por nido dentro de la muestra estudiada cada año, de acuerdo a los métodos que se detallan en Velarde (1999) y Velarde & Ezcurra (2004).

La composición de la dieta de las tres especies se determina con base en colecta de regurgitaciones, durante la temporada de anidación; específicamente, durante la etapa de crianza de los polluelos, ya que es el momento en que los padres regresan a la colonia con mayor cantidad de alimento. La muestra de alimento es soltada o regurgi-

tada por el ave, de forma espontánea al ser capturada en una red ornitológica, la cual es colocada en un punto cercano a la colonia de anidación, pero suficientemente lejos para evitar la perturbación de las aves anidantes. La muestra se obtiene en buen estado de conservación, ya que se trata de peces que han sido recientemente capturados y son transportados para alimentar a los polluelos. Las gaviotas los transportan en el buche y los charranes en el pico, por lo cual éstos últimos, en particular, proveen muestras en perfecto estado de conservación. Además es posible obtener varios especímenes en cada regurgitación, se consigue un amplio rango de tamaños de los peces presa y el método no afecta a la población de aves. El método de colecta y tratamiento de las muestras se detallan en Tordesillas (1992) y Velarde *et al.* (1994).

Resultados y discusión

Los tamaños poblacionales y éxito reproductivo de las aves se comenzaron a estimar en 1980. El tamaño de la población de gaviota ploma que anida en Isla Rasa no ha variado substancialmente, excepto que en los Años de El Niño la población puede no establecer colonia de anidación y sólo estar en los alrededores de la isla sin establecer territorios de anidación, o estableciéndolos pero sin poner huevos, o bien, sólo una pequeña proporción de parejas pone huevos y las demás están presentes en su territorio pero sin poner huevos, lo cual ha ocurrido en los años de 1992, 1998 y 2003. El éxito reproductivo de la población de gaviota ploma varía de acuerdo al año. Ya que durante los años de El Niño el éxito reproductivo puede ser de cero o cercano a cero (Velarde & Ezcurra, 2004) y entre los años de 1980 y 1994 el éxito reproductivo en zonas rocosas de la isla fue en promedio de 0,40, mucho menor que en las zonas de valles, que tuvo un promedio de 0,57, debido a que existía una población de rata negra introducida, la cual fue erradicada en enero de 1995. Debido a ello, a partir de este último año el éxito reproductivo de la gaviota ploma en zona rocosa se incrementó significativamente, llegando a ser de 0,75, incluso superando al de la zona de valles, que tuvo valores cercanos a 0,62 (Ramírez *et al.*, en prensa) (Fig. 2). En cuanto al tamaño de las colonias de charrán elegante y real, se notó un incremento en ellas a partir de la declaración de Isla Rasa como área natural protegida (D.O.F., 1964). Sin embargo, después de la erradicación de roedores introducidos, la tasa de incremento de la colonia tuvo un incremento significativo ($P=0,031$), el cual se mostró por medio de una prueba estadística de diferencia de pendientes (Figs. 3a y 3b) (Ramírez *et al.* en prensa) y, recientemente (2004), se encontró una nueva colonia de anidación de esta especie en Isla Partida, ubicada a 4 millas marinas al noroeste de Isla Rasa.

En 1983 iniciamos un estudio de la dieta de la gaviota ploma, y en 1985 y 1986 de los charranes elegante y real, respectivamente. En 1985 se determinó que la dieta de la gaviota estaba compuesta, en un 88% por sardina Monterrey, y el resto principalmente por anchoveta (*Engraulis mordax* Girard, 1854). Posteriormente, la anchoveta se incrementó en la dieta de ambas especies. En la temporada de 1989 este pez constituyó cerca del 90% de su dieta. Es importante señalar que, en años previos al

colapso de la población de sardina en la Corriente de California, la anchoveta comenzó a sustituir a la sardina, hasta reemplazarla totalmente. De acuerdo a los datos obtenidos por los investigadores del Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) en Guaymas (principal puerto de descarga de sardina), la anchoveta norteña no había sido reportada en el área en años previos a 1980. La especie comenzó a aparecer en las capturas de sardina a partir de entonces (CRIP, 1986 a 1988).

La captura de sardina por la flota pesquera del Golfo de California se incrementó a una tasa anual de entre el 24% y 50% entre 1982 y 1992. De acuerdo a los informes mensuales del CRIP de Guaymas, la población de sardina en el área de las Grandes Islas, comenzó a mostrar síntomas de sobrepesca, tales como los mostrados, antes de su colapso, por la población de esa misma especie en la Corriente de California. Algunos de ellos fueron: 1) decremento del tamaño promedio de los individuos en las capturas, 2) por lo menos las cinco mayores clases de edad habían desaparecido de las capturas comerciales y 3) actualmente éstas están constituidas por individuos de, cuando mucho, cuatro años de edad. Los juveniles, en ocasiones, llegan a constituir hasta el 70% de la captura. Como consecuencia se ha presentado una disminución en la talla crítica (talla a la cual el 50% de los individuos en la población han adquirido la madurez sexual) y un cambio en la distribución de la población hacia el sur.

La gaviota ploma y el charrán elegante se alimentaban principalmente de sardina (88%), según se determinó al inicio de nuestros estudios en 1983. Paulatinamente, la proporción de sardina en sus dietas fue disminuyendo hasta que, en 1989, llegó a constituir menos del 10%. El resto estuvo constituido, en forma básica, por anchoveta (Velarde *et al.*, 1994). La sustitución de la sardina por la anchoveta también fue uno de los resultados de la sobrepesca de sardina en la costa de California. Al año siguiente la captura de la sardina por la flota pesquera, disminuyó en 33% y al tercer año colapsó al 2% de su captura record de 1989. El resultado fue una crisis económica y social en el sector, que afectó no solamente a la población a nivel regional, sino al sector pesquero a nivel nacional, dada la importancia del recurso para el país, ya que más del 80% de la producción de esta pesquería se transforma en harina

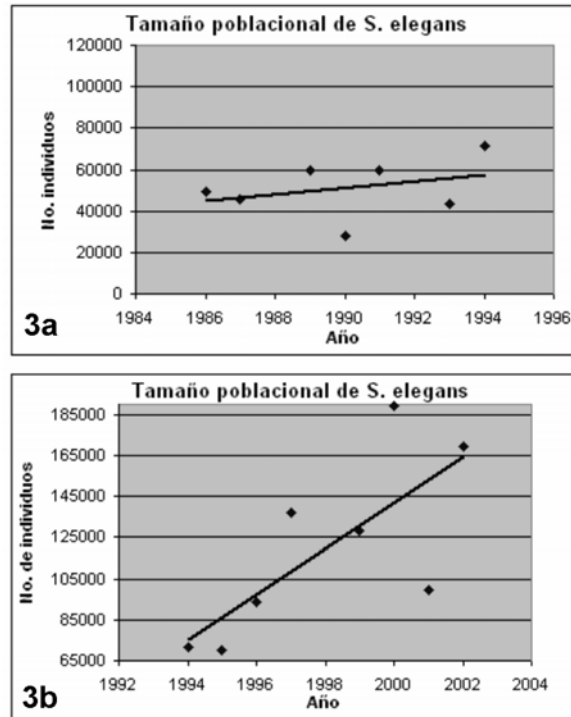


Fig. 3. Tasa de crecimiento de la población de *S. elegans* anidando en Isla Rasa: **3a.** antes de la erradicación de roedores introducidos. **3b.** después de la erradicación de roedores introducidos (modificado de Ramírez *et al.*, en prensa).

de pescado, que constituye parte del alimento balanceado que se da al ganado. Este compuesto ayuda en la engorda y crecimiento del ganado, así como en la mejora de la producción de huevo y leche, propiciando un aumento en la ganancia para el productor.

Con base en datos de campo de la ecología reproductiva y dieta de aves marinas, datos oceanográficos e históricos de la pesquería de la sardina, se generan los dos modelos efectivamente predictivos para captura total y captura por unidad de esfuerzo, para la pesca de sardina Monterrey, para la región centro-norte del Golfo de California (Fig. 4).

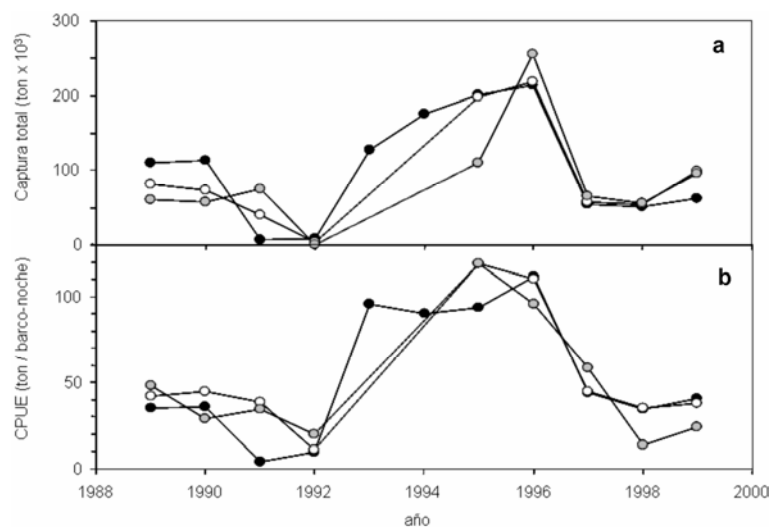


Fig. 4. Gráficas de comparación de la captura total y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) real (puntos negros) y la estimada de acuerdo a los modelos de predicción (puntos blancos y grises) (modificada de Velarde *et al.*, 2004).

Conclusiones

Las aves marinas anidan por lo regular en colonias. Estas se encuentran frecuentemente en islas que presentan menos depredadores terrestres que las áreas continentales a la misma latitud. Las colonias están distribuidas en las islas de acuerdo a la riqueza y productividad de las aguas que las rodean y, generalmente, se encuentran asociadas a zonas de alta producción pesquera. Las aves marinas son valiosas como agentes indirectos de muestreo para las poblaciones de peces que constituyen su alimento. Su valor radica tanto en el bajo costo del método de muestreo, como en la facilidad de captura de las aves. La muestra de alimento es regurgitada por el ave, de forma espontánea al ser capturada, y se obtiene en buen estado de conservación, se obtienen varios especímenes en cada regurgitación, en un amplio rango de tamaños y no se afecta la población de aves.

Con nuestros estudios hemos demostrado que es factible, además de necesario, usar a las aves marinas en la predicción de la captura pesquera por la flota comercial.

Dada la condición de sobreexplotación o casi sobreexplotación en la que se encuentran actualmente la gran mayoría de los recursos pesqueros a nivel mundial, es de suma importancia el uso de estas herramientas, hasta ahora casi ignoradas, para la administración de los recursos pesqueros de importancia comercial y los que no lo son, pero son importantes dentro del ecosistema. El modelo de predicción desarrollado por nosotros es el primero que se conoce basado en datos de aves marinas, y creemos que es posible que se puedan desarrollar muchos más si se recaba la información relevante y se logran establecer las relaciones adecuadas.

Recientemente, representantes de la industria pesquera de la sardina que se distribuye en la región centro norte del Golfo de California han expresado su interés por llevar a cabo una pesca sustentable. Es muy probable que los modelos que aquí presentamos, puedan servir de base para la toma de decisiones informadas en el manejo de la pesquería de este importante recurso.

Bibliografía

- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. En: B. H. Ketchum (ed.), *Estuaries and enclosed seas*. Elsevier Press, Amsterdam. Pp. 427-449.
- Anderson, D. W. 1983. The Seabirds. En: T. J. Case & M. S. Cody (eds.), *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. University of California Press, Berkeley. Pp. 246-264.
- Anderson, D. W. & F. Gress. 1984. Brown Pelicans and the anchovy fishery off southern California. En: D. N. Nettleship, G. A. Sanger & P. F. Springer (eds.), *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Pacific Seabird Group/Canadian Wildlife Service, Canada. Pp. 128-135.
- Anderson, D. W., F. Gress, K. F. Mais & P. R. Kelly. 1980. Brown pelicans as anchovy stock indicators and their relationship to commercial fishing. *CalCOFIREp.*, **21**: 54-61.
- Bahre, C. 1983. Human Impact: The Midriff Islands. En: T. J. Case and M. L. Cody (eds.), *Island Biogeography in the Sea of Cortez*, University of California Press, Berkeley. Pp. 290-306.
- Bailey, R. S., R. W. Furness, J. A. Gauld & P. A. Kunzlik. 1989. Recent changes in the population of the sandeel (*Ammodytes marinus* Raitt) at shetland in relation to estimates of seabird predation. *ICES Marine Science Symposium* Vol. **193**: 209-216.
- Barrett, R. T. 1991. Shags (*Phalacrocorax aristotelis* L.) as potential samplers of juvenile saithe (*Pollachius virens* L.) stocks in northern Norway. *Sarsia* Vol. **76**: 153-156.
- Berruti, A. & J. Colclough. 1987. Comparisson of the abundance of pilchard in Cape Gannet diet and commercial catches off the Western Cape, South Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, **5**: 863-869.
- Botsford, L. W., J. C. Castilla & C. H. Peterson. 1997. The Management of Fisheries and Marine Ecosystems. *Science*, **277**: 509-515.
- Burger, A. E. & J. Cooper. 1984. The effects of fisheries on seabirds in South Africa and Namibia. En: D. N. Nettleship, G. A. Sanger & P. F. Springer (eds.), *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Pacific Seabird Group/Canadian Wildlife Service, Canada. Pp. 150-161.
- Cisneros-Mata, M. A., M. O. Nevárez-Martínez & M. G. Hammann. 1995. The rise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax sagax* Girard, in the Gulf of California, México. *CalCOFIREp.*, **36**: 136-143.
- Cisneros-Mata, M. A., G. Montemayor-López and M. O. Nevárez-Martínez. 1996. Modeling deterministic effects of age structure, density dependence, environmental forcing and fishing in the population dynamics of the Pacific sardine (*Sardinops sagax sagax*) stock of the Gulf of California. *CalCOFIREp.*, **37**: 201-208.
- Conser, R. J., K. T. Hill, P. R. Crone & D. Bergen. 2001. *Stock Assessment of Pacific sardine with management recommendations for 2001, Executive summary*. (Submitted to the Pacific Fishery Management Council, Portland, Or.) Disponible on line en: <http://swr.ucsd.edu/fmd/sardine.pdf>. [Consultada el 14-09-03]
- Crawford, R. J. M. 1998. Responses of African Penguins to regime changes of sardine and anchovy in the Benguela System. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, **19**: 355-364.
- Crawford, R. J. M. & B. M. Dyer. 1995. Responses by four seabird species to a fluctuating availability of Cape Anchovy *Engraulis capensis* off South Africa. *Ibis*, **137**: 329-339.
- Deriso, R. B., J. T. Barnes, L. D. Jacobson & P. R. Arenas. 1996. Catch-at-age analysis for Pacific sardine (*Sardinops sagax*), 1983-1995. *CalCOFIREp.*, **37**: 175-187.
- Fletcher, W. J. 1992. Use of a spatial model to provide initial estimates of stock size for a purse seine fishery on pilchards (*Sardinops sagax neopilchardus*) in Western Australia. *Fish. Res.*, **14**: 41-57.
- Furness, R. W. 1984. Seabird-fisheries relationships in the northeast Atlantic and North Sea. En: D. N. Nettleship, G. A. Sanger & P. F. Springer (eds.), *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Pacific Seabird Group/Canadian Wildlife Service, Canada. Pp. 162-169.
- Furness, R. W. 1999. Does harvesting a million metric tons of sand lance per year from the North Sea threaten seabird populations? En: *Ecosystem Approaches for Fisheries*

- Management*. University of Alaska Sea Grant College Program. AK-SG-99-01, 1999. Pp. 407-424.
- Furness, R. W. & R. T. Barrett. 1991. Ecological responses of seabirds to reductions in fish stocks in North Norway and Shetland. *Acta XX Congressus Internationalis Ornithologici*, Vol. 4: 2241-2245.
- Furness, R. W. & D. N. Nettleship. 1991. Seabirds as monitors of changing marine environments. *Acta XX Congressus Internationalis Ornithologici*, Vol. 4: 2239-2240.
- Furness, R. W. & M. L. Tasker (eds). 1999. *Diets of Seabirds and Consequences of Changes in Food Supply*. ICES Cooperative Research Report, 232, International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.
- Furness, R. W. & M. L. Tasker. 2000. Seabird-fishery interactions: quantifying the sensitivity of seabirds to reductions in sandeel abundance, and identification of key areas for sensitive seabirds in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **202**: 253-264.
- Hamer, K. C., R. W. Furness & R. C. Caldow. 1991. The effects of changes in food availability on the breeding ecology of great skuas *Catharacta skua* in Shetland. *J. Zool.*, London, **223**: 175-188.
- ICES. 1999. *Report of the ICES Advisory Committee on the Marine Environment, 1999*. International Council for the Exploration of the Sea Cooperative Research Report, 239. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.
- ICES. 2001. *Report of the ICES Advisory Committee on Ecosystems, 2001*. International Council for the Exploration of the Sea Cooperative Research Report, 249. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.
- Jacobson, L. D. & A. D. MacCall. 1995. Stock-recruitment models for Pacific sardine (*Sardinops sagax*). *Canadian J. Fish. Aqu. Sci.*, **52**: 566-577.
- Lewis, S., S. Wanless, P. J. Wright, M. P. Harris, J. Bull & D. A. Elston. 2001. Diet and breeding performance of black-legged kittiwakes *Rissa tridactyla* at a North Sea colony. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **221**: 277-284.
- MacCall, A. D. 1984. Seabird-fishery trophic interactions in eastern Pacific boundary currents: California and Peru. En: D. N. Nettleship, G. A. Sanger & P. F. Springer (eds.), *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Pacific Seabird Group/ Canadian Wildlife Service, Canada. Pp. 136-149.
- MacCall, A. D. 1979. Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. *CalCOFI Rep.*, **20**: 72-82.
- Martin, A. R. 1989. The diet of Atlantic puffin *Fratercula arctica* and northern gannet *Sula bassana* chicks at a Shetland colony during a period of changing prey availability. *Bird Study*, **36**: 170-180.
- Montevecchi, W. A. & A. Berruti. 1991. Avian indication of pelagic fishery conditions in the Southeast and Northwest Atlantic. *Acta XX Congressus Internationalis Ornithologici*, **4**: 2246-2256.
- Montevecchi, W. A. & R. A. Myers. 1995. Prey harvests of seabirds reflect pelagic fish and squid abundance on multiple spatial and temporal scales. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **117**: 1-9.
- Phillips, R. A., R. W. G. Caldow & R. W. Furness. 1996. The influence of food availability on the breeding performance and reproductive success of Arctic Skuas. *Ibis*, **138**: 410-419.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery: what have we learned? *CalCOFI Rep.*, **28**: 56-78.
- Ramírez, J., E. Velarde, G. Ceballos y E. Ezcurra. (en prensa). Eradication of introduced rodents and its effects in the breeding success of nesting seabirds in Isla Rasa, Gulf of California, México.
- Ratcliffe, N., R. W. Furness & K. C. Hamer. 1998. The interactive effects of age and food supply on the breeding ecology of great skuas. *J. Anim. Ecol.*, **67**: 853-862.
- Sánchez-Velasco, L., B. Shirasago, M. A. Cisneros-Mata & C. Ávalos-García. 2000. Spatial distribution of small pelagic fish larvae in the Gulf of California and its relation to the El Niño 1997-1998. *J. Plank. Res.*, **22**: 22-29.
- Schwartzlose, R. A., J. Alheit, A. Bakun, T. R. Baumgartner, R. Cloete, R. J. M. Crawford, W. J. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S. E. Lluch-Cota, A. D. MacCall, Y. Matsuura, M. O. Nevares-Martínez, R. H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K. V. Shust, M. N. Ward & J. Z. Zuzunaga. 1999. World-wide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, **21**: 289-347.
- Tobón, E. D. 1992. *Biología reproductiva de la golondrina marina elegante (Sterna elegans) con énfasis en la conducta dentro de las guarderías en la colonia de Isla Rasa, Golfo de California, México*. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Tordesillas, M. S. 1992. *Dieta del gallito de mar elegante (Sterna elegans) durante la temporada de 1985 y 1986 en Isla Rasa, Baja California, Aves: Laridae*. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Velarde, E. 1999. Breeding biology of Heermann's Gulls on Isla Rasa, Gulf of California, Mexico. *The Auk*, **116**: 513-519.
- Velarde, E. & D. W. Anderson. 1994. Conservation and management of seabird islands in the Gulf of California: setbacks and successes. En: D. N. Nettleship, J. Burger and M. Gochfeld (eds.), *Seabirds on islands: threats, case studies and action plans*. International Council for Bird Preservation, Technical Publication No.1: 229-243.
- Velarde, E., J. L. E. Cartron, H. Drummond, D. W. Anderson, F. Rebón Gallardo, E. Palacios & C. Rodríguez. 2005. Nesting seabirds of the Gulf of California's Offshore islands: diversity, ecology and conservation. En: J. L. E. Cartron, G. Ceballos & R. S. Felger (eds.), *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*, Oxford University Press, New York.
- Velarde, E. & E. Ezcurra. 2002. Breeding dynamics of Heermann's Gulls. En: T. Case, M. Cody and E. Ezcurra (eds.), *A New Island Biogeography of the Sea of Cortés*. Oxford University Press, Oxford. Pp. 313-325.
- Velarde, E., E. Ezcurra, M. A. Cisneros-Mata y M. F. Lavín. 2004. Seabird ecology, El Niño anomalies, and prediction of sardine fisheries in the Gulf of California. *Ecological Applications*, **14**(2): 607-615.
- Velarde, E., M. S. Tordesillas, L. Vieyra and R. Esquivel. 1994. Seabirds as indicators of important fish populations in the Gulf of California. *CalCOFI Rep.*, **35**: 137-143.
- WRI (World Resources Institute). 1994. *World Resources 1994-95*. Oxford University Press, Oxford.