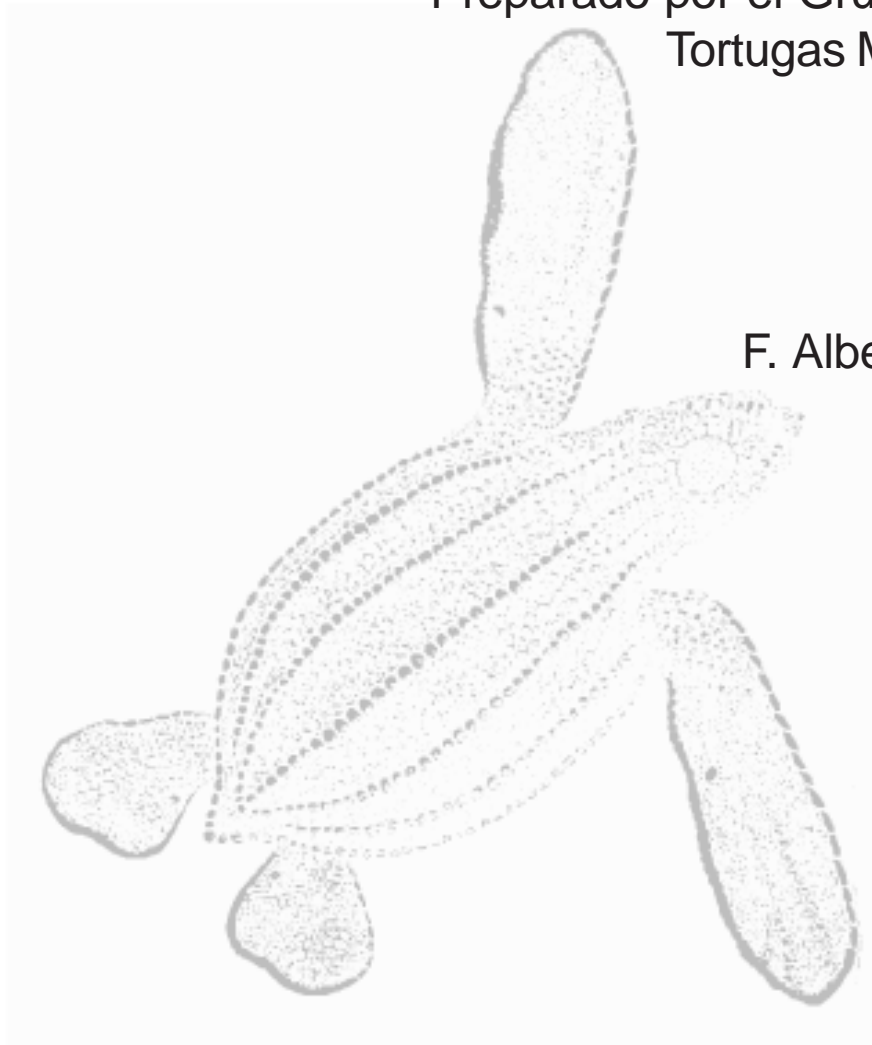


Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas

Preparado por el Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE

Editado por
Karen L. Eckert
Karen A. Bjorndal
F. Alberto Abreu-Grobois
M. Donnelly

Traducido al español por
Raquel Briseño-Dueñas
F. Alberto Abreu-Grobois
con la colaboración de
Laura Sarti Martínez
Ana Barragán Rocha
Juan Carlos Cantú
Ma. del Carmen Jiménez
Jaime Peña



WWF



CMS



SSC



NOAA



MTSG



CMC

El desarrollo y publicación de *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas* fué posible gracias al apoyo generoso de Center for Marine Conservation, Convention on Migratory Species, U.S. National Marine Fisheries Service y el Worldwide Fund for Nature.

©2000 SSC/IUCN Marine Turtle Specialist Group

La reproducción de esta publicación para fines educativos u otros propósitos no comerciales está autorizado sin permiso por el titular del derecho de autor, mientras que la fuente sea citada y que el titular reciba una copia del material reproducido.

La reproducción para fines comerciales está prohibida sin previa autorización del titular del derecho de autor.

ISBN (pendiente)

Impreso por Consolidated Graphic Communications, Blanchard, Pennsylvania USA

Material artístico para la cubierta, por Tom McFarland- Cría de tortuga laúd, *Dermochelys coriacea*

La cita correcta para esta publicación es la siguiente: Eckert, K. L., K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois y M. Donnelly (Editores). 2000 (Traducción al español). *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4.

Para adquirir copias de esta publicación, por favor solicitarlas a:

Marydele Donnelly, MTSG Program Officer
IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group
1725 De Sales Street NW #600
Washington, DC 20036 USA
Tel: +1 (202) 857-1684
Fax: +1 (202) 872-0619
email: mtonnelly@dccmc.org

Presentación

En 1995 el Grupo Especialista en Tortugas Marinas (MTSG por sus siglas en inglés) publicó una *Estrategia Mundial para la Conservación de Tortugas Marinas*. En ella, se definen lineamientos sobre los cuales se deben encauzar los esfuerzos para recuperar y conservar a poblaciones de tortugas marinas reducidas drásticamente o en proceso de declinación, en todo el ámbito de su distribución global. Como elementos singulares en la estructura funcional de ecosistemas complejos, las tortugas marinas sostienen una relación importante con hábitats costeros y oceánicos. Por ejemplo, contribuyen a la salud y el mantenimiento de los arrecifes coralinos, praderas de pastos marinos, estuarios y playas arenosas. La *Estrategia* respalda programas integrales orientados a prevenir la extinción de las especies y promueve la recuperación y el sostenimiento de poblaciones saludables de tortugas marinas que realizan eficientemente sus funciones ecológicas.

Las tortugas marinas y los humanos han estado vinculados desde los tiempos en que el hombre se estableció en las costas e inició sus recorridos por los océanos. Por innumerables generaciones, las comunidades costeras han dependido de las tortugas marinas y sus huevos para la obtención de proteínas y otros productos. En muchas regiones, esta práctica aún continúa. Sin embargo, durante el transcurso del siglo XX, el incremento en la comercialización intensiva de los productos de tortuga marina ha diezmando muchas poblaciones. Debido al complejo ciclo de vida de las tortugas marinas -en este proceso los individuos migran entre varios hábitats que pueden incluir la travesía de toda una cuenca oceánica- para su conservación, se requiere de una planeación del manejo con un enfoque de cooperación internacional, que reconozca la interconexión entre hábitats, de poblaciones de tortugas marinas y de poblaciones humanas, en tanto que se aplique el mejor conocimiento científico disponible.

A la fecha, nuestro éxito para llevar a cabo cualquiera de ambas tareas ha sido mínimo. Las especies de tortugas marinas están catalogadas como “En peligro crítico”, “En peligro” o “Vulnerable” por la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). La mayoría de las poblaciones han disminuido inexorablemente como secuela de las prácticas de extracción no sustentables para el aprovechamiento de su carne, concha, aceite, pieles y huevos. Decenas de miles

de tortugas mueren cada año al ser capturadas accidentalmente en artes de pesca activas o abandonadas. Asimismo, muchas áreas de anidación y alimentación han quedado inhabilitadas o presentan un franco deterioro, por los derrames de petróleo, acumulación de desechos químicos, plásticos no-degradables y otros desechos antropogénicos; aunado a los desarrollos costeros de alto impacto y, al incremento del turismo y la diversificación de estas actividades tanto en la zona costera como en la oceánica.

Para reforzar la supervivencia de las tortugas marinas, es indispensable que en todos los países localizados en las áreas de distribución de estas especies, el personal que realice los trabajos de conservación en el campo, recurra a lineamientos estandarizados y a criterios apropiados. Las técnicas de conservación y manejo estandarizadas promueven la recopilación de datos comparables y hacen posible el compartir los resultados entre los países y regiones.

En tanto que este manual tiene el propósito de cubrir la necesidad de lineamientos y criterios normalizados, reconoce a la vez, que un sector creciente de interesados en el trabajo de campo y tomadores de decisiones requieren orientación sobre las siguientes interrogantes: ¿cuándo y por qué seleccionar una opción de manejo entre las disponibles? y ¿cómo instrumentar efectivamente la opción seleccionada y evaluar los logros obtenidos?

El Grupo Especialista en Tortugas Marinas de la UICN considera que un manejo apropiado no puede realizarse sin el soporte de una investigación de alta calidad enfocada, en la medida de lo posible, hacia temáticas críticas para la conservación. Nuestra intención es que este manual sea de provecho a los interesados en la protección y manejo de las tortugas marinas de todo el mundo. Reconociendo que los programas con mayores logros, combinan las técnicas de censo tradicionales con el manejo de bases de datos electrónicas y el análisis genético con telemetría satelital; tecnologías que apenas podrían ser vislumbradas por los conservacionistas de la generación anterior, dedicamos este manual a los conductores del manejo y conservación de los recursos naturales del siglo XXI, quienes enfrentarán los cada vez más complejos retos de una administración apropiada. Esperamos que encuentren en este manual un entrenamiento y asesoría útiles.

Karen L. Eckert
Karen A. Bjorndal
F. Alberto Abreu Grobois
Marydele Donnelly
Editores

Agradecimientos

Congruente con el espíritu y estructura del Grupo Especialista en Tortugas Marinas de la Unión Mundial para la Naturaleza (MTSG/IUCN, por sus siglas en inglés), este manual es el resultado de los esfuerzos de colaboración de científicos y tomadores de decisiones situados alrededor del mundo. Los Editores estamos profundamente agradecidos por el apoyo y estímulo brindado por nuestros colegas así como por su buena disposición en compartir datos, experiencias y sabiduría. Tenemos una especial deuda con los autores y coautores - más de 60- que hicieron posible este manual, y con todos aquellos especialistas que participaron en el proceso de revisión crítica.

Las siguientes personas, con su revisión experta, contribuyeron sustancialmente a la obtención de la calidad final del manual: Ana Barragán (Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México); Anna Bass (University of Florida, USA); Miriam Benabib (Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México); Alan Bolten (University of Florida, USA); Annette Broderick (University of Wales Swansea, UK); Deborah Crouse (Fish and Wildlife Service, USA); Andreas Demetropoulos (Ministry of Agriculture and Natural Resources, Cyprus); Peter Dutton (National Marine Fisheries Service, USA); Scott Eckert (Hubbs-Sea World Research Institute, USA); Nat Frazer (University of Florida, USA); Jack Frazier (CINVESTAV, México); Marc Girondot (Université Paris 7-Denis Diderot, France); Brendan Godley (University of Wales Swansea, U.K.); Hedelvy Guada (WIDECAS, Venezuela); Julia Horrocks (University of the West Indies, Barbados); George Hughes (KwaZulu-Natal Nature Conservation Service, South Africa); Naoki Kamezaki (Sea Turtle Association of Japan); Rhema Kerr (Hope Zoological Gardens, Jamaica); Jeffrey Miller (Queensland Department of Environment and Heritage, Australia); Jeanne Mortimer (Conservation and National Parks, Republic of the Seychelles); Wallace J. Nichols (University of Arizona, USA); Joel Palma (World Wildlife

Fund-Philippines); Claude Pieau (Institut Jacques Monod, Paris, France); Henk Reichart (STINASU, Suriname); Rodney Salm (IUCN, Eastern Africa Regional Office); Laura Sarti M. (Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México); Barbara Schroeder (National Marine Fisheries Service, USA); Jeffrey Sybesma (Faculty of Law, University of the Netherlands Antilles); Robert van Dam (Institute for Systematics and Population Biology, The Netherlands); Alessandra Vanzella-Khoury (United Nations Environment Programme, Jamaica); and Jeanette Wyneken (Florida Atlantic University, USA).

También, hacemos extensivo nuestro profundo agradecimiento a Tom McFarland («Tom's Turtles») por su contribución artística. Su esmero por la precisión garantiza a los lectores de este manual un acceso a ilustraciones claras y exactas. Sus preciosos dibujos mejoran también la perspectiva de supervivencia de las tortugas marinas de una manera real, ya que una acción efectiva de conservación depende de datos verídicos, incluyendo una correcta identificación de las especies.

El manual no podría haberse realizado sin el apoyo financiero del Centro para la Conservación Marina (CMC), la Convención para Especies Migratorias (CMS), el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas de EUA (NMFS) y la Unidad de Investigación Cooperativa de Pesquería y Vida Silvestre de Florida (USGS, Department of the Interior, Research Work Order 172).

Deborah White Smith diseñó el estilo del manual y transformó docenas de capítulos individuales a un formato coherente. La traducción al español estuvo a cargo de Raquel Briseño Dueñas y F. Alberto Abreu-Grobois, con la participación de Ana Barragán, Juan Carlos Cantú, María del Carmen Jiménez Quiroz, Jaime Peña y Laura Sarti.

En suma, el proyecto resultó beneficiado con los talentos de más de 100 personas de todo el mundo.

¡A todos, nuestro más sincero agradecimiento!

Karen L. Eckert
Karen A. Bjorndal
F. Alberto Abreu Grobois
Marydele Donnelly
Editores

Tabla de Contenido

1. Generalidades

Introducción a la Evolución, Historias de Vida y Biología de las Tortugas Marinas	3
<i>A. B. Meylan y P. A. Meylan</i>	
Diseño de un Programa de Conservación	6
<i>K. L. Eckert</i>	
Prioridades para los Estudios sobre la Biología de la Reproducción y de la Anidación	9
<i>J. I. Richardson</i>	
Prioridades para la Investigación en Hábitats de Alimentación	13
<i>K. A. Bjorndal</i>	
Conservación Basada en la Comunidad	16
<i>J. G. Frazier</i>	

2. Taxonomía e Identificación de Especies

Taxonomía, Morfología Externa e Identificación de las Especies	23
<i>P. C. H. Pritchard y J.A. Mortimer</i>	

3. Evaluación de Poblaciones y de Hábitats

Estudios de Hábitat	45
<i>C. E. Diez y J. A. Ottenwalder</i>	
Prospecciones Poblacionales (Terrestres y Aéreas) en Playas de Anidación	51
<i>B. Schroeder y S. Murphy</i>	
Estudios de Poblaciones en Playas de Arribadas	64
<i>R. A. Valverde y C. E. Gates</i>	
Estudios en Hábitats de Alimentación: Captura y Manejo de Tortugas	70
<i>L. M. Ehrhart y L. H. Ogren</i>	
Estudios Aéreos en Hábitats de Alimentación	75
<i>T. A. Henwood y S. P. Epperly</i>	
Estimación del Tamaño de la Población	78
<i>T. Gerrodette y B. L. Taylor</i>	
Identificación de Poblaciones	83
<i>N. FitzSimmons, C. Moritz y B. W. Bowen</i>	

4. Metodologías y Procedimientos para la Colecta de Datos

Definición del Inicio: La Importancia del Diseño Experimental	95
<i>J. D. Congdon y A. E. Dunham</i>	
Sistemas de Adquisición de Datos para el Seguimiento del Comportamiento y la Fisiología de las Tortugas Marinas	101
<i>S. A. Eckert</i>	
Bases de Datos	108
<i>R. Briseño-Dueñas y F. A. Abreu-Grobois</i>	
Factores a Considerar en el Mercado de Tortugas Marinas	116
<i>G. H. Balazs</i>	
Técnicas para la Medición de Tortugas Marinas	126
<i>A. B. Bolten</i>	
Periodicidad en la Anidación y el Comportamiento entre Anidaciones	132
<i>J. Alvarado y T. M. Murphy</i>	
Ciclos Reproductivos y Endocrinología	137
<i>D. Wm. Owens</i>	
Determinación del Tamaño de la Nidada y el Éxito de la Eclosión	143
<i>J. D. Miller</i>	
Determinación del Sexo en Crías	150
<i>H. Merchant Larios</i>	
Estimación de la Proporción Sexual en Playas de Anidación	156
<i>M. Godfrey y N. Mrosovsky</i>	
Determinación del Sexo de Tortugas Marinas en Hábitats de Alimentación	160
<i>T. Wibbels</i>	
Muestreo y Análisis de los Componentes de la Dieta	165
<i>G. A. Forbes</i>	
Medición del Crecimiento en Tortugas Marinas	171
<i>R. P. van Dam</i>	
Redes de Recuperación y Monitoreo de Tortugas Varadas	174
<i>D. J. Shaver and W. G. Teas</i>	
Entrevistas y Encuestas en Mercados	178
<i>C. Tambiah</i>	

5. Reducción de Amenazas

Reducción de las Amenazas a las Tortugas	187
<i>M. A. G. Marcovaldi y C. A. Thomé</i>	
Reducción de las Amenazas a los Huevos y las Crías: Protección <i>In Situ</i>	192
<i>R. H. Boulon, Jr.</i>	

Reducción de las Amenazas a los Huevos y a las Crías: Los Viveros	199
<i>J. A. Mortimer</i>	
Reducción de las Amenazas al Hábitat de Anidación	204
<i>B. E. Witherington</i>	
Reducción de las Amenazas a los Hábitats de Alimentación	211
<i>J. Gibson y G. Smith</i>	
Reducción de la Captura Incidental en Pesquerías	217
<i>C. A. Oravetz</i>	
6. Crianza, Cuidado Veterinario y Necropsia	
La Crianza y Reproducción en Cautiverio de Tortugas Marinas: Una Evaluación de su Uso como Estrategia de Conservación	225
<i>J. P. Ross</i>	
Rehabilitación de Tortugas Marinas	232
<i>M. Walsh</i>	
Enfermedades Infecciosas en Tortugas Marinas	239
<i>L. H. Herbst</i>	
Toma de Muestras de Tejidos y Técnicas para la Necropsia	246
<i>E. R. Jacobson</i>	
7. Legislación e Instrumentación	
Grupos de Interés de las Bases y Legislación Nacional	252
<i>H. A. Reichart</i>	
Colaboración Regional	256
<i>R. B. Trono y R. V. Salm</i>	
Tratados Internacionales de Conservación	260
<i>D. Hykle</i>	
Aspectos Forenses	265
<i>A. A. Colbert, C. M. Woodley, G. T. Seaborn, M. K. Moore and S. B. Galloway</i>	

Estimación del Tamaño de la Población

Tim Gerrodette y Barbara L. Taylor

NOAA National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Science Center, P.O. Box 271, La Jolla, California 92038 USA; Tel: (TG) +1 (619) 546-7131; (BLT) +1 (619) 546-5620; Fax: +1 (619) 546-7003; email: (TG) timg@ucsd.edu; (BLT) taylor@ucsd.edu

Introducción

Estimar el tamaño de una población es fundamental para la ciencia, la conservación y el manejo de las tortugas marinas. Muchas de las amenazas a las poblaciones de estas especies no podrían evaluarse sin la estimación del tamaño de la población. Por ejemplo, si se conoce que cada año mueren 100 tortugas en las redes de pesca, ¿es ésta una amenaza importante? Si el tamaño de la población es de 1,000 tortugas, una mortalidad de 100 tortugas por año es, de hecho, una amenaza muy grave e inmediata pero, si el tamaño de la población es de 1,000,000 tortugas, la amenaza es mucho menos preocupante. Por otro lado, considerando que las poblaciones pequeñas están más expuestas a la extinción, la estimación del tamaño de la población también es esencial, porque nos permite evaluar el riesgo de extinción de una especie o de extirpación de una población.

Por las características del ciclo de vida de las tortugas marinas, es casi imposible estimar directamente el tamaño total de cualquier especie. En sustitución, se estima el tamaño de un segmento de la población en la fase adulta (típicamente, hembras reproductoras). Las tortugas marinas en su estadio juvenil, se distribuyen en hábitats pelágicos diseminados sobre extensas áreas, lo cual dificulta su localización y constituye un serio obstáculo para estimar el tamaño de este fragmento de la población. Por consiguiente, al discutir los tamaños poblacionales, es importante estar claro sobre qué parte de la población total estaría estimándose y los supuestos implicados en cualquier extrapolación de la población total (por ejemplo: la proporción del sexo 1:1 entre los adultos).

Otra distinción importante es la diferencia entre las estimaciones del tamaño relativo y del tamaño absoluto de población. El tamaño absoluto de la población es el número real de animales. El tamaño relativo de la población, también llamado índice del

tamaño de la población o índice de abundancia, es un número proporcional al tamaño absoluto de la población. A menos que el factor de proporcionalidad sea conocido, no hay ninguna manera de convertir una estimación de abundancia relativa a una estimación de abundancia absoluta. No obstante, la estimación de abundancia relativa puede ser muy útil. El ejemplo más común es la utilización del censo de nidos como un índice de abundancia. Estos datos pueden ser sumamente valiosos para detectar tendencias en la abundancia de las poblaciones a través del tiempo. La obtención de las estimaciones del tamaño relativo de la población son más sencillas y menos costosas que las estimaciones del tamaño absoluto de la población. Sin embargo, estimar el tamaño relativo de la población requiere más supuestos y, si estos se infringen, las estimaciones resultarán sesgadas.

Sesgo y Precisión

La calidad de cualquier estimación tiene dos medidas: sesgo y precisión. Es importante saber la distinción entre estos términos. Considere la analogía del tiro al blanco (Figura 1). Al comparar las Figuras A y B, se observa que los dos tiros son precisos (p. ej., los tiros no se dispersaron ampliamente alrededor del blanco), pero los tiros en B tienden a ser demasiado bajo. En términos estadísticos, los tiros en B tienen un sesgo (en sentido negativo). Ahora bien, considere el reto de estimar el número de nidos de tortuga cuando no se efectúan recorridos frecuentes por la playa para contar cada nido. Podemos suponer que algunos nidos se pasan por alto y, por consiguiente, el censo resultará con un sesgo negativo. Sin embargo, nuestra cuenta todavía es muy cercana al número verdadero. Para mejorar la precisión, se podría ajustar la mira de nuestra "arma de estimación" aplicando un factor de corrección. Por tanto, considere dos armas: el

mosquete de un soldado del siglo XVII y el rifle de un francotirador moderno. El rifle dispara con gran precisión y es equivalente a realizar una estimación de la abundancia con varianza muy baja, como el censo de nidos en una área con recorridos de observación muy frecuente. Sin embargo, incluso un francotirador, sería considerablemente menos preciso si utilizara el mosquete y obtendría un patrón de tiros más difuso que con el rifle (Figura C y D). Los estadísticos miden la precisión de una estimación por su varianza; así, los tiros en C y D tienen una alta varianza (precisión baja) en relación con A y B. Esta baja precisión es equivalente a las estimaciones de abundancia basadas en censos aéreos de tortugas en el mar, donde son raras, difíciles de visualizar y con una proporción desconocida de organismos que se encuentran debajo de la superficie del mar. Si no se corrigiera la proporción no visible, el resultado sería una estimación imprecisa y sesgada (Figura D).

Cuando se toman decisiones en base a una estimación, debe considerarse la calidad de la estimación. Por consiguiente, cada estimación del tamaño de la población debe acompañarse con la valoración del sesgo y la estimación de su varianza. La varianza es importante porque es una medida de la certeza (precisión) de la estimación. Si la estimación de un tamaño de población tiene una alta varianza, significa que no se tiene mucha seguridad de su valor,

y cualquier decisión de manejo basada en esta estimación debe considerarse muy cautelosamente. En su trabajo seminal sobre el manejo de recursos vivos, Holt y Talbot (1978) proponen que mientras menos precisos sean los datos, más conservadoras deben ser las decisiones de manejo. Por ejemplo, supongamos que una población de tortugas está decayendo. Si nuestras estimaciones de abundancia tienen una varianza alta, es probable que no se detecte esa disminución estadísticamente. Sin la estimación de la varianza los datos podrían interpretarse erróneamente, concluyendo que no existe ninguna disminución y, por consiguiente, no se tomaría ninguna acción de manejo. Por otro lado, si se tiene una estimación de la varianza, es posible calcular la probabilidad de la declinación de la población (Gerrodette, 1987, 1993; Taylor y Gerrodette, 1993).

La importancia de conocer la desviación depende de la pregunta bajo consideración. Por ejemplo, si se tiene interés en conocer las tendencias de la abundancia de hembras adultas, un índice de abundancia relativa puede ser suficiente (el sesgo es insignificante con tal de que sea constante). Por otro lado, si se quiere saber si un cierto nivel de mortalidad es demasiado alto (es decir, insostenible en el nivel de población) seguramente estaríamos buscando cómo eliminar el sesgo y realizar una estimación de la abundancia absoluta.

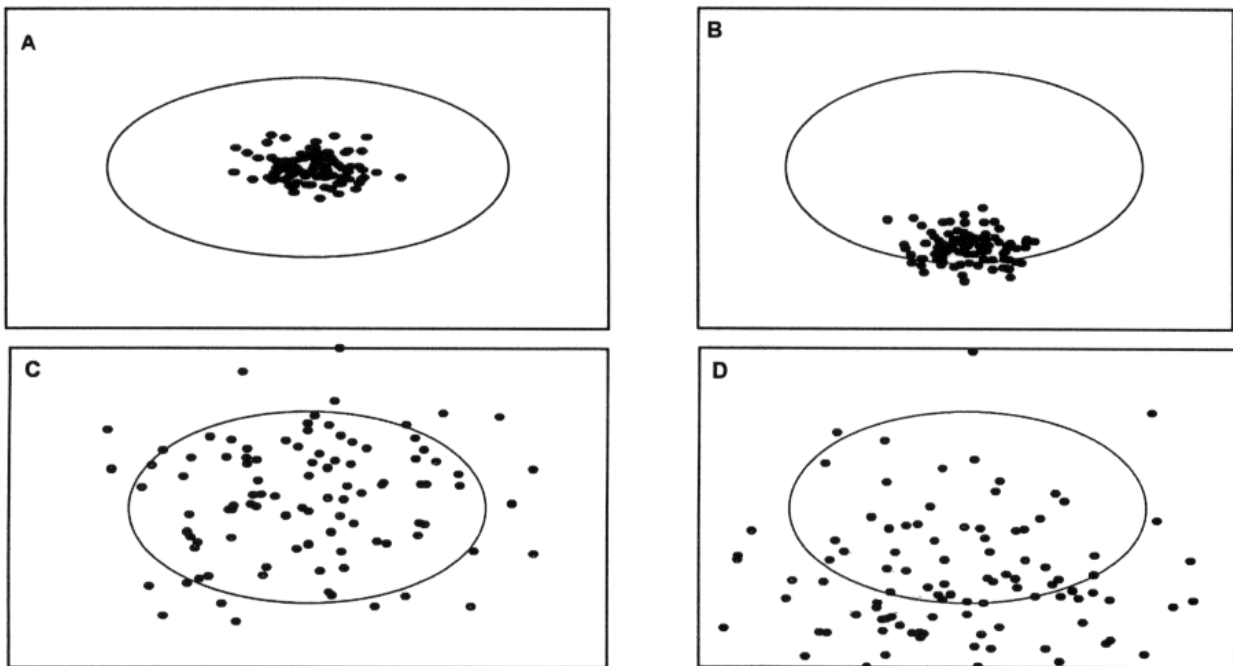


Figura 1. Patrón de tiros al blancos que demuestran (A) tiros precisos y exactos (no-sesgados), (B) tiros precisos pero inexactos, (C) los tiros imprecisos pero exactos, y (D) los tiros imprecisos e inexactos. (Fuente: White *et al.*, 1982).

Métodos para Estimar el Tamaño de la Población

Estimación de Tamaño Poblacional a Partir de Censos Realizados en Playa

Del número de nidos, el número de tortugas adultas (machos y hembras) puede ser estimado a partir de la siguiente ecuación:

$$\hat{N} = \left(\frac{\text{número de nidos}}{\text{de nidos}} \right) \div \left(\frac{\text{no. nidos por hembra}}{\text{por hembra}} \right) \div \left(\frac{\text{proporción de hembras anidando}}{\text{hembras anidando}} \right) \div \left(\frac{\text{proporción de hembras}}{\text{de hembras}} \right) \div \left(\frac{\text{proporción de playas cubiertas}}{\text{playas cubiertas}} \right)$$

Obviamente esta ecuación incluye la estimación de muchos componentes. La estimación de cada factor en la ecuación se cubre en otras secciones de este manual. La varianza de \hat{N} es una suma de la varianza de cada factor (suponiendo una independencia entre estos). El sesgo en \hat{N} , de manera similar, depende de los sesgos de cada uno de los factores en esta ecuación. Sin embargo, algunos componentes tienen una mayor probabilidad de contribuir al sesgo que otros. Por ejemplo, al intentar un censo completo de nidos, es probable que el censo sea ligeramente sesgado negativamente porque algunos nidos se pasan por alto. Por otro lado, una estimación incorrecta de la proporción de playas cubiertas podría contribuir grandes desviaciones positivas o negativas.

Estimación de Tamaño Poblacional por Medio de Muestras por Transecto

La estimación de tamaño de la población por medio de transectos es un método usado extensamente en los estudios de la fauna silvestre. Una referencia clásica es la monografía de Seber (1982). Pueden usarse avionetas para el censo de nidos sobre las playas (vea Schroeder y Murphy, este volumen). También, la estimación de la abundancia puede realizarse mediante avistamientos de tortugas en el mar, usando avionetas o embarcaciones. Debido a que las tortugas tienden a ocurrir en bajas densidades y es difícil observarlas, este tipo de estudios tienden a producir pocos avistamientos. Pero pueden conducirse en conjunto con otros estudios dirigidos a otras especies,

como aves marinas o mamíferos marinos. Para estimar la abundancia absoluta, tales estudios deben considerar la corrección de las tortugas sumergidas en el momento de los avistamientos

Hay dos tipos básicos de estudios en los métodos de transectos. Los transectos de franja, en los que se supone que una área de cierta anchura ha sido inspeccionada y no se ha pasado por alto ninguna tortuga dentro de una cierta distancia de la línea de rastreo. Esto no será cierto a menos que el ancho de la franja sea muy estrecho, en cuyo caso el estudio cubriría solamente una área pequeña y no sería muy eficiente. Transecto en línea (Buckland et al. 1993), este método que es nuevo y superior, ha reemplazado al método de transectos en franja. Los transectos lineales usan eficientemente todo los avistamientos, los modelos estadísticos para su aplicación están bien desarrollados y el software está disponible (ver nota al pie de página). Sin embargo, los transectos en línea requieren un mínimo de aproximadamente 30 avistamientos, y preferentemente más de 50, para estimar el tamaño de una población. También, mientras los transectos de franja simplemente requieren del número de avistamientos de las tortugas que ocurren a lo largo del transecto, en los transectos lineales también se requiere medir la distancia entre cada avistamiento y la línea de rastreo. Es decir, los transectos lineales requieren de información adicional y, si ésta es disponible, será posible mejorar la estimación.

Para los estudios de transectos, el número de tortugas es estimado por la siguiente ecuación:

$$\hat{N} = \frac{n}{2wlg} A,$$

en donde n = el número de avistamientos de la tortuga, l = la longitud del transecto, w = ancho del transecto al lado de la línea de rastreo, g = la porción de tortugas visibles, y A = el tamaño del área de estudio. La diferencia fundamental entre transectos en línea y transectos de franja es que en este último la anchura w es escogido de manera simple, mientras en un transecto lineal w es estimado de los datos y se llama "ancho de banda efectivo". La varianza de \hat{N} se estima de la varianza de las réplicas del transecto lineal,

Nota del autor: El software al que se hace referencia podrá ser obtenido bajo ningún costo, escribiendo a la Colorado Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Department of Fishery and Wildlife Biology, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, USA. El Software también se puede obtener a través de Internet en la direcciones electrónicas: <http://nmml.afsc.noaa.gov/distance/map.htm> (para análisis de transectos lineales); <http://www.cnr.colostate.edu/~gwhite/software.html> (para análisis de Marca-Recaptura)

suponiendo una distribución para n (generalmente la de Poisson), o por una técnica de muestreo iterativo computacional llamada "bootstrapping" (Efron y Tibshirani, 1993).

Estimación de Tamaño Poblacional por Marca-Recaptura

La técnica de marca-recaptura es un método común para estudios de estimación de abundancia de la fauna silvestre. Varios trabajos explican la teoría de marca-recaptura de una manera integral, discutiendo los supuestos y demuestran el proceso de la técnica (Cormack, 1979; Seber, 1982; Pollock et al., 1990). En este contexto, "marcaje" o "etiquetado" implica cualquier método para la identificación de tortugas de manera individual (vea Balazs, este volumen) y "recaptura" significa cualquier método de re-identificar en un tiempo posterior a un individuo ya marcado. Las tortugas podrían ser fotográficamente etiquetadas y recapturadas de manera individual, por ejemplo, por patrones únicos en los escudos, placas o manchas de sus caparazones o cabezas. El marcaje se usa ampliamente en los estudios de tortugas marinas, principalmente para obtener información sobre el crecimiento, migraciones y dinámica de la población (Chaloupka y Musick, 1997).

Los modelos de Marca-Recaptura existen en una gran variedad de formas. Los modelos "cerrados" suponen que ningún nacimiento, muertes, inmigración, o emigración ocurre durante el período de estudio así que sólo es aplicable para las poblaciones discretas de tortugas dentro de un periodo relativamente corto de tiempo (dentro de una temporada de anidación, por ejemplo). Los modelos "abiertos", por otro lado, permiten cambios en el tamaño de la población durante el período de estudio. Los modelos "abiertos", a menudo llamados modelos Jolly-Seber-Cormack para acreditar a sus diseñadores originales, estima la tasa de supervivencia así como la abundancia.

Puede haber sólo uno o múltiples períodos de marcaje, y sólo uno o múltiples períodos de recaptura. En general, el tamaño de la población es estimado suponiendo que la proporción de animales marcados en una muestra es igual a la proporción de animales marcados en la población. Un estimador simple, propuesto hace 100 años por Petersen para una población cerrada con un solo período de marcaje y un solo período de recaptura, es estimado en su versión original por la ecuación:

$$\hat{N} = \frac{nM}{m} ,$$

donde \hat{N} es el número de animales marcados en el primer período, y M es el número de animales capturados en el segundo período, de los cuales m , estaban marcados. Los modelos más complicados incluyen la estimación simultánea de tamaños de la población y tasas de supervivencia por cada año, y ninguna ecuación puede escribirse de manera simple para el estimador del tamaño de la población. Sin embargo, hay software disponible para llevar a cabo tales análisis, incluso la varianza de las estimación (ver nota al pie de página).

Las suposiciones generales para el análisis del método de Marca-Recaptura son: (1) no hay ningún nacimiento, muertes, inmigración, o emigración durante el período de estudio (aunque este supuesto puede descartarse para los modelos de la población abiertos, como se anotó anteriormente); (2) todos los animales tienen la misma probabilidad de ser marcados; (3) el marcaje no afecta la probabilidad de la recaptura; (4) las marcas no se pierden y mientras estén presente, siempre se detectan; y (5) los animales recapturados son una muestra aleatoria de la población.

Cuando se aplica el análisis marca-recaptura a las poblaciones de tortugas marinas hay varios problemas importantes. Uno es la pérdida de marcas (supuesto #4). Ya que cualquier tipo de "marca" puede perderse, la estimación de la proporción de pérdida de marcas es una parte importante de un análisis de Marca-Recaptura. Por supuesto, si la pérdida de marcas es baja, eso es bueno. Pero es más importante que la pérdida de las marcas sea consistente. La interpretación y el análisis de datos del método de Marca-Recaptura es más difícil si, durante los años, se han usado tipos diferentes de marcas, si las marcas se han aplicado en posiciones diferentes y si el marcaje lo han realizado personas diferentes con habilidad y experiencia variable. Con animales longevos, como las tortugas marinas, estos tipos de variación son inevitables, pero la importancia de mantener esta variación a un mínimo es incuestionable. Para interpretar los datos de marca-recaptura adecuadamente deben realizarse estudios específicos para estimar la pérdida de marcas (p. ej., McDonald y Dutton, 1996).

Otro punto importante es la aleatoriedad de las muestras (suposiciones #2 y #5). Al principio de un estudio es importante definir la población que será estimada, y tomar medidas para marcar y re-capturar la población al azar. ¿Si se marcan tortugas en una playa, por ejemplo, se estará estimando a una población

restringida a esa playa? Si las tortugas visitan otras playas, y las tortugas de otras playas están viniendo de vez en cuando a la playa estudiada, entonces la población que se está estimando no es solo para esa playa, sino también para una área más grande. También, ¿la playa estudiada es una muestra al azar de la población entera? Es importante considerar estas preguntas, y ponerlas a prueba si es posible. A diferencia de los estudios por medio de transectos, no es importante que el esfuerzo en estudios de Marca-Recaptura sea constante. El tamaño de las muestras del marcaje y de la recaptura pueden ser diferentes. Los métodos de captura de tortugas durante las fases de marcaje y de recaptura pueden ser diferentes. De hecho, puede haber alguna ventaja en utilizar diferentes métodos durante las dos fases porque pueden haber sesgos ligeramente diferentes. El elemento más importante es lograr una muestra al azar. El hecho de marcar y recapturar llanamente un número grande de tortugas arrojan datos sin sentido (por lo menos para la estimación de abundancia) a menos que se cumplan las suposiciones del análisis.

Literatura Citada

- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham y J. L. Laake. 1993. Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. Chapman & Hall, London.
- Chaloupka, M. Y. y J. A. Musick. 1997. Age, growth, and population dynamics, p.233-276. *In*: P. L. Lutz y J. A. Musick (Editores), The Biology of Sea Turtles. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Cormack, R. M. 1979. Models for capture-recapture, p.217-255. *In*: R. M. Cormack, G. P. Patil y D. S. Robson (Editores), Sampling Biological Populations. International Cooperative Publishing House, Fairland, Maryland.
- Efron, B. y R. Tibshirani. 1993. An Introduction to the Bootstrap. Chapman & Hall, New York.
- Gerrodette, T. 1987. A power analysis for detecting trends. *Ecology* 68:1364-1372.
- Gerrodette, T. 1993. TRENDS: Software for a power analysis of linear regression. *Wildlife Society Bulletin* 21:515-516.
- Holt, S. J. y L. M. Talbot. 1978. New principles for the conservation of wild living resources. *Wildlife Monographs* 59:1-33.
- McDonald, D. L. y P. H. Dutton. 1996. Use of PIT tags and photoidentification to revise remigration estimates of leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) nesting in St. Croix, U.S. Virgin Islands, 1979-1995. *Chelonian Conservation and Biology* 2:148-152.
- Pollock, K. H., J. D. Nichols, C. Brownie y J. E. Hines. 1990. Statistical inference for capture-recapture experiments. *Wildlife Monographs* 107:1-97.
- Seber, G. A. F. 1982. The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters, Segunda Edición. Macmillan Publishing Co., Inc., New York.
- Taylor, B. L. y T. Gerrodette. 1993. The uses of statistical power in conservation biology: the vaquita and northern spotted owl. *Conservation Biology* 7:489-500.
- White, G. C., D. R. Anderson, K. P. Burnham y D. L. Otis. 1982. Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations. Los Alamos National Laboratory Report LA-8787-NERP. U.S. Department of Energy. 235 pp.