

¡A contar cocodrilos! Comentarios y ejercicios básicos sobre algunos métodos para evaluar poblaciones silvestres

Fabio Germán Cupul-Magaña*

Resumen

¡A contar cocodrilos! Comentarios y ejercicios básicos sobre algunos métodos para evaluar poblaciones silvestres. *En la Sexta Reunión del Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación y Aprovechamiento de los Crocodylia en México, celebrada en agosto de 2004 en la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco, se discutió la importancia de homogenizar las técnicas de evaluación del número de cocodrilos en un ambiente particular, dada la variedad de procedimientos aplicados. Como parte de los objetivos de la reunión, se produjo este trabajo que presenta una exploración a diversos métodos de muestreo comúnmente empleados en México y en el mundo para el conteo de cocodrilos. Asimismo, se realiza un repaso de conceptos básicos estadísticos involucrados en la ecología de sus poblaciones.*

Palabras clave: Abundancia, composición de tallas, Crocodylia, densidad, métodos de muestreo.

Introducción

Una de las primeras preguntas que se plantea el estudioso de los cocodrilos, tiene que ver con la ocurrencia o no de estos reptiles dentro de ciertos ambientes naturales o artificiales. Una vez que ha podido corroborar su presen-

Abstract

Counting crocodiles! Comments and basics exercises about some methods to assess wildlife populations. *In the Sixth Meeting of the Technical Advisory Subcommittee for the Conservation and Utilization of Crocodylia in Mexico, held in August 2004 in the city of Puerto Vallarta, Jalisco, the importance of homogenizing techniques for assessing the number of crocodiles in a particular environment were discussed, given the variety of procedures applied. As part of the objectives of the meeting, this work was generated to show an exploration of various sampling methods commonly used in Mexico and around the world to count crocodiles. It also present a statistical brush up of basic concepts involved in the ecology of their populations.*

Key words: Abundance, Crocodylia, density, sampling methods, size composition.

Résumé

Comptons les crocodiles! Commentaires et exercices basiques sur certaines méthodes d'évaluation des populations sauvages de crocodiles. *La 6ème réunion du Sous-Comité Technique Consultatif pour la Conservation et l'Utilisation de Crocodylia au Mexique a eu lieu en août 2004 à Puerto Vallarta, Jalisco. Lors de celle-ci a été discutée l'importance de l'homogénéisation des techniques d'évaluation du nombre de crocodiles dans un environnement donné, vue la variété des procédés appliqués. Ce travail présente une exploration des différentes méthodes usuellement employées au Mexique et dans le monde pour le comptage des crocodiles. Il présente également une révision des concepts basiques statistiques utilisés dans l'écologie des populations de Crocodylae.*

Mots clefs: Abondance, composition en tailles, Crocodylae, densité, méthodes d'échantillonnage.

* Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa, Departamento de Ciencias Biológicas, Av. Universidad de Guadalajara 203, Delegación Ixtapa, Puerto Vallarta, 48280, Jalisco, México. Correo electrónico: fabio_cupul@yahoo.com.mx

caminadas a su protección, explotación, remoción o incluso su extirpación, cuatro conceptos englobados dentro de la expresión manejo de fauna silvestre.

El número de cocodrilos presentes en un ambiente, es una variable a la cual fácilmente se le da seguimiento intermitente (regular o irregular) en el tiempo, con el propósito de determinar cambios en algún o algunos de los parámetros poblacionales (densidad; tasas de mortalidad, de fecundidad, de inmigración, de emigración; abundancia; proporciones de sexo y edad; estado de salud); un proceso definido y conocido en estudios de conservación como "monitoreo" (Villaseñor-Gómez & Santana 2003).

Hasta aquí, parece que el registro y monitoreo del número de cocodrilos se remite a ir a buscarlos y contabilizarlos. Y así lo es, sólo que los investigadores, al elegir algún procedimiento o técnica de evaluación predeterminada, pueden provocar que sus resultados sean o no comparables con los de otro investigador; situación que, en menor o mayor grado, posiblemente repercuta en la adecuada construcción y operación de los programas de conservación de este grupo animal.

En la Sexta Reunión del Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación y Aprovechamiento de los Crocodylia en México, celebrada en agosto de 2004 en la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco, se discutió la importancia de homogenizar las técnicas de evaluación del número de cocodrilos en un ambiente particular, dada la variedad de procedimientos aplicados. Atendiendo esta inquietud, en este trabajo se presenta un breve desglose de los métodos más comúnmente empleados en México y en el mundo para la medición de esta variable. Sin embargo, la decisión sobre cuál método aplicar, dependerá de quienes se interesen por el manejo de estos reptiles.

Antes de iniciar, es importante recordar lo que Begon (1989) menciona con respecto a los métodos y modelos de cuantificación de poblaciones. Dicho autor establece que todos, por sí mismos, en esencia, son estériles, argumentando que los resultados obtenidos

de ellos, adquieren valor sólo mediante el conocimiento del problema biológico al cual se apliquen y del contexto biológico en el que se interpreten. Por lo que es necesario hacer hincapié en que la consideración de los problemas y de los contextos, debe preceder a la de las técnicas matemáticas.

Recientemente, García-Grajales *et al.* (2007a) realizaron un análisis completo sobre los métodos usados para estimar la abundancia de las poblaciones silvestres de los cocodrilos en México. Observaron que el 92.6% de los estudios emplearon el método convencional de conteos visuales nocturnos, mientras que en el 7.4% restante se aplicó el método de captura-recaptura. La información se generó a partir de la revisión de 27 trabajos de investigación (entre tesis, artículos y presentaciones en congresos).

Estadística básica

La aplicación de metodologías para la cuantificación del número de cocodrilos, tiene como objetivo presentar, resumir y caracterizar la información proveniente de los muestreos de campo; con la finalidad de generar conclusiones sobre ella. Dentro de estos procesos de análisis, es indispensable el uso de conceptos estadísticos básicos, los cuales serán presentados en esta sección como un simple repaso de nociones generales. Las aplicaciones presentadas en este apartado provienen en parte de los textos de Sigarroa (1985), Mendenhall (1987), Kazmier & Díaz-Mata (1993) y Levin & Rubin (1996).

Media o promedio

Cuando a lo largo de una serie de muestreos se ha reunido un conjunto de datos, es necesario condensarlos para que se revelen claramente las características principales del conjunto. Por ejemplo, si se tiene un grupo de conteos de cocodrilos para tres meses consecutivos, digamos: 25 en septiembre, 32 en octubre y 30 en diciembre, será interesante el establecer una medida cuantitativa que represente su comportamiento a lo largo de este lapso.

La medida representativa más común, denominada estadístico, es la media, promedio o media aritmética.

La media representa el centro de las observaciones del conjunto de datos o muestra. Consiste simplemente en la suma de todas las observaciones, divididas entre el número total:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1}{n} \sum x_i,$$

donde \bar{X} es el promedio, x_i es cada una de las observaciones y n es el total de observaciones. Para el ejemplo anterior, la media de cocodrilos observados durante tres meses es:

$$\bar{X} = \frac{(25 + 30 + 32)}{3} = \frac{1}{3}(87) = 29 \text{ cocodrilos}$$

Varianza y desviación estándar

Además de establecer un valor numérico como adecuado representante de un conjunto de observaciones, es importante también estimar su grado de representatividad. En el ejemplo anterior, se obtuvo el valor de 29 como representante de las observaciones de cocodrilos realizadas en tres meses consecutivos (25, 32 y 30); sin embargo, ¿cómo se puede estar tan seguro de ello? La respuesta es simple: una menor diferencia entre el promedio y los datos que lo generaron significa mayor representatividad; por el contrario, una mayor diferencia es sinónimo de menor representatividad.

De manera burda, la sentencia anterior engloba los conceptos matemáticos de varianza y desviación estándar (en esencia equivalentes). Ambos estadísticos pueden tomar valores numéricos que miden la dispersión (o diferencia) promedio que existe entre cada uno de los elementos de un conjunto de datos con respecto a su media; es decir, que tan diferentes son entre sí. Tanto la varianza como la desviación estándar son promedios, pero promedios de desviaciones o diferencias. La varianza no es de uso práctico (mas bien analítico), ya que mide la dispersión cuadrática de las observaciones (no es una variable lineal). Por tal motivo, se aplica la desviación estándar

o raíz cuadrada de la varianza, ya que tiene las mismas unidades de medición que la variable que la originó, y se le aprecia mejor como medida de dispersión.

La expresión matemática de la desviación estándar muestral es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}},$$

donde S es la desviación estándar, n número total de observaciones, \bar{X} promedio y x_i^2 es el cuadrado de cada observación. En nuestro ejercicio, el cálculo de la desviación estándar es:

$$S = \sqrt{\frac{\{(25)^2 + (32)^2 + (30)^2\} - (3)(29)^2}{3-1}} = 3.60 \text{ cocodrilos}$$

La desviación estándar es de 3.6 cocodrilos; es decir, en promedio las observaciones difieren 3.6 unidades del valor de la media. La desviación estándar es un estadístico que nos proporciona mayor información cuando tenemos otros valores de referencia para compararla. La varianza se obtiene del cuadrado de la desviación estándar, en este caso es: $S^2 = (3.6)^2 = 12.96$ cocodrilos²; cuyas unidades, al ser cuadráticas, no tienen representación física.

Generalmente, al expresar el promedio para una variable, éste va seguido por sus unidades de desviación estándar: 29 ± 3.6 cocodrilos, mismo que proporciona información sobre la dispersión y variabilidad de los registros.

Error estándar de la media

En estadística suele aplicarse el término "error" a la variación o variabilidad de los datos (que tan diferentes son unos de otros) obtenidos de un experimento (proceso de realizar una observación). Esta variabilidad ocurre por la naturaleza propia de las observaciones y por las condiciones físicas bajo las cuales se realiza el experimento. Por ejemplo, durante un conteo de cocodrilos, la variabilidad inherente se da como resultado de los distintos tamaños que

se pueden observar. La variabilidad debida a la conducción del experimento, pueden ser producto de las condiciones ambientales, días de muestreo, persona encargada de la contabilidad o registro, entre otros.

Ya se repasó el hecho de que la variabilidad puede ser medida a partir de la desviación estándar. Sin embargo, los estudiosos de la estadística prefieren emplear un término más completo para medirla: el de "error estándar". A diferencia de la desviación estándar que mide la variación como resultado de los valores que toma una variable; el error de estimación o estándar, además, permite estimar el grado de variación generado por el número de muestras que decidimos escoger. El error estándar de la media es medido como el recíproco de la desviación estándar de una media:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

donde $S_{\bar{x}}$ es el error estándar de la media, S es la desviación estándar muestral y n es el número total de muestras. Si obtenemos el error estándar para nuestro ejercicio, el resultado es:

$$S_{\bar{x}} = \frac{3.60}{\sqrt{3}} = 2.08 \text{ cocodrilos}$$

El resultado obtenido, 2.08 cocodrilos, además de reflejar el grado de dispersión de los datos con relación a la media, provee información sobre el "error" por seleccionar tres muestras. Lo que se busca al realizar un conteo de cocodrilos es reducir este "error" estándar, con un aumento adecuado en el número de muestreos: tan grande que no resulte tan caro y tan pequeño que proporcione un resultado confiable. Finalmente, es posible representar el promedio asociado con su nivel de error estándar: 29 ± 2.08 cocodrilos.

Abundancia y densidad

Antes de entrar en materia, es importante recordar un par de definiciones básicas de ecología de poblaciones. Por una parte, cuando se hace referencia al número de individuos dentro de un área determinada, se está hablando

de "Abundancia"; pero, cuando este número se expresa por unidad de área o volumen, indiscutiblemente se aplica el término "Densidad".

En los estudios sobre cocodrilos, el investigador se enfoca primeramente en conocer la "densidad absoluta" de la especie dentro de un ambiente en particular. Son comunes las expresiones de 2.5 cocodrilos/km, 5.6 cocodrilos/ha o 3.7 cocodrilos/km². Sin embargo, estos resultados se ven magnificados y adquieren una mayor valía cuando son comparados con los de otras localidades (casi siempre estamos interesados en si nuestra localidad contiene un mayor o menor número de individuos que otra), o cuando se está interesado en el cambio de una población a través del tiempo. Al realizar este tipo de comparaciones se hace uso del concepto de "densidad relativa" (con relación con un punto de comparación).

En estudios de densidad poblacional en cocodrilos, se puede distinguir entre densidad "cruda" y densidad "ecológica". La primera toma en cuenta toda el área del cuerpo de agua en donde se realiza la investigación. La segunda, por el contrario, excluye áreas que no son usadas por los cocodrilos (áreas expuestas a oleaje, de difícil acceso, con alta actividad humana, entre otras). De esta manera, para una misma superficie, se puede tener una densidad "cruda" calculada de 6.3 ind./km², frente a una densidad "ecológica" de 9.6 ind./km² (Schubert & Méndez 2000).

Observar y contar

La forma más directa de calcular el número de cocodrilos que viven en un área es contarlos. Por ello, resulta importante visualizarlos, lo cual se dificulta durante al día al ser organismos crípticos y de comportamiento elusivo y acechador. Sin embargo, al tratarse de organismos adaptados a condiciones de escasa luz, sus ojos poseen en la parte posterior un tapete de células (tapetum lucidum) que reflejan la luz exterior para hacerla pasar un par de veces por la retina y capturar mejor las imágenes nocturnas. Esta característica facilita ubicación, ya que al dirigir el haz de luz de una lámpara a sus ojos (hasta una distancia de 200 m), estos

despedirán un reflejo color naranja-rojizo que delatará su ubicación (Chabreck 1966) y permitirá inferir el tamaño relativo del individuo.

Además de contarlos, resulta indispensable establecer el tamaño relativo de los ejemplares para conocer la estructura de tallas o clases de edad de la población bajo estudio. Esta información es indispensable para entender la dinámica de la población y resolver preguntas tales como: ¿cuántas crías son reclutadas?, ¿existe dispersión o inmigración?, ¿la proporción de reproductores es la adecuada?, entre otras.

Las relaciones alométricas en los animales son de utilidad para estimar su tamaño corporal en relación con otras partes del cuerpo. Es frecuente que en los conteos nocturnos sólo se puedan visualizar los ojos o las cabezas de los cocodrilos. Afortunadamente, con la sola observación de esta fracción del cuerpo, es posible estimar el tamaño de los ejemplares (Verdade 2000). Chabreck (1966) sugirió que la distancia entre los brillantes ojos del caimán americano (*Alligator mississippiensis*) es proporcional a la longitud total del cuerpo. Para lograrlo, el investigador deberá estar familiarizado con los diversos tamaños de los cocodrilos y la relación que guardan con el espacio entre sus ojos; factor básico para reducir al mínimo el sesgo en la estimación.

Para realizar los conteos y evaluar la abundancia y densidad, los investigadores generalmente se montan en embarcaciones y recorren distancias establecidas a remo o con motor fuera de borda. Siempre se intenta realizar los recorridos con un ritmo y tiempo determinado y con condiciones lunares y de marea similares. También es posible realizar muestreos diurnos aéreos o en embarcaciones, sólo que presentan un mayor número de inconvenientes (O'Brien 1990).

Composición por tallas

Tradicionalmente, los investigadores que trabajan con el cocodrilo de río en México, *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807), han optado por emplear dos variantes al momento de agrupar y separar sus observaciones en clases de talla

mutuamente excluyentes, con la idea de simplificar el cúmulo de datos con los que cuentan y para que estos sean útiles. La primera considera de cinco hasta siete grupos o clases de talla o edad, de acuerdo con la longitud total del cuerpo: Clase I, menores de 60 cm; Clase II, de 60 a 120 cm; Clase III, de 120 a 180; Clase IV, de 180 a 240 cm; Clase V, de 240 a 300 cm (algunos investigadores toman sólo hasta la Clase V y establecen su intervalo de 240 cm y mayores); Clase VI, de 300 a 360 cm; y Clase VII, de 360 a 420 cm.

La segunda sólo toma en cuenta tres grupos o clases: juveniles, menores de 120 cm; subadultos, de 120 a 200 cm y adultos, mayores de 200 cm. Cuando los cocodrilos son observados, mas no se cuenta con el tiempo suficiente para asignarlos a alguna clase de tamaño porque se sumergieron, simplemente se contabilizan y se les agrupa en una clase aparte si se desea.

Ambas variantes utilizadas para la construcción de clases de talla en cocodrilos, se fundamentan en la idea básica que Petersen (1892, In: Sparre & Venema 1997) desarrolló para un especie de pez de Dinamarca. Petersen construyó sus clases como respuesta a un fenómeno fisiológico: la edad. Así, su clase I, menos de 5 pulgadas, correspondía a los nacidos en el año actual o edad 0+; la Clase II, de 5 a 8 pulgadas, correspondía a los nacidos un año anterior o edad 1+; y los Clase III, 9 y más pulgadas, nacidos dos años antes o más o edad 2+.

Una agrupación por clases, tal como lo sugiere Petersen, puede construirse para los cocodrilos si tenemos la oportunidad de capturar y medir el mayor número posible de ejemplares de todas las tallas representadas y asignarles una edad cronológica (frecuentemente la edad se asigna a partir de modelos de crecimiento construidos específicamente para el área en cuestión). En la mayoría de las investigaciones, las tallas se aproximan visualmente durante los conteos nocturnos y no se tiene la oportunidad de capturar a los ejemplares para medirlos físicamente, con lo que se añade error al análisis.

La formación de clases de tamaño de los cocodrilos en ambos procedimientos cocodrileros, parece que no fue concebida para agrupar individuos de una clase específica de edad o cohorte. Por ejemplo, se esperaría que la Clase I (menores de 60 cm), del primer procedimiento, sólo agrupara a aquellos individuos de edad 0+ o nacidos durante ese año en particular. Sin embargo, en mi experiencia con *C. acutus*, he observado que estos logran alcanzar hasta 71 cm de talla durante su primer año de vida (Cupul-Magaña *et al.* 2004); situación que nos llevaría a incluir en un conteo a organismos de este tamaño en la Clase II (60-120 cm). Lo anterior, puede causar una subestimación para la Clase I y sobreestimación de la Clase II. En este procedimiento, cada clase tiene un intervalo de 60 cm, lo que corresponde a la suma consecutiva del tamaño mínimo promedio que los cocodrilos alcanzan durante en su primer año, más que al resultado de algún proceso fisiológico observado en la especie.

Lo mismo sucede para la Clase III. Ésta agrupa observaciones entre 180 y 240 cm, lo que de acuerdo con el modelo de edad-talla para *C. acutus* (Cupul-Magaña 2002), corresponde a ejemplares con edades entre 8.73 a 13.21 años. Otra cuestión interesante es que esta clase en particular, congrega cocodrilos maduros (mayores de 200 cm) e inmaduros (menores de 200 cm) sexualmente (Cifuentes & Cupul 2004), lo que impediría diferenciar a los miembros de la fracción con potencial reproductor dentro de la población. Es decir, el empleo de cinco o más clases impide ver claramente algunas de las características de los datos que se han recogido.

Aunque en el segundo procedimiento las clases de talla también incluyen una amplia gama de edades, éstas responden más satisfactoriamente a lo que queremos observar de los datos: la estructura de la población, ya que estos tres grupos (juveniles, subadultos y adultos) describen un atributo cualitativo de los datos que los generaron. Los adultos de 200 cm y mayores representan la potencial fracción reproductiva de la población para dar continuidad a la especie en la región en cuestión. Los subadultos, de 120 a 200 cm, repre-

sentan la fracción que ha sobrevivido la etapa crítica de los primeros años y los que en un futuro formarán parte del "stock" reproductivo; en su número se pueden ver reflejados procesos de depredación, dispersión, condiciones fisicoquímicas y meteorológicas ambientales favorables o desfavorables, disponibilidad de alimento, perturbación ambiental y de la población, entre otros. Los juveniles, menores a 120 cm, incluye a aquellos individuos que se están incorporando a la población y nos puede informar sobre las capacidades reproductivas de la población en una localidad específica. La división de la población en tres grupos, también se justifica por el uso particular que cada uno de los grupos hace del hábitat (Schubert & Méndez 2000).

La Figura 1 es un ejemplo simple de la estructura de tallas para la población de *C. acutus* en Boca Negra, Jalisco, para el día 13 de enero del 2004, construida a partir de datos de conteos nocturnos. Esta misma gráfica puede ser construida expresando los valores originales en promedios de varios días o meses, o en proporciones o porcentaje del total de observaciones: Total= 45 (100%), juveniles= 35 (77.78%), subadultos= 4 (8.89%) y adultos= 6 (13.33%).

Como nota final de esta sección, es importante recordar que la anterior discusión es válida para el cocodrilo de río, por lo que se requiere trabajar en establecer los grupos o clases mas adecuados para las otras dos especies mexicanas: el caimán (*Caiman crocodylus chiapasius* Boucort, 1876) y el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii* Duméril & Bibron, 1851).

Métodos de muestreo

Bayliss (1987) expresa que los estudios poblacionales de cocodrilos persiguen dos objetivos principales: 1) Determinar la distribución y abundancia (dónde están los animales y cuántos hay) y 2) Monitorear los cambios en abundancia y distribución (si la población se incrementa, disminuye o se encuentra estable). Como se puede observar, el estudio del crecimiento, evolución y mantenimiento de las poblaciones de fauna silvestre depende

crucialmente de estimaciones del tamaño de las mismas (Schaeffer *et al.* 1987). Algunos métodos para el cálculo de tales tamaños de población, se exponen a continuación.

Método de Messel *et al.* (1981)

Consiste en realizar conteos nocturnos de cocodrilos. El método supone que los ejemplares observados representan la fracción visible de la población, ya que existe cierto número que no fue posible observar porque se sumergieron antes de que el haz de luz hiciera contacto con sus ojos, no se encontraban dentro del área de recorrido muestral o porque se ocultaron entre la vegetación (Schubert & Méndez 2000, Escobedo-Galván 2003, Cherkiss *et al.* 2006). La fracción visible puede ser calculada con la siguiente fórmula:

$$p = \frac{m}{(2s + m)1.05}$$

donde p es el porcentaje de la población observada durante un muestreo promedio, m es un valor promedio de número de cocodrilos observados y s es la desviación estándar.

Para obtener el porcentaje de la población observada, se requiere un valor promedio del número de cocodrilos observados durante los muestreos. Es decir, para obtener este valor promedio, se requiere al menos realizar un par de muestreos. Por ejemplo, los resultados de tres muestreos realizados en el 2004 para *C. acutus* en el estero Boca Negra, Jalisco son, el 13 de enero: 45 cocodrilos, el 17 de marzo: 58 cocodrilos, y el 10 de abril: 41 cocodrilos

El promedio y la desviación estándar para estos datos son: $m = 48$ y $s = 8.88$. Siempre será mucho mejor el realizar el mayor número de muestreos posible para reducir el valor de la desviación estándar y obtener mayor exactitud en nuestros resultados. Asimismo, de manera empírica, una menor variabilidad entre los registros obtenidos de conteos en campo, indica una mayor homogeneidad en los resultados, reflejo de que estamos contabilizando la fracción visible de la población sin tanto sesgo.

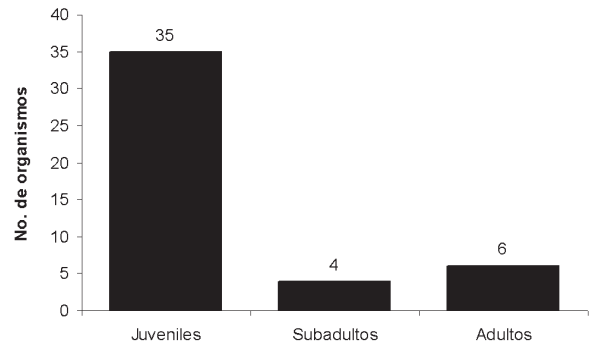


Figura 1. Estructura de tallas para la población de *C. acutus* en Boca Negra, Jalisco, para el día 13 de enero del 2004

Ahora, los datos son sustituidos en la ecuación anterior y se obtiene:

$$p = \frac{48}{(2(8.88) + 48)1.05} = 0.6952 = 69.52\%$$

El resultado indica que la fracción visible de la población para el estero Boca Negra en el periodo de enero a abril de 2004 es de 69.52%. Es importante recordar que este modelo se basa en una distribución normal de frecuencias (campana de Gauss), razón por la cual se supone normalidad en los datos de conteo de cocodrilos (Fig. 2).

Una vez calculada la fracción visible, es posible obtener el tamaño de la población (N) con un límite de confianza del 95%, de acuerdo con la siguiente ecuación (Messel *et al.* 1981):

$$N = \frac{m}{p} \pm \frac{[1.96(s)]^{1/2}}{p}$$

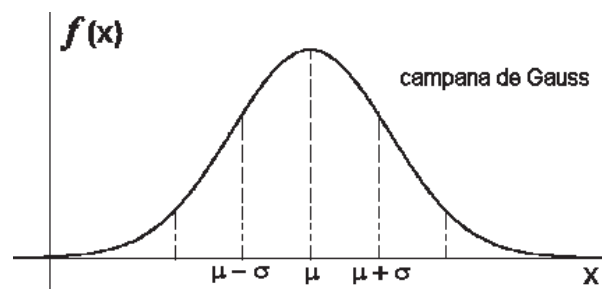


Figura 2. Distribución normal de frecuencias.

Al sustituir los resultados obtenidos del ejercicio anterior, tenemos:

$$N = \frac{48}{0.6952} \pm \frac{[1.96(8.88)]^{1/2}}{0.6952} = 69.04 \pm 6.00 \text{ cocodrilos,}$$

$$\text{ó } 63.04 \leq N \leq 75.04 \text{ cocodrilos}$$

El resultado obtenido indica que la población de cocodrilos para el estero Boca Negra, Jalisco, durante el periodo de enero a abril de 2004, oscila entre 63 y 75 ejemplares. Este mismo procedimiento puede ser aplicado para obtener el tamaño de la población por clases (Tabla I).

Este procedimiento fue aplicado con bastante éxito por Thorbjarnarson *et al.* (2000), para cuantificar el estatus de *C. porosus* en Myanmar, donde realizaron un par de recorridos durante el mes de enero de 1999, y de ahí derivaron recomendaciones de conservación de la especie para las autoridades de la entidad.

Modelos de captura-recaptura o de marca-recaptura

Estos son de los métodos más populares para evaluar el tamaño de una población. Consiste en la captura de individuos de una población de interés, los cuales son marcados (en cocodrilos se utiliza la amputación de escamas caudales, la colocación de etiquetas de plástico o la aplicación de clips metálicos) y liberados posteriormente. Después de un corto periodo (días o semanas), se obtiene una segunda muestra de la población. Algunos de los elementos de esta muestra son identifica-

dos por sus marcas colocadas previamente. Se espera que dentro de una población grande, el número de cocodrilos recuperados con marca sea pequeño; pero, si la población es pequeña, encontraremos en la segunda muestra un mayor número de ejemplares marcados del primer muestreo (Brower & Zar 1979).

Si lo anterior es correcto, la población total puede ser estimada de la siguiente manera:

$$N = \frac{(M)(n)}{R}$$

donde **N** es el total de la población, **M** es la muestra de individuos marcados durante el primer muestreo y liberados posteriormente, **n** es el número total de individuos recolectados durante el segundo muestreo (tanto marcados como no marcados), y **R** es el número de ejemplares recapturados en la segunda muestra (los que ya estaban marcados).

Como ejemplo, se presentan los datos para el grupo de los neonatos del estero Boca Negra, Jalisco, para los meses de junio y julio de 2003. El 27 de junio se capturan y marcan 17 neonatos. Siete días después, en un segundo muestreo, se recolectan nueve ejemplares, de los cuales seis fueron recapturas y tres fueron nuevas capturas. De acuerdo con estos datos, la población de neonatos estimada es:

$$N = \frac{(17)(9)}{6} = 25.5 \text{ cocodrilos}$$

El resultado obtenido se encuentra limitado por cuatro supuestos: 1) Ningún cocodrilo nace o migra hacia el área de estudio; 2) La misma tasa de animales marcados y no marca-

Tabla I. Tamaño de la población por clases de la población de cocodrilos para el estero Boca Negra, Jalisco.

Clases	13 enero	17 marzo	10 abril	m	s	p	N
Juvenil	35	49	31	38.33	9.45	0.6378	60.09 ±6.74
Subadulto	4	3	3	3.33	0.57	0.7130	4.67 ±1.48
Adulto	6	6	7	6.33	0.57	0.7653	8.27 ±1.38
Total	45	58	41				

dos mueren o salen del área de estudio; 3) La probabilidad de captura es igual para todos los animales; y 4) No se pierde ninguna marca. El error estándar se estima de la siguiente forma:

$$SE = \sqrt{\frac{(M)(n)(M-R)(n-R)}{R^3}}$$

al sustituir los datos tenemos:

$$SE = \sqrt{\frac{(17)(9)(17-6)(9-6)}{(6)^3}} = 4.83 \text{ cocodrilos}$$

Modelo de Schumacher

Generalmente se tiene más de una serie de muestreos en donde se realiza la captura, marque y liberación. Para estos casos es posible emplear el modelo Schumacher o de Peterson (Schubert & Méndez 2000); aunque existe una gran variedad que se pueden aplicar de acuerdo a las condiciones de muestreo. A continuación se describe el primero:

$$N = \frac{\sum M_i^2 n_i}{\sum M_i m_i}$$

donde N es el tamaño de la población, M_i es el número total de animales marcados en la población inmediatamente anterior a la captura número i , n_i es el número de animales capturados en la ocasión i , y m_i es el número de animales marcados previamente y capturados en

la ocasión i . Con información ficticia se puede ilustrar la aplicación del modelo (Tabla II):

$$\begin{aligned} \sum M_i^2 n_i &= 1,247,431 \quad , \\ \sum M_i n_i &= 13,399 \quad , \\ \sum m_i &= 66 \quad , \\ \sum \left(\frac{m_i^2}{n_i} \right) &= 29.82 \quad , \end{aligned}$$

al sustituir los datos en la ecuación, se tiene:

$$N = \frac{1,247,431}{6,085} = 205.00 \text{ animales}$$

El error estándar para la estimación del tamaño poblacional, se obtiene de acuerdo con la siguiente ecuación (j es el número total de muestreos):

$$\sqrt{\text{Var}\left(\frac{1}{N}\right)} = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{m_i^2}{n_i} \right) - \frac{(\sum M_i m_i)^2}{\sum (M_i^2 n_i)}}{(j-2) \sum (M_i^2 n_i)}$$

al sustituir los datos correspondientes se tiene:

$$\sqrt{\text{Var}\left(\frac{1}{N}\right)} = \sqrt{\frac{29.82 - \frac{(6,085)^2}{1,247,431}}{(5-2)(1,247,431)}} = 0.000191484$$

Este error estándar es el inverso del tamaño de la población ($1/N$). Además, para obte-

Tabla II. Datos ficticios para realizar el ejercicio con el modelo de Schumacher.

Muestreo (i)	Tamaño de muestra (n _i)	Animales capturados	Animales marcados por primera vez	Animales marcados en la población inmediata anterior	M _i ²	M _i ² n _i	M _i m _i	M _i n _i	m _i ²	m _i ² /n _i
1	40	---	40	---	---	---	---	---	---	---
2	44	9	35	40	1,600	70,400	360	1,760	81	1.84
3	38	14	24	75	5,625	213,750	1,050	2,850	196	5.15
4	46	24	22	99	9,801	450,846	2,376	4,554	576	12.52
5	35	19	16	121	14,641	512,435	2,299	4,235	361	10.31

ner los límites de confianza de la estimación poblacional con un 95% de confianza, asignamos un valor crítico de t de 2.776 con cuatro grados de libertad ($j-1$). Con esto tenemos que los límites son:

$$\limsup \frac{1}{N} = \frac{1}{205} + (2.776)(0.000191484) = 0.005409607 ,$$

$$\limsup N = \frac{1}{0.005409607} = 184.85 \text{ animales, y}$$

$$\liminf \frac{1}{N} = \frac{1}{205} - (2.776)(0.000191484) = 0.004346489 ,$$

$$\liminf N = \frac{1}{0.004346489} = 230.07 \text{ animales}$$

Lo anterior indica que el valor estimado de la población oscila entre 184.85 y 230.07 animales.

Modelo de Peterson

Para estimar el tamaño de la población de acuerdo con el modelo de Peterson, se aplica la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\sum M_i n_i}{\left(\sum m_i\right) + 1} ,$$

sustituyendo los datos de la tabla anterior, se tiene:

$$N = \frac{13,399}{(66) + 1} = 199.98 \text{ animales}$$

El error estándar para la estimación poblacional por el método de Peterson se obtiene de la siguiente manera:

$$SE = N \sqrt{\frac{1}{\sum m_i + 1} + \frac{2}{(\sum m_i + 1)^2} + \frac{6}{(\sum m_i + 1)^3}} ,$$

sustituyendo se tiene:

$$SE = 199.98 \sqrt{\frac{1}{66+1} + \frac{2}{(66+1)^2} + \frac{6}{(66+1)^3}} = 24.80 \text{ animales}$$

El total de animales observados es de 199.98 ± 24.80 ó $175.18 \leq N \leq 224.78$.

Modelo de estimador geométrico de capturas-recapturas

Supone que no hay nacimientos durante el año posterior a la etapa reproductiva; que no ocurren migraciones; los animales marcados y no marcados mueren y dejan el área de estudio a la misma velocidad; que no se pierden las marcas y no asume igualdad de captura (Edwards & Eberhardt 1967, Eberhardt 1969). El modelo es el siguiente:

$$N = \sum n_x / q,$$

$$q = 1-p,$$

$$p = (\sum n_x / \sum x n_x)$$

donde la $\sum x n_x$ es el número total de capturas, $\sum n_x$ es el número total de animales manipulados, N es la estimación de la población y $q = 1-p$ es el parámetro estimado de la distribución geométrica.

Si durante un estudio de campo de varios meses se manipulan 150 ejemplares (capturados) y se capturan 46 (recapturados), entonces p será igual a 0.30 por dividir los recapturados entre los capturados. Si este valor de 0.30 lo restamos a uno, entonces tenemos el valor de q igual a 0.70. Para estimar la población, se divide el total de animales capturados (150) entre p (0.70) y se tiene que es de 214 animales. Lo mejor es trabajar estas estimaciones por grupo o clase de edad. Asimismo, es posible, estimar el ajuste de estos valores a los reales a través de pruebas estadísticas de bondad de ajuste. Se considera un modelo realista para estimar la abundancia (García-Grajales *et al.* 2007b).

Método del valor máximo del número de individuos observados

Este es un método simple de aplicar y no se encuentra relacionado con el tipo de distribución de probabilidad que asuma la fracción visible de la población (ya sea normal o binomial). El método fue propuesto por King & Messel (*In*: Cerrato 1991), y consiste en dividir el valor promedio de individuos observados entre el número máximo de individuos observado durante todo el estudio.

Por ejemplo, en una salida al campo, muestreo o recorrido, se realiza el conteo de todos los cocodrilos observados (si se desea, este análisis se puede operar por clases). Digamos que se realizaron cinco muestreos (los muestreos se realizan en horas o días diferentes y bajo condiciones similares), de cada uno se tendrá el conteo total de cocodrilos avistados. Los resultados fueron muestreo 1 (20 cocodrilos), muestreo 2 (18), muestreo 3 (25), muestreo 4 (15), muestreo 5 (10). Primero se obtiene el promedio o media de las observaciones para los cinco muestreos:

$$\bar{X} = \frac{88}{5} = 17.6 \text{ cocodrilos}$$

ahora, de todos los registros, se selecciona el mayor o valor máximo: 25. Para obtener el valor de la proporción o fracción visible observada (p), se divide el promedio \bar{X} entre el valor máximo:

$$p = \frac{17.6}{25} = 0.704 = 70.4\%$$

El resultado indica que el valor máximo observado, 25, representa el 70.4% de la población total; misma que se puede estimar (por una simple regla de tres) en aproximadamente 35.41 cocodrilos.

En estudios de campo, se ha observado la no existencia de diferencias significativas entre los valores poblaciones obtenidos a partir del método de Messel *et al.* (1981) y el de King & Messel (*In*: Cerrato 1991). Como consideración final, es importante recalcar que la selección de algún método en particular se encontrará en función de las condiciones de tiempo, dinero y esfuerzo que se quieran o puedan invertir.

Agradecimientos

Se agradecen los comentarios y sugerencias de Rogelio Cedeño Vázquez (Inst. Tec. de Chetumal, Quintana Roo) y de dos árbitros anónimos. Asimismo, a Amélie Dutoit (UMAR, Huatulco) quien tradujo el resumen al francés.

Referencias

- Bayliss, P. 1987. Survey methods and monitoring within crocodile management programmes. Pp: 157-175, *In*: Webb, G.J.W., S.C. Manolis & P.J. Whitehead (eds.), Wildlife management: crocodiles and alligators. Surrey Beatty and Sons, Australia.
- Begon, M. 1989. Ecología animal: modelos de cuantificación de poblaciones. Trillas, México, 134 pp.
- Brower, J.E. & J.H. Zar. 1979. Field and laboratory methods for general ecology. W.M.C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa, Estados Unidos, 194 pp.
- Cerrato, C. 1991. Composición y tamaño de poblaciones silvestres de caimanes (*Caiman crocodilus chiapasius*) y cocodrilos (*Crocodylus acutus*) de la costa del Caribe de Honduras, Centro América. Tesis de Maestría, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Chabreck, R.H. 1966. Methods of determining the size and composition of alligator populations in Louisiana. Proc. SE. Assoc. Game Fish Comm. 20: 105-112.
- Cherkiss, M.S., F.J. Mazzotti & K.G. Rice. 2006. Effects of shoreline vegetation on visibility of american crocodiles (*Crocodylus acutus*) during spotlight surveys. Herpetology Review 37(1): 37-40.
- Cifuentes, J.L. & F.G. Cupul. 2004. ¿Los terribles cocodrilos? Fondo de Cultura Económica, México, 136 pp.
- Cupul-Magaña, F.G. 2002. Edad del cocodrilo de río, *Crocodylus acutus*, usando el modelo de von Bertalanffy. Bol. Soc. Herpetol. Mex. 10(2): 47-50.
- Cupul-Magaña, F.G, A. Rubio-Delgado & A. Reyes-Juárez. 2004. Crecimiento en talla y peso del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) durante su primer año de vida. Rev. Esp. Herp. 18: 55-61.
- Eberhardt, L.L. 1969. Population estimates from recapture frequencies. J. Wildl. Manage. 33(1): 29-39.
- Edwards, W.R. & L. Eberhardt. 1967. Estimating cottontail abundance from livetrapping data. J. Wildl. Manage. 31(1): 87-96.
- Escobedo-Galván, A.H. 2003. Períodos de actividad y efecto de las variables ambientales en cocodrilos (*Crocodylus acutus* Cuvier, 1807): evaluando los métodos de determinación de la fracción visible. Ecología Aplicada 2(1): 136-140.
- García-Grajales, J., A. Buenrostro-Silva & A.H. Escobedo-Galván. 2007a. Análisis de los métodos usados para estimar la abundancia de las poblaciones silvestres de cocodrilos (*Crocodylus*) en México. Ciencia y Mar 11(31): 23-32.
- García-Grajales, J., G. Aguirre-León & A. Contreras-Hernández. 2007b. Tamaño y estructura poblacional de *Crocodylus acutus* (Cuvier, 1807) (Reptilia: Crocodylidae) en el estero La Ventanilla, Oaxaca, México. Acta Zoologica Mexicana 23(1): 53-71.

- Kazmier, L. & A. Díaz-Mata. 1993. Estadística aplicada a la administración y a la economía. McGraw-Hill, México, 520 pp.
- Levin, R.I. & D.S. Rubin. 1996. Estadística para administradores. Prentice-Hall, México, 1018 pp.
- Mendenhall, W. 1987. Introducción a la probabilidad y estadística. Grupo Editorial Iberoamérica, México, 626 pp.
- Messel, H., G.C. Vorlicek, A.G. Wells & W.J. Green. 1981. Surveys of tidal river systems in Northern Territory of Australia and their crocodile populations. Monograph 1. Pergamon Press. Sydney.
- O'Brien, T.G. 1990. A comparison of 3 survey methods for estimating relative abundance of rare crocodilians. Pp: 91-108, In Crocodiles. Proceedings of the 10th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group, IUCN. The World Conservation Union. Gland, Suiza.
- Scheaffer, R.L., W. Mendenhall & L. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- Schubert, A. & H. Méndez. 2000. Métodos para estimar el tamaño de la población del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en el Lago Enriquillo, República Dominicana. Pp: 372-381, In: Crocodiles. Proceedings of the 15th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group, IUCN. The World Conservation Union, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Sigarroa, A. 1985. Biometría y diseño experimental. Partes 1 y 2. Editorial Pueblo y Educación, Cuba, 593 pp.
- Sparre, P. & S.C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1: Manual. Documento Técnico de Pesca, FAO 306/1, Rev. 2. Roma.
- Thorbjarnarson, J., S.G. Platt & U.S.T. Khaing. 2000. A population survey of the estuarine crocodile in the Ayeyarwady Delta, Myanmar. *Oryx* 34(4): 317-324.
- Verdade, L.M. 2000. Regression equations between body and head measurements in the broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*). *Rev. Brasil. Biol.* 60(3): 469-482.
- Villaseñor-Gómez, J.F. & E. Santana. 2003. El monitoreo de poblaciones: herramienta necesaria para la conservación de aves en México. Pp: 224-262, In: Gómez de Silva, H. & A. Oliveras de Ita (eds.), Conservación de las aves: experiencias en México. CIPAMEX, México.

Recibido: 1° de julio de 2008.

Aceptado: 15 de diciembre de 2009.