

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Escondido
División de Estudios de Posgrado



Maestría en Ciencias Genómicas

Líneas de Investigación:

- Biotecnología
- Genética y Genómica
- Sanidad animal

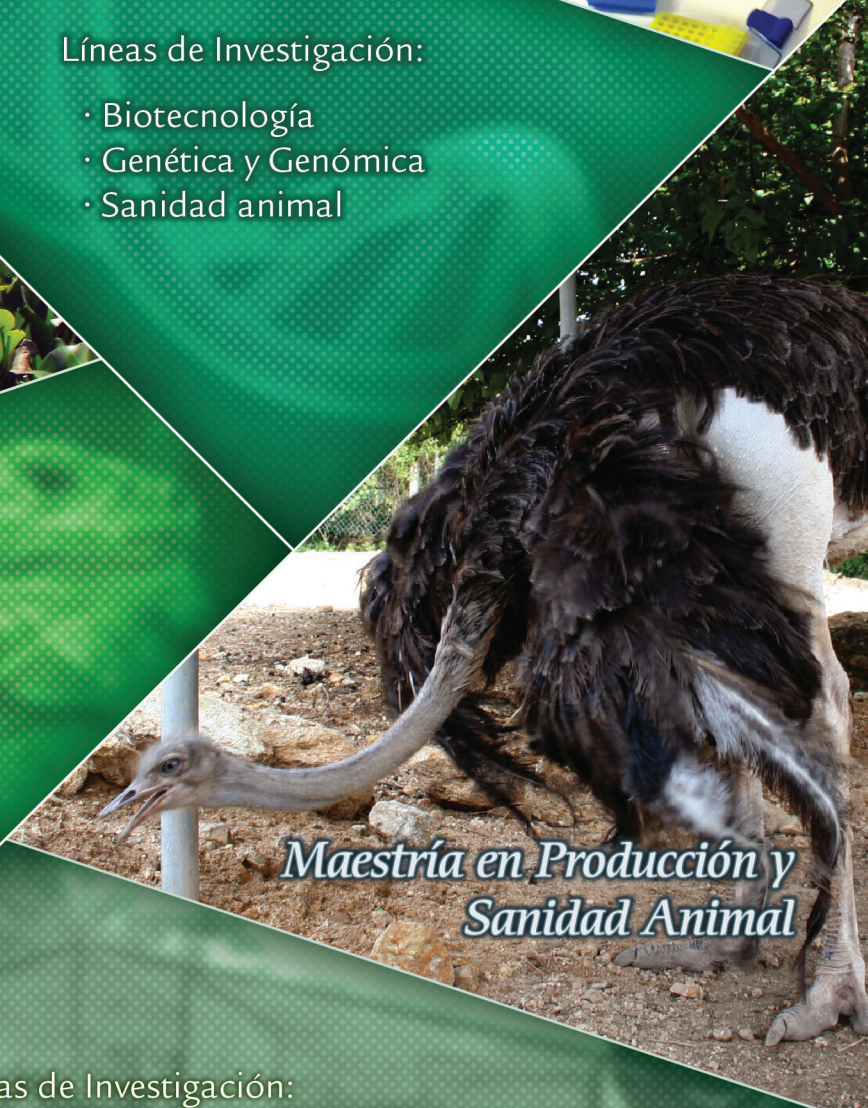


Maestría en Ciencias: Manejo de Fauna Silvestre

Líneas de Investigación:

- Ecología y Conservación de la Fauna silvestre
- Desarrollo sustentable
- Interacciones biológicas

Becas CONACYT



Maestría en Producción y Sanidad Animal

Líneas de Investigación:

- Producción animal en especies convencionales y no convencionales
- Socio-economía de la producción pecuaria
- Sanidad animal

Informes

Dr. Miguel Ángel Ahumada Sempoal
Jefe de la División de Estudios de Posgrado

Tel. (958) 584 3057 Ext. 111

Fax. (958) 584 3078

posgrado@huatulco.umar.mx

www.umar.mx

Elaboración de un modelo matemático para estimar la riqueza de especies de aves en el municipio de Santa María Colotepec, Oaxaca

Sergio Machorro Sámano^{1*}, Lorenzo Ruiz Santos² & José Luis Arcos García³

Resumen

La riqueza de especies describe en forma rápida a una comunidad y las curvas de acumulación son una herramienta muy útil para cuantificarla. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un modelo de tres parámetros para describir la riqueza de aves en el municipio de Santa María Colotepec, Oaxaca, y contrastarlo con la ecuación de Clench para presentar una alternativa de mejor ajuste entre los datos experimentales y el modelo teórico.

El estudio se realizó en Santa María Colotepec, Oaxaca, México. Se llevaron a cabo 14 muestreos de campo, con redes de niebla, transectos y registro no sistemático. Se reconocieron 95 especies de aves, pertenecientes a 74 Géneros, 30 Familias y 12 Órdenes. Con base en el número de especies observadas y utilizando el método de regresión de Gauss-Newton, se obtuvo el modelo matemático con un valor asintótico (punto crítico) de 98 ± 2 especies y $r^2 = 0.992$. De acuerdo con el punto crítico y el esfuerzo de muestreo, falta por registrar el 3% de la avifauna en el área de estudio. Se concluye que el modelo matemático desarrollado tiene un mejor ajuste que la ecuación de Clench para predecir la riqueza de aves en la zona ensayada.

Palabras clave: Aves, modelo matemático, curva de acumulación de especies, punto crítico, esfuerzo de muestreo.

Abstract

Species richness is described in short form as a community, and accumulation curves are a very useful tool to quantify it. The objective of this work was to develop a three-parameter model to describe the richness of birds in the municipality of Santa María Colotepec, Oaxaca, and contrast it with the Clench equation to present an alternative for better adjustment between the experimental data and the theoretical model. The study was performed in Santa María Colotepec, Oaxaca, México. Fourteen field samplings were carried out, using fog nets, transects and non-systematic recording. Ninety-five species of birds were recognized, belonging to 74 genera, 30 families and 12 orders. Based on the number of species observed and using the Gauss-Newton regression method, we obtained the mathematical model with an asymptotic value (critical point) of 98 ± 2 species, $r^2 = 0.992$. According to the critical point and the sampling effort, 3% of the set of birds in the study area have yet to be recorded. It is concluded that the mathematical model developed has a better adjustment than the Clench equation to predict the richness of birds in the area tested.

Key words: Birds, mathematical model, species accumulation curve, critical point, sampling effort.

Recibido: 19 de abril de 2018

Aceptado: 10 de septiembre de 2018

¹ Instituto de Industrias, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, km 3.5 carretera Puerto Escondido-Oaxaca, Puerto Escondido, Oaxaca, 71980 México.

² Consultor independiente. Domicilio conocido, Barra de Navidad, Santa María Colotepec, Puerto Escondido, Oaxaca, 71980 México.

³ Instituto de Ecología, Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, km 3.5 carretera Puerto Escondido-Oaxaca, Puerto Escondido, Oaxaca, 71980 México.

* Autor de correspondencia: machorro@zicatela.umar.mx (SMS)

Introducción

Medir la diversidad biológica en cierta región es importante ya que además de aportar conocimientos a la teoría ecológica, permite contar con parámetros para la toma de decisiones en políticas de conservación de áreas en riesgo (Moreno 2001). Un parámetro para medir la biodiversidad es la riqueza específica, constituida por la cantidad de especies presentes en una comunidad. Esto resulta conveniente debido a la facilidad de medir cuantitativamente a partir de las observaciones en una zona en particular (Valqui & Tomas 2007).

Las curvas de acumulación de especies son una herramienta muy útil para describir la riqueza en cierta región, además que permiten planificar el esfuerzo de muestreo de una manera más eficiente (Jiménez-Valverde *et al.* 2003).

O'hara (2005) menciona que en algunos casos es posible registrar a todas las especies de una comunidad, sin embargo esto solo es posible a través de los censos de grupos que están restringidos en cautiverio. Por ello, se utilizan modelos matemáticos que permiten estimar la riqueza a partir de muestras tomadas en campo (Longino *et al.* 2002).

Existen modelos paramétricos y no paramétricos para tal fin. Sin embargo Jiménez-Valverde (2003) mencionan que las estimaciones de riqueza obtenida por los modelos no paramétricos son imprecisas y difíciles de interpretar.

Bojorges & López (2005) mencionan que los estimadores no paramétricos de cobertura basados en la frecuencia y abundancia (ACE e ICE) presentan limitaciones y pocos estudios han utilizado estos métodos para estimar la riqueza de especies de aves. Los modelos más utilizados para representar curvas de acumulación son los modelos paramétricos de dependencia lineal, también llamado exponencial negativo y el modelo de Clench (Moreno 2001).

El modelo de dependencia lineal se utiliza en regiones relativamente pequeñas (Jiménez-Valverde *et al.* 2003), de forma que

la probabilidad de encontrar una nueva especie nunca será cero. En ocasiones la asíntota tiene un valor menor que el número de especies registrado. Su expresión se muestra a continuación:

$$y = \frac{a_0}{a_1} (1 - e^{-a_1 x})$$

La Ecuación Clench es el modelo más utilizado y se recomienda en sitios de área extensa (Jiménez-Valverde *et al.* 2003), donde la probabilidad de encontrar una nueva especie aumentará conforme más tiempo se pase en el campo. La ecuación que define el modelo es:

$$y = \frac{a_0 x}{1 + a_1 x}$$

En los dos modelos anteriores representa el número de especies acumuladas, el número de muestreos, a_0 es la tasa de incremento de nuevas especies al inicio del inventario y es un parámetro relacionado con la forma de la curva.

La ecuación diferencial lineal $\frac{dy}{dx} = \alpha - a_2 y$, cuya solución es un modelo de tres parámetros puede ser una alternativa en la estimación de curvas de acumulación. Cabe suponer que al contener un parámetro más, la curva se ajustará de mejor manera a los datos que los modelos mencionados con anterioridad. Esto podrá corroborarse comparando sus respectivos coeficientes de determinación.

El modelo de tres parámetros que resulta de resolver la ecuación diferencial mencionada anteriormente se muestra enseguida:

$$y = a_0 + a_1 e^{-a_2 x}$$

El valor de a_0 representa el número de especies acumuladas, el número de muestreos, a_1 y a_2 constituyen los parámetros.

Por otra parte, cabe señalar que las aves son utilizadas con mayor frecuencia que otros organismos como objetos de estudio en la teoría de poblaciones, ecología y de impacto ambiental (Valqui & Tomas 2007). El estado

de Oaxaca tiene el 67% de la avifauna total de México y por ello ocupa el primer lugar a nivel nacional en riqueza de aves con 744 especies (Santos *et al.* 2013). Santos (2013) usó la ecuación de Clench para generar curvas de acumulación de aves en áreas agrícolas de Santa María Yahuique, de la Sierra Madre de Oaxaca, donde la asíntota obtenida con este modelo está alrededor de 113 especies. Sin embargo en dicho estudio no se menciona el valor de los parámetros del modelo y el coeficiente de determinación.

Ruíz-Santos (2010) utilizaron los mismos datos que en el presente trabajo y obtuvieron una curva de acumulación mediante el modelo de Clench por el método de Simplex & Quasi-Newton, con el programa STATISTICA (StatSoft 1995), con un valor de $r^2 = 0.970$.

Este trabajo tuvo por objetivo la obtención de un modelo matemático para describir la riqueza de aves en el municipio de Santa María Colotepec mediante una ecuación de tres parámetros, y contrastarla con el Modelo de Clench obtenido para el mismo caso, presentando así una alternativa a las ecuaciones más usadas en el estudio de la biodiversidad. El modelo que presenta un coeficiente de determinación más cercano a la unidad, es el que describe de manera más eficiente al conjunto de datos y es el que se recomienda utilizar para realizar las estimaciones correspondientes (Zill 2011).

Material y métodos

El área de estudio se ubica en el municipio de Santa María Colotepec, Oaxaca, localizado a los 15°54' 47" LN y 96°53'11" LO. La altitud varía de 130 a 300 msnm (Anónimo 2000). El clima fue cálido subhúmedo con lluvias en verano (García 1987). La temporada de lluvias transcurrió de mayo a octubre con precipitación media de 1000 mm y la temporada de estiaje de noviembre a abril con 50 mm de precipitación pluvial, el rango de temperatura máxima fue de 33°C a 30°C (Trejo-Vázquez 1999).

El trabajo de campo se llevó a cabo en una superficie de 1 km², la cual es representativa

para incluir más del 90% de la comunidad de aves en el área de estudio (Terborgh *et al.* 1990, Gómez de Silva & Medellín 2001).

El registro de las especies de aves se realizó en dos transectos con longitudes de 2.6 y 1.6 km, éstos se recorrieron a una velocidad promedio de 1 km por hora para disminuir tanto el tiempo de exposición del observador a las aves como la probabilidad de contar un individuo dos veces (Gómez de Silva *et al.* 1999, Almazán-Núñez & Navarro 2006). Cada transecto fue recorrido mensualmente de noviembre de 2008 a diciembre de 2009. Los recorridos se iniciaron a partir del amanecer, que coincide con el tiempo de mayor actividad de las aves (Ornelas *et al.* 1993).

Adicionalmente, para capturar avifauna y tener evidencia de las especies con hábitos poco conspicuos (Blake & Loiselle 2002), se utilizaron cinco redes de niebla de 12 m de largo por 2.5 m de alto (Ralph *et al.* 1993). Las cuáles fueron evaluadas durante 20 días de muestreo (distribuidos en diez meses, para obtener 700 hr red). Las redes se colocaron fuera de los transectos (20, 30 40 1000 m de distancia), se abrieron durante 7 horas a partir del amanecer (Gram & Faaborg 1997) y fueron revisadas cada hora. Una vez determinados los individuos capturados fueron liberados en el mismo sitio.

Las especies de aves se registraron de dos formas: 1) visualmente con binocular 8.5X44 tan lejos como fue posible verlas y 2) al escucharlas dentro de la zona de estudio (Gómez de Silva *et al.* 1999). La determinación de las especies se realizó al cotejar los individuos con las guías de campo (Howell & Webb 1995, Kaufman 2005). Para la determinación auditiva se compararon las vocalizaciones de las aves con grabaciones de sus cantos (Coffey & Coffey 1989, Boesman 2005).

Para obtener un inventario más completo, se llevó a cabo el registro no sistemático de aves de acuerdo con los datos de Fjeldså (1999) y Bojorges *et al.* (2006), que consistió en anotar a las especies que no se registraron en los transectos o mediante capturas.

El número de especies acumuladas (Tabla I)

se graficó en un diagrama de dispersión y de acuerdo con la tendencia mostrada, se observó que tiende a estabilizarse a un valor límite cuando el número de muestreos es grande, por lo que la relación entre las variables mencionadas se rige de acuerdo con la ecuación diferencial: $\frac{dy}{dx} = a - a_2 y$, la cual indica que la tasa de acumulación de especies ($\frac{dy}{dx}$) con respecto al número de muestreo (x) es linealmente decreciente (Zill 2011). La solución general de la ecuación diferencial está definida por la expresión: $y = a_0 + a_1 e^{-a_2 x}$ donde "y" representa el número acumulado de especies de aves. Los parámetros a_0 , a_1 y a_2 de la solución general tienen una relación no lineal entre sí, por lo que se procedió a obtenerlos mediante el método de regresión de Gauss-Newton. Para poder aplicar dicho método se requieren valores iniciales de los parámetros, por lo que se sustituyeron en la solución general los datos iniciales (x=1, y=50), intermedio (x=7, y= 83) y final (x=14, y=95) para generar un sistema de ecuaciones que resultó ser no lineal. Se empleó el método de sustitución para reducir el sistema a una sola ecuación, donde la incógnita es el parámetro a_1 y cuya solución no es analítica, de tal forma que se resolvió utilizando el programa Graph 4.1 de versión libre (<http://padowan-graph.softonic.com/>). Una vez que se encontró este parámetro se hallaron los otros dos por simple sustitución. Dichos valores constituyen los datos iniciales que requiere el algoritmo de Gauss-Newton. Se emplearon seis iteraciones en un programa de EXCEL y

de esta forma se obtuvo el modelo de mejor ajuste a los datos con un coeficiente de determinación de 0.992.

Se calculó el error estándar S_{xy} (Chapra & Canale 2015) con base en la relación:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_t)^2}{n - m}}$$

donde: "n" es el número de muestreos (14) y "m" es el número de parámetros estimados (tres), y_i es el número de especies observadas y y_t el valor teórico para cierto muestreo x_i ; el error estándar se sumó y restó al modelo para obtener los límites superior (y_s) e inferior (y_i) y así se definió la región estándar de acumulación de especies.

La riqueza de especies de aves en el área de estudio se estimó con base en el punto crítico a_0 , el cual es el valor de "y" que representa el máximo número de especies en la región (asíntota horizontal); este valor se obtuvo como:

$$\lim_{x \rightarrow 0} (a_0 + a_1 e^{-a_2 x})$$

Se calculó la derivada (y') del modelo y se verificó que al aproximarse a cero, disminuye la probabilidad de registrar especies. Se estableció una relación entre el número de muestreo y el porcentaje de avifauna que falta por registrar de acuerdo al punto crítico (Tabla II).

Tabla I. Número de especies acumuladas "y" en relación al número de muestreo "x".

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
y	50	60	66	69	77	81	83	85	87	87	90	92	94	95

Tabla II. Porcentaje de especies que faltan por registrar (%n) de acuerdo al modelo con punto crítico de 98 especies. "x" representa el número de muestreo.

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
%n	40	48	33	27	23	19	16	13	11	9	7	6	5	4

Resultados

Se documentaron 95 especies de aves (Tabla I), pertenecientes a 74 Géneros, 30 Familias y 12 Órdenes. El 90.5% de la riqueza fue detectada en los transectos. Durante la captura en red se registró el 32.6% de la riqueza, provenientes de 31 especies, de las cuáles 27 especies, también fueron registradas en los transectos y cuatro (4.2% del total) sólo se documentaron mediante captura. El registro no sistemático contribuyó a la riqueza total con cinco especies (5.3%).

El modelo matemático obtenido fue el siguiente: $y = 98 - 56.95e^{-0.1873x}$, con un valor de $r^2 = 0.992$ y un valor asintótico (punto crítico) de 98 especies, el cual representa la riqueza de especies de aves predicha en el área de estudio (Figura 1).

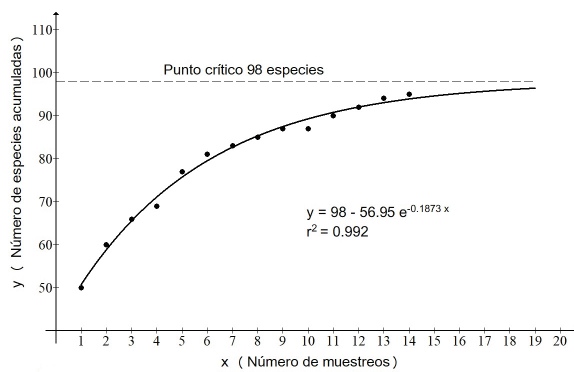


Figura 1. Curva del modelo y diagrama de dispersión del número de especies de aves acumuladas con respecto al número de muestreos y punto crítico.

En el muestreo 14 se registró el 97% de la avifauna predicha por el modelo. El error estándar es: $s_{y_x} = 1.31 = 2$ especies. Entonces, la región estándar de acumulación de especies (Figura 2) está dada por los siguientes límites:

$$\text{Límite superior: } y_s = 100 - 56.95 e^{-0.1873x}$$

$$\text{Límite inferior: } y_i = 96 - 56.95 e^{-0.1873x}$$

La tasa de acumulación de acuerdo al modelo es la siguiente:

$$y' = 10.67 e^{-0.1873x}$$

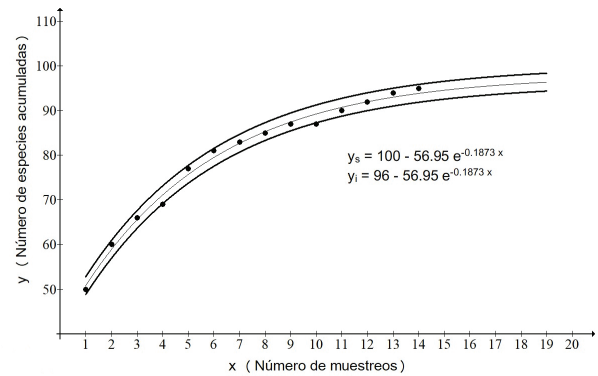


Figura 2. Región estándar de especies de aves acumuladas (y) en función del número de muestreos (x).

La expresión anterior tiende a cero cuando "x" crece indefinidamente:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} y' = \lim_{x \rightarrow \infty} (10.67 e^{-0.1873x}) = 0$$

Esto indica que la curva se aproxima al punto crítico cuando el número de muestreos aumenta (Fig. 3).

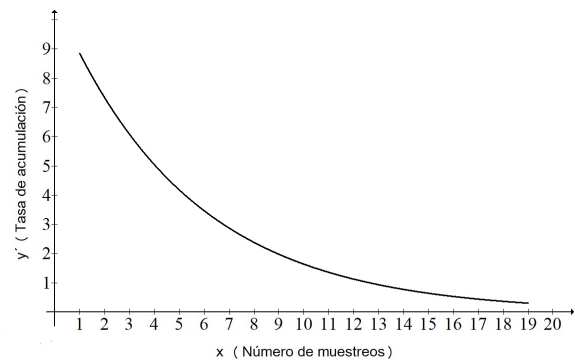


Figura 3. Tasa de acumulación (y') del número de especies de aves en función del número de muestreos.

Con la finalidad de visualizar hasta dónde se ha avanzado en la descripción de la diversidad de aves en estudio, se obtuvieron los porcentajes de especies que faltan por registrar tomando como referencia el punto crítico encontrado en el modelo. Los resultados se muestran en la Tabla II.

Discusión

Los resultados de este trabajo indican que en el primer muestreo se registró alrededor del

52% de la avifauna total observada (95 especies) que predice el modelo y que la curva creció hasta el último muestreo, excepto en el décimo, debido a que las aves ya habían sido documentadas. Al principio de los muestreos se registraron las especies comunes, por esta razón la curva creció de manera rápida al compararse con los últimos registros, cuando se adicionaron pocas especies. Sin embargo, en el diagrama de dispersión no se alcanzó el punto crítico, lo que indica que la curva crecerá con un mayor esfuerzo de muestreo (Gómez de Silva 1997).

De acuerdo con el valor de $a_0 = 98$ y la riqueza observada en el trabajo de campo (95 especies), se concluye que hasta el último muestreo se ha registrado el 97% de la avifauna estimada por el modelo; este porcentaje y la asíntota obtenida en el presente estudio son similares a los que obtuvo Ruiz-Santos (2010).

Al considerar el error estándar y la asíntota, la riqueza de aves en el área de estudio se encuentra entre 96 y 100 especies. Entre las aves que falta por registrar podrían estar *Seiurus aurocapilla*, *Mniotilta varia*, *Setophaga ruticilla*, *Passerina cyanea*, *Accipiter striatus*, *A. cooperi*, *Buteo magnirostris*, *Patagioenas flavirostris*, *Myiarchus cinerascens*, *Deltarhynchus flammulatus* y *Parula pitiayumi* especies que se documentaron en las selvas bajas de la vertiente del Pacífico en Jalisco y Guerrero (Arizmendi *et al.* 1990, Almazán-Núñez & Navarro 2006, Ramírez-Albores 2007), que potencialmente podrían ocurrir en la selva baja de Santa María Colotepec debido a que se han documentado en la costa de Oaxaca (Howell & Webb 1995).

El parámetro a_1 está asociado con el número de especies observadas en el primer muestreo. Mientras más grande sea dicho valor la cantidad de especies por registrar será menor, por lo que se requerirá un menor número de observaciones para acercarse al punto crítico.

Con respecto a la ecuación diferencial que originó al modelo se observó que la tasa de acumulación fue linealmente decreciente donde el parámetro a_2 representó la pendiente

de la recta que tiene como variable independiente al número de especies. De acuerdo a lo anterior se concluye que dicho parámetro es la razón de cambio de la tasa de acumulación respecto a las especies observadas. Mientras mayor sea en valor absoluto este parámetro se alcanzará más rápido una aproximación razonable al punto crítico.

Al evaluar la derivada del modelo se observó que ésta disminuye y presenta poca variación conforme aumenta el número de registros. Esto indica que la curva crecerá de manera no significativa al realizar muestreos adicionales. Así también, de acuerdo con el porcentaje de avifauna que falta registrar, es probable que el costo económico y el esfuerzo de muestreo no compense el número de especies que se adicionen (Jiménez-Valverde *et al.* 2003).

Se deberán establecer los criterios para determinar en qué momento es conveniente dar por finalizado el proceso de colecta y establecer de acuerdo al modelo, el porcentaje de especies que falta por documentar. Por ejemplo, para 19 muestreos faltarían por registrar el 1.6% de especies de aves.

La metodología de modelado que se empleó en este trabajo es adecuada ya que generó una ecuación que arrojó un coeficiente de determinación de 0.992 mayor que el obtenido con la ecuación de Clench para los mismos datos que fue de 0.97 (Ruiz-Santos 2010). Esto indica que el modelo de tres parámetros utilizado se ajusta de mejor manera que la Ecuación de Clench, que sólo tiene dos parámetros, por lo que representa una alternativa adecuada a los estimadores comunes de riqueza para describir una comunidad.

Agradecimientos

Agradecemos la revisión y los comentarios valiosos de dos revisores anónimos, a Deanna Patricia Strikaitis y Armando Velasco Vasconcelos por su apoyo en la traducción al inglés del resumen.

Referencias

- Almazán-Núñez, R.C. & A.G. Navarro. 2006. Avifauna de la subcuenca del río San Juan, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 103-114.
- Anónimo. 2000. Santa María Colotepec. Carta topográfica. Dirección General de Geografía, escala 1:50,000. México, D.F.
- Arizmendi, M. C., H. Berlanga, L. Márquez-Valdelamar, L. Navarajo & F. Ornelas. 1990. Avifauna de la región de Chamela, Jalisco. Cuadernos del Instituto de Biología 4, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 62 pp.
- Blake, J.G. & A. Loiselle. 2002. Manakins (Pipridae) in second-growth and old growth forests: patterns of habitat use, movement, and survival. *The Auk* 119: 132-148.
- Boesman, P. 2005. Birds of Mexico. MP3 Sound Collection. Birdsounds, The Netherlands (CD).
- Bojorges, J. & López, L. 2005. Riqueza y diversidad de especies de aves en una selva mediana subperennifolia, en el centro ve Veracruz, México. *Acta Zoologica Mexicana* 21(1): 1-20.
- Bojorges, J.C., L. Lopez Mata, L.A. Tarango Arámbula, J.G. Herrera Haro y G.D. Mendoza Martinez. 2006. Combinación de métodos de muestreo para registrar la riqueza de especies de aves en ecosistemas tropicales. *Universidad y Ciencia* 2: 111-118.
- Chapra, S.C. & R.P. Canale. 2015. Métodos numéricos para ingenieros. 6ª ed., McGraw-Hill, México D.F., 969 pp.
- Coffey, B.B. Jr. & L.C. Coffey. 1989. Songs of Mexican birds. Ara records, Gainesville, Florida (cassette tape).
- Fjeldsa, J. 1999. The impact of human forest disturbance on the endemic avifauna of the Udzungu mountains, Tanzania. *Bird Conservation International* 9: 47-62.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 4ª ed. , Editor Enriqueta García de Miranda, México, D.F., 217 pp.
- Gómez de Silva, H. 1997. Análisis avifaunístico de Temascaltepec, Estado de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 68(1): 137-152.
- Gómez de Silva, H. y R. A. Medellín. 2001. Evaluating completeness of species lists for Conservation and Macroecology: a case study of Mexican land birds. *Conservation Biology* 15: 1384-1393.
- Gómez de Silva, H., F. González-García & M. P. Casillas-Trejo. 1999. Birds of the upper cloud forest of El Triunfo, Chiapas, Mexico. *Ornitología Neotropical* 10: 1-26.
- Gram, W.K. & J. Faaborg. 1997. The distribution of neotropical migrant birds wintering in the El Cielo Biosfere Reserve, Tamaulipas, Mexico. *The Condor* 99: 658-670.
- Howell, S.N.G. & S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press, New York, 851 pp.
- Jiménez-Valverde A. & J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8: 151-161.
- Kaufman, K. 2005. Guía de campo a las aves de Norteamérica. Houghton Mifflin, New York, 391 pp.
- Longino, J., J. Coddington & R. K. Colwell. 2002. The ant fauna of a tropical rain forest: estimating species richness three different ways. *Ecology* 83(3): 689-702.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, VI. Zaragoza, 84 pp.
- O'hara, R. B. 2005. Species richness estimators: how many species can dance on the head of a pin? *Journal of Animal Ecology* 74: 375-386.
- Ornelas, J.F., M.C. Arizmendi, L. Marquez-Valdelamar, M.L Navarajo & H.A. Berlanga. 1993. Variability profiles for line transect bird censuses in a tropical dry forest in Mexico. *The Condor* 95: 422-441.
- Ralph, C. J., G.R. Geupel, P. Pyle, T.E. Martin y D.F. DeSante. 1993. Handbook of field methods for monitoring landbirds. General Technical Report PSW-GTR-144. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Albany, California. 46 pp.
- Ramírez-Albores, J. E. 2007. Avifauna de cuatro comunidades del oeste de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 439-457.
- Ruiz-Santos, L. 2010. Composición de la avifauna en la selva baja caducifolia de Santa María Colotepec, Oaxaca. Tesis de Licenciatura, Universidad del Mar, México.
- Santos A., Hernández, A., Lavariaga, M. & Gómez-Ugalde R. 2013. Diversidad de aves en cultivos de Santa María Yahuiche, Sierra Madres de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1 (6): 1241-1250.
- Trejo-Vázquez, I. 1999. El clima de la selva baja caducifolia en México. *Investigaciones Geográficas*, 39: 40-52.
- Terborgh, J., S. K. Robinson, T. A. Parker III, C.A. Munn y N. Pierpont. 1990. Structure and Organization of an Amazonian Forest Bird Community. *Ecological Monographs* 60: 213-238.
- Valqui, C. & Thomas. 2007. Modelos Matemáticos para curvas de distribución de especies. *Revista de la facultad de ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería* 1(11): 38-44.
- Zill, D.G. 2011. Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado. 9ª ed. Thomson Editores, México D. F., 393 pp.