

DISTRIBUCIÓN HISTÓRICA Y ACTUAL DEL LORO CABEZA AMARILLA (*AMAZONA ORATRIX*) EN LA COSTA CENTRAL DEL PACÍFICO MEXICANO: VENTAJAS Y LIMITACIONES EN EL USO DE GARP EN ESPECIES BAJO FUERTE PRESIÓN DE TRÁFICO

Tiberio C. Monterrubio-Rico¹, Laura E. Villaseñor-Gómez¹, María Consuelo Marín-Togo¹, Edna A. López-Cordova¹, Beneiza Fabian-Turja¹, & Valentino Sorani-Dalbon²

¹Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edificio "R", Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, 58194, México.
E-mails: tmonter2002@yahoo.com.mx & tiberio@zeus.umich.mx

²Red Mesoamericana de Recursos Bióticos. Centro de Educación Ambiental e Investigación Sierra de Huautla, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, 62209.

Abstract. – Historical and current distribution of the Yellow-headed Parrot (*Amazona oratrix*) on the central pacific coast of México: advantages and limitations in the use of GARP for species under strong traffic pressure. – We evaluated the historical and present distribution of the Yellow-headed Parrot (*Amazona oratrix*) on the central pacific coast of México, in the Michoacan state. Historical and recent distribution records were analyzed with a geographic information system and with the Genetic Algorithm for Rule-set Prediction (GARP). We estimated the historical species distribution at 2769 km². We overlaid recent presence and absence records over the distribution predictions generated by GARP. The potential distribution for Yellow-headed Parrots was first estimated at 1838 km². However, the GARP model predicted potential distribution in areas where the species has been extirpated. Our confirmed current distribution estimate for the species is 1262 km², which represents 45.6% of the estimated historical distribution. The species has suffered a distribution reduction of 1829 km² in the region, and the loss of 576 km² of distribution may have been directly caused by poaching and illegal trade of Yellow-headed Parrots during the last two decades.

Resumen. – Evaluamos el área de distribución histórica y actual del Loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) en la región central de la costa del pacífico Mexicano, en el estado de Michoacán. Registros de distribución histórica y actual fueron analizados en un sistema de información geográfica y con el algoritmo genético para la producción de reglas (GARP). El área de distribución histórica de la especie la estimamos en 2769 km². Sobrepusimos los registros recientes de presencia y ausencia sobre las proyecciones de distribución generadas por GARP. La distribución potencial inicial para el Loro cabeza amarilla fue de 1838 km². Sin embargo, el modelo GARP proyectó una distribución potencial en zonas donde la especie ha sido extirpada. La distribución potencial actual confirmada la estimamos en 1262 km² que representa el 45,6% de la distribución histórica estimada. La reducción en el área de distribución de la especie es de 1829 km², y la pérdida de 576 km² de distribución puede haber sido causada directamente por la presión del tráfico y comercio legal e ilegal sobre el Loro cabeza amarilla durante las últimas dos décadas. *Aceptado el 21 de Enero de 2007.*

Key words: Yellow-headed Parrot, *Amazona oratrix*, current distribution, Michoacán, Mexico.

INTRODUCCIÓN

El Loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) es considerado una de las especies de la familia Psittacidae que enfrenta el mayor riesgo de extinción en el medio silvestre, tanto en México como a nivel global (Collar *et al.* 1992, Hilton-Taylor 2000, Snyder *et al.* 2000). En México la Norma Oficial Mexicana (Diario Oficial de la Federación 2002), enlista esta especie como en peligro de extinción. A nivel internacional, BirdLife International y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) también la consideran en peligro de extinción (BirdLife International 2000, Snyder *et al.* 2000). Las elevadas tasas de deforestación de los países donde ocurre, sumado a la fuerte explotación para el comercio legal e ilegal de mascotas a la que está sujeta en toda su área de distribución, son consideradas las principales causas del alarmante declive observado en la especie (Snyder *et al.* 2000). Recientemente, la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre reclasificó a la especie del apéndice II al apéndice I (imponiendo el máximo control al comercio internacional sobre la especie) en la reunión de las partes efectuada en Noviembre del 2002 en Chile (CITES CoP12, Prop. 17). En México se efectuó una evaluación rápida durante los años 2002–2003, en la que se confirmó el declive de la especie, la extinción local en algunas áreas y su baja abundancia relativa en la mayoría de los estados de su distribución (Macías-Caballero & Iñigo-Elías 2003).

A nivel global, el Loro cabeza amarilla presenta una distribución en cuatro países: México, Belice, Guatemala y Honduras. Se estima que, en México, es donde ocurre la mayor superficie de su distribución (Howell & Webb 1995, Snyder *et al.* 2000). En México ocurren tres subespecies cuya distribución se da de la siguiente forma: *Amazona oratrix ora-*

trix en los estados del Golfo de México, desde el suroeste de Nuevo León, y sur de Tamaulipas al norte, hasta el suroeste de Campeche y extremo norte de Chiapas al sur; *Amazona oratrix magna* por la vertiente del Pacífico, con distribución desde la costa de Jalisco al norte, hasta la región del Istmo de Tehuantepec en la costa de Oaxaca al sur, y por último, *Amazona oratrix tresmariae*, limitada al archipiélago de las Islas Mariás en Nayarit. En el estado de Michoacán, el Loro cabeza amarilla se distribuía hasta 1988 a lo largo de toda la región de la costa (Villaseñor-Gómez 1988, Villaseñor-Gómez & Villaseñor-Gómez 1997).

Los tipos de vegetación donde ocurre la especie en México son variados. En ambas vertientes, el Loro de cabeza amarilla utiliza la selva mediana subcaducifolia y subperenifolia, la selva baja caducifolia, la vegetación sabanoide, y también la vegetación de manglar en la zona de las Lagunas de Chacahua en Oaxaca “observ. pers.” En Michoacán, la especie utiliza la selva mediana y la selva baja, también se le reporta en el ecotono de bosque de encino con selva baja durante algunas épocas del año, alrededor de los 640 m de elevación. En la literatura la distribución se reporta también en bosques tropicales abiertos, en zonas de selva mediana riparia, e incluso en pastizales con la presencia de manchones de árboles grandes, desde el nivel del mar hasta los 700 m, y localmente en algunas áreas hasta los 900 m (Forshaw 1989, Howell & Webb 1995, Stotz *et al.* 1996).

La evaluación rápida realizada (Macías-Caballero & Iñigo-Elías 2003) reveló que el Loro cabeza amarilla presenta los valores más altos de abundancia relativa para la vertiente del Pacífico en la región de la costa de Michoacán, considerándose por lo tanto como un área fundamental para la conservación de la especie. Ante la necesidad de contar mayor precisión sobre el área de distribución actual de las poblaciones del Loro cabeza amarilla y de evaluar los cambios en su distri-

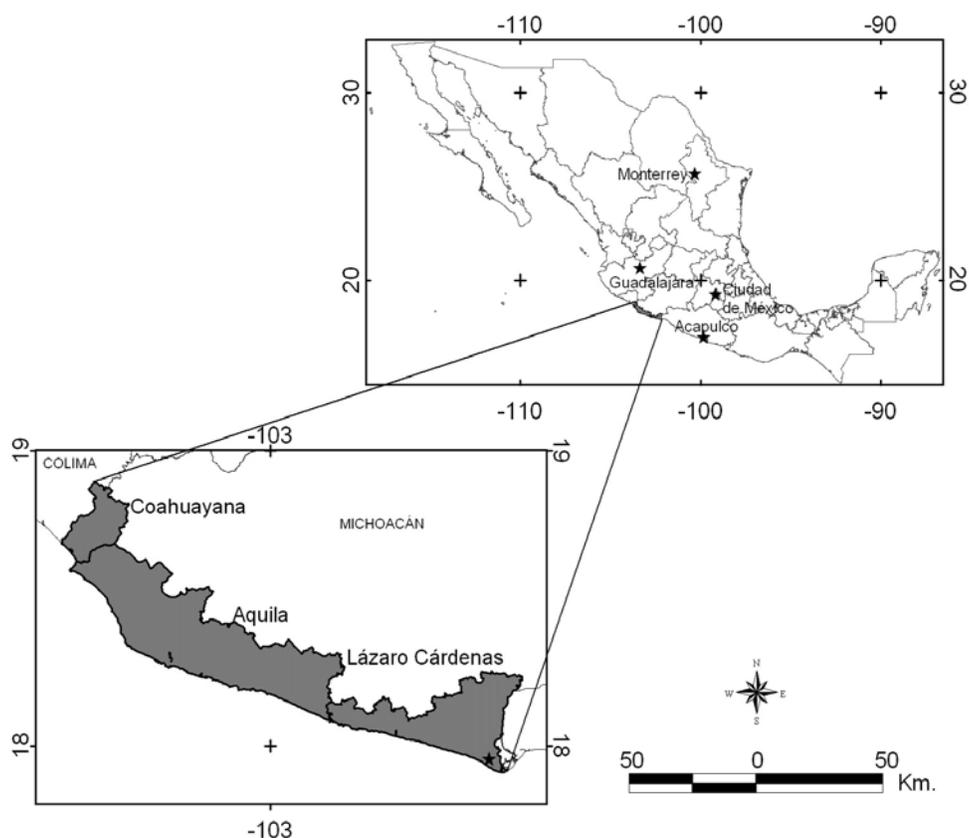


FIG. 1. Localización de la región de estudio.

bución en cada región donde todavía ocurre, nos planteamos como objetivos principales de este análisis los siguientes: 1) Estimar el tamaño de las áreas de distribución histórica y actual de la especie en la región de la costa michoacana; y 2) Cuantificar la pérdida de superficie de distribución, evaluando como posibles causas de los cambios, al impacto del saqueo de nidos y de la pérdida de hábitat.

El modelo predictivo de distribución para el Loro cabeza amarilla tuvo la finalidad de generar una hipótesis sobre el área de distribución potencial actual, la cual se validó en el campo, obteniéndose así una estimación confiable.

MÉTODOS

Área de estudio. El área de estudio incluyó los tres municipios (áreas mínimas de división política en México) que se encuentran en la región de la costa del estado mexicano de Michoacán: Coahuayana, Aquila, y Lázaro Cárdenas (Fig. 1). Consideramos como distribución histórica del Loro cabeza amarilla la distribución que presentaba por lo menos hasta 1988, periodo de tiempo en el cual se realizó el primer estudio ornitológico detallado y que generó una base sólida de registros de campo para la región, documentándose además un nivel bajo de perturbación

de la vegetación natural (Villaseñor-Gómez 1988).

Relieve. El litoral Michoacano presenta una planicie costera relativamente pequeña, con un ancho promedio de 3 km. El relieve predominante es accidentado, dominado por lomeríos y pequeñas y abruptas serranías que generalmente van del nivel del mar hasta los 800 msnm, y que corren paralelas a la costa, llegando las montañas en muchos puntos hasta el litoral especialmente en el municipio de Aquila. En la costa Michoacana desembocan 53 ríos y arroyos, destacando los ríos Coahuayana, Aquila, Ostula, Motín del Oro, Cachán, Huahua y Nexpa. Se originan en la vertiente meridional de la Sierra Madre del Sur, existiendo numerosas cañadas y barrancas a lo largo de los cuales se desarrollan manchones de selva mediana riparia (Madrigal 1997, Antaramián-Harutunian & Correa-Pérez 2003).

Vegetación. La vegetación predominante de la región es la selva baja caducifolia, también conocida como bosque tropical caducifolio. Forma una comunidad forestal densa, las especies arbóreas generalmente no exceden los 15 m de altura. Entre los árboles característicos destacan *Amphipterigium adstringens* (cuachalalate), *Ceiba parviflora* (pochote), *Cyrtocarpa procera* (chupandía), *Tabebuia palmeri* (caño fistula), *Lysiloma divaricata* y *L. acapulcensis*, (tepehuaje), *Pseudobombax ellipticum* (claveлина), *Spondias purpurea* (círuelo), *Cordia eleagnoides* (cueramo o xolocoahuít), *Dalbergia congestiflora* (campincerán), *Gnazuma ulmifolia* (cuaulote) y *Bursera* spp. (copal y papelillo). Este tipo de vegetación ocurre en lomeríos, pendientes y sierras con laderas expuestas, así como en terrenos planos con poca humedad, desde el nivel del mar hasta altitudes cercanas a 2000 m (Madrigal 1997).

Otro tipo de vegetación presente en el área es la selva mediana, también conocida

como bosque tropical subcaducifolio, formando comunidades densas, de estatura elevada (15 a 30 m), y follaje persistente, ocurre en elevaciones inferiores a los 1000 m. Los árboles característicos son: *Brosimum alicastrum* (uje), *Bursera simaruba* (palo mulato), *Enterolobium cyclocarpum* (parota), *Andira inermis* (garrapato), *Astronium graveolens* (culebro), *Bumelia persimilis* (chicle), *Calophyllum brasiliense* (palo maría), *Cedrela odorata* (cedro rojo), *Cordia alliodora* (cueramo), *Dalbergia granadillo* (granadillo), *Hura polyandra* (habillo), *Licania arborea* (cuirindo), *Pterocarpus acapulcensis* (huahuauchi), *Sapindus saponaria* (amole), *Sideroxylon capiri* (capiri), *Tabebuia chrysantha* (verdecillo), *T. Donnell-smithii* (primavera), *T. rosea* (rosa morada), *Thouinidium decandrum* (charapo) y varias especies de *Ficus* spp. (higueras). La selva mediana se localiza en forma de manchones discontinuos, en áreas cercanas al litoral, en cañones y en cañadas, así como a lo largo de ríos y sobre laderas protegidas (Madrigal 1997).

Selección de localidades. Con la finalidad de estimar el área de distribución y la abundancia de las diferentes especies de la familia Psittacidae en la región, se seleccionaron localidades para realizar censos, realizar entrevistas y evaluar la situación de las especies durante el periodo 2001–2005. Los criterios para la selección de las localidades fueron la presencia de los hábitats de las especies (selvas bajas y medianas), accesibilidad, seguridad y la existencia de registros de presencia en estudios anteriores. Originalmente, consideramos un muestreo sistemático mediante cuadrantes, pero dificultades logísticas, y las graves condiciones de inseguridad e inaccesibilidad en algunas áreas nos impidió implementarlo. Además, como se contemplaba utilizar modelos predictivos GARP (precisión y versatilidad se explican más adelante), consideramos innecesario desarrollar un muestreo sistemático por costoso y exhaustivo (Peterson *et al.* 2002).

Sin embargo, en la realización de los censos se incluyeron todas las localidades a las que se tuvo acceso y se garantizó la seguridad, cubriendo de manera representativa toda la extensión geográfica de la costa y las condiciones ecológicas para la especie en la región de estudio. Además, las localidades donde se realizaron los censos no están alejadas a más de 10 km una de la otra, distancia que las especies de psitácidos se desplazan, permitiendo identificar vacíos en la distribución. El intervalo altitudinal para la selección de localidades fue desde el nivel del mar hasta los 640 m, aunque todas las estimaciones sobre la distribución histórica y actual se generaron solo hasta 500 m, ya que todos los registros históricos ocurrieron por debajo de esa elevación. Debido a la grave situación en que se encuentra la especie y la fuerte presión de tráfico que enfrenta, no proporcionamos en este trabajo los nombres de las localidades de presencia actual de la especie. Sin embargo, esta información puede ser facilitada con fines de investigación y conservación mediante solicitud expresa a los dos primeros autores.

Estimación del área de distribución histórica. Para estimar el área de distribución histórica del Loro cabeza amarilla, analizamos 50 registros de 19 localidades previos a 1995, provenientes de la base de datos del Laboratorio de Ornitología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), y de estudios realizados en la región (Villaseñor-Gómez 1988). Utilizamos, además, información proporcionada por habitantes de 53 localidades y ranchos de la región (adultos \geq de 45 años y originarios de la zona) sobre la presencia histórica y actual de la especie, verificando localidades para las cuales existen registros históricos. Todos los datos fueron analizados en un sistema de información geográfica (SIG) con el programa Arc View (versión 3.2). También empleamos las cartas digitales de relieve de escala 1:250 000 y 1:50 000 de

INEGI y de vegetación provenientes del Inventario Nacional Forestal (SEMARNAP-UNAM 2000).

Modelado de nicho ecológico y el algoritmo GARP. Contar con información confiable sobre la distribución actual de las especies en peligro es fundamental para establecer acciones de conservación efectivas (Anderson *et al.* 2002, Peterson *et al.* 2002, Anderson & Martínez-Meyer 2004). Sin embargo, estimar la distribución de las especies no es fácil, los esfuerzos de monitoreo se ven limitados a áreas accesibles, dando como resultado que la información sobre distribución de las especies exista de forma agregada y sin uniformidad geográfica (Peterson *et al.* 2002). Un enfoque efectivo que maximiza la información existente sobre distribución de las especies es el de generar modelos predictivos basados en la expresión geográfica de su nicho ecológico (Peterson 2001, Stockwell & Peterson 2002, Peterson *et al.* 2002, Peterson & Kluza 2003, Martínez-Meyer 2005, Soberón & Peterson 2005).

El nicho ecológico de una especie puede definirse como el rango de condiciones ambientales dentro de las cuales una especie puede mantener poblaciones sin realizar inmigración (Grinnell 1917). Una metodología para modelar el nicho ecológico de las especies es GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction), procedimiento automatizado de inteligencia artificial basado en un algoritmo genético (Stockwell & Noble 1992, Stockwell & Peters 1999, Peterson 2001, Peterson *et al.* 2002, Sánchez-Cordero *et al.* 2005, Soberón & Peterson 2005). Para generar una estimación del nicho ecológico de una especie y su representación geográfica, GARP requiere dos tipos de datos: un conjunto de localidades donde la especie ha sido registrada, y un conjunto de capas de información (mapas digitales) en formato raster de sistemas de información geográfica (SIG), con las condi-

ciones ambientales de una región particular (elevación, vegetación, temperatura, precipitación, orientación de pendiente, etc.). Los registros de ocurrencia son divididos en partes iguales en conjuntos de datos para entrenamiento y prueba. El modelo se estructura a partir de conjuntos de reglas que describen la relación entre presencia/ausencia de la especie y las variables ambientales representadas por las capas del SIG. El desempeño de cada regla se mide desplegando los datos para prueba y cada regla es ordenada de acuerdo a su desempeño.

Una vez que se cuenta con un conjunto de reglas, el algoritmo genético modifica cada regla aleatoriamente, simulando la evolución de ADN (mutaciones puntuales, eliminaciones, entrecruzamientos, etc.), re-evaluando el desempeño de cada regla. Si la modificación a una regla establecida resulta en mayor precisión, entonces reemplaza a la regla pre-existente; de lo contrario es descartada ordenándose las reglas de acuerdo a su desempeño. El proceso se repite hasta un número determinado de iteraciones, generalmente entre 1000 y 2560, o hasta que convergen, cuando no existe manera de mejorar el conjunto de reglas establecido (Stockwell & Noble 1992, Anderson *et al.* 2002, Feria & Peterson 2002). El modelo final es desplegado en el espacio geográfico creándose un mapa digital binario, donde se aprecian las áreas que reúnen las características ambientales adecuadas para la especie, o las áreas que no reúnen las condiciones (Stockwell & Peters 1999).

Debido a la naturaleza estocástica del algoritmo, los mismos datos producen diferentes modelos y mapas en cada simulación. Por esta razón debe seleccionarse al subgrupo de mapas que presenten los niveles más bajos de errores de omisión (indicar ausencia cuando la especie está presente), comisión (indicar presencia cuando la especie está ausente) y sobre-representación (sesgo

debido a alta densidad de registros en una zona) (Anderson *et al.* 2003, Martínez-Meyer 2005, Soberon & Peterson 2005). Para la validación del mejor modelo, se seleccionan registros de presencia de la especie que no fueron utilizados para la generación del modelo y se sobreponen a la proyección espacial del modelo. Posteriormente se evalúa su significancia mediante tablas de contingencia (ausencias y presencias observadas vs proyectadas) y se determinan los porcentajes de coincidencia entre los puntos sobrepuestos y el área proyectada (Peterson 2001, Peterson *et al.* 2002, Peterson & Feria 2002, Peterson & Kluza 2003, Sánchez-Cordero *et al.* 2005).

Los modelos GARP han mostrado excelente capacidad para predecir la distribución de las especies de aves y mamíferos utilizando registros históricos de ocurrencia, y bajo condiciones difíciles de análisis, como en predicciones de distribución potencial fuera del contexto espacial de los datos (Peterson 2001, Peterson *et al.* 2002, Peterson & Kluza 2003, Sánchez-Cordero *et al.* 2005). También han sido empleados para predecir composiciones de comunidades de aves a nivel regional (Feria & Peterson 2002), en el análisis sobre cambios de distribución potencial de la biota ante el cambio climático (Peterson *et al.* 2002), en ejercicios de priorización de áreas para conservación y restauración ante escenarios de deforestación, y en el diseño de corredores para conectar áreas naturales (Sánchez-Cordero *et al.* 2005). Otra aplicación reciente fue en el análisis sobre la extirpación de especies a nivel regional, combinando modelos de nicho ecológico GARP con información sobre cambios en la vegetación basados en imágenes de satélite (Peterson *et al.* 2006).

Modelo de distribución potencial para el Loro cabeza amarilla. En el modelo predictivo GARP para el Loro cabeza amarilla, utilizamos registros históricos y recientes generados en campo. La información ambiental se basó en informa-

ción topográfica, precipitación media anual, temperatura media anual, y de vegetación y uso de suelo. La información de relieve se basó en la carta INEGI escala 1: 250 000 con curvas de nivel a una equidistancia de 50 m. En el caso de la vegetación se utilizó la información digital del Inventario Nacional Forestal 2000, basado en imágenes de satélite Landsat ETM actualizado mediante interpretación visual (SEMARNAP-UNAM 2000), rasterizado a una resolución de 100 m por píxel. Precipitación y temperatura media anuales se obtuvieron a escala 1:1 000 000 de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx>).

Utilizamos 35 registros de distribución provenientes del periodo 1997–1998 para un análisis preliminar. Escogimos los datos de ese periodo de tiempo para evaluar la dispersión geográfica de los datos. Sin embargo, estos registros mostraban un sesgo geográfico ya que provenían de localidades muy cercanas entre sí, y varios registros provenían prácticamente de la misma localidad. En estas circunstancias se ha observado que los modelos resultantes presentan un elevado nivel de errores de omisión (Martínez-Meyer 2005). Para generar un modelo con mayor representatividad geográfica, se eliminaron todos los registros que provenían de una misma localidad y se incorporaron 10 registros adicionales provenientes del trabajo de Villaseñor (1988), y 11 registros adicionales provenientes de la base de datos del Laboratorio de Ornitología (UMSNH) del periodo 1979–1994, la mayoría de los cuales corresponden a localidades diferentes. Para el modelo final de GARP utilizamos 96 registros, adicionando 61 registros generados por el trabajo de campo del periodo 2001–2003, ya que estos registros complementaban la cobertura de datos a lo largo de la costa, evitando con ello generar modelos sesgados por el efecto de la alta densidad de datos provenientes de pocas localidades (Martínez-Meyer 2005). El tamaño de muestra de 96 registros se consideró como

adecuado, ya que la precisión de los modelos GARP es alta (80–90%) con la disponibilidad de entre 50 y 100 registros para regiones relativamente pequeñas (Stockwell & Peterson 2002).

En cada análisis, GARP utilizó internamente el 60% de los puntos para “training” y el 40% para “testing”. En cada etapa se generaron 100 modelos, seleccionando los 10 modelos con el menor error de omisión (< 0,05% de omisión intrínseca). Auxiliándonos del SIG, los 10 modelos seleccionados se sumaron para obtener un mapa compuesto (mapa de congruencias), en el cual, el valor de cada celda (píxel) representa el número total de modelos en los que se predijo la presencia de la especie en esa celda (Anderson *et al.* 2003). Los mapas generados se proyectaron al sistema Cónica Conforme de Lambert para obtener mayor confiabilidad en el cálculo de superficies.

Posteriormente, se analizaron las coberturas de vegetación en áreas de presencia y de ausencia proyectada. Además de considerar todos los criterios publicados en la literatura para generar modelos robustos y precisos (selección de variables, tamaños de muestra, dispersión geográfica y ecológica de los datos, etc.), se utilizaron 134 registros (106 de presencia y 28 de ausencia) que se generaron durante el periodo 2004–2005, para contrastar lo observado en campo con la estimación generada en el modelo, y de esta forma estimar la distribución actual de la especie. Los registros fueron generados mediante el monitoreo de las poblaciones de Psitácidos en el campo y ocurrieron en un intervalo de elevación de 3 a 367 m. Los registros de campo se obtuvieron con las técnicas de puntos de conteo extensivos, conteos desde puntos elevados, y búsqueda intensiva de nidos (Chapman *et al.* 1989, Casagrande & Beissinger 1997, Marsden 1999, Bibby *et al.* 2000). La distribución potencial presentada es la de la más alta coincidencia entre celdas. Todas las estimacio-

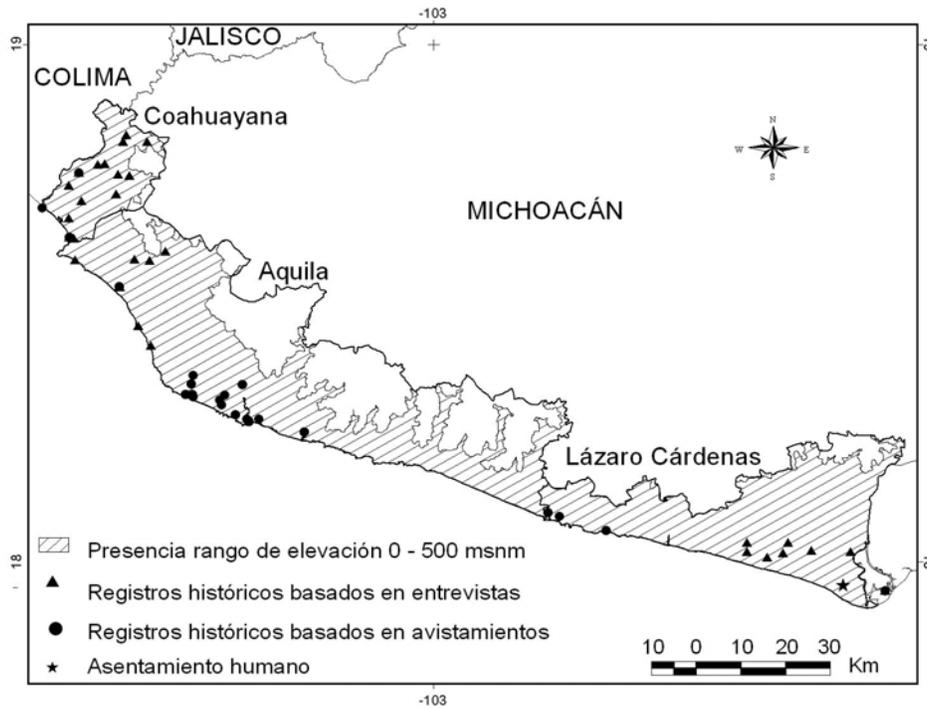


FIG.2. Área de distribución histórica del Loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) en la costa central del pacífico en Michoacán, México.

nes de superficie se presentan en kilómetros cuadrados.

Para estimar la superficie donde se ha extirpado la especie, utilizamos la proyección geográfica del modelo GARP y empleamos el criterio del polígono mínimo convexo, uniendo los puntos donde se confirmó la extirpación de la especie. En el análisis partimos del supuesto de que la predicción del modelo GARP es precisa y refleja la presencia potencial de la especie a menos que contemos con información que indique la extirpación de la misma.

RESULTADOS

Distribución histórica. El área total de los tres municipios de la región de la costa Michoa-

cana es de 3916 km², de los cuales estimamos que alrededor del 70% (2769 km²) formó parte de la distribución histórica de la especie, ya que en esta área se presentaban de forma extensa y continua los tipos de vegetación donde ocurre la especie y las condiciones de elevación. El estudio de Villaseñor (1988) documentó la distribución del Loro cabeza amarilla como continua a lo largo de toda la costa en los tres municipios, desde Boca de Apiza en el río Coahuayana al norte colindante con el estado de Colima, hasta el límite con el estado de Guerrero en Boca de San Francisco sobre el río Balsas (Fig. 2). El municipio para el que estimamos una mayor extensión de distribución histórica fue Aquila, con un área de 1413 km² que representa el 60% de su superficie (Tabla 1).

TABLA 1. Estimaciones de distribución histórica y potencial del Loro de cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) en los municipios de la costa Michoacana.

Municipio	Superficie total	Distribución histórica	Distribución potencial (GARP)	Pérdida por cambio de uso de suelo	Pérdida total de distribución
Coahuayana	389	318	250	69	318
Aquila	2359	1413	738	677	798
Lázaro Cárdenas	1168	1038	851	186	391
Total	3916	2769	1838	931	1507

Distribución actual. El modelo predictivo GARP generó una proyección del área de distribución potencial del Loro cabeza amarilla de 1838 km², considerando superficie de los tres municipios. Toda la proyección generada por GARP ocurrió dentro del área histórica de distribución. Un total de 94 (88%) registros de presencia obtenidos en campo durante 2004 y principios de 2005 que fueron sobrepuestos coincidieron con el área de distribución potencial proyectada. Esta superficie representa el 66% de la distribución histórica original estimada (Tabla 1 y Fig. 3). Sin embargo, en el área que GARP proyectó con las condiciones ecológicas adecuadas para la presencia de la especie, los resultados del trabajo de verificación de campo revelaron la extirpación de la especie en una extensión estimada en 576 km² que representa el 31,3% del área que GARP consideró como de distribución potencial. Por ejemplo, la especie ya no ocurre en el municipio de Coahuayana, y GARP proyectó condiciones de presencia potencial de la especie en 250 km² (Fig. 3 y Tabla 1), de los cuales al analizar las coberturas del Inventario Nacional Forestal se reporta la existencia de 117 km² de selvas medianas y 45 km² de selvas bajas, además de vegetación secundaria y selvas fragmentadas.

Por otra parte, el área que GARP proyectó con condiciones ambientales adecuadas para la presencia de la especie, y que coincidió con la labor de verificación de campo, la estimamos en 1262 km² que representan el 69,7% de la superficie potencial proyectada y el 45,5%

de la distribución original o histórica. El municipio de Aquila fue el que presentó la mayor pérdida de distribución de la especie con 798 km² (Fig. 3 y Tabla 1). La pérdida total de distribución de la especie en la región la estimamos en 1507 km² que representa el 54,4% de la distribución histórica estimada de la cual, en 576 km² (38,2%), la causa no se adjudica al cambio de las condiciones ecológicas o pérdida de hábitat. Por otra parte GARP proyectó ausencia de condiciones ecológicas para la especie en 931 km² (Tabla 2). Asumiendo que la mayor pérdida en la distribución de la especie haya ocurrido en los últimos 18 años, podemos considerar una pérdida anual de distribución de 83,7 km², equivalente a una tasa de 3%. El análisis de coberturas reveló que la mayor superficie de distribución confirmada ocurrió sobre una extensión de vegetación primaria de 903 km² de selvas bajas y selvas medianas.

DISCUSION

Situación del Loro cabeza amarilla en la costa de Michoacán. El modelo GARP fue preciso en la mayor parte del área proyectada, como lo demuestra la alta coincidencia de registros independientes que concordaron con el área de distribución potencial; además, el área potencial mostró alta coincidencia con la cobertura de vegetación primaria, especialmente selvas medianas y bajas. Por lo tanto, se puede considerar que la distribución potencial generada por GARP refleja adecuadamente la

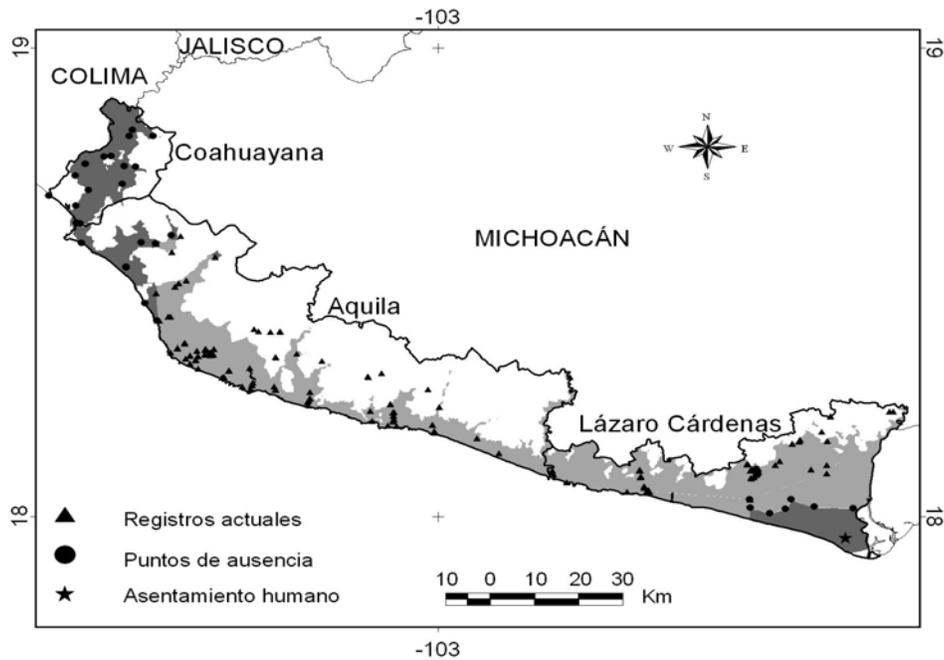


FIG. 3. Distribución potencial del Loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) proyectada por GARP. El área sombreada es la superficie donde se encuentran condiciones ecológicas para la especie. La superficie de sombreado claro corresponde a distribución confirmada, mientras que el sombreado oscuro es donde está ausente la especie.

distribución de las condiciones ecológicas para la especie, y la superficie de coincidencia entre distribución potencial y registros de campo pueden ser considerados como la distribución actual. El cambio en el tamaño del área de distribución sufrido por la especie en la región de estudio desde 1988 a la fecha es considerable. La especie presentaba una distribución continua a lo largo de la región de la costa Michoacana, mostrando conectividad hacia los estados de Colima al norte y de Guerrero al sur, como podemos inferir a partir del análisis de los registros y del área de distribución histórica estimada. Actualmente, la distribución de la especie ya no presenta conectividad al norte con el estado de Colima. Al comparar las proyecciones de distribución histórica y actual, la especie ha perdido alrede-

dor del 54,4% de su distribución en la región, acentuándose en la parte norte. Si se considera lo breve del periodo en el que ha ocurrido, es posible que esta tasa de pérdida sea de las más altas observadas en tiempos recientes para la especie.

Impacto del saqueo y tráfico. Los modelos predictivos GARP no pueden modelar las causas por las que una especie pierde distribución, pero ayudan a entender si la presencia o ausencia potencial se da en el contexto geográfico de las condiciones ecológicas para la especie. Las principales causas del declive de las poblaciones de psitácidos ampliamente conocidas son la pérdida de hábitat por expansión agropecuaria y la presión de saqueo de nidos para el comercio de mascotas

(Snyder *et al.* 2000). Sin embargo, la mayoría de las veces ha sido difícil evaluar en términos geográficos o cuantitativos el tamaño del impacto de cada una de estas causas.

En este estudio, se obtuvieron dos resultados importantes, por una parte se generó una estimación robusta y precisa de la distribución actual de la especie y de sus cambios, y por otra, se identificaron dos condiciones bajo las cuales ha ocurrido la pérdida de distribución de la especie. La pérdida se ha dado tanto en áreas donde persisten las condiciones ecológicas y de hábitat para la especie, como en áreas donde ya no se presentan éstas. Donde todavía están presentes las condiciones para la especie, se pueden descartar aspectos históricos, ya que toda el área analizada por GARP fue dentro del área de su distribución reciente. En esas áreas se puede señalar como la causa más probable a la fuerte presión del saqueo de nidos y tráfico de mascotas. Diferentes argumentos respaldan esta hipótesis. En la región existe una fuerte tradición de la captura de pollos, además los habitantes de la región señalan como causa principal de su desaparición a su fuerte comercialización y muchas familias poseen loros extraídos del medio silvestre. Otros aspectos que respaldan este argumento son su bajo potencial reproductivo y su condición de anidante obligado de cavidades de árboles, factores que hacen al Loro de cabeza amarilla vulnerable, aún en niveles bajos de extracción de pollos (Enkerlin-Hoeflich 1995). Otras causas que tampoco se pueden descartar son enfermedades inducidas por aves domésticas y el declive de la calidad del hábitat. Sin embargo, estas causas son menos probables ya que no se reportan brotes de enfermedades en los loros que los habitantes poseen como mascotas, tampoco señalan encontrar organismos muertos en el medio silvestre. En lo referente al declive en la calidad de hábitat, aunque la especie muestra las mayores abundancias en ambientes conservados, también se ha demostrado que puede anidar

en ambientes alterados siempre y cuando existan árboles de las dimensiones adecuadas y vegetación primaria dentro de sus ámbitos hogareños (Enkerlin-Hoeflich 1995). Aunque no se puede demostrar de manera directa que la pérdida de la especie en esa superficie sea el saqueo de nidos, tampoco se puede descartar como la causa más probable. Si la hipótesis planteada es correcta, sería la primera vez que se estima el posible impacto del saqueo de nidos y tráfico sobre la especie. Este impacto equivaldría al 38,2% de la pérdida total de distribución en la región, y en términos de la superficie remanente con condiciones ecológicas para la especie representa el 31%.

GARP en estudios sobre cambios en la distribución de especies. Los modelos predictivos GARP fueron utilizados recientemente en una estimación sobre la reducción de la distribución potencial y posible extirpación local de especies endémicas de la familia Corvidae en México, utilizando imágenes de satélite de diferentes periodos para evaluar cambios en la distribución de especies que dependen de hábitats primarios, y donde la disminución en la distribución de las especies puede asociarse directamente a la reducción en la vegetación primaria (Peterson *et al.* 2006). Los resultados obtenidos en este análisis nos permiten considerar que los modelos predictivos utilizando GARP pueden ser efectivos en estimaciones sobre la distribución actual de las especies, siempre y cuando sean robustos y precisos, y que los resultados de los modelos se verifiquen en campo. Si no se validan en campo, es muy probable que no puedan ayudar a reflejar la distribución real de las especies, ya que otros factores como la caza o el tráfico para mascotas pueden disminuir la distribución de una especie considerablemente. En México, muchas especies están sujetas a actividades cinegéticas y del comercio y tráfico de mascotas, para las cuales la pérdida de hábitat primario no es la única causa de la reducción en sus

áreas de distribución. En estas especies y otras consideradas en riesgo, es recomendable emplear los modelos predictivos GARP en respaldo al trabajo de verificación de campo, incluso GARP puede emplearse de manera preliminar en el diseño del muestreo.

Implicaciones de manejo y conservación. El Loro cabeza amarilla de la costa de Michoacán parece no mantener conectividad con las poblaciones conocidas de los estados de Jalisco y posiblemente Colima al norte, pero mantiene continuidad en su distribución al sur con los municipios colindantes del estado de Guerrero (Fig. 3). Su situación de conectividad hace que sea importante incrementar nuestro nivel de conocimiento sobre las condiciones actuales en que se encuentran las poblaciones del Loro cabeza amarilla en los estados de Colima y Jalisco al norte, y de Guerrero al sur. Por otra parte, con base en los modelos GARP y el análisis de coberturas, todavía existen condiciones de hábitat en la región para incrementar su distribución, ya sea que la especie se pueda expandir como resultado de un aumento poblacional, o que esta sea reintroducida en las áreas donde ha sido extirpada. Por lo tanto, es fundamental mantener el hábitat primario en los tres municipios de la costa Michoacana donde la especie ha sido extirpada. Igualmente importante es determinar la distribución actual de la especie en otras regiones del estado que presentan condiciones ambientales similares como en el interior de la Sierra Madre del Sur y en la región del Bajo Balsas.

Actualmente, existen pocas áreas naturales protegidas (ANP) en el Pacífico con poblaciones del Loro cabeza amarilla, siendo la Reserva de Chamela-Cuixmala en Jalisco la de mayor extensión con 13 142 ha, y donde la especie ha sido prácticamente extirpada (Renton 2002). Ante el reducido número de ANPs en el Pacífico, es prioritario analizar la posibilidad técnica y la viabilidad social de estable-

cer un área protegida, ya sea a nivel federal o bajo categoría estatal. Aunque mediante este estudio contamos con información detallada sobre la distribución actual de la especie en la región, todavía se encuentran en desarrollo estudios enfocados a estimar el tamaño de la población de la especie en la zona. Por lo tanto, es fundamental continuar con estos esfuerzos, y monitorear la población a largo plazo.

En la región de la costa michoacana existe una fuerte tradición de comercialización de psitácidos. En la década de los ochenta existía una semana de festividades durante el mes de Mayo conocida como “La feria del perico”, en la localidad de La Placita, donde el objetivo era la comercialización de grandes cantidades de psitácidos. Sumado a las acciones de investigación y conservación de hábitats, es necesario diseñar e implementar programas de educación ambiental orientados a cambiar la cultura de la captura de loros, por la observación o aviturismo en condiciones naturales.

Los resultados obtenidos nos permiten delinear acciones específicas para la conservación a largo plazo de la especie en la región: 1) Mantener la conectividad entre las poblaciones del Loro cabeza amarilla de Michoacán y las de Guerrero; 2) Evitar la pérdida del hábitat en los municipios de Coahuayana y Aquila, donde la especie ha sido extirpada, para que pueda recolonizar o ser reintroducida en el futuro; 3) Analizar la posibilidad de establecer alguna ANP en la región, en colaboración con las comunidades locales; 4) Continuar con estudios poblacionales para conocer parámetros demográficos y sus requerimientos, y 5) Diseñar programas de educación ambiental y detonar actividades económicas alternativas como el ecoturismo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no podría haber sido posible sin el apoyo financiero de diferentes institucio-

nes. Agradecemos al CONACYT por su apoyo al proyecto clave 135702-V, al Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT por su apoyo al proyecto 2002-C01-00021, a CONABIO por su apoyo a los proyectos PO25 y L245, a la Coordinación de Investigación Científica por su apoyo al proyecto clave 8.6, a National Fish & Wildlife Foundation y US Agency for International Development 99-224 for funding the studies on the Michoacana coast in 1988, y a la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el continuo apoyo logístico. Agradecemos a la Dirección General de Vida Silvestre en SEMARNAT por otorgar los permisos de investigación. Deseamos externar nuestro más profundo agradecimiento a R. Cancino-Murillo, L. Téllez-García, B. Santiago-Valencia, A. Huerta-Heredia y a M. A. de Labra-Hernández, quienes han colaborado intensivamente en campo. Nuestro sincero agradecimiento para P. Escalante-Pliego por sus sugerencias y recomendaciones, y para J. F. Villaseñor-Gómez por todo el apoyo y consejos proporcionados. Además deseamos agradecer a tres revisores anónimos cuyas atinadas observaciones ayudaron sustancialmente a mejorar este manuscrito.

REFERENCIAS

- Antaramián-Harutunian A., & G. Correa-Pérez. 2003. Fisiografía. Pp. 42–46 in Atlas Geográfico de Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Secretaría de Educación de Michoacán, El Colegio de Michoacán, Michoacán, México.
- Anderson, R. P., M. Gómez-Laverde, & A. T. Peterson. 2002. Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: insights from predictive models. *Glob. Ecol. & Biogeogr.* 11: 131–141.
- Anderson, R. P., & E. Martínez-Meyer. 2004. Modeling species geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biol. Conserv.* 116: 167–179.
- Anderson, R. P., D. Lew, & A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecol. Modell.* 162 : 211–232.
- Bibby, C. J., N. D. Burgess, D. A. Hill, & S. H. Moustoe. 2000. Bird census techniques. 2nd ed. Academic Press, London, UK.
- BirdLife International. 2000. Threatened birds of the world. Lynx Edicions and BirdLife International, Barcelona, Spain, & Cambridge, UK.
- Casagrande, D. G., & S. R. Beissinger. 1997. Evaluation of four methods for estimating parrot population size. *Condor* 99: 445–457.
- Chapman, C. A., L. J. Chapman, & L. Lefebvre. 1989. Variability in parrot flock size: possible functions of communal roosts. *Condor* 91: 842–847.
- Collar, N. J., L. P. Gonzaga, N. Krabbe, A. Madroño Nieto, L. G. Naranjo, T. A. Parker III, & D. C. Wege. 1992. Threatened birds of the Americas. The ICBP/IUCN Red Data Book. 3 ed. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestre – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, Distrito Federal, México.
- Enkerlin-Hoeflich, E.C. 1995. Comparative ecology and reproductive biology of three species of Amazon parrots in northeastern México. Ph.D. diss., Texas A & M Univ., College Station, Texas.
- Feria, T. P., & A. T. Peterson. 2002. Using point count occurrence data and inferential algorithms to predict local communities of birds. *Divers. Distrib.* 8 :49–56.
- Forshaw, J. M. 1989. Parrots of the world. 3rd ed. Blandford, London, UK..
- Grinnell, J. 1917. Field tests of theories concerning distributional control. *Am. Nat.* 51: 115–128.
- Hilton-Taylor, C. 2000. Red list of threatened species. IUCN, Gland, Switzerland, & Cambridge,

- UK.
- Howell, S. N. G., & S. Webb. 1995. A guide to the birds of México and northern Central America. Oxford Univ. Press, Oxford, UK.
- Macías-Caballero, C., & E. E. Inígo-Elías. 2003. Evaluación del estado de conservación actual de las poblaciones de Loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) en México. Informe Final, Proyecto AS002, Comisión Nacional para el uso y conocimiento de la Biodiversidad, México, México.
- Madrigal, S. X. 1997. Ubicación fisiográfica de la vegetación en Michoacán, México. *Cienc. Nicolaita* 15 : 83–96.
- Marsden, S. J. 1999. Estimation of parrot and hornbill densities using a point count distance sampling method. *Ibis* 141: 377–390.
- Martínez-Meyer. E. 2005. Climate change and biodiversity : some considerations in forecasting shifts in species potencial distributions. *Biodivers. Informat.* 2: 42–55.
- Peterson, A. T. 2001. Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor* 103: 599–605.
- Peterson, A. T., & D. A. Kluza. 2003. New distributional modelling approaches for GAP analysis. *Anim. Conserv.* 6: 47–54.
- Peterson, A. T., G. L. Ball, & P. K. Cohoon. 2002. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modeling methods. *Ibis* 144: 27–32.
- Peterson, A. T., V. Sánchez-Cordero, E. Martínez-Meyer, & A. G. Navarro-Sigüenza. 2006. Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land-cover information. *Ecol. Modell.* 195: 229–236.
- Renton, K. 2002. *Amazona oratrix*, Loro cabeza amarilla. Pp. 343–344. *in* Noguera, F. A., J. H. Vega-Rivera, A. N. García-Aldrete, & M. Quesada-Avedaño (eds.). *Historia natural de Chamaela*. Instituto de Biología, Univ. Nacional Autónoma de México, México, México.
- Sánchez-Cordero V., V. Cirelli, M. Murguía, & S. Sarkar. 2005. Place prioritization for biodiversity representation using species ecological niche modeling. *Biodivers. Informat.* 2: 11–23.
- SEMARNAP-UNAM, 2000. Resultados del inventario forestal nacional 2000. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca-Instituto de Geografía, Univ. Nacional Autónoma de México, México, México.
- Soberón, J., & A. T. Peterson. 2005. Interpretation of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodivers. Informat.* 2: 1–10.
- Snyder, N. F. R., P. McGowan, J. Gilardi, & A. Grajal. 2000. Parrots. Status Survey and Conservation Action Plan 2000–2004, IUCN, Gland, Switzerland, & Cambridge, U.K.
- Stockwell, D. R. B., & I. R. Noble. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of analysis. *Math. Comp. Simul.* 33: 385–390.
- Stockwell, D. R. B., & D. P. Peters. 1999. The GARP modeling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *Int. J. Geog. Inf. Syst.* 13: 143–158.
- Stockwell, D. R. B., & T. A. Peterson. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecol. Modell.* 148: 1–13.
- Stotz, D.F., J. W. Fitzpatrick, T. A. Parker III, & D. K. Moskovits. 1996. Neotropical birds. Ecology and conservation. Univ. of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- Villaseñor-Gómez, J. F. 1988. Aves costeras de Michoacán, México. Tesis de licenciatura, Univ. Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Villaseñor-Gómez, J. F. & L. E. Villaseñor-Gómez. 1997. Diversidad de aves como indicador de áreas prioritarias para conservación biológica en Michoacán. *Cienc. Nicolaita* 15: 83–96.