



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

Contribución a la conservación de la cotorra serrana occidental
(*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) mediante la caracterización y modelación
de sitios potenciales de anidación en la Sierra Madre Occidental, México.

por

Nereyda Nathalie Cruz Maldonado

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Manejo y Conservación de
Bosques Naturales y Biodiversidad

Turrialba, Costa Rica, 2010

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

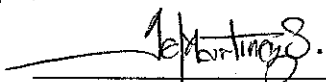
**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DE BOSQUES TROPICALES
Y BIODIVERSIDAD**

FIRMANTES:

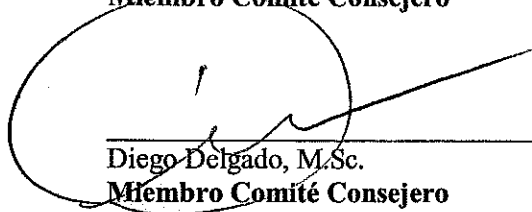


Fabrice De Clerck, Ph.D.
Co-Director de tesis

Sonia G. Ortiz, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



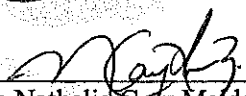
Alejandra Martínez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Diego Delgado, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Nereyda Nathalie Cruz Maldonado
Candidata

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia que gracias a sus consejos y palabras de aliento me han ayudado a crecer como persona. En especial a mis padres, por su amor y apoyo incondicional...gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y como estudiante. A mis hermanas Azalea y Ángela por darme ánimos y a mi sobrino Mauricio.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor consejero Fabrice DeClerck, por su apoyo, consejos y disposición durante la realización de esta tesis, pero sobre todo por su confianza.

A Sonia Gabriela Ortiz, miembro del comité de tesis, por abrirme las puertas en el proyecto de la cotorra serrana occidental.

A Alejandra Martínez y Diego Delgado, miembros del comité de tesis, por sus recomendaciones, sugerencias y orientación que me ayudaron a culminar este trabajo de la mejor manera.

A Christian Brenes por sus clases de ArcGis y Sergio Vilchez por sus observaciones en la elaboración del modelo.

A Javier Cruz, mi tío querido, quien siempre estuvo al pendiente y orientándome para que pudiera terminar mi trabajo de investigación.

Al equipo de campo, que de no ser por ellos este trabajo no habría sido posible, Francelia por ser la cordura del equipo, Manuelillo por sus amplios conocimientos en los caminos de la sierra y quien estuvo siempre en la mejor disposición de ayudarme y a Gehu por sus certeros comentarios y estos años de amistad.

A todos mis profesores que fueron pilar y fortaleza en mi formación académica, gracias por todos los conocimientos compartidos.

A mis amig@s, Claus, Ale, Mayra y José Miguel por sus, años de amistad, por saber que existen y que siempre están ahí mandando buena vibra!

A mis compañeros y amigos de CATIE, Carlitos, Shuby, Emy, Yaz, Fran, Santi, Marjorie, Boris, Annie quienes hicieron de estos dos años una linda experiencia.

A los paisanos, por las comidas domingueras que hacían que extrañara menos la comida mexicana, en especial a Carlitos por ser su casa la sede oficial para este evento!

A Shuby por su compañía en esta realidad alterna, por las interminables platicas, por su paciencia y comprensión, pero sobre todo por su amistad!

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	X
1 OBJETIVOS	11
1.1 Objetivo general.....	11
1.2 Objetivos específicos	11
2 ARTÍCULO I.....	12
Estado de conservación de la cotorra serrana occidental (<i>Rhynchopsitta pachyrhyncha</i>) en México	12
2.1 INTRODUCCIÓN.....	13
2.2 La cotorra serrana occidental: distribución y migración	14
2.3 Estado de la población	18
2.4 Hábitat: áreas de anidación en la Sierra Madre Occidental.....	18
2.4.1 Descripción de los sitios de anidamiento:.....	20
2.5 Amenazas.....	22
2.6 Ecología de la especie.....	25
2.7 Esfuerzos de conservación.....	30
3 DISCUSION	34
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
5 ARTÍCULO II.....	36
Modelamiento de Nicho potencial de Anidación para <i>Rhynchopsitta pachyrhyncha</i> : MaxEnt	36
6 INTRODUCCIÓN	37
7 MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
7.1 Descripción del área de estudio	41
7.2 Clima.....	42
7.3 Modelación de nicho ecológico: MaxEnt	42
7.4 Preparación de insumos para la modelación.....	42
7.5 Verificación del modelo en campo	47
8 RESULTADOS	50
8.1 Modelación de nicho ecológico: MaxEnt	50
8.1 Verificación del modelo en campo:.....	59

9	DISCUSIÓN	62
9.1	Modelación de nicho ecológico: MaxEnt	62
9.2	Verificación del modelo en campo:	63
10	CONCLUSIONES	65
10.1	Modelación de nicho ecológico: MaxEnt	65
10.2	Verificación del modelo en campo:	65
11	RECOMENDACIONES.....	66
12	BIBLIOGRAFÍA	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Áreas Naturales Protegidas con presencia de cotorras serranas occidentales (CONANP y Pronatura 2010).....	17
Cuadro 2. Especies de los árboles y altitud de los nidos de la cotorra serrana occidental (<i>R. pachyrhyncha</i>) en Chihuahua, México, Cruz-Nieto, J (base de datos sin publicar, ITESM 2010). 27	
Cuadro 3. Datos de entrada para modelar en MaxEnt.....	45
Cuadro 4. Porcentajes de contribución de las capas ambientales en la distribución de <i>R. pachyrhyncha</i>	54
Cuadro 5. Puntos de verificación del modelo MaxEnt en campo.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cotorra serrana occidental (<i>Rhynchopsitta pachyrhyncha</i>).....	13
Figura 2. Rango histórico de distribución de la cotorra serrana occidental (<i>Rhynchopsitta pachyrhyncha</i>).....	14
Figura 3. Rango actual de distribución de la cotorra serrana occidental (<i>Rhynchopsitta pachyrhyncha</i>).....	15
Figura 4. Áreas de anidación de la Cotorra serrana occidental (<i>Rhynchopsitta pachyrhyncha</i>) en la Sierra Madre Occidental: Mesa de las Guacamayas, Madera, Cebadillas de Bisaloachi, Vallecillo y San Juanito	19
Figura 5. Ciclo anual de anidación y migración de la cotorra serrana occidental. Las líneas gruesas muestran el pico de actividad, las líneas finas las de menor actividad. No hay información sobre muda.	29
Figura 6. Área de estudio en la Sierra Madre Occidental, México.....	41
Figura 7. Puntos de ocurrencia de la cotorra serrana occidental proporcionados por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.	44
Figura 8. Mapa de ubicación de los puntos de verificación en campo del modelo MaxEnt.	48
Figura 9. Mapa de probabilidad de distribución para <i>R. pachyrhyncha</i> obtenido a través del programa MaxEnt. Los tonos más cálidos muestran las áreas con mayor probabilidad de ocurrencia de la especie. Los puntos blancos muestran los registros de la especie (presencias), mientras que los puntos violetas muestran los puntos de entrenamiento (con los que se validó el modelo).	50
Figura 10. Mapa de probabilidad de distribución para <i>R. pachyrhyncha</i> obtenido a través del programa MaxEnt.	51
A continuación se muestra el mapa de distribución generado por MaxEnt comparado con los puntos de ocurrencia que se utilizaron en la elaboración del modelo (Figura 11).	51
Figura 11. Mapa de generado por MaxEnt comparado con los puntos de ocurrencia que se utilizaron para la elaboración del modelo distribución de <i>R. pachyrhyncha</i>	52
Figura 12. Curva operada por el receptor (ROC), tanto para los datos de entrenamiento como para los de prueba.	53

Figura 13. Prueba de “jackknife” correspondiente al AUC. Las barras azul claro sugieren que ninguna variable contiene la cantidad suficiente de información útil que no este contenida en las otras variables, el color azul significa que se corre el modelo con solo la variable que se quiere analizar y el color rojo significa que se corre el modelo con todas las variables.	55
Figura 14. Curvas de respuesta de <i>R. pachyrhyncha</i> respecto a cada variable son los siguientes: a. distancia a calles, b. distancia a poblados, c. distancia a ríos, d. MED (modelo de elevación digital), e. precipitación media (mayo-octubre), f. pendiente y g. temperatura media (mayo-octubre).	57
Figura 16. Puntos aleatorizados en ArcGis para verificación en campo.	59
Figura 17. Evidencias observadas en los puntos de verificación en campo.	61

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ACP: Análisis de Componentes Principales

APFF: Área de Protección de Flora y Fauna

AUC: Area Under Curve

°C: grados centígrados

CITES: Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de flora y fauna silvestres

cm: centímetros

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONANP: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

DAP: diámetro a la altura del pecho

DOF: Diario Oficial de la Federación

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación

ha: hectáreas

INE: Instituto Nacional de Ecología

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

km: kilómetros

km²: kilómetros cuadrados

m: metros

MGM2005: Marco Geoestadístico Municipal 2005

msnm: metros sobre el nivel del mar

NOM: Norma Oficial Mexicana

PROCER: Programa de Conservación de Especies en Riesgo

ROC: Receiver Operating Characteristic

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

USFS: U.S. Forest Service

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

- Modelar sitios potenciales de distribución para contribuir a la conservación y recuperación de la población de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*).

1.2 Objetivos específicos

- Hacer un análisis a partir de la revisión de literatura sobre el estado de conservación de la cotorra serrana occidental.
- Analizar los vacíos de información así como proponer acciones futuras para la conservación de la cotorra serrana occidental.
- Modelar la distribución potencial se sitios de anidación para la cotorra serrana occidental.
- Verificar en campo el modelo de distribución potencial para la cotorra serrana occidental.

2 ARTÍCULO I

ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA COTORRA SERRANA OCCIDENTAL (*RHYNCHOPSITTA* *PACHYRHYNCHA*) EN MÉXICO

Resumen

El estado de conservación de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*), una especie endémica de los bosques templados en México, se evaluó usando la información más reciente disponible. El área de distribución conocida de esta especie es de forma irregular a lo largo de la Sierra Madre Occidental que cubre 289,000 km², los sitios de anidación se ubican en la parte noroeste, principalmente en los estados de Durango y Chihuahua e históricamente hay registros en el sureste de Arizona y suroeste de Nuevo México, Estados Unidos; sin embargo a principios del siglo XX se declaró su extirpación de Estados Unidos por causas antropogénicas. En México sus poblaciones se encuentran en declive debido principalmente a la degradación y destrucción de su hábitat; por lo que se han puesto en marcha diferentes programas tanto para la restauración de la especie en Estados Unidos (translocación y reintroducción) así como la preservación de la especie en México. En 1995 se elaboró un proyecto de investigación “Estatus, distribución, ecología y conservación de las cotorras serranas en el Norte de México”, iniciado y dirigido por Ernesto Enkerlin en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Actualmente a cargo de Sonia Gabriela Ortiz-Maciel, desde 1995-2010 se han monitoreado un total de 392 nidos en los 5 sitios de anidación identificados; Mesa de las Guacamayas (23), Madera (158), Cebadillas de Bisaloachi (157), Vallecillo (23) y San Juanito (23). Así mismo, se encuentra en marcha el “Programa de Acción para la Conservación de Especies” (PACE) a cargo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), en colaboración con el ITESM y Pronatura, entre las líneas de acción se encuentran, lograr detectar nuevas áreas para proteger a la especie, establecer comités de vigilancia participativa en comunidades localizadas en áreas con avistamientos de cotorras, reducir el saqueo y comercio ilegal de ejemplares así como contar con un diagnóstico nacional de las áreas con potencial para la restauración de hábitat y repoblación de cotorras serranas que incluya una categorización sobre su prioridad y descripción de las pautas de manejo necesarias.

2.1 INTRODUCCIÓN

La cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) (Figura 1) es una especie endémica de la Sierra Madre Occidental, México. Se encuentra listada en el Apéndice I del CITES como especie “en peligro de extinción” (Collar y Juniper 1992) y es una de las pocas especies de psitácidos que habita en los bosques templados de coníferas (Collar y Juniper 1992; BirdLife 2009). La población silvestre de *R. pachyrhyncha* ha sido objeto de estudio desde 1995, cuando se inició en México un esfuerzo para establecer un programa integral de conservación para la cotorra serrana occidental, a cargo del Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey (ITESM), este programa nos conduciría a un mejor conocimiento de la población de la cotorra y sus necesidades, para proponer y desarrollar un plan de conservación para esta especie y su hábitat, tomando en cuenta las realidades socioeconómicas del área e incorporando a la población local en los procesos de planeación. El actual programa de *R. pachyrhyncha* se centra en las acciones de conservación para establecer la línea base sobre el estatus, distribución, ecología y conservación de las cotorras serranas en el Norte de México. El objetivo de este documento es hacer un análisis a partir de la revisión de literatura sobre el estado de conservación y analizar los vacíos de información así como proponer acciones futuras para su conservación.



Figura 1. Cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*).

2.2 La cotorra serrana occidental: distribución y migración

Hasta el siglo pasado, la cotorra serrana occidental se encontraba en Estados Unidos, al sureste de Arizona y suroeste de Nuevo México (montañas Chiricahuas en Arizona y las Ánimas en Nuevo México) (Smith 1907; Wetmore 1935; Forshaw 1989; Howell y Webb 1995; Monterrubio y Enkerlin-Hoelfich 2004). Sin embargo, el último reporte oficial para la especie en Estados Unidos se registró en 1938, por lo que a principios del siglo XX se declaró su extirpación de Estados Unidos por causas de presión humana como la cacería y destrucción del hábitat (Snyder *et al.* 1994). En México, su rango de distribución se extendía desde el norte de Chihuahua y Sonora hasta los estados de Michoacán y Jalisco (Forshaw 1989; Howell y Webb 1995) y los sitios ocupados más sureños comprendieron los estados de Veracruz y México (Figura 2) (CONANP y Pronatura-Sur 2008).

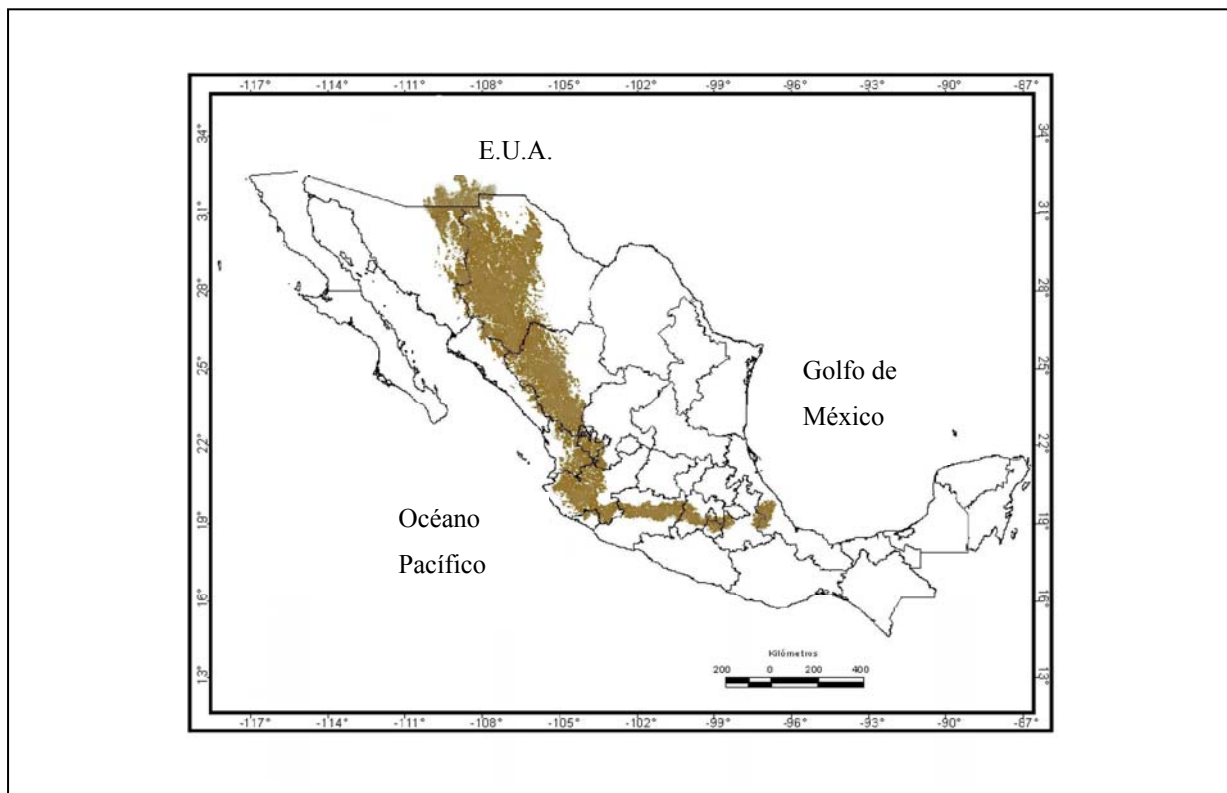


Figura 2. Rango histórico de distribución de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*).

En 1995, la especie se extendía desde el norte de Chihuahua y Sonora hasta los estados de Michoacán y Jalisco (Figura 3) (Howell y Webb, 1995). Actualmente, las

poblaciones han declinado marcadamente en México y las parejas reproductoras ahora solo las encontramos en áreas remotas e inalteradas de la Sierra Madre Occidental (Enkerlin-Hoelfich 1996) donde el área reproductiva abarca la Mesa de las Guacamayas, en el estado de Chihuahua hasta la localidad de Camellones, centro del estado de Durango (Cruz-Nieto y Vidal 2008).

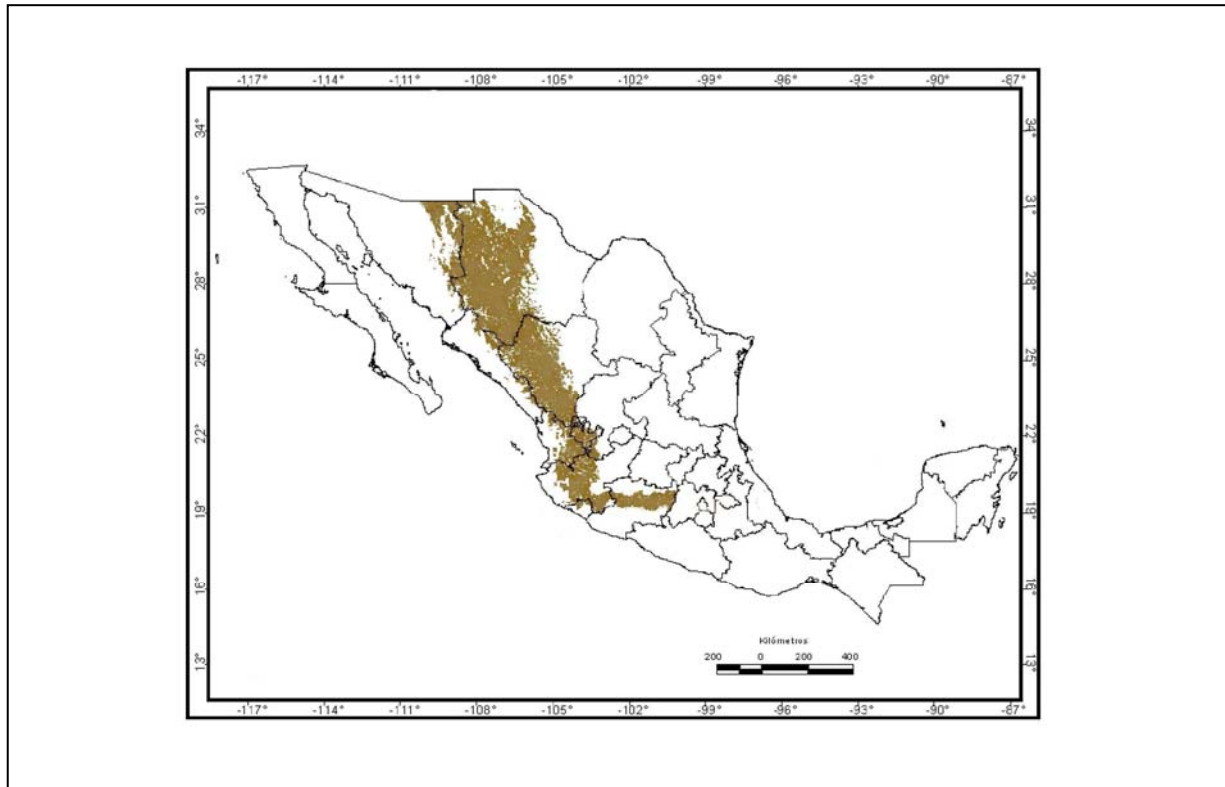


Figura 3. Rango actual de distribución de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*).

Se estima que hasta 1995 la cotorra serrana occidental ya ocupaba menos del 1% de su distribución original (Lammertink *et al.*, 1997). Cabe destacar que las localidades de Mohinora, Vacas, Camellones y Nevado, que en la década de 1980 fueron identificadas como sitios de anidación en Durango (Lanning y Shiflett 1983), hoy en día se encuentran muy perturbadas y no presentan evidencia de actividad reproductiva. Por su parte, sitios como Cebadillas de Bisaloachi y Madera, contienen árboles de menor altitud que los que existían en las cuatro primeras localidades pero están en buen estado de conservación, y ahora son los lugares más importantes para la reproducción de esta especie (Monterrubio y Enkerlin-Hoelfich 2004).

A diferencia de muchos otros psitácidos, al menos algunas poblaciones de la cotorra serrana occidental, migran largas distancias por temporadas, sin embargo, estas migraciones no han sido documentadas en detalle, estudios preliminares de radiotelemetría están llevando a determinar los rangos de invernada de las diversas poblaciones reproductoras de México. Más allá de las migraciones regulares de esta especie, también presenta irregulares respuestas nómadas a las fluctuaciones en los suministros de alimentos, ocasionando esto que en algunas ocasiones se encuentre en números fuera de su rango normal (Snyder *et al.* 1999).

Por otro lado, las evidencias de las migraciones regulares estacionales son indirectas, no habiendo claridad sobre si todas las poblaciones presentan este mismo comportamiento. Sin embargo, entrevistas realizadas a los pobladores de las áreas en donde regularmente se observa la cotorra, sugieren que la especie desaparece de Chihuahua y Sonora durante el invierno (noviembre-abril), aunque también se reporta la presencia de individuos durante todo el año, en algunas partes de Durango (Forshaw 1989; Snyder *et al.* 1999). Las migraciones estacionales de al menos algunas poblaciones en México tienden a seguir las cordilleras, aunque esto no se ha documentado de forma directa (Snyder *et al.* 1999). Las distancias recorridas son muy inciertas, pero la ausencia de la especie en Chihuahua y Sonora en invierno sugiere que algunas poblaciones migran hasta 1,000 km entre zonas de invierno y las zonas de veraneo (Lanning y Shiflett 1983; Cruz-Nieto 1998). Cabe destacar, que entre los lugares que habitan, existen diversas Áreas Naturales Protegidas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Áreas Naturales Protegidas con presencia de cotorras serranas occidentales (CONANP y Pronatura 2010).

Nombre	Tipo	Extensión (ha)	Ubicación
Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Ajos Bavispe	Federal	180,048	Sonora
Reserva de la Biosfera de Janos ² (Mesa de Guacamayas)	Federal	19,000	Chihuahua
Área de Protección de Flora y Fauna Campo Verde	Federal	108,067	Chihuahua y Sonora
Santuario Madera ²	Estatal	2,800	Chihuahua
Área de Protección de Flora y Fauna Tutuaca	Federal	363,440	Chihuahua y Sonora
Área de Protección de Flora y Fauna Papigochi	Federal	243,639	Chihuahua
Parque Nacional Cascada de Bassaseachic	Federal	5,911	Chihuahua
Área de Protección de Flora y Fauna Cerro de Mohinora ²	Estatal	9,126	Chihuahua
Reserva de la Biosfera La Michilía ¹	Federal	9,421	Durango
Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit ¹	Federal	1,553,438	Aguascalientes, Jalisco, Durango, Nayarit y Zacatecas
Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila ¹	Federal	14,168	Jalisco
Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán ¹	Federal	139,577	Jalisco y Colima
Parque Nacional Nevado de Colima ¹	Federal	6,525	Jalisco y Colima
Área de Protección de Flora y Fauna El Jabalí ¹	Federal	5,065	Colima
Parque Nacional Pico de Tancítaro ¹	Federal	23,448	Michoacán
Parque Nacional Barranca del Cupatitzio ¹	Federal	427	Michoacán

¹ Distribución invernal, ² Área en proceso de decreto

2.3 Estado de la población

Los estudios de estatus y distribución para la cotorra serrana occidental, incluyen múltiples esfuerzos con metodologías que incluyen sondeos por tierra, entrevistas y conteos en los dormideros (Ridgely 1982; Lammertink *et al.* 1996; Cruz-Nieto 1998; ITESM-Pronatura 2002; CONANP y Pronatura Sur 2008), así mismo un estudio de hábitat de distribución potencial para la cotorra (2010). Para estas actividades fue importante seleccionar áreas representativas y utilizarlas para el monitoreo como indicativas de lo que puede estar sucediendo en el rango total de la especie (Enkerlin-Hoeflich 1997). En 1996 Lammertink ofreció una estimación aproximada de la población silvestre donde calculaba 500 a 2000 parejas. En el 2002 se estimaba en 4000 individuos (Lamberski y Healy 2002) y en el 2008, Cruz y Vidal contabilizaron, en tres sitios de anidación (Tutuaca, Madera y Mesa de las Guacamayas), un total aproximado de 3500 individuos. Aunque esta estimación es adecuada para la población reproductora, no se ha desarrollado aún un método exacto para calcular el número total en la naturaleza (Snyder *et al.* 1999).

2.4 Hábitat: áreas de anidación en la Sierra Madre Occidental

A pesar de la severa degradación de la Sierra Madre Occidental en los últimos cincuenta años, aun es posible encontrar algunas áreas que se han mantenido relativamente poco afectadas. Estas son pocas y de escaso tamaño pero algunas albergan poblaciones relativamente sanas de cotorra serrana occidental (Enkerlin-Hoeflich 1998) y es aquí donde se desarrollan los monitoreos del ITESM (CONANP y Pronatura 2010). Se reconocen al menos cinco sitios principales de anidación de la cotorra serrana occidental. Estos sitios varían en el área de superficie de anidación que van desde 2 km² hasta 23.8 km² (Enkerlin-Hoeflich 1998). Los nidos en estas áreas se encontraron durante las búsquedas previas a la puesta de huevos (principios de junio), en esta etapa la actividad de las cotorras es intensa y su comportamiento asociado que incluye examinar cavidades, fuertes vocalizaciones y frecuentes movimientos de parvadas a escala local, facilita su ubicación (Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004).

Se han identificado 5 áreas de anidación (Figura 4), Mesa de las Guacamayas, Madera, Cebadillas de Bisaloachi, Vallecillo y San Juanito. Durante el período 1995-2000, se encontraron 187 nidos en estos 5 sitios de anidación siendo Cebadillas de

Bisaloachi (Cebadillas de Yahuirachi) el área con mayor cantidad de nidos observados (106) seguido de Madera (36), Mesa de las Guacamayas (15), San Juanito (19) y en menor cantidad Vallecillo (11) (Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004). Las áreas de anidación se encuentran en los bosques de coníferas de la Sierra Madre Occidental, en el estado de Chihuahua. El paisaje consiste principalmente de bosques de coníferas manejados de manera intensiva con tala selectiva a elevaciones entre 2200 y 2850 m. Las especies arbóreas más comunes son *Pinus ayacahuite*, *P. durangensis*, *P. arizonica*, *P. leiophylla*, *P. lumholtzi* y *P. teocote*. En exposiciones norte de las mayores elevaciones se encuentran *Pseudotsuga mensiezii*, *Abies concolor* y *Populus tremuloides* formando ocasionalmente rodales puros. Otras especies comunes en estos bosques pertenecen a los géneros *Quercus*, *Arbutus*, *Fraxinus*, *Prunus* y *Juniperus* (Lanning & Shiftlett 1983, Lammertink *et al.* 1996, Fule & Covington 1997). Por otra parte, *Picea* se presenta en forma relictual, pero constituyendo pequeños bosques de hasta 40 m de alto (Rzedowsky y Huerta 1978).

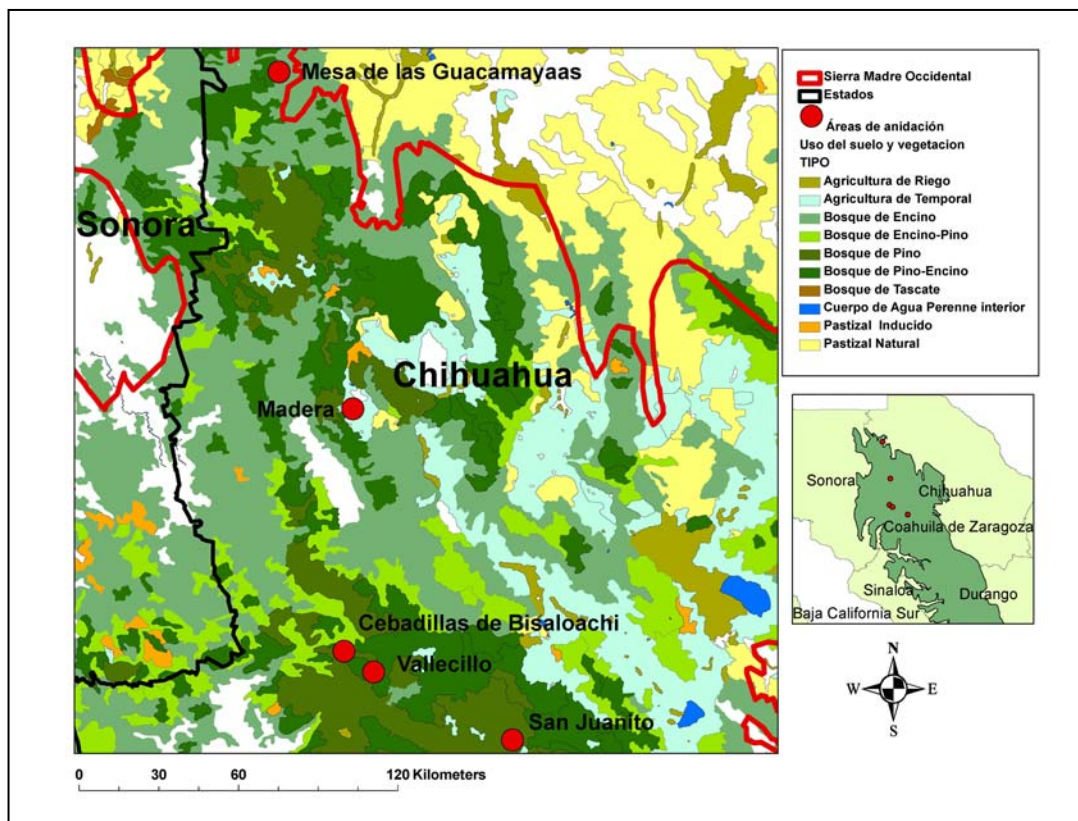


Figura 4. Áreas de anidación de la Cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) en la Sierra Madre Occidental: Mesa de las Guacamayas, Madera, Cebadillas de Bisaloachi, Vallecillo y San Juanito

2.4.1 Descripción de los sitios de anidamiento:

Uno de los cinco sitios de anidación conocidos es Mesa de Guacamayas. Esta meseta se encuentra a 2300 msnm y representa el área de anidación más norteña de la especie. Este bosque está ubicado únicamente a 50 millas (80,467 km) al sur de la frontera con los Estados Unidos con una superficie de hábitat de 4,300 ha. Mesa de Guacamayas representa un área vital para los esfuerzos de conservación de la especie ya que el incremento de la población de cotorras a nivel local podría auxiliar en los esfuerzos de repoblamiento de la especie en su hábitat ancestral dentro de los bosques de Arizona y Nuevo México. Aunque es un área parcialmente degradada existen manchones considerables de bosque maduro en las pendientes más inclinadas y húmedas. Todavía es posible encontrar cantidades substanciales de árboles muertos en pie (snags) de *Pseudotsuga menziessi*, rodales de *Pinus duranguensis*, *Pinus arizonica* y *Pinus ayacahuite* mismos que constituyen importantes fuentes de alimento para la cotorra. *Abies concolor* y *Populus tremuloides* forman parte del arbolado del área aunque en menores densidades. La extensión aproximada de la superficie del área de anidación es de 19.8 km² (Enkerlin-Hoeflich 1998; Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004), el ITESM ha monitoreado 23 nidos desde 1995-2010 (*com.personal*: Cruz-Nieto).

El segundo sitio nombrado Madera, se encuentra caracterizada por la presencia de grandes rodales de bosque maduro a una altura promedio de 2110 msnm con una superficie de hábitat estimado en 29,000 ha. Existe también en el área de una cañada extremadamente húmeda de pendientes muy inclinadas y dominada en las partes bajas y planas por *Populus tremuloides*, en las pendientes orientación norte encontramos rodales con dominancia de *Pseudotsuga menziessi* así como *Abies concolor*. Existe evidencia de tala selectiva, sin embargo lo especial de esta zona de anidación es que la mayoría de los nidos (98%) se encuentran en árboles maduros de *Populus tremuloides* y es también la zona de mayor densidad de nidos por unidad de superficie con 5.1 nidos por ha. A pesar de ello la zona se ve amenazada por el desmonte para la siembra de drogas. La superficie estimada del área de anidación es de 6 km² (Enkerlin-Hoeflich 1998; Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004), el ITESM ha monitoreado 158 nidos desde 1995-2010 (*com.personal*: Cruz-Nieto).

El tercer sitio, Cebadillas de Bisaloachi, también conocida como Cebadillas de Yahuirachi, es la principal zona de anidación descrita en el único trabajo histórico realizado sobre biología reproductiva y ecología de anidación de *R. pachyrhyncha* (Lanning & Shiflett 1983). Presenta un área total de 230,000 ha de hábitat potencial. El área fue ligeramente talada antes de 1979 y desde entonces no ha existido explotación forestal debido a la existencia de un conflicto de límites entre comunidades (Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004). Es posible encontrar varias comunidades maduras de bosque, existen rodales de bosque maduro con diferentes composiciones de especies dependiendo de la pendiente y el nivel de humedad. *Pseudotsuga menziessi* es el elemento dominante en las exposiciones norte de las pendientes. Las partes bajas y fondos de las cañadas muestran alternancias en dominancia pero generalmente son bosques mixtos de coníferas con altas densidades de *P. ayacahuite* y *P. arizonica*. Existe también una comunidad única en estructura y composición, se trata del bosque maduro de *Picea chihuahuana-Pseudotsuga menziessi*, parche considerado como relicto ya que en pocas áreas persiste la endémica y amenazada conífera *Picea chihuahuana*. La superficie total estimada de Cebadillas es de 23.8 km². Es importante destacar también la permanencia de grandes densidades de árboles muertos en pie (snags) de diversas especies de coníferas, mismos que proveen cavidades a la cotorra serrana occidental para anidar (Enkerlin-Hoeflich 1998; Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004), el ITESM ha monitoreado 157 nidos desde 1995-2010 (*com.personal*: Cruz-Nieto).

El cuarto sitio reconocido como sitio de anidación es Vallecillo, un bosque severamente degradado de 300 ha de superficie con una larga historia de extracción forestal intensiva y de incendios (Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004). Existen bajas densidades de *Pseudotsuga menziessi* y el bosque es básicamente dominado por pinos jóvenes. Vallecillo también fue estudiado por Lanning y Shiflett (1983). La superficie del hábitat de anidación estimado es de 4 km² (Enkerlin-Hoeflich 1998), el ITESM ha monitoreado 23 nidos desde 1995-2010 (*com.personal*: Cruz-Nieto).

Por último, el quinto sitio, las áreas de anidación de San Juanito son el cerro Rumúrachic y el cordón de Cebadillas de Ocampo. Ambas están caracterizadas por intensa actividad de extracción forestal. Los árboles muertos en pie (snags) son escasas ya que en su mayoría se han removido para la obtención de celulosa, las parejas de

cotorras serranas que persisten en la zona anidan por lo general en pequeños fragmentos de bosque maduro en las porciones más inaccesibles de la sierra, en donde permanecen todavía algunos árboles grandes. La mayor parte del bosque es joven y los árboles rara vez pasan de 20 cm de diámetro (Enkerlin-Hoeflich 1998; Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004). Estas áreas son las más degradadas, y aquellos sitios en donde todavía se han encontrado parejas de cotorra serrana occidental son por lo general manchones menores a 2 ha (Enkerlin-Hoeflich 1998), el ITESM ha monitoreado 30 nidos desde 1995-2010 (*com.personal*: Cruz-Nieto).

En un estudio realizado en la temporada 2010 y en base al BBIRD Field Protocol (Martin *et al.* 1997a) se caracterizaron 17 nidos en tres áreas de anidación Madera (Martin *et al.*), Cebadillas de Bisaloachi (Martin *et al.*) y San Juanito (3) y en base los resultados obtenidos se observó que los nidos se encontraban a una altitud promedio de 2650 msnm con una rango de 2261-2750 msnm, el árbol donde anidaba tenía un dap promedio de 58.6 cm con rangos entre 34-90 cm de dap, encontrando la mayoría de los nidos en árboles muertos en pie (snags) o deteriorados (12) a una altura promedio de 23m, con una densidad de dosel y porcentaje restante de la parcela de 63.5%, se encontró también un promedio de 65 renuevos (árboles ≤ 5 cm dap) y 35 árboles (≥ 5 cm dap) por parcela, estos últimos con un dap promedio de 16.7 cm de dap con rangos entre 5-83 cm de dap. En las parcelas se encontraron entre 1 y 7 especies diferentes de renuevos como, *Pinus ayacahuite*, *P. duranguensis*, *P. arizonica*, *Populus tremuloides*, *Pseudotsuga menziessi*, *Arbutus jalapensis*, *Quercus* spp., *Abies* spp. Y *Juniperus* spp.; y entre los árboles (especies ≥ 5 cm dap) encontramos una diversidad entre 3 y 7 especies como, *Pinus ayacahuite*, *P. duranguensis*, *P. arizonica*, *Populus tremuloides*, *Pseudotsuga menziessi*, *Arbutus jalapensis*, *Quercus* spp., y *Abies* spp.. Entre las especies utilizadas para anidar fueron, *Populus tremuloides* (7), *Pseudotsuga menziessi* (4), *Pinus ayacahuite* (2), *P. duranguensis* (1), *Quercus* spp. (1) y desconocidos (2).

2.5 Amenazas

La extinción local de la cotorra serrana occidental en los Estados Unidos ha creado una considerable preocupación sobre el destino de esta especie en México; escritos como los de Austin Smith (1907), Charles Vorhies (1934) y Alexander

Wetmore (1935) hicieron saber la presencia de la cotorra serrana occidental al sureste de Arizona y suroeste de Nuevo México, Estados Unidos (montañas Chiricahuas en Arizona y las Ánimas en Nuevo México), y desde entonces manifestaron su preocupación por esta especie ya que observaron que era sujeta a cacería por la gente de la zona. Aldo Leopold (1937), señaló que la construcción de carreteras en los Estados Unidos había destruido el hábitat de la cotorra mostrando una preocupación por el futuro de la especie en México, después Marshall (1957) fue posiblemente el primero en puntualizar que “casi toda” la Sierra Madre Occidental, por lo menos en Chihuahua estaba siendo talada, “pero en cierta forma selectivamente”. Monson (1965) considero que la especie sería incapaz de desafiar a una población humana en expansión. Vincent (1966-1971) señaló que la remoción de árboles grandes sería particularmente dañina para la especie. La tala comercial de pinos vivos para obtener madera y el uso de pocos árboles muertos para obtener la pulpa empezó a comienzos de los años 1900 y ha aumentado de forma sostenida (Snyder *et al.* 1999). Se extrae, invariablemente, todos los pinos que pueden ser extraídos; y antiguos residentes de la región testifican la desaparición de la cotorra conjuntamente con la desaparición de los árboles donde anidaba el ave, de modo que, en 1979, fue posible atravesar grandes áreas sin que se encontrara en ellas sitios apropiados para que anidara la especie (Lanning y Shiflett 1983; Snyder *et al.* 1999).

Aunque existen estudios sobre las condiciones medioambientales de la Sierra Madre Occidental de Chihuahua, realizados por universidades y organizaciones conservacionistas y desde el sector privado, estos estudios no se han sistematizado a través de un sistema de información que permita disponer de la información necesaria para diseñar y evaluar una política a largo plazo que armonice la producción, el medio ambiente y las culturas indígenas. Los estudios ambientales para el sector público han sido un mero requisito, y no un instrumento de planeación y programación a largo plazo (Guerrero *et al.* 1999).

México tiene una de las tasas anuales de deforestación más altas del mundo, estimándose ésta en alrededor de 678,000 ha entre el periodo de 1981 a 1991 (FAO 2003). Hasta hace algunos años, se hablaba que la región forestal de Chihuahua, cubría una extensión aproximada de 6 millones de ha, y de 1970-1990 se dice que los bosques cubren una superficie de 4 millones de ha. La prensa local dio a conocer algunos datos

sobre la situación de los bosques de Chihuahua, basados en un estudio realizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el cual señala que de 370,000 a 680,000 ha se deforestaron en la década de 1980-1990, las tasas de deforestación están entre 0.7% al 1.3%. Por otra parte señala que de 1970-1990 los terrenos agrícolas aumentaron en un 39%, el área dedicada a la ganadería en un 15%, y el área forestal se redujo en un 13%, así mismo señala que las causas de la deforestación de la Sierra Madre Occidental son varias: las demográficas (la emigración de la Sierra se ha promovido por los proyectos turísticos, mineros y forestales), la ganadería, el sistema de roza y quema, la construcción de presas, la minería, el narcotráfico (desmontes y el uso de herbicidas), pero sobre todo, la amenaza principal es la industria forestal y del papel (Guerrero *et al.* 1999).

Actualmente no quedan grandes fragmentos de bosques maduros a lo largo de la Sierra Madre Occidental (Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004; Monterrubio *et al.* 2006), casi todos los bosques del norte de México se han talado de una a cuatro veces en el siglo XX (Guerrero *et al.* 1999). El método silvícola de bosque regular que se aplica masivamente en la Sierra Madre Occidental es notorio por su efecto negativo sobre la conservación del bosque (Guerrero *et al.* 1999). El Texas Center for Policy Studies de Austin Texas (1994), señala que: *“el tratamiento de bosques regulares no ha sido comprobado suficientemente en la región y es posible que no conduzca en muchas áreas a una reforestación equilibrada. Dados los impactos potenciales relacionados con: la erosión, las dificultades para regenerar el tejido boscoso y la importancia de la biodiversidad, este método representa un enorme riesgo.”* Por su parte, Arteaga y Martínez (1985) señalan que: *“al sur de México los bosques para pulpa se pueden manejar en períodos de 12 años, pero normalmente son de 18 a 20 años. Para el norte de México, en específico Chihuahua, las rotaciones requieren entre 80 y 100 años dependiendo de los factores del sitio.* Sin embargo, los ciclos en la región serrana por lo general son de 15 a 20 años, lo cual dificulta la recuperación del bosque. Debido a estas prácticas forestales las áreas forestales están siendo convertidas en bosques homogéneos (Lammertink *et al.* 1997). Lammertink (1997) señala que *“la tala selectiva de pinos arriba de los 30 cm. de diámetro que se practica en la Sierra Madre Occidental, junto con la remoción de la mayor parte de la madera muerta (árboles muertos en pie para celulosa) cuando el bosque ha sido intervenido una sola vez, se mantiene un bosque variado con encinos maduros, madroños, y algunas veces coníferas no comerciales*

como los abetos. Los bosques más severamente empobrecidos son los que han sido talados varias veces. Estas áreas de crecimiento secundario se convierten en bosques homogéneos de pinos jóvenes de la misma edad.

La tala del bosque, sobre todo cuando es extensiva, provoca la pérdida de hábitat y la fragmentación de la masa boscosa, afectando de manera más evidente el hábitat de aves silvestres. Según Lammertink (1997), se encontraron 19 sitios con bosque antiguo de encino-pino. El área total de estos bosques es de 571 km², esto es el 0.61%, de los 93,560 km² originales de pino-encino en la Sierra Madre Occidental. De aquí se deriva que tres aves endémicas a los bosques de encino-pino de la Sierra Madre y sus cadenas montañosas, el carpintero imperial (*Campephilus imperialis*) se haya extinguido, y la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) y el trogón orejón (*Euptilotis neoxenus*) se encuentren en peligro de extinción (Guerrero *et al.* 1999).

El tráfico ilegal, es otro problema de consideración que afecta a la cotorra, pues se tienen registros que durante una década (1984-1994 aproximadamente) estuvo sujeta a una sustancial captura ilegal, estimándose más de mil aves capturadas e introducidas ilegalmente a los Estados Unidos, destinadas al mercado de mascotas (Snyder *et al.* 1994; CONANP y Pronatura 2010) ocasionada especialmente por la demanda de coleccionistas de ejemplares de cotorras, aunado al robo de polluelos de los nidos (INESEMARNAT 2000). Aunque la cotorra serrana occidental no presenta tanta demanda en México, sigue siendo capturada por una clase especial de capturadores indígenas, habitantes de la sierra. Ellos pueden capturar unos pocos pericos al año y, cuando bajan a los pueblos y ciudades, los venden o intercambian para pagar sus viajes (Cantú-Guzmán *et al.* 2007). Existen reportes que mencionan la tumba de árboles de los bosques antiguos para robar pollos como en San Juanito, en la Sierra Madre Occidental (Cruz-Nieto y Vidal 2008).

2.6 Ecología de la especie

El rango reproductivo de *R. pachyrhyncha* principalmente en los bosques templados de coníferas maduros, es decir, en los bosques de pino-encino, abeto (*Abies*) y el abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), de aproximadamente 1200 a 3500 msnm (ITESM-Pronatura 2002). Los nidos se han encontrado casi exclusivamente en altitudes

superiores a 2000 msnm y por lo general por encima de 2300 msnm (Lanning y Shiflett 1983; Snyder *et al.* 1987; Snyder *et al.* 1994; Cruz-Nieto 1998; Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004; Monterrubio *et al.* 2006). Razones por las cuales anidada a elevaciones tan altas son inciertas, pero no parece que se refieran a la presencia de nidos potenciales inconvenientes, ya que estos se encuentran comúnmente en las elevaciones más bajas. En su lugar, a gran altura de anidación pueden referirse a otros factores, por ejemplo, la gran distribución de pino blanco mexicano (*Pinus ayacahuite*), pino arizona (*P. arizonica*), y pino durango (*P. duranguensis*) árboles de los cuales se alimenta en temporada de reproducción (Cruz-Nieto 1998). Otra posibilidad es que las altas elevaciones de anidación representa una adaptación para evitar la depredación del nido por serpientes arbóreas (Snyder *et al.* 1999). El rango invernal parece ser muy similar a las preferencias de la temporada de reproducción, la mayoría de los registros se muestran en bosques de pino-encino o bosques de otras coníferas (Collar y Juniper 1992).

Los árboles de anidación comúnmente usados son (Cuadro 2) *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus ayacahuite*, *P. duranguensis* y *P. arizonica*; aunque algunos nidos han sido localizados en *Abies* spp., *Quercus* spp. (Cruz-Nieto 1998) y *Populus tremuloides* en algunas áreas del oeste del estado de Chihuahua (Lanning y Shiflett 1983; Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004; Monterrubio *et al.* 2006). Los árboles suelen utilizarse muertos en pie (Lanning y Shiflett 1983; Macías-Caballero *et al.* 2003), los nidos suelen encontrarse a una altura promedio de 17 m (Lanning y Shiflett 1983) con un dap de 40 cm (Snyder *et al.* 1999).

Cuadro 2. Especies de los árboles y altitud de los nidos de la cotorra serrana occidental (*R. pachyrhyncha*) en Chihuahua, México, Cruz-Nieto, J (base de datos sin publicar, ITESM 2010).

Especies de los árboles donde se encontraron nidos	Número de nidos (% total)	Altitud promedio (msnm)	Rango de altitud (m)
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	60	2632	2420-2951
<i>Pinus ayacahuite</i>	35	2599	2380-2710
<i>Populus tremuloides</i>	24	2620	2500-2777
<i>Pinus duranguensis</i>	14	2563	2124-2695
<i>Abies</i> spp.	10	2584	2500-2747
<i>Pinus arizonica</i>	4	2547	2500-2600
<i>Quercus</i> spp.	2	2980	2980
Desconocidos	16	2603	2480-2747

En cuanto a la construcción de nido, a pesar de que la cotorra serrana occidental es una especie que se considera que no hace sus nidos, sí modifica el interior de estos y muestra un comportamiento altamente desarrollado en la construcción de este a diferencia de otras especies de psitácidos (Snyder *et al.* 1999), en ocasiones utilizan huecos desocupados de carpinteros (Lanning y Shiflett 1983; Monterrubio *et al.* 2006), en especial de *Colaptes auratus* (Sánchez-Mateo 2007) que según la UICN se encuentra catalogada como una especie de menor preocupación (UICN 2010). La anidación de la especie es colonial (Cruz-Nieto 1998; Enkerlin-Hoelfich *et al.* 1999; Macías-Caballero *et al.* 2003; Monterrubio *et al.* 2006) y la densidad de nidos parece estar relacionada con la disponibilidad de cavidades adecuadas, en algunos casos, particularmente en el área de Madera, hay nidos a una distancia de 2 metros en el mismo árbol (Monterrubio *et al.* 2006), el agrupamiento de la distribución de los nidos y el hecho de que haya más de un nido por árbol en el área de Madera se puede explicar por dos razones, 1) la alta densidad de existencia de cavidades de arboles adecuadas y 2) el alto nivel social de la especie, que permite la tolerancia de parejas vecinas. También puede ser que experimenten menores tasas de depredación al seleccionar cavidades cercanas a otras parejas (Monterrubio *et al.* 2006). En el estudio de Monterrubio (2006) no se observó que ningún comportamiento agonístico entre las parejas reproductoras vecinas, por el contrario, estaban en contacto permanente: por las mañanas, por medio de las fuertes

vocalizaciones y contacto visual, se sincronizaban en parvadas para ir a los sitios de alimentación. También observaron cinco eventos de respuestas colectivas a las aves rapaces, en estos eventos, las cotorras rápidamente formaron parvadas después de las llamadas de alarma emitidas por las cotorras que habían detectado la presencia de las rapaces.

Con respecto a la puesta, esta especie pone de 2 a 4 huevos (Snyder *et al.* 1999), con un promedio de 2.7 huevos por puesta, presenta un desempeño reproductivo de 1.6 volantones por nidada (Monterrubio y Enkerlin-Hoelfich 2004) aunque en años poco favorables la productividad puede disminuir drásticamente (Juniper y Parr 1998). Un estudio realizado por Monterrubio durante 1995-2001 señaló que entre la puesta y la eclosión hubo una pérdida de un 40% de su puesta inicial, de un total de 187 nidos con 203 huevos y pollos puestos (Monterrubio y Enkerlin-Hoelfich 2004). Las pérdidas iniciales entre nidos exitosos (105) fueron similares a los nidos perdidos (98). De 38 nidos fallidos, 15 fracasaron durante la etapa de incubación. El abandono del nido fue la causa más frecuente del fracaso de los nidos (12 nidos); 9 nidos con un total de 19 pollos se perdieron al parecer por ectoparásitos. Los parásitos, incluían ácaros de una nueva especie de *Paralgopsis* y también una nueva especie y género de la familia Syrigophilidae, del orden Prostigmata (Snyder *et al.* 1999). Las larvas de moscas también estuvieron presentes aunque menos abundantes. Los ectoparásitos fueron especialmente abundantes durante la temporada 1999-2000 y fue la causa aparente del fracaso de 3 o 4 nidos. En 1999 análisis de sangre de estos pollos indicó un estado de anemia severa entre aquellos individuos que se encontraban parasitados. En algunos casos, algunos de los nidos fueron invadidos por hemípteros no identificados, que aparentemente ocasionaron el abandono de las cavidades (Monterrubio *et al.* 2002). La depredación fue la tercera causa más frecuente (Martin *et al.*). Se infirió que se trataba de depredación por mamíferos al encontrar pelos en los nidos, muestras de estos fueron analizados por la Universidad Autónoma de México e identificados como pertenecientes a cacomixtle (*Bassariscus astutus*). También se encontró a 3 pollos con heridas que fueron atribuidas a aves depredadoras como *Accipiter gentilis*, *Buteo jamaicensis* y *Bubo virginianus*, especies comunes en la región y depredadores de la cotorras serranas occidentales. (Snyder *et al.* 1994; Snyder *et al.* 1999). Otros dos nidos fueron depredados durante la etapa de incubación probablemente por *Corvus corax* ya que fueron observados dentro de la cavidad de anidación. Otros ocho nidos fracasaron

debido a razones que incluyen, inundaciones, caídas del árbol donde anidaban o bien por causas desconocidas. Finalmente, uno de los nidos fue víctima de cacería.

La cotorra serrana occidental regresa a las áreas de anidación en abril y mayo, la postura ocurre a mediados de junio y finales de julio, la eclosión sucede a mediados de julio y agosto; los juveniles empiezan a observarse entre septiembre y octubre (Figura 5); (Snyder *et al.* 1999); el período de incubación es en promedio de 26 días (Juniper y Parr 1998; Snyder *et al.* 1999; Monterrubio *et al.* 2006).

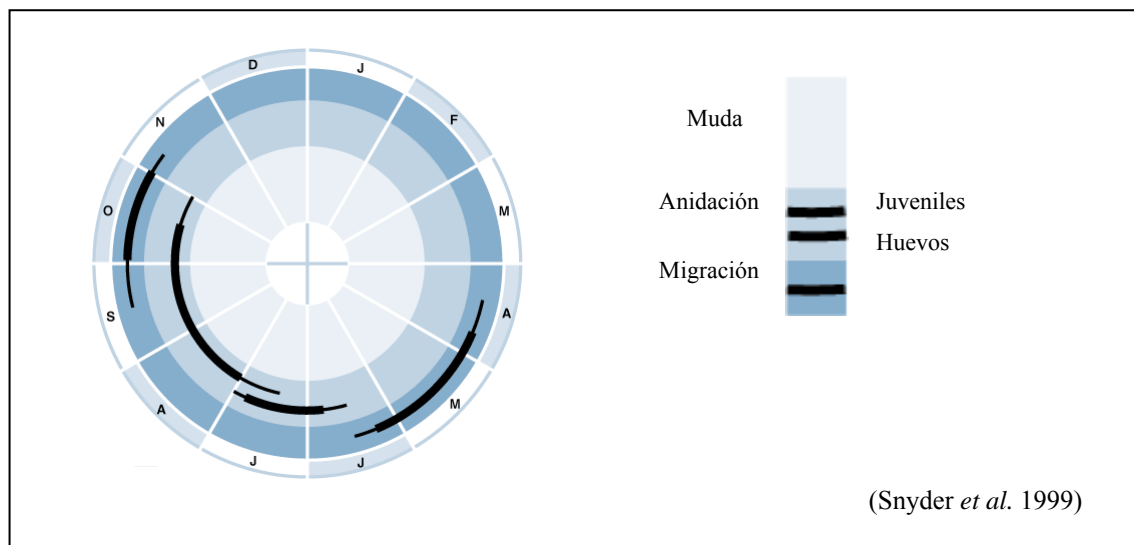


Figura 5. Ciclo anual de anidación y migración de la cotorra serrana occidental. Las líneas gruesas muestran el pico de actividad, las líneas finas las de menor actividad. No hay información sobre muda.

La temporada reproductiva de la cotorra serrana occidental coincide con la maduración de las semillas de los pinos, su principal fuente de alimento (Lanning y Shiflett 1983; Macías-Caballero *et al.* 2003; CONANP y Pronatura 2010). Esta especie es considerada como “especialista” o de dieta restringida; se alimenta principalmente de semillas de varias especies de pinos como *Pinus arizonica*, *P. gregii*, *P. teocote*, *P. montezumae*, *P. cembroides* (Lanning y Shiflett 1983; Forshaw 1989), *P. duranguensis*, *P. engelmannii* (Cruz-Nieto 1998; Snyder *et al.* 1999; CONANP y Pronatura 2010). También consume ocasionalmente semillas de pinabete (*Abies spp.*), de bellotas (*Quercus spp.*), de brotes de coníferas, y ocasionalmente de néctar de algunas flores de maguey (Forshaw 1989). La producción de semillas de pinos y encinos varía regionalmente, lo que puede representar la principal causa de la movilidad se las

cotorras, quienes exhiben un comportamiento migratorio que resulta en una variabilidad considerable en sus rangos de distribución (Lanning y Shiflett 1983).

A diferencia de otras especies de psitácidos, las cotorras serranas occidentales están bien adaptadas a las bajas temperaturas, son capaces de soportar temperaturas bajo cero en noches regulares de invierno y a veces se alimentan bajo las tormentas de nieve e incluso se refugian en estas zonas, además pueden obtener el agua por el consumo de nieve (Snyder *et al.* 1994). La regularización de la temperatura corporal puede generarse gracias al agrupamiento y contacto físico al posarse bajo densas coníferas (Snyder *et al.* 1999). Como se han mencionado previamente, es una especie altamente social que incluye la formación de bandadas/parvadas para forrajeo, anuncio centinela durante el forrajeo, defensa sincronizada contra depredadores (aves rapaces) y la formación de grandes bandadas para la migración en invierno (Lanning y Shiflett 1983; Snyder *et al.* 1994; Snyder *et al.* 1999). Las vocalizaciones de los adultos en vuelo pueden escucharse a distancias de 1,5 km en condiciones sin viento; las llamadas en vuelo aparentemente son para indicar lugares de alimentación. Las vocalizaciones fuertes, de manera más intermitente aparentemente indican nuevos sitios de alimentación, ayudando así a la cohesión de los grupos y a direccionar los esfuerzos hacia sitios ya identificados (Snyder *et al.* 1999).

2.7 Esfuerzos de conservación

Estudios han brindado información relevante sobre la estrecha relación (dependencia) entre esta especie y los bosques de viejo crecimiento (Lanning y Shiflett 1983; Enkerlin-Hoeflich *et al.* 2002; Conanp y Pronatura-Sur 2008), adicionalmente, diferentes investigadores también han señalado la rápida devastación de los bosques de la Sierra Madre Occidental (Escalante-Pliego 1995; Lammertink *et al.* 1996; Enkerlin-Hoeflich *et al.* 1999); haciendo evidente la necesidad de conservar estos bosques como sitios de anidación (Lanning y Shiflett 1983; Enkerlin-Hoeflich *et al.* 2002; Conanp y Pronatura-Sur 2008) con el objetivo de contribuir a la viabilidad de la especie y a su conservación en el largo plazo. Dada la vulnerabilidad de la especie, producto de su particular ecología, existe una marcada preocupación en diversos grupos ambientalistas de los Estados Unidos por el futuro de esta especie (Cruz-Nieto 1998). Con la extinción del perico de carolina (*Conuropsis carolinensis*), la cotorra serrana occidental

constituye la única especie de psitácido que en forma natural puede aspirar a ser restaurada en la parte continental de Estados Unidos, ya que a pesar de que la cotorra fue erradicada de Arizona y Nuevo México, existe gran optimismo sobre la posibilidad de lograr restablecer la especie en ambos lugares (Snyder *et al.* 1999). Para lograr estos objetivos, se elaboró un esquema para la reintroducción en el suroeste de Arizona, bajo el auspicio de Arizona Fish and Game Department, U.S. Fish and Wildlife Service, U.S. Forest Service, y Wildlife Preservation Trust International, con la cooperación activa de Avicultural Breeding and Research Center, Wild Bird Sanctuary, y algunos zoológicos (Snyder *et al.* 1994; Snyder *et al.* 1999).

A fin de conducir un programa de liberación de aves y restituir las a su condición silvestre en septiembre y octubre de 1986, se puso en libertad a 29 aves confiscadas que habían sido tomadas de hábitat silvestre después de prepararlas en forma considerable, lo que incluyó reparar las plumas dañadas y acondicionarlas para mejorar su capacidad de vuelo; y otras 10 aves que habían sido criadas en cautiverio. Estos individuos estuvieron liberados en Cave Creek Canyon y en las Montañas Chiricahua, de Arizona, sitio que constituye no solamente la mayor fuente de registros de la especie provenientes de los Estados Unidos sino también una área que en gran parte se encuentra bajo la jurisdicción de U.S. Forest Service y es administrada en todo lo que se relaciona con actividades de recreación, vida silvestre y líneas divisorias de aguas (Snyder *et al.* 1994; Snyder *et al.* 1999). Al momento de la liberación, algunas aves fueron implantadas con transmisores de radio a fin de monitorear sus movimientos (Snyder *et al.* 1994; Snyder *et al.* 1999). Estas liberaciones no tuvieron éxito en el establecimiento de una población, las aves que habían sido criadas en cautiverio mostraron un comportamiento deficiente en la evasión de depredadores y en sus capacidades para alimentarse y formar parvadas. Adicionalmente, problemas relacionados a enfermedades también fueron encontrados, lo que puso en duda la viabilidad de las aves criadas en cautiverio (Lamberski y Healy 2002). Por otra parte, las aves que habían sido tomadas de sus hábitats silvestres, tampoco tuvieron éxito en establecer poblaciones, sin embargo, su fracaso fue atribuido a la falta de alimento, ya que en el verano de 1989 se documentó una sequía severa que ocasionó la desaparición casi en su totalidad de los conos de pinos (Snyder *et al.* 1996); como consecuencia de ambos intentos fallidos, las liberaciones fueron suspendidas en 1992 (Snyder *et al.* 1994).

Para al año 1995, México dio inicio a un proyecto ejecutado por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y a cargo de Ernesto Enkerlin-Hoeflich. Este proyecto estableció un programa integral de conservación para *Rhynchopsitta pachyrhyncha*. El programa planteó realizar un estudio exhaustivo y utilizar el potencial de la especie como “especie bandera” para lograr así un impacto de conservación a nivel de paisaje. La principal meta de este proyecto era la de establecer el estado, distribución y ecología de la cotorra serrana occidental, así como desarrollar métodos de conservación para esta especie. Actualmente este programa se encuentra vigente ahora a cargo de Sonia Gabriela Ortiz-Maciel (Itesm-Pronatura), y se han sumado esfuerzos de otros sectores como Pronatura y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Sus actividades consisten en anillamiento de pollos, toma de muestras de sangre, muestreos de la dieta alimenticia, así como monitoreo y caracterización de nidos. Desde el año 1995 hasta el año 2010 se han monitoreado 392 nidos en las cinco áreas identificadas como importantes para la anidación de la especie (Figura 2) (*com. person.:* Cruz-Nieto).

Otros esfuerzos incluyen la translocación (reubicación) experimental de dos parejas en el año 2000. Estas parejas permanecieron en sus nuevos lugares de anidamiento, seleccionaron un nido y criaron con éxito (dos pollos). En la siguiente temporada (2001), se registró y siguió por medio de radiotransmisores a estas parejas, encontrando que habían regresado a su lugar original, eligiendo un nuevo lugar de anidamiento y criando con éxito. Estos resultados hacen pensar que la translocación de las cotorras silvestres de México puede ser una estrategia exitosa para restablecer la especie en su distribución original en los Estados Unidos (Macías-Caballero *et al.* 2003).

Recientemente (2007), como parte de las actividades de conservación para esta especie, se han incluido extensas áreas de bosque donde ellas ocurren en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP). Tal es el caso de las Áreas de Protección de Flora y Fauna de Tutuaca y Papigochi en Chihuahua, que albergan uno de los principales sitios de anidación de la cotorra serrana occidental. Asimismo actualmente está en trámite el decreto para la creación de un Santuario para la misma especie en Madera, Chihuahua, otra zona muy importante para la anidación de la especie (SEMARNAT y CONANP 2010).

El desconocimiento o la ausencia de áreas potenciales de anidación, la tendencia nómada (Snyder *et al.* 2000) de la especie como resultado de la producción fluctuante de semillas de pinos de las cuales se alimenta, y su amplio rango de distribución, plantean retos difíciles para determinar el tamaño y la tendencia de la población de cotorra serrana occidental de manera acertada (Cruz-Nieto 1998; Enkerlin-Hoelfich *et al.* 1999; CONANP y Pronatura 2010). Sin embargo, es importante tratar de actualizar y ampliar el conocimiento sobre la especie (Cruz-Nieto 1998; ITESM-Pronatura 2002; CONANP y Pronatura 2010); como parte de los compromisos por la conservación nacional 2007, la dirección de especies prioritarias para la conservación, dependiente de la CONANP puso en marcha el Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER) cuyo objetivo general es el de establecer las bases, coordinar, impulsar y articular esfuerzos del gobierno federal y los diversos sectores de la sociedad, en la conservación y recuperación de 30 especies en riesgo prioritarias para México, entre ellas incluida la cotorra serrana occidental (SEMARNAT y CONANP 2010).

Asimismo, en el 2008 surgió un proyecto cuyo objetivo principal era incrementar la población reproductiva de un sitio de anidación ubicado en el municipio Madera, Chihuahua. Se establecieron un total de 20 nidos artificiales de madera de pino, éstos con las medidas promedio de las preferencias de anidación en nidos naturales conocidos en el mismo sitio de anidación. Los nidos fueron instalados hacia finales del mes de Abril del 2008, dos meses antes de que la etapa promedio de inicio incubación comenzara y en el rango de la etapa de selección de cavidades. Posterior a los 50 días, se tenía registrado el uso activo de seis nidos artificiales, y documentado el proceso de anidación en solo uno de ellos; en los cinco nidos restantes utilizados solo se comprobó su uso como dormitorio, sin embargo se registró cierto comportamiento reproductivo, tal como acondicionar el interior añadiendo material de nido como plumas, trozos de madera y aserrín. La pronta aceptación de cavidades artificiales no se tenía registrada para algún otro psitácido al menos en América, así como no se tiene registrado anidación exitosa en el primer año de instalación de nidos artificiales. Las cavidades utilizadas sin anidación exitosa, son aún así signos positivos de su futuro uso, lo cual mantiene la presente acción de recuperación de la especie con grandes expectativas (Ortiz-Maciel *et al.* 2008).

3 DISCUSION

Los estudios previamente realizados han brindado importante información sobre esta especie, ayudando a establecer programas de conservación que van desde monitoreos en las áreas identificadas de anidación, así como pensar en restablecer (reintroducción y/o translocación) la población en lo que alguna vez fue su distribución natural en Arizona y Nuevo México, Estados Unidos. En la década de 1980 habían sido detectadas 9 localidades de anidación: Mesa de las Guacamayas, Madera, Cebadillas de Bisaloachi, Vallecillo y San Juanito en Chihuahua y el Cerro de Mohinora, Vacas, Camellones y Nevado en el estado de Durango (Lanning y Shiflett 1983), hoy en día, las localidades de Durango se encuentran muy perturbadas y no presentan evidencia de actividad reproductiva (Monterrubio y Enkerlin-Hoeflich 2004). Ahora los sitios con mayor actividad reproductiva de la cotorra son Cebadillas de Bisaloachi y Madera. Por lo que es importante enfatizar la protección de los árboles que utilizan para anidar así como prohibir la explotación de los árboles muertos en pie o saneamiento de arbolado deteriorado. Por otro lado, seguir evaluando el uso de cavidades artificiales y el grado de aceptación, en bosques altamente manejados. Esto con el fin de mantener las poblaciones de la cotorra serrana occidental viables. También se considera importante la identificación de nuevas áreas de anidación y de ocurrencia de la especie para su protección.

Aunque a la fecha existen referencias sólidas sobre la ecología de la especie, aun quedan vacíos de información, tales como el desconocimiento de las rutas migratorias, el rango hogareño de parejas reproductivas y no reproductivas, así como conocer la población total de la especie ya que solo se habla de estimados, pero no se han realizado conteos sistemáticos a lo largo de la Sierra Madre Occidental. Por otra parte, aunque es un esfuerzo importante el monitoreo de la especie en las principales áreas de anidación conocidas, se desconoce la tasa de reclutamiento de juveniles a adultos, es decir, el monitoreo actual solo tiene datos de reclutamiento de juveniles, pero de ahí no se conoce cuantos regresan año con año.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Gracias a los estudios a través de los años, existe un marco de referencia sólido sobre la ecología de la cotorra serrana occidental, que permite especular sobre los diferentes caminos que podemos tomar para la conservación de la especie. Se espera que con algunas o todas las estrategias de conservación discutidas se pueda evitar los sucesos vividos por otras especies amenazadas, recordemos que fue la intensa tala de bosques y la cacería furtiva la que propició la extinción del carpintero imperial (*Campephilus imperialis*), quien compartía el hábitat con la cotorra serrana occidental, y además redujo el rango de distribución de ésta. Aunque las poblaciones de la cotorra serrana occidental no llegan a tal extremo, las lecciones deben ser aprendidas de estos casos similares y deben tomarse medidas urgentes para evitar el declive de las poblaciones silvestres actuales. Por eso es muy importante unir esfuerzos entre los diferentes sectores, gubernamental, privado y de investigación; y así actualizar y ampliar el conocimiento de la especie. La aplicación de las diferentes estrategias identificadas por parte del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) a lo largo de estos 15 años, son las estrategias que tienen implicaciones de conservación a largo plazo para la cotorra serrana occidental.

A manera de recomendaciones se propone el manejo de nidadas *in situ* para mantener el reclutamiento de juveniles y que se mantengan las poblaciones regionales acompañado de un programa de conservación de áreas; así como mantener el programa de nidos artificiales con la finalidad de que haya más cavidades disponibles y en buenas condiciones, ya que en ocasiones se ha visto que el deterioro de las cavidades y el uso a través de los años ha ocasionado mortalidad debido a parásitos; además de dejar arbolado muerto mayor a 40 cm dap para que las poblaciones tengan donde anidar; también se propone actualizar los programas de manejo forestal así como su vigilancia y seguimiento; así como implementar un mecanismo paralelo a la investigación sobre el uso de sistemas de información geográfica, donde se ponga a disposición la información básica sobre las áreas naturales protegidas (ANP's) y áreas de importancia para la conservación (AICAS) para que se tomen las decisiones de conservación más eficientemente.

5 ARTÍCULO II

MODELAMIENTO DE NICHOPOTENCIAL DE ANIDACIÓN PARA *RHYNCHOPSITTA PACHYRHYNCHA*: MAXENT

Resumen

La cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) es una especie endémica de la Sierra Madre Occidental en México y se encuentra catalogada por la legislación mexicana y a nivel internacional como en “peligro de extinción”. Por tal motivo, desde 1994 se ha venido trabajando en aspectos de distribución, anidación y estado de la población y, más recientemente en la búsqueda de nuevas localidades de distribución, así como en los factores relacionados con su presencia. Apoyándonos en herramientas informáticas que tienen como fundamento la teoría del nicho ecológico, hemos generado un mapa de distribución potencial de la especie utilizando el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt). En el desarrollo del modelo utilizamos 1073 registros de presencia proporcionados por el Instituto Tecnológico de Monterrey (ITESM) y 8 diferentes capas de variables ambientales. El modelo generado presentó un valor de 0.986 del área bajo la curva (AUC). Las capas que presentaron mayor aportación a la construcción del modelo fueron la de temperatura (77%) seguida de distancia a poblados (8.2%). Es importante mencionar que algunas de las áreas predichas, en la actualidad, se encuentran fuertemente modificadas.

6 INTRODUCCIÓN

Aunque los psitácidos se distribuyen de manera principal en ambientes tropicales (Snyder *et al.* 2000), el género *Rhynchopsitta* es una de las pocas excepciones ya que habita en los bosques templados de coníferas (Collar y Juniper 1992; BirdLife 2009). El género *Rhynchopsitta* agrupa solo dos especies que se mantienen separadas geográficamente, una de ellas es la cotorra serrana oriental (*R. terrisi*) distribuida en la Sierra Madre Oriental y la otra es la cotorra serrana occidental (*R. pachyrhyncha*) distribuida en la Sierra Madre Occidental. Las dos especies se encuentran catalogadas como especies en “peligro de extinción” por BirdLife Internacional (Collar y Juniper 1992), el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica y el CITES, quien los tiene listados en su apéndice I y también por la norma mexicana (NOM-059-ECOL-1994). La cotorra serrana occidental anida en cavidades de grandes árboles deteriorados o muertos, a elevaciones superiores a los 2000 metros, presenta una conducta nomádica invernal en busca de su especializada dieta que consta de semillas de pino, y son sociales en todas las épocas del año (Snyder *et al.* 1999; Monterrubio *et al.* 2002). La distribución histórica de la especie abarcaba porciones de las montañas del Sureste de Arizona y del Suroeste de Nuevo México, actualmente sólo habita en los bosques de coníferas de la Sierra Madre Occidental, desde Michoacán, Jalisco y Nayarit al sur de México y durante el invierno, hasta Chihuahua al norte, donde anida. La destrucción y modificación del hábitat es el factor principal de la disminución en sus poblaciones (CONANP y Pronatura Sur 2008).

El presente estudio tiene como finalidad generar mapas de predicción de la distribución geográfica de la cotorra serrana occidental que no hayan sido evaluados y que permita orientar eficientemente los esfuerzos de conservación para el futuro de esta especie. Combinamos modelos informáticos para predecir su distribución geográfica, con trabajo de campo para verificar nuestra predicción.

Las evaluaciones a gran escala de la distribución y diversidad de aves han sido cuestionadas por la necesidad de una metodología sólida para resumir o predecir distribución geográfica de las especies (Peterson y Kluza 2005). Es por ello que nuevas técnicas se han centrado en el modelado del nicho ecológico de las especies (Phillips y Dudík 2008). Se parte de la tradicional definición del nicho ecológico como el rango de

condiciones ecológicas bajo las cuales una especie puede mantener la población sin inmigración (Grinnell 1917), bajo este punto de vista, el nicho ecológico regula los límites geográficos de distribución de una especie (Peterson y Kluza 2005). Para maximizar la aplicabilidad de este concepto y las nuevas técnicas de modelamiento, ahora nos podemos enfocar en métodos que relacionan información geográfica de los datos de puntos de ocurrencia, sobre una capa de datos ecológicos y ambientales de un paisaje para producir una hipótesis de distribución potencial de una especie (Peterson y Kluza 2005; Phillips y Dudík 2008), proyectando regiones geográficas que tengan condiciones dentro y fuera del nicho de la especie (Peterson *et al.* 2002). La distribución potencial describe donde las condiciones son adecuadas para la supervivencia de las especies, y por lo tanto de gran importancia para la conservación (Phillips *et al.* 2006). La finalidad principal de modelar el nicho potencial es predecir la distribución geográfica de una especie (Peterson 2001; Peterson y Kluza 2005).

Los modelos de distribución potencial de especies han experimentado un crecimiento impresionante en los últimos años (Peterson 2001; Guisan y Thuiller 2005; Peterson *et al.* 2007), con la aparición de nuevas técnicas estadísticas y poderosas herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), estos modelos han ganado importancia para su aplicación en ecología (Guisan y Zimmermann 2000; Peterson 2001; Bette Loiselle *et al.* 2003; Graham *et al.* 2004; Peterson *et al.* 2007), hacen posible la construcción de mapas de riqueza de especies y endemismo, para priorizar áreas para la conservación basada en principios tales como complementariedad, y para evaluar la integridad de las redes existentes de áreas protegidas (Peterson 2001). Además de ser una herramienta para valorar el impacto acelerado del uso de suelo y otros cambios ambientales en la distribución de los organismos (Illoldi-Rangel *et al.* 2008).

Estos modelos de distribución, en su naturaleza, son probabilísticos, ya que estadísticamente se refieren a la distribución geográfica de las especies o comunidades de su entorno actual (Guisan y Zimmermann 2000), son poderosas herramientas para convertir puntos individuales en posibles distribuciones de especies (Bette Loiselle *et al.* 2003) y presentan un gran potencial para proponer estrategias de conservación (Peterson 2001). Los modelos de distribución son de gran utilidad cuando se aplican de manera apropiada y cuidadosa (Bette Loiselle *et al.* 2003). Estos modelos deben ser

elegidos de acuerdo a los objetivos del estudio, ya que la eficacia del modelo depende principalmente de éstos (Guisan y Zimmermann 2000).

El algoritmo de máxima entropía (MaxEnt) estima la probabilidad de distribución, como la distribución espacial de una especie (Phillips *et al.* 2006) estimando la probabilidad de distribución de máxima entropía a lo largo de un área específica dependiente de limitaciones que representan la falta de información (datos de ausencia) de la distribución pretendida (Elith *et al.* 2006; Phillips *et al.* 2006; Villordo Galván 2009). MaxEnt utiliza la entropía como el medio de generalizar las observaciones específicas de la presencia de una especie, y no requiere incorporar datos de ausencia (Phillips *et al.* 2006). El modelo luego es proyectado al espacio geográfico revelando una predicción de la distribución geográfica de la especie de interés (Elith *et al.* 2006; Phillips *et al.* 2006; Villordo Galván 2009).

Uno de las características de interés de MaxEnt es que no requiere de datos de ausencia para modelar la distribución de una especie, en su lugar, la distribución es definida utilizando datos de presencias extrapolando la distribución a todos los pixeles del área de estudio. Entre las ventajas de MaxEnt se encuentran: 1) trabaja con datos ambientales continuos y categóricos, 2) resultados continuos, 3) el uso de algoritmos numéricos eficientes para reunir una distribución de probabilidad óptima, 4) capacidad interpretativa en dimensiones ecológicas a través de curvas de respuesta (Phillips *et al.* 2006).

Apoyándonos en herramientas que tienen como fundamento la teoría del nicho ecológico para modelar distribuciones de especies donde solo tenemos puntos de presencias, MaxEnt selecciona algunos puntos de presencia al azar, borrándolos de la base de datos y convirtiéndolos en pseudoausencias, con estos se obtiene el análisis de “Receiver Operating Characteristic” (ROC), el termino se refiere al rendimiento de un “observador” (receptor) (Fielding 2002) y caracteriza el desarrollo del modelo por medio del Área Bajo la Curva (AUC), la cual permite calcular la medida del error en la predicción (Phillips y Dudík 2008). La AUC tiene un valor entre 0 y 1 (Fielding 2002), los modelos con valores arriba de 0.75 son considerados potencialmente útiles (Elith 2002; Fielding 2002; Elith *et al.* 2006; Phillips *et al.* 2006; Phillips y Dudík 2008).

Los registros de ocurrencia de las especies, constituyen los puntos de muestra y las características son representadas por las variables ambientales (Phillips *et al.* 2006). Las variables ambientales se derivan en dos tipos: continuas y categóricas. Las variables continuas son valores reales las cuales corresponden a medidas con un gradiente continuo de variación (Phillips y Dudík 2008), en este estudio las variables continuas son: temperatura, precipitación, pendiente, distancia a ríos, distancia a calles, distancia a poblados, elevación; las variables categóricas toman un número limitado de valores discretos (Phillips y Dudík 2008), para este estudio se incluye en esta categoría: vegetación y uso de suelo.

El desafío es entender y predecir las consecuencias de nuestras decisiones y manejar nuestro conocimiento para que las decisiones sobre el uso de la tierra y la gestión de recursos naturales mejoren nuestra calidad de vida y al mismo tiempo preserven nuestro patrimonio natural.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Descripción del área de estudio

Este estudio fue realizado en la Sierra Madre Occidental, es el sistema montañoso más largo y continuo de México, en sus 1500 km de largo recorre Arizona, parte de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Nayarit, y Jalisco, lugar donde se une al Eje Volcánico Transversal de México. Cubre 289,000 km² y ocupa la sexta parte del territorio mexicano (Figura 6). Su punto más alto es el Cerro Gordo en Durango con alturas de hasta 3200 msnm, su anchura en promedio es de 150 km. (Rzedowsky y Huerta 1978). La distribución de la *R. pachyrhyncha* sigue de manera muy cercana la distribución de la Sierra Madre Occidental. El área de anidación se ubica en la parte noroeste de la sierra (Figura 6) ocupando principalmente los estados de Chihuahua y Durango (Lanning y Shiflett 1983; Cruz-Nieto 1998; SEMARNAT y CONANP 2010).



Figura 6. Área de estudio en la Sierra Madre Occidental, México.

7.2 Clima

El clima se describe como biestacional, siendo los meses de noviembre a febrero los más fríos. No obstante la altitud y la vegetación influyen severamente en el clima, por lo cual las condiciones climáticas en la Sierra Madre Occidental pueden variar drásticamente. La estación meteorológica de Creel, Bocoyna en Chihuahua (estación 07-0244) ubicada a 2300 msnm y la cual se considera la más representativa del área de estudio (SARH 1988), registra temperaturas extremas mínimas promedio anuales de -23 °C y un promedio de máxima extrema de 38.5 °C. Los meses más calientes son de abril a octubre con promedios mensuales entre 10 a 18 °C. La precipitación media anual reportada es de 708 mm, se estiman 92 días de lluvia apreciable, 147 días con heladas siendo los meses de julio a septiembre los meses más libres de heladas y 39 días con niebla (SARH 1988). En los meses de noviembre a marzo es común que se registren nevadas que varían en intensidad según la altitud. Las temperaturas en las zonas de anidación de las cotorras oscilan en general entre los 10 °C a 25 °C y llueve casi todos los días durante el verano y generalmente en las tardes hay tormentas eléctricas. El Instituto Nacional de Geografía Universidad Autónoma de México calcula que el promedio anual oscila entre los 400 y 1100 mm en las diferentes partes del área de estudio (Lanning y Shiflett 1983).

7.3 Modelación de nicho ecológico: MaxEnt

Para la modelación de distribución de las especies, las condiciones ambientales asociadas con los puntos de ocurrencias de la especie son dibujadas en mapas climáticos basados en sistemas de información geográfica (SIG) y se utilizan para construir un modelo estadístico para predecir las regiones de un hábitat adecuado. Por lo tanto, el modelado requiere de dos tipos de datos: los registros de presencia de la especie de estudio y las variables ambientales.

7.4 Preparación de insumos para la modelación

Estudios previos realizaron la búsqueda de sitios de anidación para la cotorra serrana occidental, desde el norte de Durango y límites con Nayarit hasta la frontera con Estados Unidos, incluyendo Chihuahua y sus límites con Sonora. Adicionalmente se

realizaron inspecciones durante la estación no reproductiva en Jalisco, Zacatecas y sur de Durango para determinar su área de anidación.

La localización de nidos realizada por el Instituto Tecnológico y de estudios Superiores de Monterrey (Itesm-Pronatura) se realizó mediante dos técnicas que consiste a la búsqueda y a la espera. Se realizaron búsquedas intensivas de nidos al inicio de la temporada de reproducción, a principios de Mayo-Julio. Durante este período las parejas reproductoras están activas inspeccionando cavidades, ocurre una intensa actividad con fuertes vocalizaciones y conductas de cortejo por parte de las parejas sobre los árboles - nido, lo que permitió localizar rápidamente la ubicación de los nidos. Por lo general se realizan tres recorridos lineales de 4 hrs diarias (8 km) escuchando vocalizaciones, tocando arboles y observando cavidades. Si las cavidades se ven que han sido carcomidas o se ven usadas se regresa hasta 6 veces en fechas, horas y días diferentes.

Así mismo se realizaron búsquedas intensivas a la espera, donde la técnica consiste en postrarse en un sitio con amplia visibilidad por un día y esperar a oír las vocalizaciones de las cotorras serranas occidentales en los nidos y localizarlas con ayuda de binoculares. También se espera a los adultos por los arribos en las secciones de alimentación a los pollos los cuales son detectados por sus fuertes vocalizaciones, una vez identificado el área de arribo o bien detectado el árbol nido, se procede a la toma de datos del árbol nido.

Una vez obtenidos los registros de ocurrencia de la cotorra, sistematizamos la información obteniendo un total de 1073 registros puntuales para la especie desde 1995 hasta el 2009 donde se anoto por cada registro la latitud y longitud, altitud, localidad y tipo de dato (zona de alimentación, nido o bebedero). Estos 1073 puntos ocurrencia corresponden a la Sierra Madre Occidental. Después estos datos fueron transformados a "shapefile" y cargados en ArcGis 9.3 para visualizar espacialmente los registros y revisar que las coordenadas estuvieran dentro de los límites de la Sierra Madre Occidental que es donde se distribuye la especie (Figura 7). Como este estudio se enfoca en los sitios potenciales de anidación recortamos el área de estudio eliminando las áreas del invernadero. De un rango total de 289,000 km², el área de anidación consiste de 117,630 km² que se analizó en el programa de MaxEnt.

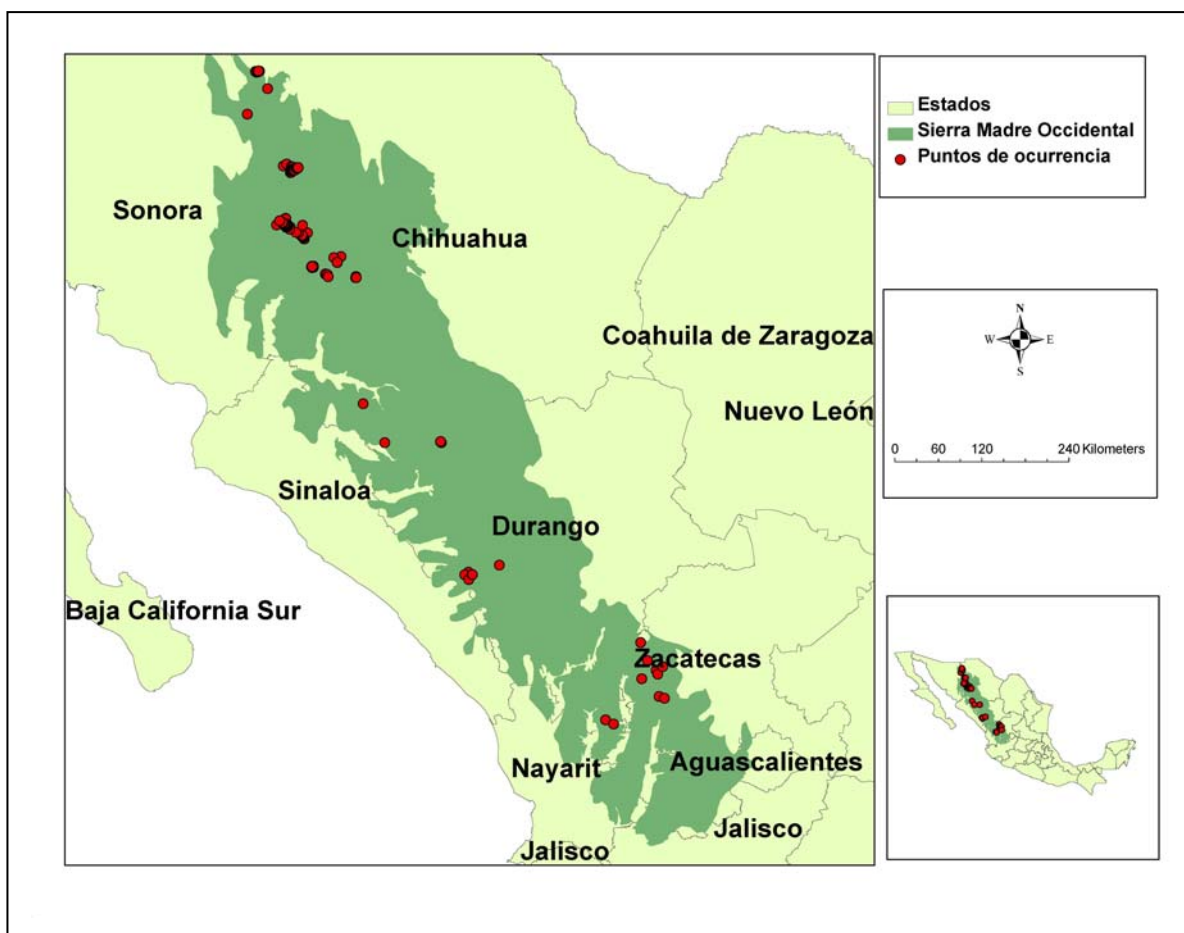


Figura 7. Puntos de ocurrencia de la cotorra serrana occidental proporcionados por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Posteriormente utilizamos el modelo MaxEnt para modelar la distribución de la especie con las siguientes variables ambientales: 1) temperatura media (mayo-octubre), 2) distancia a poblados, 3) precipitación media (mayo-octubre), 4) modelo de elevación digital, 5) distancia a calles, 6), distancia a ríos, 7) pendiente y 8) vegetación y uso de suelo (Cuadro 3) y los 1073 puntos de ocurrencia registrados. Al realizar la capa de temperatura y precipitación, solo se tomaron en cuenta seis meses (mayo-octubre), que es cuando la especie se encuentra en las áreas de anidación. Estas variables ambientales imponen restricciones sobre la distribución desconocida de la especie, es decir que el enfoque de máxima entropía se aproxima a la distribución desconocida usando los puntos de ocurrencia conocidos para maximizar la entropía, sujetas a las limitaciones impuestas por los puntos conocidos. Además MaxEnt no está fuertemente influenciado por el número de parámetros ambientales utilizados para construir el modelo porque

ignora los que son no tienen suficiente información y utiliza técnicas de regularización para evitar el exceso de parametrización (Phillips *et al.* 2006).

A continuación se cargaron los datos de ocurrencia y las variables ambientales en MaxEnt para efectuar la corrida. Cada una de estas variables ambientales fue modificada y generalizada a una resolución espacial de 90 x 90 metros para después convertirlas al formato “ASCII” (en el formato **.asc** de ESRI). Además se hizo una carpeta que contuviera los datos de ocurrencia en formato **.csv**, y otra carpeta para las salidas del modelo. Todos los “Grids” se encontraban bajo los mismos límites geográficos y tamaño de celda o pixel. Después las variables se seleccionaron según su tipo (categórica o continua).

Cuadro 3. Datos de entrada para modelar en MaxEnt.

Datos de entrada	Descripción	Fuente	Escala	Datum	Proyección
Registros de ocurrencia	Coordenadas UTM (1996-2009)	ITESM	Excel		
Temperatura media	Las capas fueron generadas a través de la interpolación del clima promedio mensual de las estaciones meteorológicas	WorldClim (http://www.worldclim.org/current)	1/km ₂	WGS84	Coordenadas geográficas
Precipitación media	Las capas fueron generadas a través de la interpolación del clima promedio mensual de las estaciones meteorológicas	WorldClim (http://www.worldclim.org/current)	1/km ₂	WGS84	Coordenadas geográficas
Distancia a ríos	Marco Geoestadístico Municipal 2005 (MGM2005)	INEGI	1:250,000	ITRF92	Cónica Conforme de Lambert (CCL)
Distancia a calles	Marco Geoestadístico Municipal 2005 (MGM2005)	INEGI	1:250,000	ITRF92	Cónica Conforme de Lambert (CCL)
Distancia a poblados	Marco Geoestadístico Municipal 2005 (MGM2005)	INEGI	1:250,000	ITRF92	Cónica Conforme de Lambert (CCL)
Pendiente	Se determinó a partir de las curvas de nivel	INEGI	1:250,000	ITRF92	Cónica Conforme de Lambert (CCL)
Elevación	Marco Geoestadístico Municipal 2005 (MGM2005)	INEGI	1:250,000	ITRF92	Cónica Conforme de Lambert (CCL)

Vegetación y uso de suelo	Marco Geoestadístico Municipal 2005 (MGM2005)	INEGI	1:250,000	ITRF92	Cónica Conforme de Lámbert (CCL)
---------------------------	---	-------	-----------	--------	----------------------------------

Al realizar la capa de temperatura y precipitación, solo se tomaron en cuenta seis meses (mayo-octubre), que es cuando la especie se encuentra en las áreas de anidación.

Una vez obtenido el mapa de distribución generado por MaxEnt, la evaluación de los resultados obtenidos fue complementada con los parámetros que son proporcionados por el programa, como el área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés), la cual es un índice de probabilidad de que los sitios de presencia fueran clasificados al azar como sitios de ausencia. Los modelos arriba de 0.75 son considerados potencialmente útiles (Elith *et al.* 2006). En nuestro caso no se tienen registros de ausencia con los cuales medir AUC, por lo tanto, el programa utiliza datos de presencia elegidos al azar del área de estudio que son borradas de la matriz de datos para después ser utilizados como pseudoausencias (Phillips y Dudík 2008).

Para este estudio se seleccionó que del 100% de los datos se realizara un muestreo aleatorio para extraer el 75% de los registros con los que entrenar el algoritmo y un 25% con los que evaluar los modelos. El formato de salida seleccionado fue el logístico, proporciona un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia [0, 1] (Phillips *et al.* 2006; Phillips y Dudík 2008). Los parámetros fijados para calibrar el modelo fueron los recomendados por Phillips *et al.* (2006): número máximo de iteraciones = 1000; regularización = 1.0; convergencia umbral = 0.000001; en “random test percentage” introdujimos el 25, número que indica al programa que debe escoger de manera aleatoria y apartar el 25% de los registros de presencia de *R. pachyrhyncha* para usarlos en la prueba. Esto permite al programa efectuar algunos análisis estadísticos simples. Para la realización del modelo se eliminaron los datos duplicados, es decir, en aquellos pixeles donde se encontró más de un punto de presencia, se consideró solo uno de los datos. La mayor parte de los análisis empleados usan un umbral para hacer una predicción binaria, estando las condiciones adecuadas por arriba de dicho umbral y las inadecuadas por debajo.

El resultado, expresado como el área bajo la curva (AUC), indica la probabilidad de que un punto de evaluación seleccionado al azar tenga un valor mayor que un punto cualquiera de la muestra aleatoria (Fielding 2002; Phillips *et al.* 2006; Phillips y Dudík 2008).

A fin de calcular la contribución relativa de cada variable al modelo, se corrió la prueba de “*jackknife*” seleccionando “*Do jackknife to measure variable importance*” de la casilla de verificación de comandos del modelo MaxEnt; la cual es una técnica de remuestreo sin remplazo que consiste en corregir el estimador inicial con base en el promedio de los m estimadores que se obtienen al aplicar el procedimiento inicial de estimación a cada una de las submuestras que resultan al eliminar una observación de la muestra inicial (Martínez y Sanabria 2006). Es una técnica de simulación que reutilizan los datos observados para constituir un universo del cual extraer repetidas muestras (López y Elosua 2004). Los resultados de esta evaluación se expresan con una medida conocida como ganancia y esta información es de suma importancia para evidenciar los requerimientos ecológicos de cada especie, y que probablemente determinan el área de distribución potencial propia de cada una de ellas.

En cada vuelta del modelo se excluye una variable y se crea el modelo con las variables remanentes (Phillips *et al.* 2006; Phillips y Dudík 2008); de tal forma que se generan tres conjuntos de modelos; el primero en donde se excluye una variable, el segundo usando cada variable de manera independiente y el tercero usando todas las variables (Phillips *et al.* 2006).

También se crearon curvas de respuesta en la opción “create response curves” para ver las diferencias entre los tipos de características; donde nos muestra la probabilidad predicha de condiciones favorables tal y como es dada en el formato de salida logístico, con todas las demás variables configuradas a su valor promedio calculado en base a las localidades de presencia.

7.5 Verificación del modelo en campo

Después de obtener el mapa potencial de distribución de la especie se recategorizó en cuatro clases: probabilidad alta (70-100%), probabilidad media (50-70%), probabilidad baja (30-50%) y probabilidad muy baja (0-30%); y se seleccionaron 250

puntos al azar mediante una herramienta de ArcGis “Generate random points” para verificarlos en campo; 45 puntos para probabilidad baja, 76 puntos para probabilidad media y 129 puntos para probabilidad alta. Una vez obtenidos los puntos aleatorios para cada probabilidad los pasamos a un GPS y posteriormente se ubicaron espacialmente en el mapa para ir a validar el modelo en campo (Figura 8).

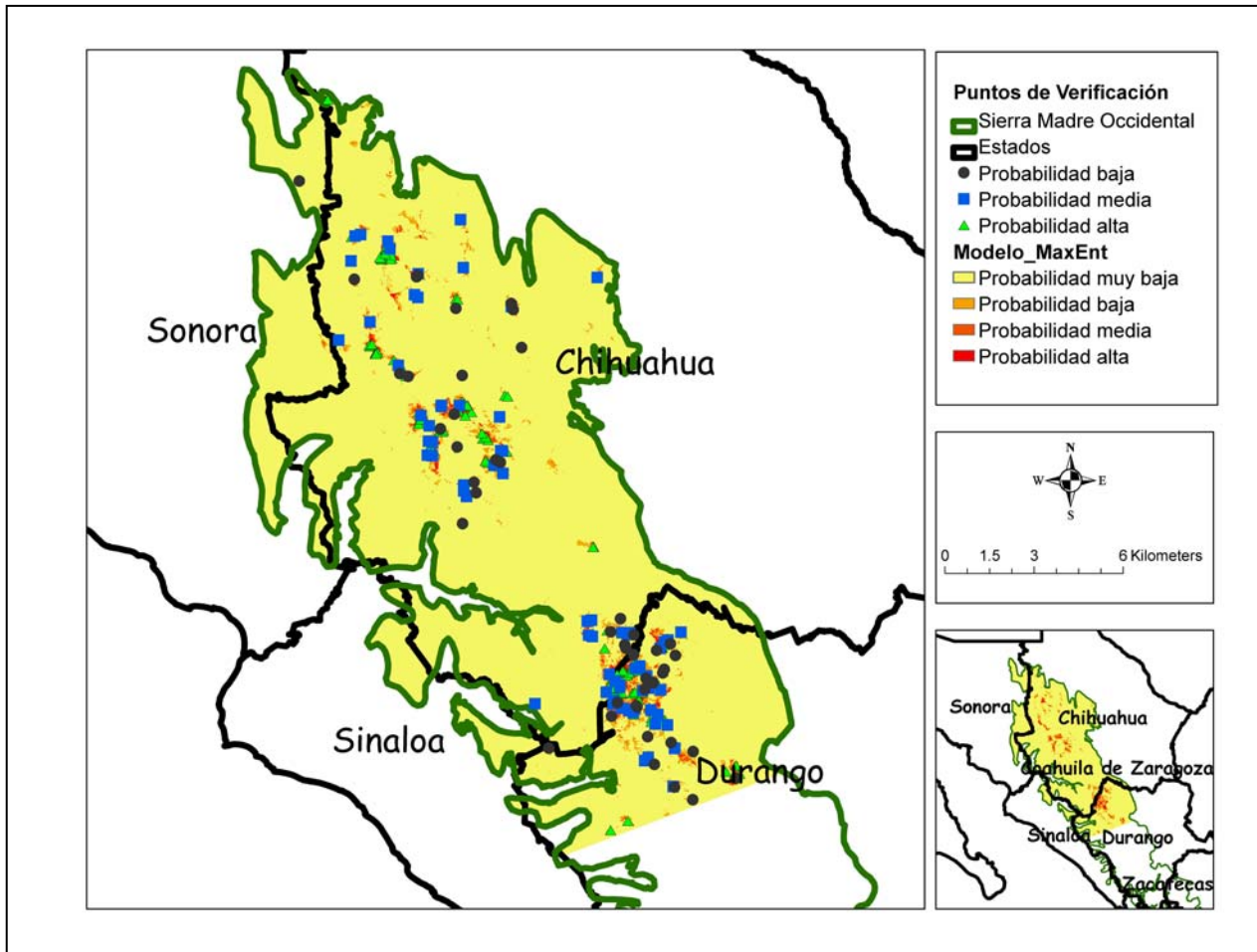


Figura 8. Mapa de ubicación de los puntos de verificación en campo del modelo MaxEnt.

La verificación del modelo en campo se llevó a cabo en el noroeste de la Sierra Madre Occidental, en el estado de Chihuahua, México durante los meses de mayo-agosto. Para el registro de la especie en los puntos de verificación consistió principalmente de recorridos diurnos y vespertinos por los caminos secundarios y brechas a (pie o en vehículo) según las condiciones del terreno. La literatura menciona que las mejores horas para hacer los recorridos matutinos es de 6:00 am-10:00 am y los

vespertinos 3:00 pm-6:00 pm; sin embargo los recorridos se hicieron a partir de las 8:00 am-4:00 pm por causas de conflictos en el área de estudio.

Una vez que ubicados los puntos procedíamos a caminar 1 km sobre el hábitat potencial para la búsqueda de evidencias de la especie. Consideramos como evidencias de la especie las vocalizaciones (las vocalizaciones de los adultos en vuelo pueden escucharse a distancias de 1.5 km en condiciones sin viento) (Snyder *et al.* 1999), zonas de alimentación (conos de pino) y visualización del ave. Cada transecto tenía un tiempo aproximado de 1:30 hr y al final solo pudimos realizar 74 puntos de los 250 sugeridos, y principalmente en las zonas de probabilidad alta.

8 RESULTADOS

8.1 Modelación de nicho ecológico: MaxEnt

En esta sección se muestran los resultados del modelo de distribución para *R. pachyrhyncha* obtenido a través del programa MaxEnt. La figura 9 y 10 muestran el mapa de salida del modelo MaxEnt en formato logístico con valores de 0-1.

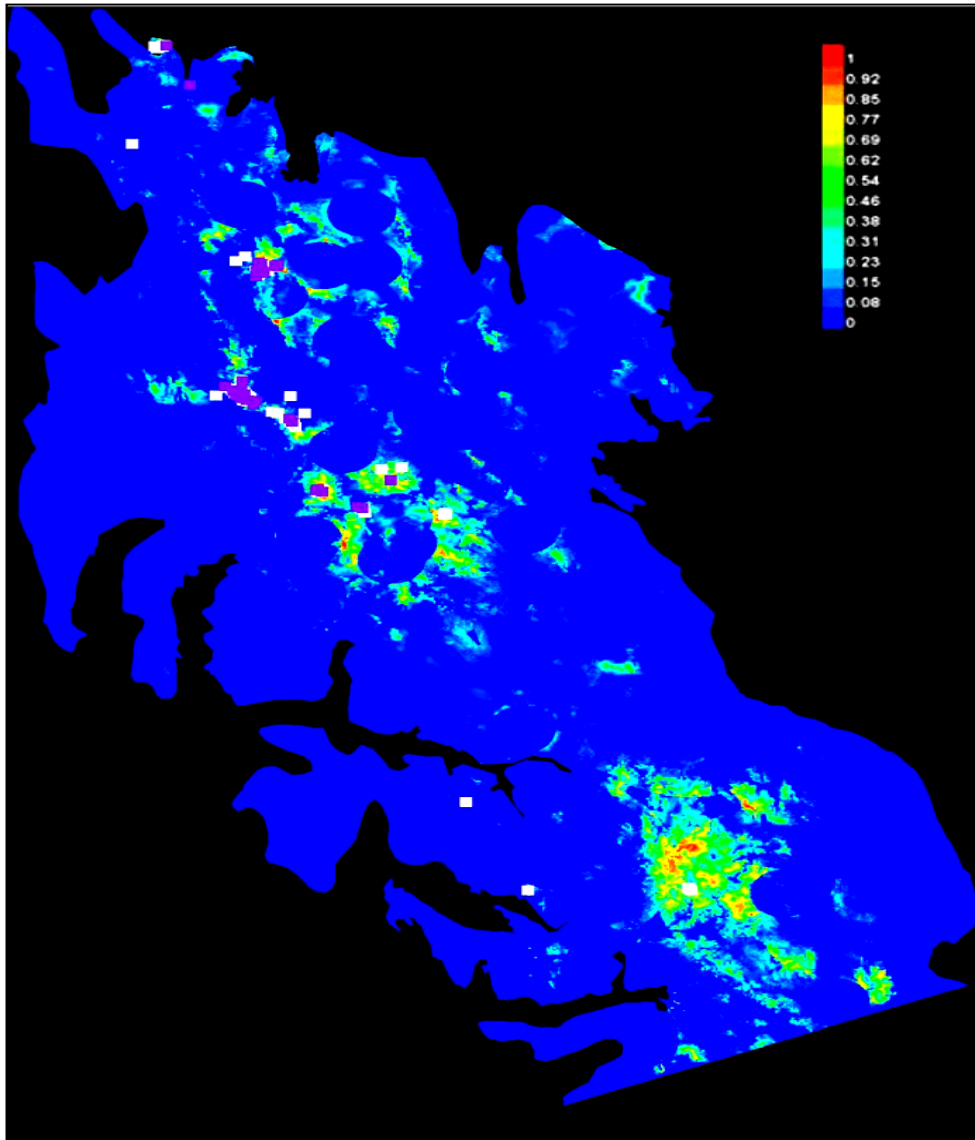


Figura 9. Mapa de probabilidad de distribución para *R. pachyrhyncha* obtenido a través del programa MaxEnt. Los tonos más cálidos muestran las áreas con mayor probabilidad de ocurrencia de la especie. Los puntos blancos muestran los registros de la especie (presencias), mientras que los puntos violetas muestran los puntos de entrenamiento (con los que se validó el modelo).

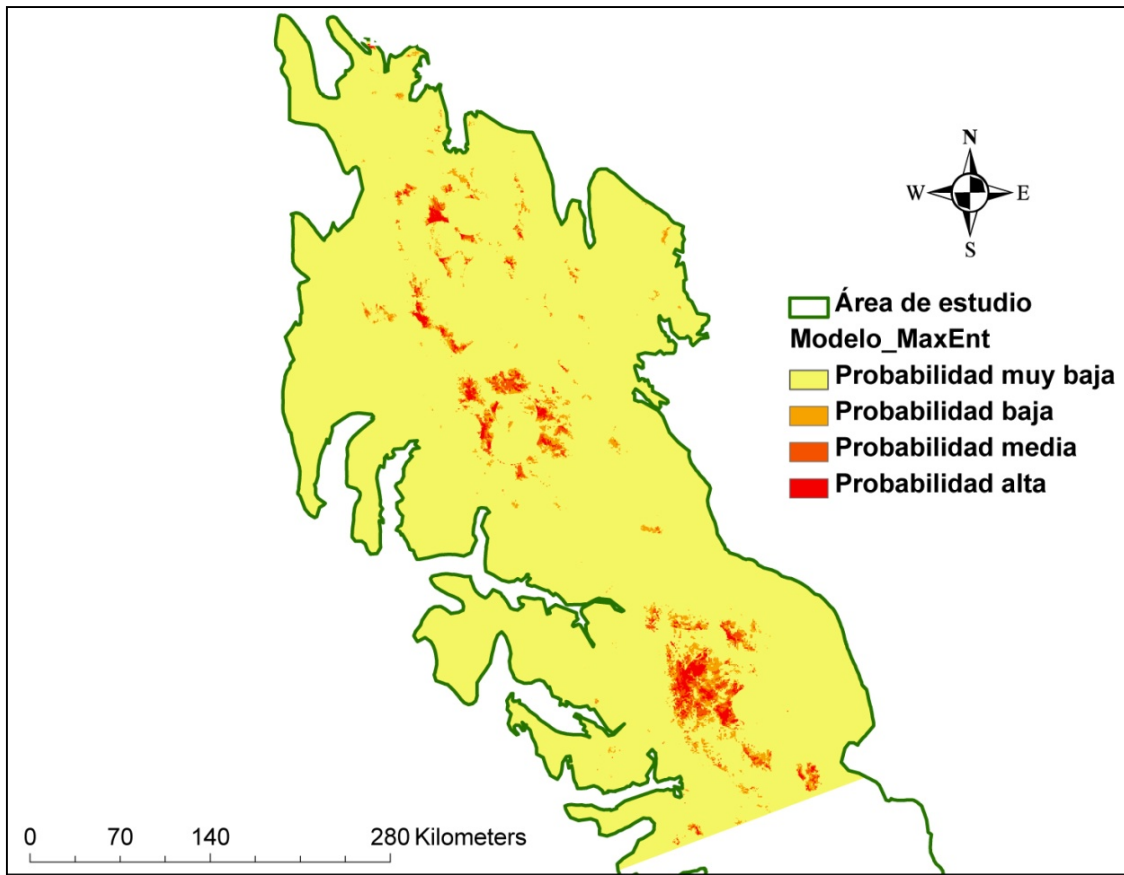
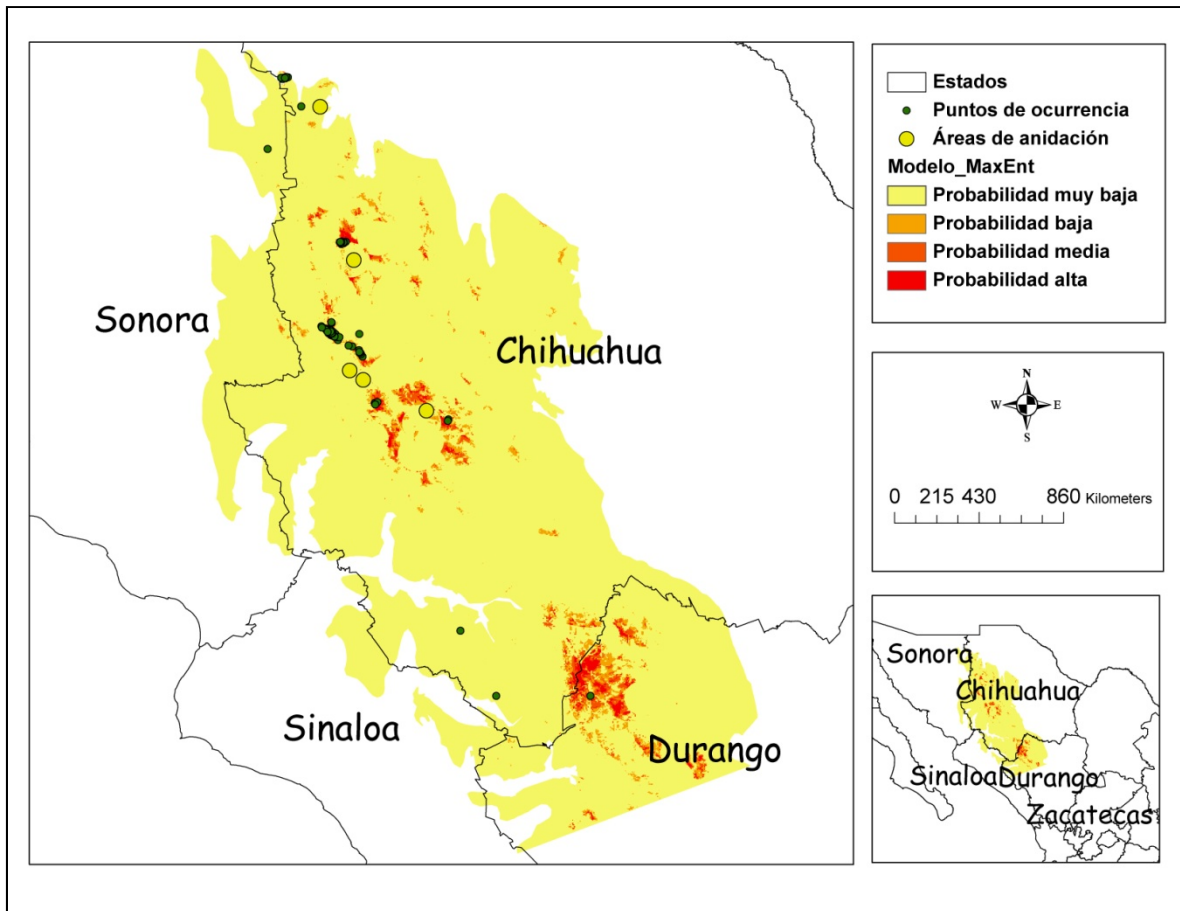


Figura 10. Mapa de probabilidad de distribución para R. pachyrhyncha obtenido a través del programa MaxEnt.

A continuación se muestra el mapa de distribución generado por MaxEnt comparado con los puntos de ocurrencia que se utilizaron en la elaboración del modelo (Figura 11).



*Figura 11. Mapa de generado por MaxEnt comparado con los puntos de ocurrencia que se utilizaron para la elaboración del modelo distribución de *R. pachyrhyncha*.*

La siguiente figura (Figura 12) nos muestra la curva operada por el receptor (ROC, por sus siglas en inglés) tanto para los datos de entrenamiento como para los de prueba. También se proporciona el área bajo la curva (AUC) que presenta un resultado de 0.986.

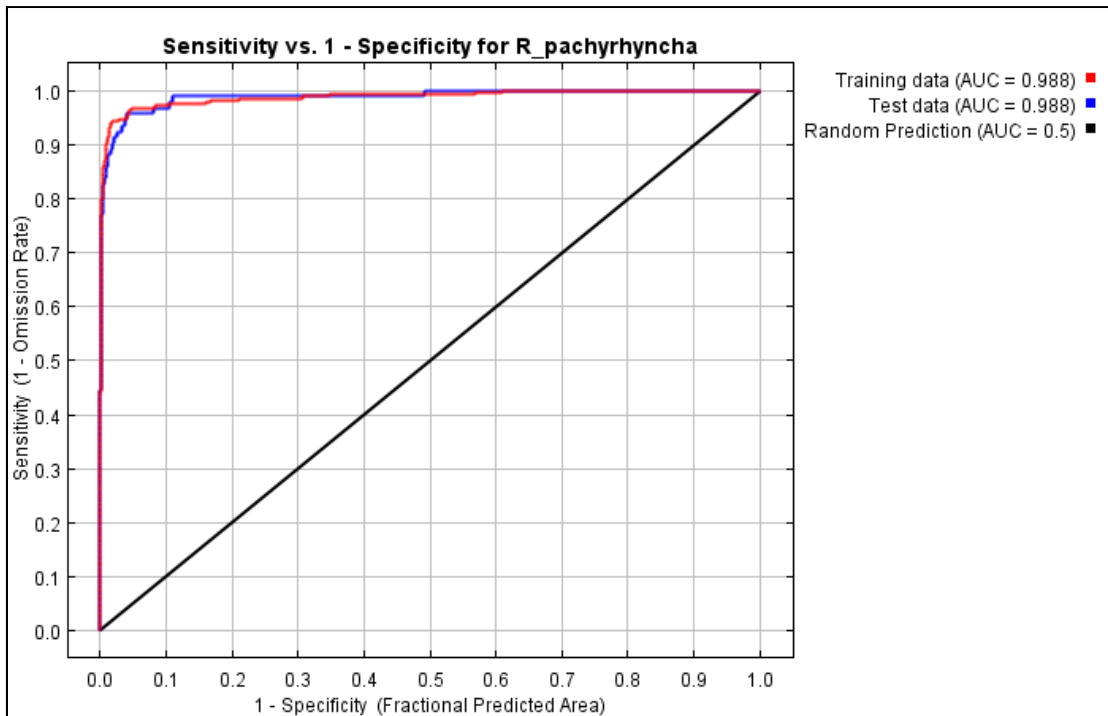


Figura 12. Curva operada por el receptor (ROC), tanto para los datos de entrenamiento como para los de prueba.

El modelo generado presento un AUC con un valor de 0.986 (Figura 9). Las líneas azul y roja serán idénticas si hubiéramos usado los mismos datos para el entrenamiento y para la prueba (Phillips *et al.* 2006). En este estudio se utilizó el 25% de los datos y por lo tanto es normal que la curva roja (entrenamiento) muestre una mayor AUC que la curva azul (prueba). La curva roja (entrenamiento) representa el ajuste del modelo a los datos de entrenamiento y es la auténtica prueba de la capacidad que tienen los modelos de predecir. La línea negra muestra lo que esperaríamos si el modelo no fuese mejor que el azar. Si la curva azul (la curva de prueba) estuviera por debajo de la línea negra, entonces indicaría que su modelo se desempeña peor de lo que lo haría un modelo aleatorio. Por el contrario, cuanto más se aproxime la curva azul a la esquina superior izquierda, mejor es el modelo para predecir las presencias contenidas en la muestra de prueba de los datos (Phillips *et al.* 2006).

El siguiente cuadro (Cuadro 4) muestra una estimación heurística de las contribuciones relativas de las variables ambientales para el modelo MaxEnt.

Cuadro 4. Porcentajes de contribución de las capas ambientales en la distribución de *R. pachyrhyncha*.

Variable	% Contribución
Temperatura	77
Distancia a poblados	8.4
Precipitación	5.5
Modelo elevación digital	3.7
Distancia a calles	2.8
Distancia a ríos	1.3
Tipo de vegetación	0.6
Pendiente	0.6

Estos valores de contribución porcentual únicamente están definidos de manera heurística: ellos dependen de la ruta particular que usa el código MaxEnt para obtener la solución óptima y un algoritmo diferente podría obtener la misma solución por medio de una ruta distinta, lo cual resultaría en valores de contribución porcentual diferentes. Aunque la tabla arriba expuesta muestra que MaxEnt usó la variable “temperatura” más que cualquier otra, pero usó muy poco el “tipo de vegetación” y la “pendiente”, esto no necesariamente implica que la temperatura sea mucho más importante para la especie que el tipo de vegetación.

Así que, a fin de estimar cuales son las variables más importantes al modelo, se hizo el análisis “*jackknife*” (Figura 10) que corresponde al AUC (Figura 7) muestra que la temperatura es la variable que por sí sola predice de manera más efectiva la distribución de los datos de frecuencia que fueron puestos de lado para usarlos como prueba (AUC=0,96), seguida del modelo de elevación digital (AUC=0,94), aun cuando apenas fue utilizada en la construcción del modelo (3.7%) usando todas las variables.

En la prueba de “*jackknife*” (Figura 13), la importancia relativa del modelo de elevación digital, precipitación, distancia a poblados y vegetación y uso de suelo se incrementan, comparado con el porcentaje de contribución al modelo (Cuadro 3); señalando que no solo la variable temperatura es importante. Esto quiere decir que la variable de temperatura, modelo de elevación digital, precipitación, distancia a poblados

y vegetación y uso de suelo generalizan mejor el modelo con las condiciones potencialmente mejor adecuadas para obtener la distribución potencial de *R. pachyrhyncha*.

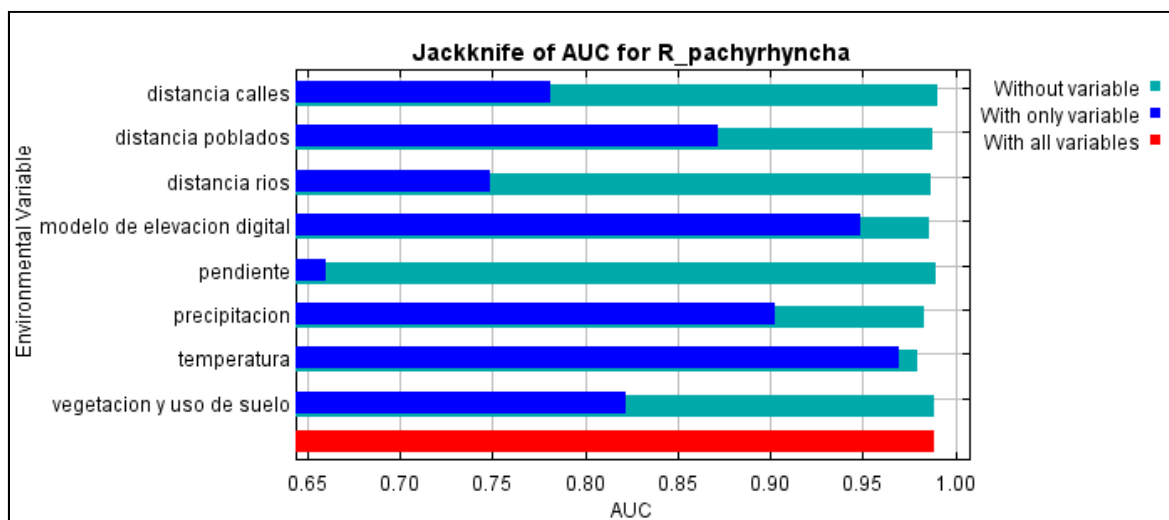
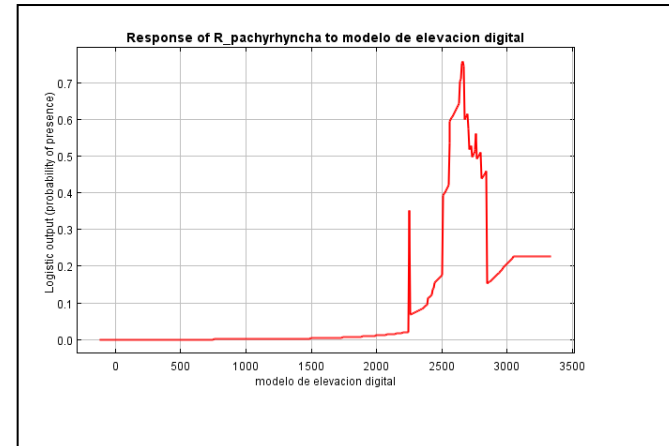
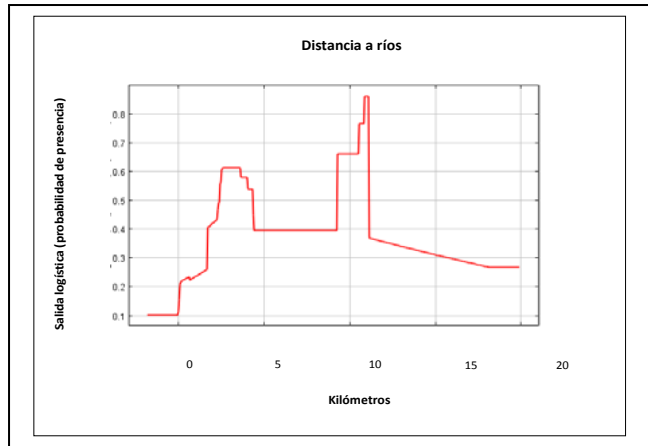
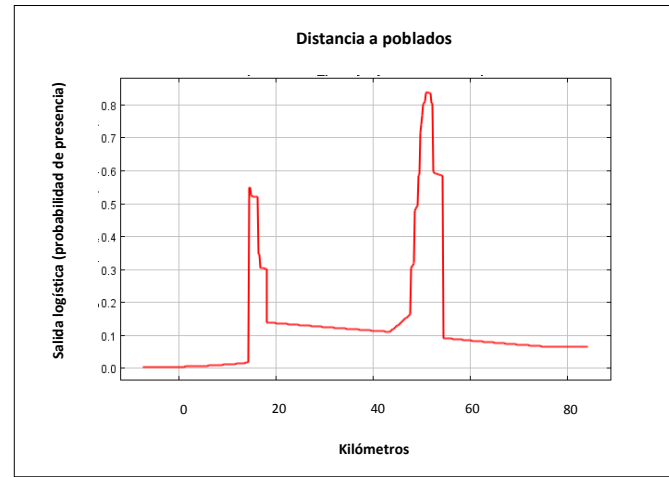
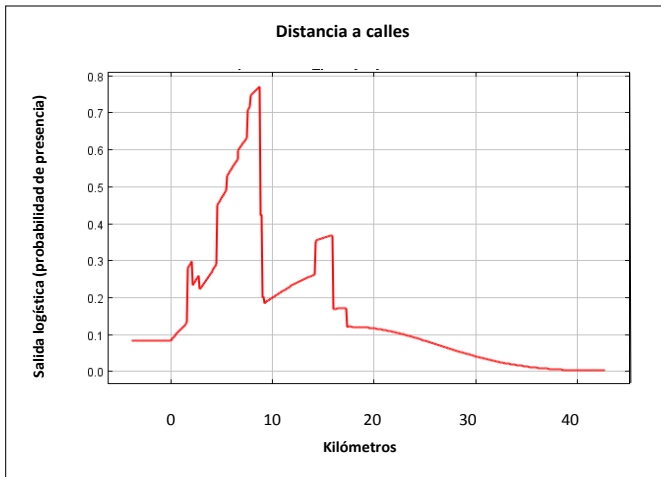


Figura 13. Prueba de “jackknife” correspondiente al AUC. Las barras azul claro sugieren que ninguna variable contiene la cantidad suficiente de información útil que no este contenida en las otras variables, el color azul significa que se corre el modelo con solo la variable que se quiere analizar y el color rojo significa que se corre el modelo con todas las variables.

Los resultados de las curvas de respuesta para *R. pachyrhyncha* nos permiten ver las diferencias entre las distintas variables y estiman la importancia de cada una en la distribución de la especie (Figura 14). La figura correspondiente a distancia a calles (a) nos dice que hay mayor probabilidad de encontrar a la especie a aproximadamente 10 km de algún camino o carretera, con una distancia a algún poblado (b) de 50 km y aproximadamente a 12 km de algún río (c), la capa correspondiente a precipitación (d) sugiere que en áreas con una precipitación entre 90-120 mm, con una pendiente (e) de 10 °C a temperaturas (f) entre los 12-14 °C.

Curvas de respuesta de *R. pachyrhyncha* respecto a cada variable



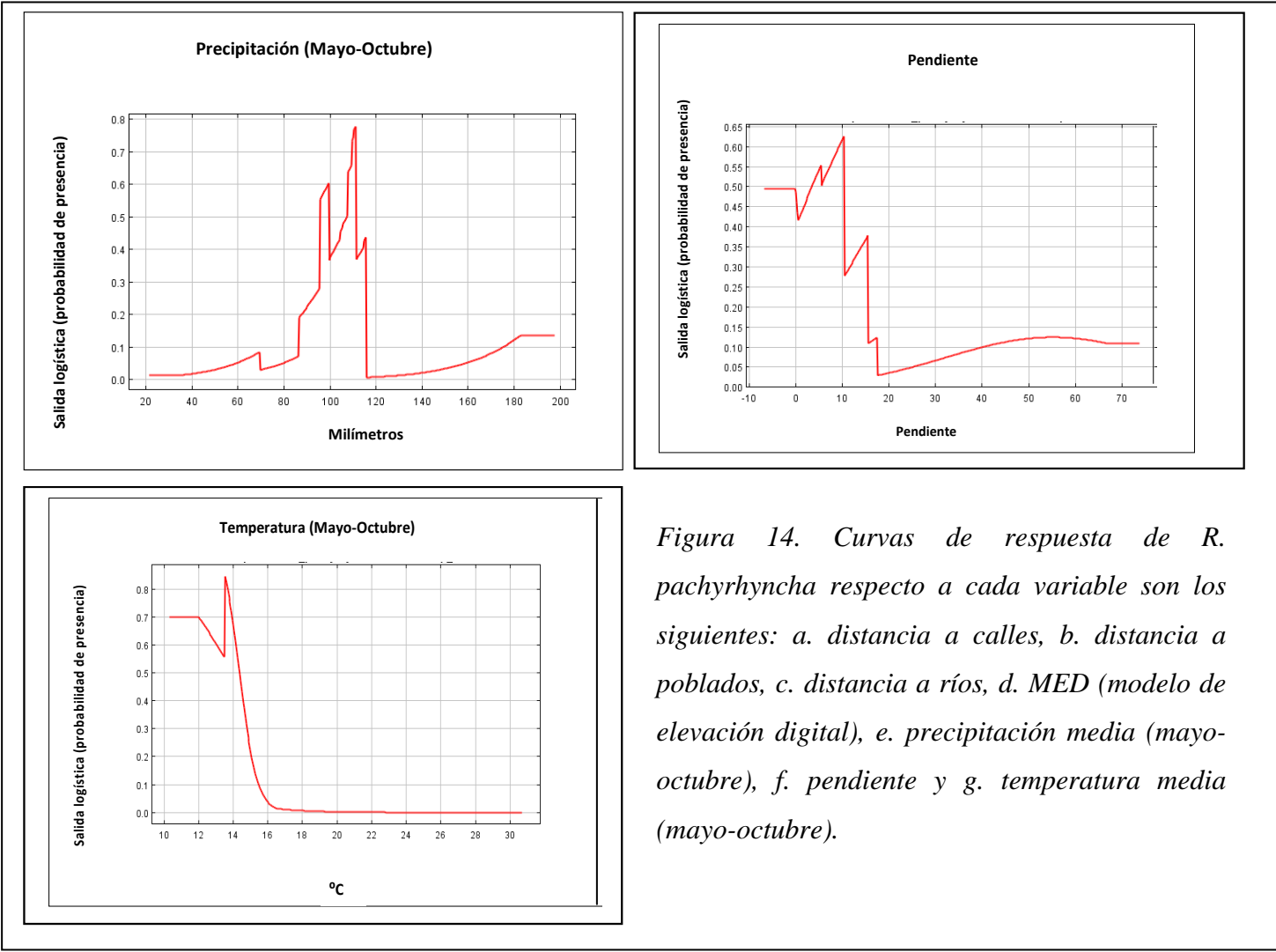


Figura 14. Curvas de respuesta de *R. pachyrhyncha* respecto a cada variable son los siguientes: a. distancia a calles, b. distancia a poblados, c. distancia a ríos, d. MED (modelo de elevación digital), e. precipitación media (mayo-octubre), f. pendiente y g. temperatura media (mayo-octubre).

La curva de respuesta a vegetación y uso de suelo (Figura 15); donde el eje de las “x” nos indica los diferentes tipos de vegetación, esta figura nos indica que hay mayor probabilidad de ocurrencia en bosques de pino y bosques de pino-encino, respectivamente.

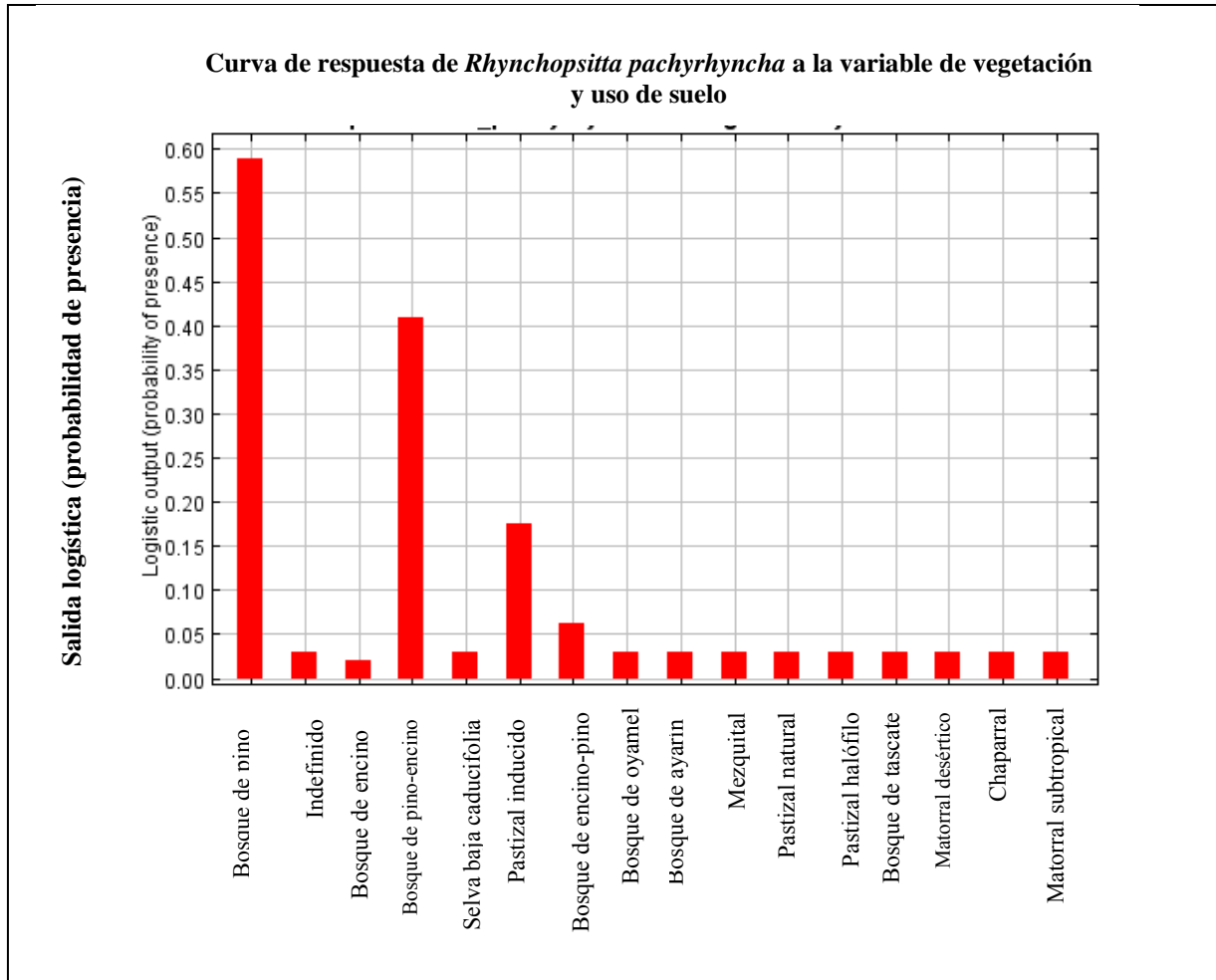


Figura 15. Curva de respuesta de *Rhynchopsitta pachyrhyncha* a la variable de vegetación y uso de suelo.

8.1 Verificación del modelo en campo:

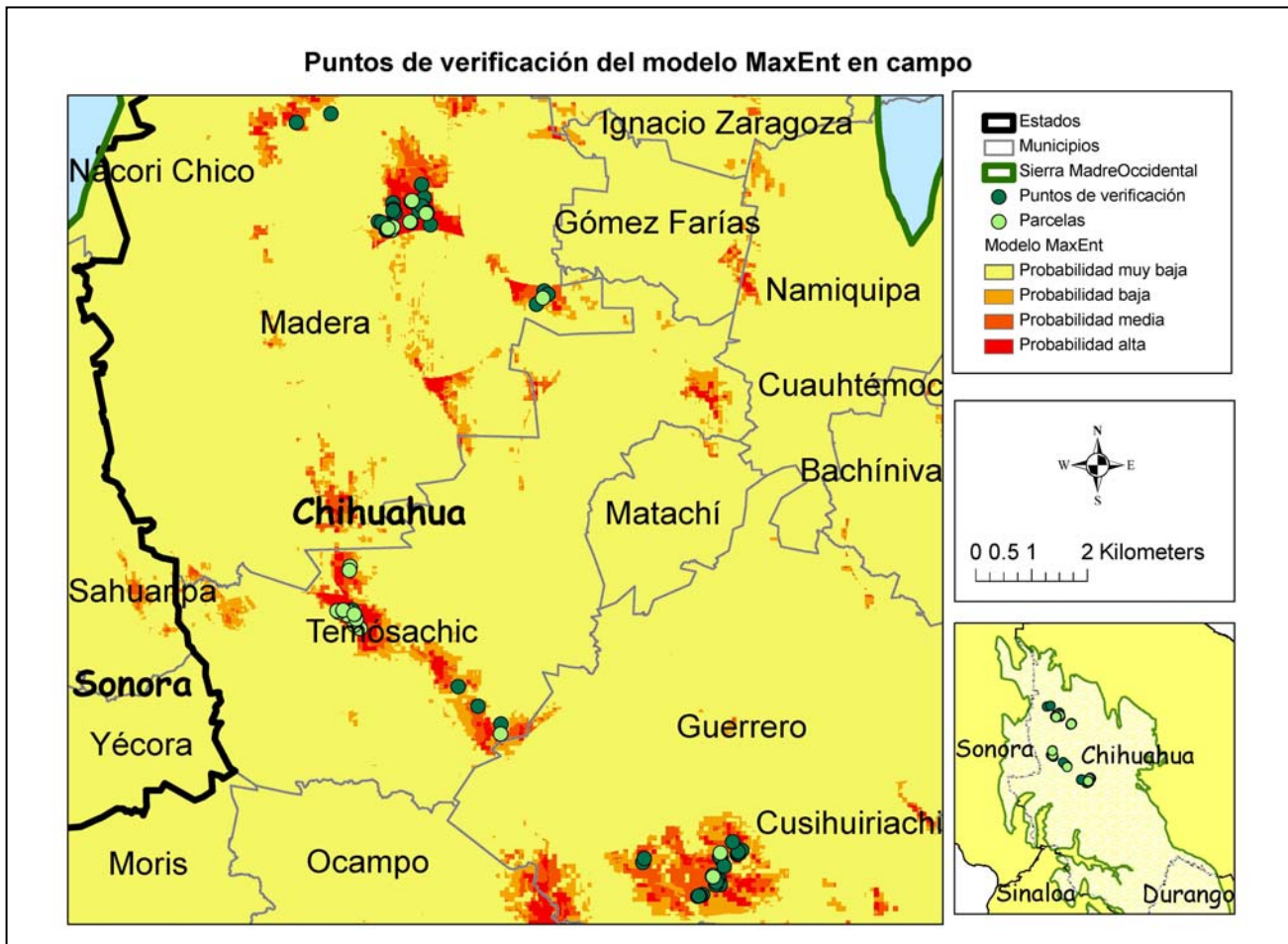


Figura 16. Puntos aleatorizados en ArcGis para verificación en campo.

Aunque en un principio se había propuesto un número mayor para los puntos de verificación en los estados de Chihuahua y Durango, por motivos de seguridad solo se realizaron un total de 74 puntos (Figura 16) en algunas áreas del estado de Chihuahua (Cuadro 5).

Cuadro 5. Puntos de verificación del modelo MaxEnt en campo.

Probabilidad	N	Presencia	%	Ausencia	%
Probabilidad Alta (70-100%)	57	38	66.6	19	33.3
Probabilidad media (50-70%)	9	2	22.2	7	77.7
Probabilidad baja (30-50%)	8	0	0	8	100
Total	74	40	-----	34	-----

Se encontró algún tipo de evidencia de la presencia de la especie en un 67% de los puntos verificados correspondientes a probabilidad alta (57/74), un 22% en los puntos verificados de probabilidad media (9/74) y 0% en puntos verificados con probabilidad baja (8/74). En sitios como Rojo Gómez, Ciénaga de Méndez y Rancho Heredia cerca de Papigochi; La Luna, Conoachi y Cebadillas, Tutuaca; pudimos localizar a la especie por sus fuertes vocalizaciones, en sitios como El Madroño observamos individuos alimentándose de *P. duranguensis* y *P. engelmannii* y en el Cerro de Gasachi encontramos evidencias de alimentación de *P. ayacahuite*. Sin embargo, otras áreas con probabilidad alta que fueron predichas por MaxEnt mostraban serios problemas de degradación y algunas habían sufrido incendios, tal es el caso del Cerro del Teniente, cercana al área de anidación de Madera y la localidad Acapulco en Papigochi (Figura 17).



a. Pareja observada en Papigochi



b. Pareja observada en Tutuaca inspeccionando una cavidad



c. Conos de *P. ayacahuite* como evidencia de alimentación de la cotorra en el Cerro de Gasachi



d. Incendio en área predicha por MaxEnt como probabilidad alta: Cerro del Teniente

Figura 17. Evidencias observadas en los puntos de verificación en campo.

9 DISCUSIÓN

9.1 Modelación de nicho ecológico: MaxEnt

A través del enfoque de la modelación de nicho ecológico, podemos cubrir una de las necesidades más importantes dentro de las estrategias de conservación, que es la priorización de áreas prioritarias para la conservación; ya que nos permite localizar sitios donde la especie en cuestión se pueda distribuir potencialmente, enfocando los esfuerzos de conservación así como sugerir prácticas más ecológicas más amigables para garantizar la permanencia de la especie. Aunque estas herramientas tienen un alto potencial es importante tener en cuenta las limitantes y fuentes de error y tomarlos como una herramienta más que como un fin, ya que esta es una herramienta de predicción y genera nichos ecológicos fundamentales sin profundizar otras dimensiones ecológicas o antrópicas como, interacciones con otras especies ya sea competencias, mutualismo o proveedores de alimento y depredación. Actualmente la principal amenaza de la cotorra serrana occidental es la destrucción y fragmentación de su hábitat, los bosques de coníferas se hallan seriamente amenazados por la tala cada vez más generalizada de los árboles donde anida.

En el presente estudio, el modelo de distribución potencial para *R. pachyrhyncha* incluye la Sierra Madre Occidental siendo los municipios de Janos, Madera, Temósachic y algunas localidades de los municipios de Ocampo, Guerrero, Maguarichi y Bocoyna en el estado de Chihuahua los sitios con mayor probabilidad de ocurrencia de la especie, en el estado de Durango destaca el municipio de Guanaceví y algunas localidades del municipio de Tepehuanes. Con estos resultados podemos observar que la cotorra se encuentra restringida a los bosques de pino en las áreas montañosas del norte de México.

El modelo generado presentó un AUC con un valor de 0.986, según los criterios de Fielding (2002) y Elith (2006), se considera útil, ya que tiene un AUC mayor a 0.75, así también la información obtenida en la bibliografía sustenta la distribución predicha en el mapa. Las curvas de respuesta nos permiten ver la contribución de las variables, así que, si la curva de respuesta decrece hacia los valores más altos de la variable hay un descenso en la influencia de esta variable en la probabilidad de distribución de la

especie (Phillips *et al.* 2006). Al comparar los puntos de presencia utilizados para la creación del modelo contra las capas originales utilizadas, podemos observar en las curvas de respuesta (Figura 14) que en la curva de distancia a calles hay una probabilidad mayor de encontrar a la especie a una distancia entre 5 y 10 km de un camino, sin embargo esto no quiere decir que la presencia de la especie está directamente relacionada con la distancia a caminos, esta distancia esta sesgada por los puntos de ocurrencia que fueron otorgados para la realización del modelo, ya que la toma de puntos está directamente relacionada con la accesibilidad a las zonas de monitoreo del ITESM; así mismo se explica la curva de respuesta de distancia a poblados. La curva de respuesta de distancia a ríos nos dice que hay mayor probabilidad de encontrar a la especie donde se encuentren ríos a una distancia promedio entre 5 y 10 km., el modelo de elevación digital nos dice que la especie se puede encontrar con mayor probabilidad a partir de los 2,300 msnm y hasta los 2,700 msnm aproximadamente, con una precipitación entre los 80-120 mm; la curva de respuesta sobre la pendiente nos dice que con una pendiente de 10° existe mayor probabilidad de ocurrencia de la especie, sin embargo hay que tener cuidado al interpretar este gráfico ya que también pudiera ser sesgado por la accesibilidad a los sitios, la curva referente a la temperatura nos dice que la especie se podría encontrar con mayor certeza entre los 10 y 12 °C; y por último la curva de respuesta de vegetación y uso de suelo nos dice que la especie se encuentra principalmente en bosques de pino, seguido de bosque de pino-encino y aunque en el gráfico se puede observar que la vegetación de pastizal inducido también presenta probabilidad de presencia de la especie, esto se puede deber a un efecto de borde, ya que los bosques también son utilizados para ganadería.

9.2 Verificación del modelo en campo:

La cotorra serrana occidental se encontró principalmente a altitudes entre los 2300 y 2900 msnm en bosques de pino-encino y bosques mixtos de coníferas siendo la elevación promedio 2626 msnm; estos resultados coinciden con la literatura donde se menciona que ésta especie prefiere bosques de coníferas a altitudes por encima de los 2300 msnm para su anidación (Lanning y Shiflett 1983; Snyder *et al.* 1987; Snyder *et al.* 1994; Cruz-Nieto 1998). Sitios con estas características fueron predichos por el modelo MaxEnt con altas probabilidades de distribución. También se observaron individuos alimentándose de *P. duranguensis*, *P. engelmannii* y *P. ayacahuite* estas especies de

pino son de las cuales se alimenta durante la época reproductiva (Snyder *et al.* 1999) además de *Pinus arizonica*, *P. gregii*, *P. teocote*, *P. montezumae* y *P. cembroides* (Lanning y Shiflett 1983; Forshaw 1989).

10 CONCLUSIONES

10.1 Modelación de nicho ecológico: MaxEnt

La pérdida y degradación del hábitat como consecuencias de las actividades humanas están alterando las áreas de reproducción de la cotorra serrana occidental, reflejándose en el declive de la población. Herramientas predictivas como MaxEnt son útiles debido a que nos permiten identificar áreas con las condiciones adecuadas para la supervivencia de las especies y podemos priorizar, proponer áreas de conservación y enfocar esfuerzos donde potencialmente se encuentra la especie y así amortiguar los cambios en las poblaciones de esta especie.

Los modelos de distribución potencial de las especies indican la idoneidad del hábitat de la especie, calculada a partir de observaciones de campo y variables ambientales. La información ha sido tomada de una base de datos confiable y actualizada (ITESM 1996-200, la calidad del mapa es al parecer muy buena de acuerdo con Edith (2000), donde nos indica que los modelos con valores mayores a 0.75, son útiles. Podemos decir que bajo este criterio; al menos en este tiempo y espacio el mapa generado por MaxEnt se acerca a la realidad, por lo que es útil para la toma de decisiones y además podemos inferir que el programa es bastante poderoso para estimar las distribuciones probables de la especie ya que obtuvo un AUC de 0.986.

10.2 Verificación del modelo en campo:

El mapa generado por MaxEnt predijo sitios de anidación que después se verificaron en campo, algunas de las áreas predichas como alta probabilidad mostraron serios cambios como El Cerro del Teniente, cerca del área de anidación de Madera que en años anteriores había sufrido un incendio, por lo que se conveniente actualizar la capa ambiental de vegetación y uso de suelo, para localizar nuevas áreas de anidación o de ocurrencia de la cotorra serrana occidental, pero ahora en sitios específicos. A pesar de estos cambios, el modelo predijo en un 66.6% la ocurrencia de la especie en áreas predichas con alta probabilidad.

11 RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos de MaxEnt se propone inspeccionar las áreas predichas con una capa de vegetación y uso de suelo más actualizada y detallada. A manera de sugerencia se propone continuar con la verificación del modelo en campo, debido a que por seguridad no se pudo completar los sitios de verificación; además el mapa generado por el modelo MaxEnt arrojó sitios interesantes marcados como Probabilidad Alta de ocurrencia de la especie que valdría la pena confirmar, si lo que se quiere es encontrar nuevas áreas de anidación para la cotorra serrana occidental.

12 BIBLIOGRAFÍA

- Bette Loiselle; Howell Christine; Graham Catherine H; Goerck Jaqueline M; Brooks Thomas ; Smith Kimberly G; Williams Paul H. 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conservation Biology* 17(6):1591-1600.
- Cantú-Guzmán, C; Sánchez-Saldaña, M; Grosselet, M; Silva-Gámez, J. 2007. Tráfico ilegal de pericos en México: Una evaluación detallada. México, D.F. 75 p. Disponible en <http://www.pericosmexico.org/>
- Collar, N; Juniper, A. 1992. Dimensions and causes of the parrot conservation crisis. In *New world parrots in crisis. Solutions from conservation biology* (S. R. Bessinger y N. Snyder). Smithsonian Institution Press, Washington and London:1-24.
- CONANP; Pronatura-Sur. 2008. Recuperación de las poblaciones de cotorra serrana occidental y conservación de los bosques antiguos. Reporte Final. Pronatura Sur-CONANP-PROCER:60.
- CONANP; Pronatura. 2010. Programa de Acción para la Conservación de las Especies. México, D.F.
- Cruz-Nieto, M. 1998. Caracterización de las áreas de anidación y biología de nidos de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*). Implicaciones de manejo de los bosques templados en México. Monterrey, Nuevo León, México. 120 p.
- Cruz-Nieto, M; Vidal, R. 2008. Recuperación de las poblaciones de cotorra serrana occidental y conservación de bosques antiguos.56-p.
- Elith, J. 2002. Quantitative methods for modelling species habitat: comparative performance and an application to Australian plants. *Ecogeography* (31):161-175.
- Elith, J; Graham, C; Anderson, R; Dudík, M; Ferrier, S; Guisan, A; Hijmans, R; Huettmann, F; Leathwick, J; Lehmann, A; Li, J; Lohmann, L; Loiselle, B; Manion, G; Moritz, C; Nakamura, M; Nakazawa, Y; Overton, J; Peterson, A; Phillips, SJ; Richardson, K; Scachetti-Pereira, R; Schapire, R; Soberón, J; Williams, S; Wisz, MS; Zimmermann, N. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* (29):129-151.
- Enkerlin-Hoeflich, E. 1997. Status, distribución, ecología y conservación de las cotorras serranas (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* y *R. terrisi*) en el norte de México. Informe final del Proyecto B116.
- Enkerlin-Hoeflich, E. 1998. Status, distribución, ecología y conservación de las cotorras serranas (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* y *R. terrisi*) en el norte de México: 3a fase. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey , Centro de Calidad Ambiental:150.
- Enkerlin-Hoeflich, E; Macias, C; Monterrubio, T; Venegas, D. 2002. Study and Conservation of the Thick-billed Parrot in Mexico. Monterrey, Nuevo León, México
- Enkerlin-Hoeflich, E. 1996. Maroon-fronted parrots and Mexico. *Wildlife Preservation Trust International* 54(14).
- Enkerlin-Hoeflich, E; Caballero-Macías, C; Monterrubio-Rico, T; Cruz-Nieto, M; Snyder, NFR; Venegas-Holguin, D; Cruz-Nieto, J; Ortiz-Maciel, S; Gonzalez-Elizondo, J; Stone, E. 1999. Status, distribución, ecología y conservación de las

- cotorras serranas (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* y *R. terrisi*) en el Norte de México: 3ª fase. Monterrey, Nuevo León, México. 110 p.
- Escalante-Pliego, P. 1995. La situación del carpintero imperial (*Campephilus imperialis*) y de los bosques de coníferas maduros de la Sierra Madre Occidental, México. Informe final del Proyecto G028: Sección Mexicana del Consejo Internacional para la Preservación de las Aves.
- FAO. 2003. América del Norte. Perspectivas regionales. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0350s/i0350s01e.pdf>
- Fielding, A. 2002. What are the appropriate characteristics of an accuracy measure? en J.M. Scott, P.J. Heglund, M. Morrison, J.B. Haufler, M.G. Raphael, W.B. Wall y F.Samson (eds) *Predicting plant and animal occurrences: Issues of scale and accuracy*. Island Press. 271-280 p.
- Forshaw, JM. 1989. Parrots of the world. 3a. ed. Lansdowne Editions, M.
- Graham, C; S., F; Huettman, F; Moritz, C; Peterson, A. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. . *Trends Ecol. Evol* (19):497-503.
- Grinnell, J. 1917. Field tests of theories concerning distributional control. *American Naturalist* 51:115-128.
- Guerrero, T; Reed, C; Vegter, B. 1999. La industria forestal y los recursos naturales en la Sierra Madre Occidental de Chihuahua: impactos sociales, económicos y ecológicos. Comisión de solidaridad y defensa de los derechos humanos, A.C./ Texas center for policy studies:66.
- Guisan, A; Zimmermann, N. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*:147-186.
- Guisan, A; Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. . *Ecology Letters* 8:993-1009.
- Howell, S; Webb, S. 1995. A guide to the birds of Mexico and Central America. Oxford University Press, New York, EUA.
- Illoldi-Rangel, P; Fuller, T; Linaje, M; Pappas, C; Sánchez-Cordero, V; Sarkar, S. 2008. Solving the maximum representation problem to prioritize areas for the conservation of terrestrial mammals at risk in Oaxaca. *Diversity and Distributions* 14:493-508.
- INE-SEMARNAT. 2000. Proyecto para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de los Psitácidos en México. México. 145 p.
- ITESM-PRONATURA. 2002. Programa de Manejo Sostenible de Ecosistemas: Distribution, Status, Ecology and Conservation of Tick billed and Maroon-fronted Parrot (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* and *R. terrisi*) in México. Monterrey, Nuevo León, México. 40 p.
- Juniper, T; Parr, M. 1998. Parrots: A guide to parrots of the world. Yale University Press. London
- Lamberski, N; Healy, S. 2002. The Thick-Billed Parrot (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*). *Journal of Avian Medicine and Surgery* 16(1):50-52.
- Lammertink, J; Rojas-Tome, F; Casillas-Orona; Otto, R. 1996. Status and conservation of old-growth forests and endemic birds in the pine-oak zone of the Sierra Madre Occidental, Mexico. . Institute for Systematics and Population Biology, Univ. of Amsterdam, The Netherlands. Technical report (69).
- Lammertink, J; Rojas-Tome, F; Casillas-Orona; Otto, R. 1997. Status and conservation of old-growth forests and endemic birds in the pine-oak zone of the Sierra Madre Occidental, Mexico. . Institute for Systematics and Population Biology, Univ. of Amsterdam, The Netherlands. Technical report (69).

- Lanning, D; Shiflett, J. 1983. Nesting ecology of Thick-billed Parrots. *The Condor* 85:66-73.
- Leopold, A. 1937. The thick-billed parrot in Chihuahua. *The Condor* 39:9-10.
- López, A; Elosua, P. 2004. Estimaciones bootstrap para el coeficiente de determinación: un estudio de simulación. *Revista Electrónica de Metodología Aplicada* 9(2):1-14.
- Macías-Caballero, C; Enkerlin-Hoelfich, E; Cruz-Nieto, M. 2003. Thick-billed Parrots in Mexico. *Psitta Scene* 15(4):2-4.
- Martin, T; Paine, C; Conway, C; Hochachka, W; Allen, P; Jenkins, W. 1997a. BBIRD FIELD PROTOCOL. Breeding biology research & Monitoring database. Missoula, Montana, E.U. 64 p.
- Martin, TE; Paine, C; Conway, CJ; Hochachka, WM; Allen, P; Jenkins, Wp. 1997b. BBIRD field protocol. Breeding Biology Research and Monitoring Database. Biological Resources Division Montana, Cooperative Wildlife Research Unit, University of Montana. 68 p.
- Martínez, H; Sanabria, M. 2006. Cálculo eficiente del estimador jackknife para mínimos lineales de rango completo. *Revista Académica Colombiana: Ciencia* 30(116):361-365.
- Monterrubio, T; Enkerlin-Hoelfich Ernesto; Hamilton, R. 2002. Productivity and Nesting Success of Thick-Billed Parrots. *Cooper Ornithological Society* 104(4):788-794.
- Monterrubio, T; Enkerlin-Hoelfich, E. 2004. Variación anual en la actividad de anidación y productividad de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*). *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 75(2):341-354.
- Monterrubio, T; Enkerlin-Hoelfich, E. 2004. Present Use and Characteristics of Thick-Billed Parrot Nest Sites in Northwestern Mexico /Uso presente y características de nidos de *Rhynchopsitta pachyrhyncha* en el noroeste de México. *Journal of Field Ornithology* 75(1):96-103.
- Monterrubio, T; Cruz-Nieto Javier; Enkerlin-Hoelfich E.; Venegas-Holguin Diana; Tellez-García Lorena; Marin-Togo, C. 2006. Gregarious nesting behavior of Thick-billed parrots (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) in aspen stands. *The Wilson Journal of Ornithology* 118(2):237-243.
- Ortiz-Maciél, S; Valdés-Peña, R; Cruz-Nieto, J; González-Rojas, J. 2008. Primer registro de uso de nidos artificiales por la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) en México.
- Peterson, T. 2001. Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor* 103:599-605.
- Peterson, T; Ortega-Huerta, M; Bartley, J; Sánchez-Cordero Victor.; Soberón, J; Robert., B; Stockwell, D. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416:626-629.
- Peterson, T; Kluza, D. 2005. Ecological Niche Modeling as a New Paradigm for Large-Scale Investigations of Diversity and Distribution of Birds. *USDA*:1201-1202.
- Peterson, T; Papes, M; Eaton, M. 2007. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography* 30:550-560.
- Phillips, S; Dudík, M; Schapire, R. 2006. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. Princeton University.
- Phillips, S; Dudík, M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecogeography* 31:161-175.

- Ridgely, R. 1982. The current distribution and status of mainland tropical parrots. Conservation of New World Parrots. ICBP/Smithsonian Institution Press, Washington D.C.:233-384.
- Rzedowsky, J; Huerta, L. 1978. Vegetación de México.
- S.A.R.H. 1988. Normas Climatológicas (1941-1970). México
- Sánchez-Mateo, M. 2007. Caracterización del habitat de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*), en el municipio de Madera, Chihuahua, México. Chihuahua, México. 66 p.
- SEMARNAT; CONANP. 2010. Programa de acción para la conservación de las especies. México, D.F. 59 p.
- Smith, A. 1907. The thick-billed parrot in Arizona. The Condor 9:104.
- Snyder, N; Wiley, J; Kepler, C. 1987. The parrots of Luquillo: Natural history and conservation of the Puerto Rican parrot. Western foundation of vertebrate zoology. Los Angeles, California.
- Snyder, N; Koeing, S; Koschmann, J. 1994. Thick-billed Parrot releases in Arizona. The Condor 96(845-862).
- Snyder, N; Toone, W; Enkerlin-Hoelfich, E; Johnson, T. 1996. Protecting parrots and pines. Zoonoz 16(12-17).
- Snyder, N; Enkerlin-Hoelfich, E; Cruz-Nieto, M. 1999. Thick-billed parrot (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*). The Birds of North America Online (406):23. Disponible en <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/406>
- Snyder, N; McGrowan, P; Gilardi, J; Grajal, A. 2000. Parrots: Status survey and conservation action plan 200-2004. IUCN. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 180 p.
- IUCN. 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4. Disponible en www.iucnredlist.org
- Villordo Galván, J, Agustín. 2009. Distribución y estado de conservación del jaguar (*Panthera onca*) en San Luis Potosí, México. Montecillo, Texcoco, Edo. México. 93 p.
- Vorhies, C. 1934. Arizona records of the thick-billed parrot. The Condor 36:180-181.
- Wetmore, A. 1935. The thick-billed parrot in southern Arizona. The Condor 37:18-21.