



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**

**DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES EN RIESGO DEL GÉNERO
GEOTHLYPIS EN MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**

P R E S E N T A

BIÓL. JESÚS FAVELA MESTA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. RAÚL ORTIZ PULIDO

CO-DIRECTORA:

DRA. ERIKA ELIZABETH RODRÍGUEZ TORRES



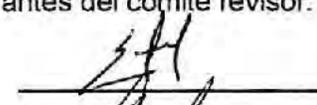
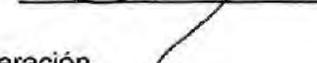
Mineral de la Reforma, Hgo., a 24 de octubre de 2018

Número de control: ICBI-D/833/2018
Asunto: Autorización de impresión de tesis.

M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

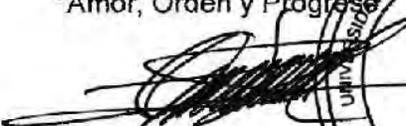
Por este conducto le comunico que el comité revisor asignado al C. Jesús Favela Mesta, alumno de la Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación con número de cuenta 364372, autoriza la impresión del proyecto de tesis titulado "Distribución de especies en riesgo del género *Geothlypis* en México" en virtud de que se han efectuado las revisiones y correcciones pertinentes.

A continuación se registran las firmas de conformidad de los integrantes del comité revisor.

| | | |
|------------|---------------------------------------|---|
| PRESIDENTE | Dra. Erika Elizabeth Rodríguez Torres |  |
| SECRETARIO | Dr. Pablo Octavio Aguilar |  |
| VOCAL | Dr. Raúl Ortiz Pulido |  |
| SUPLENTE | Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza |  |

Sin otro particular reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
 "Amor, Orden y Progreso"


 Dr. Óscar Rodolfo Suárez Castillo
 Director del ICBI



ORSC/LVCL

Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5 Colonia
 Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
 México, C.P. 42184
 Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 2231
 Fax 2109
 direccion_icbi@uaeh.edu.mx



Desde siempre he tenido gran pasión por la naturaleza, de ella lo que más me gusta son las aves, pues ni el mejor artista ha sido capaz de igualar sus voces, su vuelo, sus colores.

*Las aves han sido una de las grandes inspiraciones y pasiones en mi vida... Carpinteros, chipes, colibríes, rapaces, tangaras, trogones... Son parte de mí, la ornitología es hermosa, nuestras aves, nuestra razón de ser; más que una ciencia...
¡Una pasión, un estilo de vida!*

*Jesús Favela Mesta
Noviembre, 2018*

Pero las grandes bandadas no llegan ya, y solo quedan las leyendas... Ahora la especie se mantiene precariamente al borde mismo de la extinción. Únicamente algún superviviente raro arrostra la peligrosa emigración desde los campos patagónicos a las empapadas planicies que descienden al Océano Glaciar Ártico. Pero el Ártico es muy vasto y, generalmente, aquellos sobrevivientes buscan en vano. Últimos de una especie agonizante, vuelan solos.

-Fred Bodsworth, 1954

La belleza y la genialidad de una obra de arte pueden ser concebidas de nuevo aun cuando su primera expresión material haya sido destruida, una armonía desaparecida puede volver a inspirar al compositor; pero cuando el ultimo individuo de una raza de organismos vivos exhala su aliento postrero, otra tierra y otro cielo tendrán que pasar antes de que un ser semejante pueda volver a existir.

-William Beebe

Las aves son expresiones y manifestaciones de la vida con las que la naturaleza ha alcanzado una de las cimas más altas de su propia evolución. Esos hermosos seres, que nos reflejan su alegría, melodías, armonía, su pasión amorosa, belleza, colores, formas, su deseo de vivir, el arte en sus alas y en como dibujan su vida en el aire. Mirarlas es volar, es soñar, es sentir en el alma su libertad.

Esos seres que conquistan y despiertan a los paisajes con un repertorio de ritmos, sílabas, frases y cantos en el amplio espacio del aire. Esos nómadas del cielo, que con su fidelidad al futuro vencen y se apropian de distancias, alturas y cada ámbito de la vida.

Con sus nupcias y ceremonias desbordadas de pasión, color, bailes, rituales y melodías. Con sus multitudes en caóticas bandadas, resplandor de grácil colorido inundado de alas, que llenan el atardecer e inflama el corazón del aire; una alegre armonía a los ojos. Nada tan bello como las aves, almas libres que surcan mi vida. El horizonte radiado, nos recuerda que nadie en la naturaleza levanto tan alta la vida.

*A las aves porque incluyen su alegría, belleza e inocencia en los paisajes.
Una pasión toda la vida.*

*Jesús Favela Mesta
Noviembre, 2018*

*Cada ser vivo, también es mi familiar, venimos de la misma célula,
somos tan parte de la naturaleza, como una tortuga, un árbol, una
piedra...*

*En las últimas décadas muchas especies se han extinguido...
Y con ello miles de años de evolución han sido aniquilados...*

¡La extinción es para siempre!

*Jesús Favela Mesta
Noviembre, 2018*

ÍNDICE DE CONTENIDO

| CONTENIDO | PÁG. |
|--|-------------|
| Dedicatoria | I |
| Agradecimientos | II |
| Acrónimos usados en este documento | IV |
| Resumen | V |
| Capítulo I. <i>Introducción general</i> | 1 |
| Antecedentes | 4 |
| Justificación | 12 |
| Objetivos | 13 |
| Objetivo general | 13 |
| Objetivos particulares | 14 |
| Literatura citada | 14 |
| Apéndice | 21 |
| Identificación de especies de <i>Geothlypis</i> en campo | 21 |
| Identificación de <i>Geothlypis flavovelata</i> en campo | 22 |
| Identificación de <i>Geothlypis beldingi</i> en campo | 23 |
| Identificación de <i>Geothlypis speciosa</i> en campo | 26 |
| Capítulo II. <i>Geothlypis flavovelata</i> | 28 |
| Resumen | 30 |
| Introduction | 31 |
| Methods | 32 |
| Primary presence records and data considered | 32 |
| Field surveys | 32 |
| Current distribution | 33 |
| Future distribution | 33 |
| Habitat conservation status | 34 |
| Results | 34 |
| Historic records | 34 |
| Records from fieldwork | 34 |
| ENM of current distribution | 34 |
| Future distribution | 35 |
| Conservation status of the habitat | 35 |
| Discussion | 35 |

| | |
|--|----|
| Current distribution | 36 |
| Local habitat | 36 |
| Future distribution | 37 |
| Conservation proposals | 38 |
| Conclusions | 38 |
| Acknowledgements | 39 |
| References | 39 |
| Capítulo III. <i>Geothlypis beldingi</i> | 48 |
| Introducción | 49 |
| Método | 50 |
| Mascarita Bajacaliforniana (<i>Geothlypis beldingi</i> ; Ridgway, 1883) | 51 |
| Modelos de distribución actual y a futuro | 51 |
| Modelo de nicho ecológico actual en el espacio ambiental | 51 |
| Análisis de cambio de uso de suelo | 52 |
| Funciones de distribución | 53 |
| Kernel de distribución | 53 |
| Caculo de distancias y ángulos de distribución | 53 |
| Estado de conservación del hábitat | 55 |
| Resultados | 56 |
| Registros históricos | 56 |
| Registros de campo | 56 |
| Distribución geográfica actual | 59 |
| Modelo de distribución actual | 60 |
| Modelo de nicho ecológico actual en el espacio ambiental | 60 |
| Modelos de distribución a futuro | 60 |
| Distribución con el cambio de uso de suelo y vegetación | 62 |
| Funciones de distribución en Baja California Sur | 64 |
| Distancias y ángulos de distribución | 65 |
| Enfoque general por periodos | 65 |
| Enfoque entre localidades | 66 |
| Enfoque por región | 67 |
| Enfoque por localidad | 68 |
| Estado de conservación del hábitat | 69 |
| Discusión | 72 |
| Distribución actual y futura | 72 |

| | |
|---|-----|
| Distancias y ángulos de distribución | 74 |
| Cambio de uso de suelo y estado de conservación del hábitat | 76 |
| Literatura citada | 78 |
| Capítulo IV. <i>Geothlypis speciosa</i> | 85 |
| Introducción | 86 |
| Método | 87 |
| Mascarita del Lerma (<i>Geothlypis speciosa</i> ; Scarlet, 1859) | 87 |
| Modelos de distribución actual y a futuro | 88 |
| Modelo de nicho ecológico en el espacio ambiental | 88 |
| Resultados | 88 |
| Registros históricos | 88 |
| Registros de campo | 88 |
| Distribución geográfica actual | 91 |
| Modelo de distribución actual | 92 |
| Modelo de nicho ecológico en el espacio ambiental | 92 |
| Modelos de distribución a futuro | 92 |
| Distribución con el cambio de uso de suelo y vegetación | 94 |
| Funciones de distribución en Michoacán y México | 96 |
| Distancias y ángulos de distribución | 97 |
| Enfoque general por periodos | 97 |
| Enfoque entre localidades | 98 |
| Enfoque por región | 99 |
| Enfoque por localidad | 100 |
| Estado de conservación del hábitat | 101 |
| Discusión | 105 |
| Distribución actual y futura | 105 |
| Funciones de distribución | 107 |
| Cambio de uso de suelo y estado de conservación del hábitat | 109 |
| Literatura citada | 113 |
| Capítulo V. <i>Conclusiones generales</i> | 118 |
| Cambio climático global | 119 |
| Cambio de uso de suelo | 121 |
| Movilidad y dispersión | 122 |
| Propuestas de conservación de las especies | 125 |
| Literatura citada | 128 |

Índice de figuras

| Figura | Descripción | Página |
|-----------|---|--------|
| Figura 1. | Identificación de <i>G. flavovelata</i> en campo: a y b) individuo macho de <i>G. flavovelata</i> en Loma Alta, Gómez Farías, donde se aprecia una máscara negra con un margen superior reducido en amarillo; c y d) individuos machos de <i>G. flavovelata</i> en Héroes de Chapultepec, Gómez Farías. Se aprecia una máscara con margen superior amplio en amarillo. Fotografías: Jesús Favela, 2017. | 23 |
| Figura 2. | Identificación de <i>G. beldingi</i> en campo: a y b) individuos machos de <i>G. beldingi</i> en estero San José, donde se aprecia una máscara negra con terminación más redonda y sin margen gris; b y c) individuo macho de <i>G. trichas</i> en oasis de San Ignacio. Se aprecia una máscara más alargada, con terminación en punta y con margen superior blanco-grisáceo; d) hembra de <i>G. beldingi</i> en estero San José, se aprecia un semi anillo ocular en la parte inferior, una delgada línea transversal entre pico y ojo, así como un ligero parche blancuzco en la zona ventral; f) juvenil de <i>G. trichas</i> , nótese la máscara reducida y en desarrollo, al igual que el margen blanco-grisáceo (individuo observado en Tecolutla, Veracruz). Fotografías: Jesús Favela, 2016-2017. | 25 |
| Figura 3. | Identificación de <i>G. speciosa</i> en campo: a y b) individuos de machos de <i>G. speciosa</i> en lago de Pátzcuaro, donde se aprecia una máscara negra con terminación diseminada en la nuca y patas oscuras; c) individuo macho de <i>G. trichas</i> observado en Pátzcuaro. Se aprecia una máscara con margen superior blanco; d) hembra de <i>G. speciosa</i> en ciénegas del Lerma, se aprecia una coloración corporal más oscura en general, respecto a otras especies de <i>Geothlypis</i> (e.g. <i>G. beldingi</i>). Fotografías: Jesús Favela, 2017. | 27 |
| Figura 4. | Sugarcane fields in El Azteca, Gómez Farías, Tamaulipas (a) and <i>G. flavovelata</i> using cane fields (<i>Saccharum officinarum</i>) (b). Photo: Jesús Favela-Mesta, 2017. | 45 |
| Figura 5. | Distribution of <i>G. flavovelata</i> in Mexico: current distribution (a); future distribution under optimistic scenario in 2050 (b) and 2070 (c); future distribution under pessimistic scenario in 2050 (d) and 2070 (e), and; combined, considering the current model and all future models (f). The absence (light grey) and presence (dark grey) areas for the species are indicated for each model. | 46 |

| Figura | Descripción | Página |
|---------------|---|---------------|
| Figura 6. | Sugarcane (<i>Saccharum officinarum</i>) ready for harvest (a) and scavenger birds present in the fields after burning (b). Images taken in the Sabinas plot, Gómez Farías, Tamaulipas. Photo: Jesús Favela-Mesta, 2017. | 47 |
| Figura 7. | Registros de <i>G. beldingi</i> en el estero de San José del Cabo, Baja California Sur, México, haciendo uso de <i>Scirpus</i> sp. (a) y de <i>Phragmites communis</i> (b). Fotografías: Jesús Favela, 2016. | 58 |
| Figura 8. | Distribución geográfica de <i>G. beldingi</i> en Baja California Sur, México. Se presentan todos los registros obtenidos de la especie (a) y el modelo digital de elevación de la zona donde se ubica la mayor cantidad de registros de la especie (b). | 59 |
| Figura 9. | Distribución de <i>G. beldingi</i> en México: actual (a); futura para el escenario optimista del 2050 (c) y 2070 (d); futura para el escenario pesimista del 2050 (e) y 2070 (f). Se indica el área de ausencia (verde) y de presencia (rojo) para cada modelo. Modelo actual de nicho en el espacio ambiental (b), en el cual <i>G. beldingi</i> presenta un nicho fundamental amplio (elipsoide). Sin embargo, el nicho realizado (puntos azules) es escaso. La coloración de los puntos indica la idoneidad, desde cero (rojos), a cercano a uno (azules), donde uno indica las mejores condiciones ambientales para la especie. | 61 |
| Figura 10. | Registros de <i>G. beldingi</i> sobre cartas de uso de suelo y vegetación en 1997, 2009 y 2013 en Baja California Sur, México. | 63 |
| Figura 11. | Concentración de la distribución de <i>G. beldingi</i> usando funciones de distribución. Los polígonos de colores indican la concentración espacial de registros de la especie en Baja California Sur, México. | 64 |
| Figura 12. | Zonas hoteleras y asentamientos humanos, así como las imágenes satelitales donde se aprecia la cercanía de dichos asentamientos al estero San José (a y b) y laguna de Todos Santos (c y d). Fotografías: Jesús Favela, 2016; Bing, 2016. | 70 |

| Figura | Descripción | Página |
|---------------|---|---------------|
| Figura 13. | Ganado equino (a) y bovino (b) presente en el oasis de Santiago, el cual puede afectar los humedales por el sobrepastoreo. Impactos directos sobre la vegetación por la apertura de senderos (c) y corte de carrizal en el estero San José (d). Fotografías: Jesús Favela, 2016. | 71 |
| Figura 14. | Registros de <i>G. speciosa</i> a orillas del lago Pátzcuaro, en la localidad de Eronguarícuaro, Michoacán, haciendo uso de <i>Scirpus</i> sp. (a) y haciendo uso de <i>Typha</i> sp. en la ciénega de Chimaliapan, en San Pedro Tultepec, Lerma, estado de México (b). Fotografías: Jesús Favela, 2017. | 90 |
| Figura 15. | Distribución geográfica de <i>G. speciosa</i> en Michoacán y México. Se presentan todos los registros obtenidos de la especie (a) y el modelo digital de elevación de la zona donde se ubica la mayor cantidad de registros de la especie (b). | 91 |
| Figura 16. | Distribución de <i>G. speciosa</i> en México: actual (a); futura para el escenario optimista del 2050 (c) y 2070 (d); futura para el escenario pesimista del 2050 (e) y 2070 (f). Se indica el área de ausencia (verde) y de presencia (rojo) para cada modelo. Modelo actual de nicho en el espacio ambiental (b), en el cual <i>G. speciosa</i> presenta un nicho fundamental muy reducido (elipsoide), de igual forma el nicho realizado (puntos azules) es reducido. La coloración de los puntos indica la idoneidad, desde cero (rojos), a cercano a uno (azules), donde uno indica las mejores condiciones ambientales para la especie. | 93 |
| Figura 17. | Registros de <i>G. speciosa</i> sobre cartas de uso de suelo y vegetación en 1997, 2009 y 2013 en los estados de Michoacán y México. | 95 |
| Figura 18. | Concentración de la distribución de <i>G. speciosa</i> usando funciones de distribución. Los polígonos de colores indican la concentración espacial de registros de la especie en Michoacán y México. | 96 |

| Figura | Descripción | Página |
|---------------|---|---------------|
| Figura 19. | Asentamientos humanos en la ciénega central de Chimaliapan en San Pedro Tultepec, Lerma, Edo. Mex. (a y b). Las ciénegas funcionan como depósitos de aguas residuales y desechos sólidos domésticos, como la de Chiconahuapan en San Nicolás Peralta, Lerma, Edo. Mex. (c y d). Degradación de la vegetación de tular en las ciénegas debido al corte y quema (e); la ciénega de Chiconahuapan es una de las más deterioradas y actualmente enfrenta un proceso de desecación (f). Fotografías: Jesús Favela, 2017. | 103 |
| Figura 20. | Los asentamientos humanos han presentado un gran crecimiento en los últimos años en los alrededores del lago de Pátzcuaro (a), la ganadería es una de las actividades más comunes en las inmediaciones de los lagos de Cuitzeo y Pátzcuaro (b); los incendios tienen una alta incidencia en el área, sobre todo en primavera y verano debido a las altas temperaturas que se pueden presentar (c). Uno de los problemas más fuertes en el lago de Pátzcuaro es la contaminación, principalmente por descarga de aguas residuales, lo que provoca una alta turbidez y baja calidad de agua, afectando a muchas especies que dependen de este recurso (d); por su parte el lago de Cuitzeo enfrenta un proceso de desecación, pues la mitad del cuerpo de agua se encuentra seco, lo cual ha ocasionado problemas de erosión (e); fotografías: Jesús Favela, 2017. Imagen satelital del lago de Cuitzeo donde se aprecia el área seca del lago (izquierda) (f); google earth, 2016. | 104 |

Índice de cuadros

| Cuadro | Descripción | Página |
|---------------|---|---------------|
| Cuadro 1. | Localities visited during fieldwork in the states of Tamaulipas and Veracruz. The location area in km ² , and main vegetation cover are indicated | 43 |
| Cuadro 2. | Environmental variables used to generate the models. The percentage of contribution is indicated. * Water bodies variable obtained from Instituto Nacional de Estadística and Geografía. INEGI, 2013. | 44 |
| Cuadro 3. | Registros obtenidos de diversas fuentes como GBIF (2016), eBird (2016), colección de aves de la UNAM (2016), VertNet (2016), así como los registros totales y depurados para <i>G. beldingi</i> . | 56 |
| Cuadro 4. | Localidades visitadas para los muestreos de <i>G. beldingi</i> . Se indican los registros y puntos geográficos obtenidos de la especie en Baja California Sur, México, durante noviembre del 2016. | 57 |
| Cuadro 5. | Principales tipos de suelo y vegetación y su área en km ² para la zona de distribución de <i>G. beldingi</i> en los periodos de 1997, 2009, y 2013. | 62 |
| Cuadro 6. | Distancias y ángulos de los tres periodos considerados (1997, 2009, 2013) en la distribución general de <i>G. beldingi</i> en Baja California Sur, México. | 65 |
| Cuadro 7. | Distancias y ángulos entre las localidades o zonas independientes consideradas en la distribución de <i>G. beldingi</i> en Baja California Sur, México. | 66 |
| Cuadro 8. | Distancias y ángulos de las regiones consideradas en la distribución de <i>G. beldingi</i> en Baja California Sur, México. | 67 |
| Cuadro 9. | Distancias y ángulos de cada localidad independiente considerada en la distribución de <i>G. beldingi</i> en Baja California Sur, México. | 68 |

| Cuadro | Descripción | Página |
|---------------|--|---------------|
| Cuadro 10. | Localidades visitadas durante el trabajo de campo en el estado de Baja California Sur. Se indica la ubicación (coordenadas), área en km ² y el principal tipo de cobertura vegetal o uso de suelo. | 69 |
| Cuadro 11. | Registros obtenidos de diversas fuentes como GBIF (2016), eBird (2016), colección de aves de la UNAM (2016), VertNet (2016), así como los registros totales y depurados para <i>G. speciosa</i> . | 88 |
| Cuadro 12. | Localidades visitadas para los muestreos de <i>G. speciosa</i> . Se indican los registros y puntos geográficos obtenidos de la especie en el estado de México y Michoacán durante febrero y marzo del 2017. | 89 |
| Cuadro 13. | Principales tipos de suelo y vegetación y su área en km ² para la zona de distribución de <i>G. speciosa</i> en los periodos de 1997, 2009, y 2013. | 94 |
| Cuadro 14. | Distancias y ángulos de los tres periodos considerados (1997, 2009, 2013) en la distribución general de <i>G. speciosa</i> en Michoacán y México. | 97 |
| Cuadro 15. | Distancias y ángulos entre las localidades o zonas independientes consideradas en la distribución de <i>G. speciosa</i> en Michoacán y México. | 98 |
| Cuadro 16. | Distancias y ángulos de las regiones consideradas en la distribución de <i>G. speciosa</i> en Michoacán y México. | 99 |
| Cuadro 17. | Distancias y ángulos de cada localidad independiente considerada en la distribución de <i>G. speciosa</i> en Michoacán y México. | 100 |
| Cuadro 18. | Localidades visitadas durante el trabajo de campo en los estados de México y Michoacán. Se indica la ubicación (coordenadas), área en km ² y el principal tipo de cobertura vegetal o uso de suelo. | 102 |

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado primeramente a mis padres: Jesús Favela Santellan y en especial a mi madre Leticia Mesta Gutiérrez.

A mis hermanos, Estrella María, Jessica, Rosa Leticia y Víctor Favela Mesta.

A mis sobrinos, Ceyla Mayte, José Daniel, Kevin Alan y Wendy Michelle.

A mi querida abuela Rosa Gutiérrez Hernández.

A mi comité de tesis, Dr. Raúl Ortiz Pulido, Dra. Erika Elizabeth Rodríguez Torres, Dr. Pablo Octavio Aguilar y Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza.

A mis amigos de la maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación, así como del Laboratorio de Ecología de Poblaciones, del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Al Centro de Investigaciones Biológicas

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Agradecimientos

Con mucho amor y cariño agradezco infinitamente a mi amada madre Leticia Mesta Gutiérrez por todo el apoyo y confianza que siempre ha tenido hacia mí, por estar conmigo en todo momento, por ser un gran aliento y motivación en mi vida, por ello y mucho más, estaré siempre agradecido. Igualmente, el agradecimiento a mi querida y amada familia por todo el apoyo que siempre me han brindado, por estar conmigo, a mis hermanas; Jesica Favela, Rosa Favela, Estrella Favela y a mi hermano Víctor Favela.

A mi director de tesis, Dr. Raúl Ortiz Pulido, por darme la oportunidad, por todos los conocimientos transmitidos, por las experiencias vividas, por su dedicación, compromiso, esmero, responsabilidad, pero sobre todo por su confianza, sus consejos y apoyo, por haberme guiado y orientado a lo largo de este tiempo. Gracias por todo el aprendizaje y enseñanzas. De igual forma agradezco a la Dra. Erika Elizabeth Rodríguez Torres, así como al Dr. Pablo Octavio Aguilar, por su entusiasmo, dedicación y disposición. Por haberme apoyado durante este tiempo, por haberme orientado y por las enseñanzas transmitidas.

Al Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza, por abrirme las puertas, por su disposición, sus consejos y aportaciones. Muchas gracias Dr. Adolfo, por confiar en mí, por su apoyo en todo momento, por las pláticas que tuvimos, siempre con buen sentido del humor, fue un gusto y placer trabajar con usted.

A mis amigos de la maestría, así como del laboratorio: Marisol Gutiérrez, Adriana Hernández, José Luis Reyes, Lucero Ríos, Mariana Contreras, Vanessa Martínez y Saraí Trigueros, por su apoyo y los momentos compartidos. Así mismo un agradecimiento especial a Jessica Bravo Cadena, por su apoyo y ayuda de siempre, por su disposición, y por todos los momentos compartidos.

De igual manera agradezco a quienes me acompañaron en las salidas de campo, Carmen Vacío Fraga, al señor Luis por su amabilidad y hospitalidad durante nuestros días

en Santiago, Baja California Sur, a la Tropa Pajarera de El Cielo, especialmente a Mario Álvarez, por su incondicional apoyo y hospitalidad en Gómez Farías, Tamaulipas, a Lucero Ríos por su hospitalidad en Morelia, Michoacán, a mi gran amigo Oscar Amaro, y al señor Augurio de la cooperativa de Ciénegas del Fuerte, Veracruz.

Al departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad de la Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante, España por recibirme en su grupo. A mis asesores durante la estancia Dr. Francisco Botella Robles, Dr. Juan Manuel Pérez García, y a mis compañeros Natividad, Zebensui Morales, Ruth García y Jana Marco por su apoyo y amistad. A mi amigo Carlos Onofrio, por las atenciones, por esas tardes en la comida, y por los momentos compartidos en Alicante, muchas gracias por tu amistad pibe.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y al CONACYT por su apoyo parcial para el trabajo de campo (proyecto 258364). Finalmente agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de manutención otorgada para realizar mis estudios de maestría (604942), de igual forma por la beca mixta para realizar mi estancia de investigación (291212). Sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible.

Acrónimos usados en este documento

AOS: American Ornithological Society

ARCGIS: Software de Sistema de Información Geográfica

AUC: Area under curve - ROC (Receiver Operating Characteristic)

CCG: Cambio Climático Global

CCMA: Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis

CUS: Cambio de Uso de Suelo

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

FVT: Faja Volcánica Transversal

GBIF: The Global Biodiversity Information Facility

IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IUCN: International Union for Conservation of Nature

M: Área accesible para una especie

MNE: Modelos de Nicho Ecológico

RCP: Representative Concentration Pathways

SMO: Sierra Madre Oriental

Resumen

Las mascaritas son un grupo de aves de la familia Parulidae, pertenecientes al género *Geothlypis*, que se encuentran asociadas a humedales con popales y tulares. En América se reportan 12 especies, seis de las cuales se encuentran en México, cuatro son endémicas y tres de estas están en peligro de extinción. En el presente trabajo se modeló la distribución pasada, actual y futura de *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa*, especies endémicas y en peligro. Además, se evaluó su estado de conservación, considerando el cambio de uso de suelo y el cambio climático global. Para modelar la distribución pasada de las tres especies se utilizó el cambio de uso de suelo y vegetación, considerando las capas nacionales del INEGI serie I (1997), IV (2009) y V (2013) y los registros de presencia. Para ello previamente se consideró la distribución actual obtenida del modelo de nicho, y se evaluaron los cambios en las coberturas de vegetación en el pasado, dentro de las zonas de distribución de las especies. Para modelar la distribución actual y futura de las especies en un contexto de cambio climático se utilizaron datos de ocurrencia (producto de trabajo de campo y registros históricos) y las variables climáticas de WorldClim, generando los modelos de distribución con el programa MaxEnt. Respecto a los modelos futuros fueron considerados dos escenarios, uno optimista y uno pesimista (i.e., Representative Concentration Pathways 2.6 y 8.5, respectivamente) para los años 2050 y 2070. Los resultados sobre el cambio de uso de suelo indican que existe una reducción considerable del hábitat de las tres especies, en cuerpos de agua, tulares y popales, debido al aumento de suelos agrícolas, zonas urbanas y asentamientos humanos. En cuanto a los modelos de distribución, las áreas idóneas actuales para la presencia de las especies no serán las mismas que en el futuro, ya que estas cambiarán para *G. beldingi* y *G. speciosa*, mientras que para *G. flavovelata* se reducirán las áreas de idoneidad. Las tres especies de estudio enfrentan una situación alarmante por la fragmentación y pérdida de hábitat. Por ello es necesaria la implementación de estrategias urgentes de conservación de cada una de ellas.

Capítulo I.

Introducción general

Existen aproximadamente 11,121 especies de aves en el mundo, de las cuales 1,460 se encuentran bajo alguna categoría de riesgo según la IUCN (IUCN, 2017). Se estima que para el año 2100 el 21% de las especies de aves se habrá extinto o enfrentarán un proceso de extinción (Sekercioglu *et al.*, 2004). De igual forma, se indica que, de continuar las tendencias actuales de destrucción del ambiente, el 75% de las especies de aves podrían extinguirse en un rango de 537 a 2500 años (Barnosky *et al.*, 2011). Para México se reportan entre 1,123 y 1,150 especies de aves (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014), dentro de las que existen alrededor de 125 especies endémicas (Cantú y Sánchez, 2011). Actualmente 655 de estas especies están bajo alguna categoría de riesgo, ya sea a nivel nacional o internacional (Ortiz-Pulido, 2018) y de ellas solo 297 especies están protegidas por la legislación mexicana NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT, 2010; Ortiz-Pulido, 2018). En México se reportan 24 especies y subespecies extintas o extirpadas en tiempos históricos, de las cuales 15 (el 62.5%) eran endémicas (Ríos-Muños, 2003). Para distintas especies de aves se ha reportado una disminución de sus poblaciones (Robbins *et al.*, 1989; Rappole y McDonald, 1994; Ortiz-Pulido, 2018). Esto ha provocado que se exploren los factores que posiblemente están causando dicho fenómeno, como serían la pérdida de hábitat, por cambio de uso de suelo (CUS), y el cambio climático global (CCG; Challenger *et al.*, 2009).

La pérdida de hábitat es el proceso de eliminación y cambio de elementos en la estructura espacial del paisaje (García, 2011). Esta se da principalmente por el cambio de uso del suelo (IPCC, 2012). El cuál es la modificación en el uso o manejo de la tierra por los seres humanos, lo cual puede inducir un cambio de la cubierta terrestre (IPCC, 2012). El CUS es una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad, ya que puede provocar la desaparición de poblaciones dentro de sus áreas de distribución (Peterson, 2006). Por su parte el CCG es el cambio del clima que se atribuye a las actividades humanas (Buenfil, 2009). Para evaluarlo existen varios escenarios de CCG, llamados

sendas representativas de concentración (RCP, por sus siglas en ingles), que describen proyecciones para emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles para el siglo XXI. Las RCP consideran escenarios de emisiones bajas (e.g. RCP 2.6), intermedias (e.g. RCP 4.5, RCP 6.0) y altas (e.g. RCP 8.5) (Rodríguez *et al.*, 2015). El CCG puede influir en las comunidades locales de aves, causando mortandad por estrés hídrico y calor, afectando su éxito reproductivo, fenología y distribución (Hickling *et al.*, 2005; Guillemain *et al.*, 2013). Para predecir el efecto del CUS y del CCG en las aves se pueden usar modelos de nicho ecológico (MNE). Los MNE permiten conocer posibles alteraciones en la distribución de las especies debido a diversos fenómenos, así como caracterizar las condiciones ambientales donde las especies pueden vivir potencialmente (Peterson, 2006).

Un grupo de aves que presenta más especies en riesgo en México (31) es la familia Parulidae. Dentro de esta se encuentran las mascaritas pertenecientes al género *Geothlypis*, con las que se ha hecho poco trabajo sobre su conservación en México (Ortiz-Pulido, 2018). Las mascaritas están asociadas a humedales con carrizales o tulares. Estas son aves pequeñas, de comportamiento muy activo, de color amarillo olivo y sólo los machos presentan una máscara negra (Escalante-Pliego, 2010a, 2010b; Escalante-Pliego y Rodríguez-Estrella, 2010). En América se reportan 12 especies (AOS, 2018), seis de las cuales se encuentran en México. De estas, cuatro son endémicas y tres están en peligro de extinción: *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa* (SEMARNAT, 2010). Para estas últimas especies no se han obtenido MNE's ni ha sido considerada su posible distribución pasada bajo un escenario de cambio de uso de suelo ni la distribución futura en un escenario de CCG.

En este trabajo se determinó cómo se ha afectado la distribución de estas tres especies (i.e. *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa*) bajo el CUS y como se verá afectada en escenarios de CCG. Para ello se realizó la proyección de la distribución geográfica

pasada y los análisis de CUS generados a partir de los mapas de uso de suelo y vegetación de México. De igual forma se determinó la distribución actual y futura de estas especies, contemplando variables climáticas bajo diversos escenarios. Con ello se incrementará el conocimiento que se tiene sobre estas especies y se facilitará su conservación en el futuro.

En el presente estudio se presentan diversos capítulos con distintas temáticas. En el capítulo I, se hace una introducción general al tema, donde se describe el contexto del presente trabajo, los antecedentes relacionados más relevantes, justificación y los objetivos planteados. En el capítulo II, se presenta información de la especie *G. flavovelata*, la metodología empleada para el estudio de esta y las otras especies (i.e. *G. beldingi* y *G. speciosa*), así como los resultados, discusión y conclusiones. Esta misma orientación se presenta en el capítulo III con la especie *G. beldingi* y en el capítulo IV con la especie *G. speciosa*. Finalmente, en el capítulo V se presentan las conclusiones generales de este trabajo.

Antecedentes

En México se han realizado varios trabajos sobre distribución futura de especies de aves en un contexto de CCG y CUS, de ellos varios destacan para este estudio.

Cambio climático global

Respecto al tema de CCG Peterson *et al.* (2001) evaluaron las distribuciones geográficas de la familia Cracidae en México. Ellos determinaron que los efectos del CCG sobre la distribución de las especies de dicha familia van desde la reducción drástica hasta algunos aumentos moderados, concluyendo que el CCG tendrá consecuencias graves para los Cracidos en los próximos 50 años.

En este sentido, de igual forma en el año 2002, Peterson *et al.* usaron un algoritmo genético y especímenes de museos para determinar presencia y MNE de 1,870 especies

de aves en México, realizando proyecciones para el año 2055. Ellos predijeron pocas extinciones y reducciones drásticas, pero previeron un alto recambio de especies en algunas comunidades locales (>40% de las especies), lo que sugiere que en el futuro pueden darse perturbaciones ecológicas graves en las comunidades de aves.

Dichas perturbaciones o efectos pueden presentarse de diversas maneras en los ecosistemas, por ejemplo, Martínez y Fernández (2004) estimaron el posible efecto del CCG en algunos ecosistemas en México. Ellos encontraron que los tipos de vegetación que recibirán un mayor impacto negativo serán los bosques de coníferas y encinos, seguidos del matorral xerófilo, el bosque mesófilo de montaña, la vegetación acuática y subacuática, así como el pastizal. Ellos previeron que ocurrirá una disminución en la superficie de dichos tipos de vegetación, por lo que las especies que se encuentran en éstos también se verán afectadas. Ellos indicaron que, por ejemplo, la chachalaca (*Ortalis wagleri*), probablemente se verá favorecida, pues, por el tipo de vegetación en que habita (bosque tropical caducifolio), aumentará su distribución.

Por tal, los efectos que puede causar el CCG son distintos, sin embargo, al considerar otras variables, el CCG puede resultar de mayor riesgo para las especies. Tal como lo indica Şekercioğlu *et al.* (2008), en su trabajo, en el cual se modelaron los efectos altitudinales, la pérdida de hábitat y un calentamiento superficial de 2.8°C sobre el riesgo de extinción de aves terrestres. Se estimaron entre 400 y 550 extinciones, así como 2,500 especies en riesgo en 2100. Ellos indican que, a nivel mundial; cada grado de calentamiento inducirá las extinciones de 100 a 500 especies. De igual forma mencionan que, para mejorar la precisión de las estimaciones de extinciones inducidas por el clima, es necesario integrar los rangos altitudinales de los desplazamientos de las especies, pues con ello se puede mejorar la evaluación del grado de conservación de especies terrestres y ayudar a identificar especies que son más vulnerables al CCG.

En relación a las aves con mayor necesidad de conservación destaca el grupo las acuáticas, con el cual se requiere mayor atención y estudios al respecto. Un trabajo sobre dicho grupo fue el realizado por Ramírez-Bastida *et al.*, 2008, donde evaluaron la distribución de 134 especies asociadas con humedales mediante MNE. Ellos indican que la riqueza de aves acuáticas se concentra en las zonas costeras y el endemismo en la Faja Volcánica Transversal y el Altiplano. Además, hacen referencia a que actualmente diversas especies endémicas y de distribución restringida, como *G. beldingi*, *G. flavovelata* y *G. speciosa*, representan un problema crítico de conservación en México.

Las especies críticas de conservación pueden resultar vulnerables ante el CCG. Por ello es importante determinar los cambios climáticos, tal como lo hicieron Sáenz-Romero *et al.* (2010), quienes exploraron modelos de los climas contemporáneos de México y como su uso ayuda en la comprensión de los impactos del CCG sobre la vegetación para los años 2030, 2060 y 2090. Ellos mencionan que, en promedio; la temperatura media anual tendrá un incremento de 1.5°C para el año 2030, 2.3°C para el año 2060 y 3.7°C para el año 2090. En cuanto a la precipitación anual, esta disminuiría en promedio -6.7% en 2030, -9.0% en 2060 y -18.2% en el año 2090. Todo ello, tendrá diversas repercusiones a diferentes escalas en las aves.

Por otro lado, es importante evaluar diversos enfoques respecto a la modelación del CCG, como en el trabajo de Bravo-Cadena (2011), quien evaluó la metodología de la modelación de la distribución en 12 especies de aves, bajo diferentes enfoques. Para lo cual consideró tres escalas de datos (estatales, regionales y nacionales) y dos algoritmos (GARP y MaxEnt). Ella determinó que existen diferencias significativas entre especies, escalas y algoritmos. Por lo cual recomienda que, al generar estrategias de conservación con análisis nacionales, estas sean reevaluadas a nivel regional para verificar que los criterios de importancia se mantengan, esto principalmente con especies de amplia distribución. Por su parte, los modelos a nivel regional pueden tener mayor relevancia desde

el punto de vista biológico. De igual forma determino el efecto del CCG en la distribución de cinco especies de aves en peligro en México (*Geotrygon albifacies*, *Cyanolyca cucullata*, *Aphelocoma unicolor*, *Automolus rubiginosus* y *Catharus frantzii*). Para ello utilizo el algoritmo MaxEnt y los datos de cada especie a escala regional y estatal bajo dos escenarios climáticos (A2 y B2) a 10, 40 y 70 años. Encontró que la distribución actual de las cinco especies se reduce en los tres periodos. Por su parte a escala regional para tres especies se reduce el área de distribución en más del 50%, y para las otras dos 30%. Respecto a la escala local para las cinco especies se reduce más del 50%. En conclusión, las áreas que conservarán las condiciones climáticas en los tres periodos pueden fungir como refugio para las especies en el futuro, por lo que son necesarias acciones de conservación en dichas áreas, mientras que las afectadas por el cambio climático, requieren acciones de mitigación y adaptación a este.

Por lo tanto, la evaluación de la distribución potencial es de gran importancia, sobre todo en grupos con mayor riesgo de conservación. A este respecto Lara *et al.* (2012) evaluaron la distribución actual y futura de los colibríes *Amazilia beryllina*, *A. violiceps*, *Cyananthus sordidus*, y *C. latirostris* en relación al CCG para el 2050. Ellos calcularon para cada especie el porcentaje de área predicha en el presente y futuro en las áreas naturales protegidas de México. Determinando que las condiciones climáticas favorables para *A. violiceps* y *C. latirostris* se expandirán hacia el norte de su actual distribución y sus áreas actuales no se verán afectadas. En cambio, para *A. beryllina* se presentará una importante reducción en su área de distribución, y por su parte *C. sordidus* podría ser la especie más afectada, ya que algunas áreas de distribución actual se perderán y cambiarán en el futuro. El consenso de este trabajo establece que para obtener mejores resultados respecto al modelado de distribución en colibríes se deben considerar las especies de plantas con las que interactúan.

Además, es necesario considerar otros aspectos en los estudios sobre CCG, en relación a ello Woodrey *et al.* (2012) indicaron que el CCG afectará de manera significativa los ecosistemas costeros en todo el mundo. Ellos mencionaron que se desconoce el impacto que tendrá en las aves de la región del Golfo de México. Asimismo, indicaron que se necesitan estudios locales y regionales detallados que vinculen la biología de las aves de humedales, para una mejor comprensión sobre la dinámica de las poblaciones de aves en un entorno cambiante.

Otro aspecto relevante al evaluar la distribución de especies es la determinación de factores bióticos que limitan la dispersión. Este es el caso del estudio de Mota-Vargas *et al.* (2013), donde se predice el área de distribución del Chivizcoyo (*Dendrortyx barbatus*), una especie endémica a los bosques de la Sierra Madre Oriental en México. Ellos evaluaron la distribución de la especie mediante el uso de MNE utilizando dos algoritmos, GARP y MaxEnt. De igual forma analizaron la distribución ambiental mediante análisis de componentes principales, para lo cual contrastaron las dos variables más importantes con los tipos de vegetación que frecuenta la especie. Ellos obtuvieron diferencias en cuanto al área de distribución potencial de la especie según los algoritmos. Para GARP el área fue de 17,956 km² y de 12,974 km² con MaxEnt. Algo relevante es que indican la presencia de una barrera biogeográfica que delimita la distribución de la especie al sur. Por otro parte, mencionan que las variables de precipitación media anual y la altitud son las que mejor explican los patrones de distribución de la especie, y que los valores de estas coinciden con los del bosque mesófilo de montaña. Finalmente, concluyen que es necesaria una redefinición del área de distribución del Chivizcoyo, la cual sea reconocida por la IUCN, así como una modificación en su categoría de riesgo en México.

Así mismo se han determinado los enfoques más utilizados respecto a estudios sobre CCG y aves en México. Para lo cual Feria *et al.* (2013) describieron los enfoques usados por ocho grupos de investigación. Ellos encontraron que un 87.5% de esos grupos de

investigadores usaron tres escenarios de cambio climático (i.e. A1B, A2 y B2). Todos los grupos, a excepción de uno, usaron las variables de WorldClim; el 62.5% usó los modelos de circulación general canadiense (CCCMA) y australiano (CSIRO), y; finalmente el 87.5% usaron los algoritmos de GARP y MaxEnt para modelar la distribución de especies. Ellos indican que en el tema hace falta mayor desarrollo en las cuatro áreas siguientes: 1) elaboración de mapas climáticos de mayor resolución, 2) incrementar la colaboración entre grupos de investigación, 3) realizar estudios de identificación de especies y áreas en mayor riesgo, y 4) aplicar los conocimientos que se tienen actualmente. Estas necesidades se pueden extrapolar a la necesidad que existe para realizar estudios con las especies del género *Geothlypis*.

Otras especies de interés para la conservación son las del orden Strigiformes, con las que existen estudios como el de Valencia (2015), donde determino el estado de conservación actual y futuro de las especies de en el estado de Hidalgo. Para lo cual realizó modelos de nicho ecológico para estimar la distribución actual y futura bajo el CCG en los años 2020, 2050 y 2080. Para generar los modelos utilizo dos escenarios de emisión de CO₂, uno con emisiones de intermedias a altas (A2a) y otro con emisiones de intermedias a bajas (B2a). Obtuvo un total de 18 especies de búhos, para las cuales determino un aumento en la distribución de cinco especies, una reducción en 11 especies y no predice cambios para dos especies. En el escenario A2a predice los cambios más drásticos en la distribución de varias especies. De igual forma reporta una reducción de más del 50% en la distribución de siete especies en el año 2080 (*P. flammeolus*, *M. kennicottii*, *M. trichopsis*, *G. sanchezi*, *C. nigrolineata*, *A. stygius* y *A. flammeus*). Finalmente menciona que las áreas naturales protegidas llegarán a resguardar el 78% de las especies de búhos para el año 2080.

Igualmente, otro grupo con necesidades de conservación es el de los psitácidos, para el cual existen trabajos como el de Monterrubio *et al.* (2015). Ellos evaluaron la

disponibilidad actual y futura de hábitat en las distribuciones de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) y la cotorra serrana oriental (*R. terrisi*), mediante MNE. Se determinó que el clima asociado a los bosques dentro de la distribución actual de *R. terrisi* desaparecerá para 2090, y el clima ideal de los bosques donde se distribuye *R. pachyrhyncha* sufrirá una contracción. Además, indican que es necesario controlar y regular la tala e incendios, ya que esto ayudará a restaurar una mayor proporción de bosques, lo cual contribuirá a una recuperación de las poblaciones de *R. terrisi* y *R. pachyrhyncha* y facilitará una respuesta adaptativa al CCG.

A este respecto, de igual forma Monterrubio *et al.* (2016) estimaron la distribución histórica y contemporánea de la familia Psittacidae en México, para lo cual generaron MNE con MaxEnt. Ellos determinaron una mayor distribución para *Amazona albifrons* y una menor para *Amazona auropalliata*. Al respecto indican que todas las especies han perdido hábitat, destacando *Ara macao*, *Amazona auropalliata* y *A. oratrix*. Concluyen que es necesario el uso de MNE para evaluar cambios en distribución respecto al CCG.

Modelos de nicho ecológico y cambio de uso de suelo

Respecto al cambio de uso de suelo y su efecto en las aves existen diversos trabajos, uno de ellos es el de Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza (2009). Ellos analizaron el cambio de uso de suelo para los años 1976, 1996 y 2000 y su efecto en la distribución de 22 especies de psitácidos de México, mediante la predicción de áreas utilizando MNE (GARP). Ellos determinaron una pérdida general en el área de distribución de las especies analizadas, al comparar los tres periodos de uso de suelo, llegando hasta un 86% de pérdida para *Ara macao* y un aumento para *Aratinga strenua*, *Brotogeris jugularis* y *Amazona auropalliata*.

Por otra parte, en relación a las especies de aves endémicas de México, Peterson *et al.* (2015) integraron datos históricos y actuales sobre las distribuciones de 115 especies de aves, estableciendo áreas geográficas de ganancia y pérdida, considerando el cambio

de uso de suelo y el CCG. Ellos determinaron que el cambio de temperatura podría tener un impacto significativo en la avifauna, pero no así la precipitación o el impacto humano en el paisaje.

Género *Geothlypis*

En cuanto a estudios enfocados a las especies del género *Geothlypis*, son muy escasos los dedicados a determinar su distribución, la mayoría de los trabajos publicados se enfocan a su sistemática (Dickerman, 1970), genética y evolución (Escalante-Pliego, 1991, 2009; Bollmer *et al.*, 2010; Lovette, *et al.*, 2010), reproducción (Dunn *et al.*, 2008) y uso de hábitat (MacGregor-Fors *et al.*, 2008). Para las especies de interés de este estudio (i.e. *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa*) existen algunos trabajos como el de Escalante-Pliego (1997), quien evaluó parámetros de variación genética poblacional, la estructura poblacional, filogeografía y filogenia del género *Geothlypis* en México, determinó que especies como *G. flavovelata* y *G. beldingi* son producto de una radiación más reciente dentro del grupo, y de igual forma presentan una menor variación genética respecto a otras especies del género con amplia distribución como *G. trichas*. Por su parte con *G. beldingi* menciona que sus poblaciones colonizaron la península de Baja California en la primera dispersión del grupo, conservando caracteres primitivos y exclusivos. Finalmente, para *G. speciosa* indica que es una especie antigua y de distribución relictual.

Por su parte Rodríguez-Estrella *et al.* (1999) y Erickson *et al.* (2008) describen los aspectos ecológicos y el estado de conservación de *G. beldingi*. Ellos reportan la desaparición de la especie en algunas localidades (Santiago, Miraflores y El triunfo) en Baja California Sur y señalan que las poblaciones son reducidas y aisladas con una distribución irregular, además de que presentan una alta especificidad de hábitat (cuerpos de agua con tulares y carrizales). De igual manera en el año 2012, Hernández-Sánchez analizó aspectos ecológicos de *G. flavovelata* en Veracruz, reportando que la especie está restringida a la

sub provincia de la Planicie Costera del Golfo Norte y está asociada principalmente a plantas como *Typha domingensis* (Typhaceae), *Cyperus articulatus* (Cyperaceae), *Cladium jamaicense* (Cyperaceae) y *Mimosa pigra* (Fabaceae), indicando que el cambio de uso de suelo es de los factores que más afecta a las poblaciones de esta especie.

Para *G. speciosa* existen trabajos como el de Dickerman (1970), donde se indica la presencia de la especie en el río Lerma en el estado de México, así como el registro de la sub especie *G. speciosa limnatis* en los lagos de Pátzcuaro y Cuitzeo en Michoacán y Yuriria en Guanajuato, estimando una distribución general en aproximadamente 3,925 km². Por otro lado, está el trabajo de Lovette *et al.* en el 2010 donde indican que *G. speciosa* es filogenéticamente distinta a gran parte del complejo de *Geothlypis*, destacando que sus poblaciones actualmente están muy amenazadas y declinando, lo que los lleva a decir que es una especie de alta preocupación en cuanto a su conservación. En relación a ello, en un estudio reciente Pérez-Arteaga *et al.*, (2018) actualizaron el rango de distribución de *G. speciosa*, para lo cual muestrearon durante una década (2005- 2015) 238 humedales dentro de su rango histórico, registrando la presencia de la especie en 62 sitios. Ellos indican que las poblaciones se encuentran en cinco humedales: ciénegas del Lerma, Cuitzeo, Yuriria, Pátzcuaro y una nueva localidad de registro el lago Zirahuén. En cuanto a la disponibilidad de hábitat reportan un área de 94.95 km², de los cuales el lago Cuitzeo concentra la mayor área de dicho hábitat (59.2%) y Zirahuén la menor ($\leq 1\%$). Además, confirman la extirpación de la especie en los lagos de Texcoco, Zumpango, y Presa Solís. Finalmente indican que se deben determinar los requerimientos ecológicos básicos y el grado de consanguinidad, así como implementar acciones urgentes de conservación.

Justificación

Actualmente las tres especies de mascaritas (i.e. *G. flavovelta*, *G. beldingi* y *G. speciosa*) están en peligro de extinción en México, y no se conoce como las afecta el CUS y el CCG,

por lo cual es necesario realizar estudios como el presente para determinar los posibles efectos de estos dos fenómenos en dichas especies, de esta manera se puede generar información relevante que contribuya a su conservación. Las especies del género *Geothlypis* regulan las poblaciones de insectos de los que se alimentan e influyen en los ciclos biológicos de las especies con las que tienen estrechas interacciones, por lo que la extinción de estas aves puede tener un impacto ecológico a diversas escalas.

Se cree que el CUS y el CCG han afectado a las tres especies, sin embargo, estos dos fenómenos tienden a intensificar sus efectos mutuamente (Buenfil, 2009). El CUS ha provocado la pérdida de hábitat en las áreas donde habitan estas especies (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999; Buenfil, 2009; Zepeda *et al.*, 2012), mientras que el CCG puede provocar cambios en la distribución y alteraciones ecológicas (Peterson *et al.*, 2002). En este sentido con los MNE es posible determinar zonas de mayor riesgo a diversas escalas espaciales-temporales y conocer los posibles cambios en la distribución de las especies (Peterson y Soberón, 2012, Peterson *et al.*, 2015).

Con este estudio se busca tener una mejor comprensión de los patrones y factores que afectan o afectaran la distribución de las especies endémicas y en peligro del género *Geothlypis* en México. De igual forma se espera que ayude a generar estrategias de manejo y conservación de las especies, así como una mejor planificación y gestión territorial (Illoldi-Rangel y Escalante, 2008).

Objetivos

Objetivo general

Determinar cómo el CUS en el pasado y el CCG en el futuro afectan la distribución actual y futura de tres especies de aves en riesgo del género *Geothlypis* (*G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa*) que habitan en México.

Objetivos particulares

- Relacionar el CUS con las áreas de distribución de las especies.
- Predecir como el CCG afectará la distribución futura de las especies.
- Determinar las problemáticas de conservación a nivel local para cada especie
- Realizar recomendaciones de manejo y conservación para las especies analizadas.

Literatura citada

- (AOS) American Ornithological Society. 2018. Checklist of North and Middle American Birds. (consultado el 16 de marzo de 2018). <http://checklist.aou.org/taxa?utf8=%E2%9C%93&search=Geothlypis>.
- Barnosky AD, Matzke N, Tomiya S, Wogan GOU, Swartz B, Quental TB, Marshall C, McGuire JL, Lindsey EL, Maguire KC, Mersey B, Ferrer EA. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*. 471:51-57.
- Bravo-Cadena J. 2011. Cambio climático global: efecto en algunas especies de aves en peligro en el estado de Hidalgo, México (tesis de maestría). Mineral de la Reforma, Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Bollmer JL, Dunn PO, Whittingham LA, Wimpee C. 2010. Extensive MHC class II B gene duplication in a passerine, the common yellowthroat (*Geothlypis trichas*). *Journal of Heredity*. 101(4):448-460.
- Buenfil FJ. 2009. Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. Vol. II Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. p. 385-841

- Cantú JC, Sánchez ME. 2011. Observación de aves: Industria millonaria. CONABIO. Biodiversitas. 97:10-15.
- Challenger A, Dirzo R, López JC, Mendoza E, Lira-Noriega A, Cruz I. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, D.F.
- Curson J, Quinn D, Beadle D. 1994. Warbler of the Americas: An Identification Guide. Pp. 255.
- Dickerman RW. 1970. A systematic revision of *Geothlypis speciosa*, the black-pollled yellowthroat. The Condor. 72(1):95-98.
- Dunn PO, Whittingham LA, Freeman-Gallant CR, De Coste J. 2008. Geographic variation in the function of ornaments in the common yellowthroat *Geothlypis trichas*. Journal of Avian Biology. 39(1):66-72.
- Elphick C, Dunning BJJ, Sibley AD. 2001. The Sibley Guide to Bird Life and Behavior. Pp. 608.
- Erickson RA, Hamilton RA, Mlodinow SG. 2008. Status review of Belding's Yellowthroat *Geothlypis beldingi*, and implications for its conservation. Bird Conservation International. 18(03):219-228.
- Escalante-Pliego P. 1991. Genetic differentiation in Yellowthroats (Parulinae: *Geothlypis*). Acta XX Congressus Internationalis Ornithologici, Wellington, NZ.
- Escalante-Pliego P. 1997. Estructura genética poblacional de las especies de Tapaojitos (Aves Parulinae: *Geothlypis*) que ocurren en los humedales: Uno de los hábitats más amenazados de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. B018. México D. F.
- Escalante PP, Márquez-Valdelamar L, de la Torre P, Lacleste JP, Klicka J. 2009. Evolutionary history of a prominent North American warbler clade: The Oporornis–*Geothlypis* complex. Molecular phylogenetics and evolution. 53(3):668-678.

- Escalante-Pliego P. 2010a. Ficha técnica de *Geothlypis flavovelata*. Fichas sobre las especies de aves incluidas en Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Parte 1. Instituto de Biología, UNAM. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W007. México, D.F. (consultado el 18 de agosto de 2016). <http://bios.conabio.gob.mx/especies/8013853.pdf>.
- Escalante-Pliego P. 2010b. Ficha técnica de *Geothlypis speciosa*. Fichas sobre las especies de aves incluidas en Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Parte 1. Instituto de Biología, UNAM. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W007. México, D.F. (consultado el 18 de agosto de 2016). <http://bios.conabio.gob.mx/especies/8013858.pdf>
- Escalante-Pliego P, Rodríguez-Estrella R. 2010. Ficha técnica de *Geothlypis beldingi*. Fichas sobre las especies de aves incluidas en Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Parte 1. Instituto de Biología, UNAM. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W007. México, D.F. (consultado el 18 de agosto de 2016). <http://bios.conabio.gob.mx/especies/8013852.pdf>
- Feria PT, Sánchez-Rojas G, Ortiz-Pulido R, Calixto-Pérez E, Dale JM, Duberstein CL, Valencia-Herverth J. 2013. Estudio del cambio climático y su efecto en las aves en México: enfoques actuales y perspectivas futuras. *Huitzil*. 14(1):47-55.
- García D. 2011. Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Revista Ecosistemas*. 20:2-3.
- Guillemain M, Poysa H, Fox DA, Arzel C, Dessborn L, Ekroos J, Gunnarsson G, Eske H, T, Kjær CT, Lehtikainen A, Mitchell C, Rintala J, Pape MA. 2013. Effects of climate change on European ducks: what do we know and what do we need to know? *Wildlife Biology*. 19(4):404-419.

- Hernández SM. 2012. Aspectos ecológicos de *Geothlypis flavovelata* (Ridgway, 1896), especie endémica del Noreste de México (tesis de maestría). Tuxpan, Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Hickling, R, Roy DB, Hill JK, Thomas CD. 2005. A northward shift of range margins in British Odonata. *Global Change Biology*. 11(3):502-506.
- Illoldi-Rangel P, Escalante T. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*. 3:7-12.
- IPCC. 2012: Glossary of terms. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. p. 555-564. (consultado el 18 de marzo de 2017). http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX-Annex_Glossary.pdf.
- Lara C, Feria-Arroyo FA, Dale J, Muñoz J, del Coro AM, Ornelas JF, Ortiz-Pulido R, Rodríguez-Flores CI, Díaz-Valenzuela R, Martínez-García V, Díaz-Palacios A, Partida R, Enríquez IP, Rangel-Salazar JL, Schondube J. 2012. Potential effects of the climate change in the distribution of hummingbirds: a study case with hummingbirds from the genus *Amazilia* and *Cyanthus*. *Ornitología Neotropical*. 23:57-70.
- Lovette IJ, Pérez-Emán JL, Sullivan JP, Banks RC, Fiorentino I, Córdoba-Córdoba S, Lanyon SM. 2010. A comprehensive multilocus phylogeny for the wood-warblers and a revised classification of the Parulidae (Aves). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 57(2):753-770.
- MacGregor-Fors I, Schondube JE, Morales-Pérez L, Quesada J. 2008. Ampliación del ámbito geográfico-altitudinal y uso de hábitats suburbanos por la mascarita pico

- grueso (*Geothlypis poliocephala*). Revista mexicana de biodiversidad. 79(2):533-534.
- Martínez J, Fernández A. 2004. Cambio climático: una visión desde México. Bremauntz AF (Ed.). Secretaria del Medio Ambiente y Recurso Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. Pp. 523.
- Monterrubio-Rico CT, Charre-Medellín JF, Pacheco-Figueroa C, Arriaga-Weiss S, Valdez-Leal JD, Cancino-Murillo R, Escalona-Segura G, Bonilla-Ruz C, Rubio-Rocha Y. 2016. Distribución potencial histórica y contemporánea de la familia Psittacidae en México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 87:1103-1117.
- Monterrubio-Rico TC, Charre-Medellin JF, Saéñz-Romero C. 2015. Current and future habitat availability for thick-billed and maroon-fronted parrots in northern Mexican forest. Journal of Field Ornithology. 86:1-16.
- Mota-Vargas C, Rojas-Soto OR, Lara C, Castillo-Guevara C, Ballesteros-Barrera C. 2013. Geographic and ecological analysis of the Bearded Wood Partridge *Dendrortyx barbatus*: some insights on its conservation status. Bird Conservation International. 23:371-385.
- Navarro-Sigüenza AG, Rebón-Gallardo MF, Gordillo-Martínez A, Peterson AT, Berlanga-García H, Sánchez-González LA. 2014. Biodiversidad de aves en México. Revista mexicana de biodiversidad. 85:476-495.
- Ortiz-Pulido R. 2018. ¿Qué especies de aves están en riesgo en México? Huitzil. Revista Mexicana de Ornitología. 19(2):237-272.
- Pérez-Arteaga A, Monterrubio-Rico T, Delgado-Carrillo O, Cancino-Murillo R, Salgado-Ortiz J. 2018. UPDATING THE DISTRIBUTION RANGE OF THE ENDANGERED BLACK-POLLED YELLOWTHROAT (*GEOTHLYPIS SPECIOSA*). Ornitología Neotropical. 29: 51–57.

- Peterson AT. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics*. (3):59-72.
- Peterson AT, Navarro-Sigüenza AG, Martínez-Meyer E, Cuervo-Robayo AP, Berlanga H, Soberón J. 2015. Twentieth century turnover of Mexican endemic avifaunas: Landscape change versus climate drivers. *Science Advances*. 1(4):1400071.
- Peterson AT, Ortega-Huerta MA, Bartley J, Sánchez-Cordero V, Soberón J, Buddemeier RH, Stockwell DR. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*. 416(6881):626-629.
- Peterson AT, Sánchez-Cordero V, Soberon J, Bartley J, Buddemeier RW, Navarro-Sigüenza AG. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological modelling*. 144(1):21-30.
- Peterson AT, Soberón J. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação*. 10(2):102-107.
- Ramírez-Bastida P, Navarro-Sigüenza AG, Peterson AT. 2008. Aquatic bird distributions in Mexico: designing conservation approaches quantitatively. *Biodiversity and Conservation*. 17(10):2525-2558.
- Rappole JH, McDonald MV. 1994. Cause and effect in population declines of migratory birds. *The Auk*. 111(3):652-660.
- Ríos-Muñoz CA. 2003. La diversidad perdida: las aves desaparecidas de México en: *Conservación de aves: experiencias en México*. Gómez de Silva H, Oliveras de Ita A. (Eds.). CIPAMEX/CONABIO/NFWF. México D.F.
- Ríos-Muñoz CA, Navarro-Sigüenza AG. 2009. Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. *Ornitología Neotropical*. 20:491-509.

- Robbins CS, Sauer JR, Greenberg RS, Droege S. 1989. Population declines in North American birds that migrate to the Neotropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 86(19):7658-7662.
- Rodríguez CE, Picatoste JR, Heras HF. 2015. Quinto informe de evaluación del IPCC. *Asociación Meteorológica Española. Tiempo y Clima*. 47:34-37.
- Rodríguez-Estrella R, Delgado LR, Bonilla EPD, Blanco G. 1999. Belding's yellowthroat: current status, habitat preferences and threats in oases of Baja California, Mexico. *Animal Conservation*. 2(2):77-84.
- Sáenz-Romero C, Rehfeldt GE, Crookston NL, Duval P, St-Amant R, Beaulieu J, Richardson BA. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change*. 102(3-4):595-623.
- Sekercioglu CH, Schneider SH, Fay JP, Loarie SR. 2008. Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation Biology*. 22(1):140-150.
- Sekercioglu CH, Daily GC, Ehrlich PR. 2004. Ecosystem consequences of bird declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101(52):18042-18047.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. México, DF. Pp. 78.
- The IUCN Red List of Threatened Species. 2017. Numbers of threatened species by major groups of organisms (1996-2017) Table 1. (consultado el 16 de mayo de 2017). http://cmsdocs.s3.amazonaws.com/summarystats/20171_Summary_Stats_Page_Documents/2017_1_RL_Stats_Table_1.pdf .

- Valencia HJ. 2015. Estado de conservación actual y futura de las rapaces nocturnas del Estado de Hidalgo, México (tesis de doctorado). Mineral de la Reforma, Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Woodrey MS, Rush SA, Cherry JA, Nuse BL, Cooper RJ, Lehmicke AJJ. 2012. Understanding the potential impacts of global climate change on marsh birds in the Gulf of Mexico region. *Wetlands*. 32(1):35-49.
- Zepeda GC, Nemiga AX, Lot H A, Madrigal UD. 2012. Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 78. Pp. 48-61.

Apéndice

Identificación de especies de *Geothlypis* en campo

La identificación de las especies *G. flavovelata*, *G. beldingi*, y *G. speciosa* en campo es complicada, no solo por el comportamiento de estas (muy activas, pero tímidas y escondidas; pers. observ.), sino porque suelen coincidir con poblaciones de la especie hermana *G. trichas*, la cual es muy parecida. Por ello en esta introducción se ha añadido este apartado, que permite indicar como diferenciarlas en campo.

La especie con la que pueden confundirse las tres especies de estudio es *Geothlypis trichas*, que presenta gran distribución y variación, reportándose más 14 sub especies en América (Curson *et al.*, 1994; Elphick *et al.*, 2001). En México se distribuye en invierno o época migratoria en gran parte del país, sin embargo, se encuentran poblaciones residentes en una amplia área (e.g. sspp: *chryseola*, *modesta*, *melanops* y *chapalensis*; Curson *et al.*, 1994).

Identificación de *Geothlypis flavovelata* en campo

a) Machos: *Geothlypis flavovelata* tiene gran similitud con *G. beldingi*, pero sus áreas de distribución son distintas. La otra especie con la que tiene similitud y con la que coincide su área de distribución es *G. trichas*. La diferencia está en que *G. trichas* presenta un margen blanco-grisáceo en la parte superior de la máscara. Este borde no lo presenta *G. flavovelata*, por el contrario, presenta un margen amarillo en la parte superior de la máscara, el cual se une en la nuca con el verde olivo del dorso (Curson *et al.*, 1994; Fig. 1 a-d).

b) Hembras: Las hembras de *G. flavovelata* no presentan máscara y se diferencian de otras especies ya que sus tonos de amarillos en la zona ventral son más intensos y el verde olivo del dorso es más claro.

c) Juveniles: No se han reportado diferencias respecto a la etapa adulta. Sin embargo, se ha indicado que posiblemente existe una variación entre la etapa juvenil y adulta respecto al tamaño del margen amarillo, el cual puede ser amplio o reducido respectivamente, pero se requieren más estudios al respecto (Curson *et al.*, 1994; Fig. 1 a-d). Por otro lado, los juveniles de *G. trichas* al presentar una máscara sin margen blanco-grisáceo podrían confundirse con juveniles o adultos de *G. flavovelata* (Fig. 2f).

d) Muda: La muda de esta especie no ha sido estudiada, pero puede ser similar a la de *G. beldingi* (Curson *et al.*, 1994).

e) Llamados y cantos: Los llamados son bastante agudos, pero similares a los de *G. trichas*. De igual forma el canto es muy similar al de *G. trichas*. Los cantos de ambas pueden sonar idénticos al oído humano, sin embargo, parecen fungir como un mecanismo de aislamiento efectivo. A este respecto se ha reportado que, en alguna ocasión, *G. flavovelata* respondió de inmediato a una grabación de su canto (playback), mientras que los numerosos individuos migratorios de *G. trichas* en el pantano (que también cantaban) lo ignoraron (Curson *et al.*, 1994).



Figura 1. Identificación de *G. flavovelata* en campo: a y b) individuo macho de *G. flavovelata* en Loma Alta, Gómez Farías, donde se aprecia una máscara negra con un margen superior reducido en amarillo; c y d) individuos machos de *G. flavovelata* en Héroes de Chapultepec, Gómez Farías. Se aprecia una máscara con margen superior amplio en amarillo. Fotografías: Jesús Favela, 2017.

Identificación de *Geothlypis beldingi* en campo

a) Machos: Los machos de *G. beldingi* también tienen un gran parecido a la especie *G. trichas*, la cual se encuentra dentro de la misma área que ocupa *G. beldingi* principalmente durante el invierno. Las marcas claves para su diferenciación es el margen blanco-grisáceo en la parte superior de la máscara de *G. trichas*, el cual no presenta *G. beldingi*. Por el contrario *G. beldingi* presenta un margen amarillo en la parte superior de la máscara (Fig. 2 a-d). Esta diferenciación es útil al menos para las poblaciones de *G. beldingi* en la zona de Los Cabos y La Paz en Baja California Sur, ya que en la zona norte del estado las poblaciones de *G. beldingi* (e.g. *G. beldingi goldmani*; Erickson *et al.*, 2008) pueden presentar el margen blanco-grisáceo, lo cual las hace muy parecidas a *G. trichas*.

b) Hembras: Las hembras de *G. beldingi* no presentan máscara y son muy similares a *G. trichas* (Fig. 2e). Las diferencias se presentan en los tonos de coloración, siendo ligeramente más oscuros en *G. beldingi*. Debido a ello, la diferenciación en campo es muy complicada.

c) Juveniles: En general los juveniles del genero *Geothlypis* presentan diferencias en cuanto a la forma y tamaño de la máscara, así como su coloración. En *G. beldingi* los machos juveniles presentan una máscara negra con tonos más apagados y de plumas pálidas, así como una coloración corporal más opaca (Curson *et al.*, 1994). Por otra parte, los machos juveniles de *G. trichas* presentan una máscara reducida respecto a su etapa adulta. Además, el margen blanco-grisáceo no está del todo presente o desarrollado (Fig. 2f). Debido a ello se pueden confundir juveniles de *G. trichas* con juveniles y adultos de *G. beldingi*.

d) Muda: La muda post-juvenil se da en agosto-septiembre, puede ser parcial o completa, sin embargo, se requieren más estudios. Los adultos de primeros años tienen una muda post-reproductora completa en agosto-septiembre. Algunos individuos de primeros años pueden tener un límite de muda pre-reproductora, sin embargo, también se requieren más estudios (Curson *et al.*, 1994).

e) Llamados y cantos: Los llamados son similares a los de *G. trichas*. Los cantos de igual forma son similares a los de *G. trichas* pero bastante más intensos y profundos, algunas veces con zumbidos de notas mezcladas. Aparentemente algunas veces realiza cantos cortos durante el vuelo (Curson *et al.*, 1994).

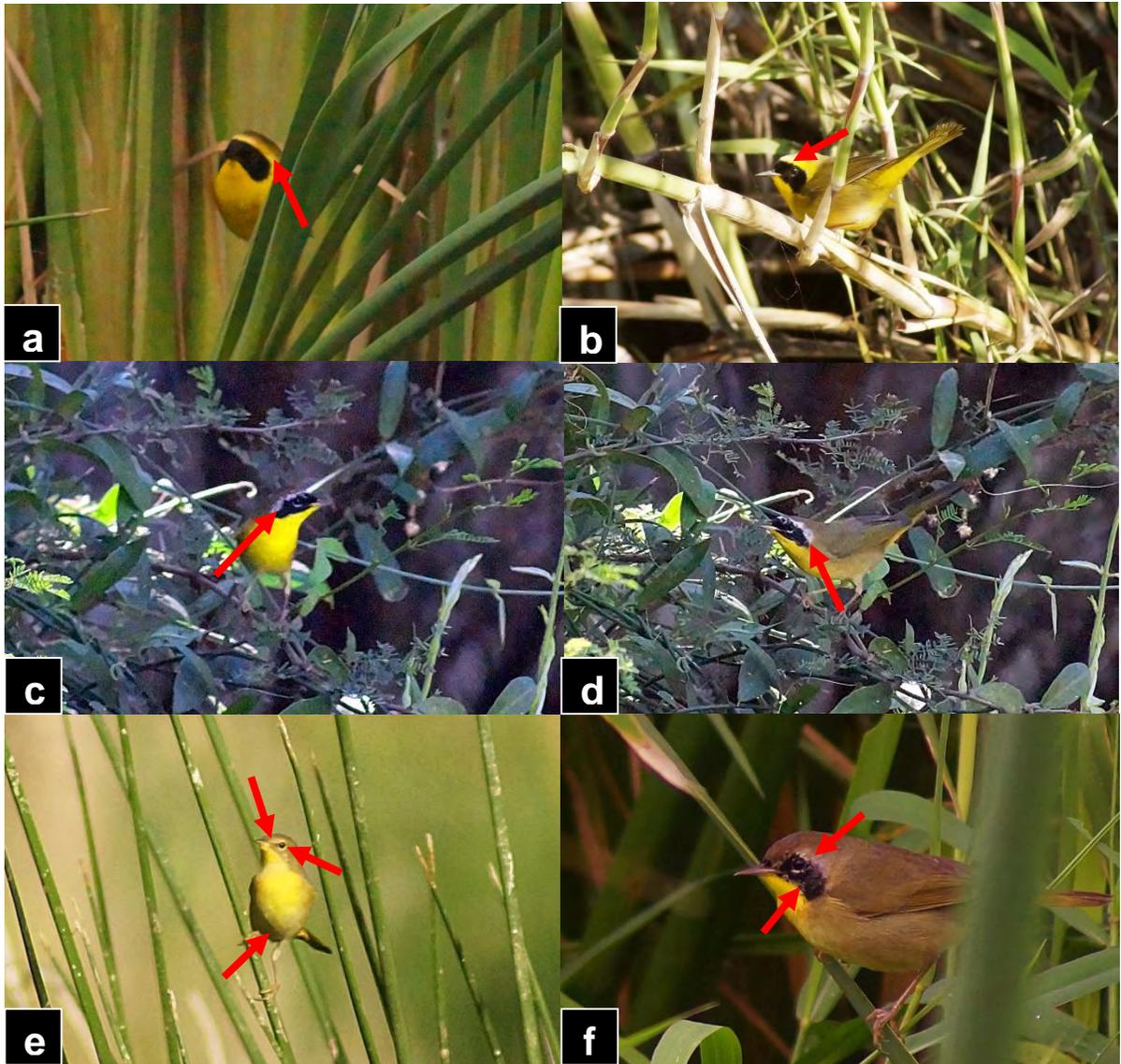


Figura 2. Identificación de *G. beldingi* en campo: a y b) individuos machos de *G. beldingi* en estero San José, donde se aprecia una máscara negra con terminación más redonda y sin margen gris; b y c) individuo macho de *G. trichas* en oasis de San Ignacio. Se aprecia una máscara más alargada, con terminación en punta y con margen superior blanco-grisáceo; d) hembra de *G. beldingi* en estero San José, se aprecia un semi anillo ocular en la parte inferior, una delgada línea transversal entre pico y ojo, así como un ligero parche blancuzco en la zona ventral; f) juvenil de *G. trichas*, nótese la máscara reducida y en desarrollo, al igual que el margen blanco-grisáceo (individuo observado en Tecolutla, Veracruz). Fotografías: Jesús Favela, 2016-2017.

Identificación de *Geothlypis speciosa* en campo

a) Machos: *Geothlypis speciosa* tiene un gran parecido a *G. nelsoni*, sin embargo, gran parte de sus áreas de distribución difieren, traslapándose en algunas zonas, como el centro de México, no obstante, ocurren en hábitat distintos (juncos-tulares y matorral de tierras altas-pedregal respectivamente; Curson *et al.*, 1994). Respecto a otras especies del género *Geothlypis*, *G. speciosa* se diferencia fácilmente pues su máscara no presenta margen o borde de algún color. En la parte superior el negro de la máscara va disminuyendo su tonalidad, hasta unirse con el verde olivo del dorso. Otro rasgo característico de la especie es la coloración de sus patas, que va de café oscuro a negro (Fig. 3 a-c).

b) Hembras: Las hembras de *G. speciosa* no presentan máscara y se diferencian del resto del género *Geothlypis* por presentar una coloración corporal más oscura (Fig. 3d).

c) Juveniles: Los machos juveniles de *G. speciosa* presentan una máscara en desarrollo y por tal más reducida respecto a su etapa adulta. Los juveniles de *G. trichas* igualmente presentan una máscara reducida sin margen blanco-grisáceo, por lo que podrían confundirse los juveniles de ambas especies (Fig. 2f).

d) Muda: Es escasamente conocida. Sin embargo, se han reportado algunos detalles al respecto, donde se indica que un juvenil tomado en septiembre desarrollo de buena manera su muda post-juvenil. Los adultos de primeros años tienen una muda completa, probablemente después de la reproducción (Curson *et al.*, 1994).

e) Llamados y cantos: En cuestiones acústicas, el llamado de *G. speciosa* ("trrk"), es distinto al de otras especies, como *G. beldingi* y *G. flavovelta*. El canto es una distintiva serie de notas en tono fuerte, muy diferente del de otras especies de mascaritas, aunque puede ser ligeramente reminiscente a *G. semiflava* (Curson *et al.*, 1994). Por otro lado, cabe mencionar que en la zona de distribución de *G. speciosa* está presente *Melospiza melodia* la cual realiza un llamado parecido al de *G. speciosa* (pers. obsv.). Por lo que se podría confundir a ambas especies al considerar registros acústicos.



Figura 3. Identificación de *G. speciosa* en campo: a y b) individuos de machos de *G. speciosa* en lago de Pátzcuaro, donde se aprecia una máscara negra con terminación diseminada en la nuca y patas oscuras; c) individuo macho de *G. trichas* observado en Pátzcuaro. Se aprecia una máscara con margen superior blanco; d) Hembra de *G. speciosa* en ciénegas del Lerma, se aprecia una coloración corporal más oscura en general, respecto a otras especies de *Geothlypis* (e.g. *G. beldingi*). Fotografías: Jesús Favela, 2017.

Capítulo II.

Geothlypis flavovelata

Manuscrito sometido a evaluación en Wilson Journal of Ornithology

Conservación de *Geothlypis flavovelata*
Conservation status of *Geothlypis flavovelata*

**Climate change and the distribution of an endemic bird restricted to wetlands: the
Altamira yellowthroat (*Geothlypis flavovelata*)**

Favela-Mesta J¹., Rodríguez-Torres E.E²., Navarro-Sigüenza A.G³., Octavio-Aguilar P¹.,
Ortiz-Pulido R^{1*}.

1. Centro de Investigaciones Biológicas, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5,
Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184.

2. Centro de Investigaciones Matemáticas, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5,
Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184.

3. Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
Apartado Postal 70-399, 04510 Cd. Mx., México.

*Corresponding author. E-mail:raulortizpulido@yahoo.com

Resumen

Las mascaritas son un grupo de aves de la familia Parulidae, pertenecientes al género *Geothlypis*, que se encuentran asociadas a humedales con popales y tulares; en América se reportan 12 especies, seis de las cuales se encuentran en México, donde existen cuatro endémicas y tres están en peligro de extinción. En el presente trabajo modelamos la distribución actual y futura de *G. flavovelata*, especie endémica y en peligro, y evaluamos su estado de conservación. Para modelar la distribución de la especie en un contexto de cambio climático utilizamos datos de ocurrencia y las variables climáticas de WorldClim, generando los modelos con el programa MaxEnt. Respecto a los modelos futuros consideramos dos escenarios, uno optimista y uno pesimista (i.e., Representative Concentration Pathways 2.6 y 8.5, respectivamente) para los años 2050 y 2070. Los resultados indican que las áreas idóneas actuales para la presencia de la especie no serán las mismas que en el futuro, ya que estas cambiarán y se reducirán gradualmente según los escenarios y años considerados. La zona de Tuxpan a Tecolutla, en Veracruz resulto la de mayor importancia, ya que es la que se predice conservará las condiciones ambientales ideales para la especie en todos los modelos (actual y futuros). Dicha zona presenta un área de solo 433 km². La especie enfrenta una situación alarmante por la pérdida de hábitat y es urgente tomar medidas de conservación al respecto.

Palabras clave: modelo de nicho ecológico, cambio climático, mascarita, tulares, especie endémica, especie en peligro.

Abstract

The yellowthroats (Family Parulidae, genus *Geothlypis*) are passerine birds mainly associated with bulrush and cattail wetlands. The group ranges along the Americas, where up to 12 species are recognized, 6 of which are found in Mexico, where there is four endemics and three are in danger of extinction. In the present study, we modeled the current and future distribution of *G. flavovelata*, an endemic and endangered species, and we assess its conservation status. In order to model the distribution of the specie in the context of climate change, we used occurrence data and climatic variables from WorldClim. We generated models using the program MaxEnt. For future models, we considered two scenarios- one optimistic and one pessimistic (i.e., Representative Concentration Pathways 2.6 and 8.5, respectively) for the years 2050 and 2070. The results indicate that the future suitable areas for the presence of the species differ from the present, and will change and decrease depending on the scenarios and years considered. The zone from Tuxpan to Tecolutla in the state of Veracruz was the most important area of distribution because it is predicted to conserve the ideal environmental conditions for this species in all of the current and future models. However, this zone has an area of only 433 km². The species faces an alarming situation due to the loss of habitat and there is an urgent need for conservation measures.

Keywords: ecological niche model, climate change, yellowthroat, cattail patches, endemic species, endangered species.

Introduction

The study of distribution patterns in diverse biological groups has become increasingly common and refined over the past few years; for example, the definition of the distribution of diverse species of birds has improved by the integration of different fields such as biogeography and conservation (Navarro-Sigüenza and Sánchez-Gonzalez 2002; Navarro-Sigüenza *et al.*, 2009). In birds, this has increased the understanding of patterns driven by historical (Escalante-Pliego *et al.*, 1998), evolutionary (Cracraft, 1973), biogeographical (Mayr 1965; Zink *et al.*, 2000), and phylogeographic (Arbeláez-Cortés, 2012) factors, as well as dynamics of species in the process of being described (Santaella and Sada, 1992), widening of distribution areas (Rojas-Soto *et al.*, 2001), interactions and spatio-temporal distribution depending on resource use (Poulin *et al.*, 1994; Renton, 2001). Currently, through the use of Ecological Niche Models (ENM), we can determine the distribution of the species according to the environmental variables. The ENM have an implication in the territorial planning and the decision making for the conservation of species (Peterson *et al.*, 2016).

The yellowthroats (genus *Geothlypis*) are passerine birds mainly associated with bulrush or cattail wetlands. The genus contains 12 species that range along the Americas (AOS 2018), six of which are found in Mexico as residents (e.g., *G. poliocephala*) or migrants (e.g., common yellowthroat *G. trichas*). Four of the species are endemic to Mexico (*G. speciosa*, *G. beldingi*, *G. flavovelata* and *G. nelsoni*) and three of these are listed at global risk (IUCN, 2018). Because they feed on small insects that are obtained in the wetland substrate (Escalante-Pliego, 2010), they may be species of importance in pest control and regulation of biological cycles of other species with which they interact closely.

The Altamira yellowthroat (*Geothlypis flavovelata*) is one restricted-range species endemic to Mexico, present in North-east Mexican Gulf slope and is considered as vulnerable according to the IUCN (2018) red list, but is listed as endangered by NOM-059-SEMARNAT (DOF, 2010). The historical distribution of this species extends in northeastern Mexico, from central Tamaulipas to the eastern border of San Luis Potosí and northern Veracruz (Escalante-Pliego, 2010; IUCN, 2018). Currently, it is reported at the Vicente Guerrero/Laguna Champayán Reservoir and Aldama in Tamaulipas, northeast of El Naranjo in San Luis Potosí, and in Tecolutla in Veracruz (IUCN, 2018). However, recent information suggests that its total population is decreasing and is currently estimated at between 1500 and 1700 individuals, with a distribution area of 62,400 km² (BirdLife International, 2018). *Geothlypis flavovelata* inhabit in freshwater marshes with cattail and reeds in ponds, in areas of temperate climates to warm sub humid. It feeds on insects like mosquitoes, larvae and arachnids. It have active behavior, and commonly is gregarious, mixed in flocks of its gender. It nests in the substrate of the cattails and reproduces from March to June (Escalante-Pliego, 2010; Rodríguez and Banda, 2015). Due to the high dependence of the species to its habitat, this can be an indicator of the changes and loss of wetlands.

One of the problems facing the species is the loss of habitat. In last years (1970 -1993) in the northeastern region of Mexico (Tamaulipas and Veracruz) 2,900,000 ha were converted to livestock land and 1,600,000 ha in agricultural (Sánchez *et al.*, 2009). In turn, during the period from 1976 to 2000, the water bodies lost 268,354,308 ha, with a change of -96% and the bulrush and cattail lost 326,301,580 ha with a change of -88% in the Gulf of Mexico region (Buenfil, 2009). This land transformation continues and is causing the loss of habitats in this region. Due to this, several wetlands have been affected (Buenfil, 2009; Sánchez *et al.*, 2009).

Agricultural activities are through to affect this species, due to the expansion of cultivated areas and habitat loss this provokes, which has led to several local extinctions (Hernández, 2012), however, this species seems to be able to persist in small plots

(Rodríguez and Banda, 2015; BirdLife International, 2018). Another factor that can affect this species is the GCC. One recent study explored the current distribution of *G. flavovelata* in northern Veracruz using probabilistic maps (Hernández, 2012), but the current and possible future total distribution areas remain to be defined.

In this work, we developed field surveys in search of additional records of the species and for obtain basic local population and ecological data. Also, we evaluated its habitat conservation status in the zone. Then, we performed analyses of current distribution and the possible effects that global climate change (GCC) could have on the future distribution of *G. flavovelata* in Mexico using ENM approach. Finally, we make management and conservation recommendations for this species.

Methods

Primary presence records and data considered

Historical records (museum specimens and observational data) of *G. flavovelata* were obtained by searching in electronic databases (eBird, GBIF, VertNet) and the UNAM bird collection (<https://datosabiertos.unam.mx/biodiversidad/>). The number of records was supplemented with our own field work (see below). We generated a database including each record with the geographic coordinates, date and locality of collection or sighting, elevation, type of vegetation, and name of the collector or source database. For purposes of our analyses, only independent records were included (i.e. records with coordinates separated by at least 1 km). For this, we realized a validation considering the grid and the pixels from the layers. The records which could not be georeferenced or which had repeated coordinates were eliminated.

Field surveys

Field data were taken in order to corroborate the presence of species in distinct areas, obtain additional records, validate the ENM (see below), and evaluate the current conservation status of *G. flavovelata*. Four field sites in the municipality of Gómez Farías, Tamaulipas, and three localities in Tecolutla, Veracruz, were visited. These areas were selected because they are where there has been the highest number of recent previous reports of the species, according to the historical records (see above). The four Tamaulipas localities were Loma Alta Loma Alta (N 22°53'15.4" W -99°01'53.4), Héroes de Chapultepec (N 22°56'54.2" W -99°02'47.1), El Azteca (N 23°06'40.2" W -99°08'57.1), and Saucillo (N 23°01'09.7" W -99°05'03.3). The three Veracruz localities were Estero Lagartos (N 20°29'59.70" W -97°2'25.99"), Tecolutla (N 20°28'55.566" W -97°1'12.164"), and Flores Magón (N 20°19'59.307" W -96°55'2.207"). One sampling day was spent at each site, from 08:00 h to 14:00 h. Two to four transects (depending on the size of the site) one km long and of variable width were established at each site. The sampling effort was 2 km daily, for a total of 14 km over the seven sampling days. The transect time was 6 h per day. The transects in Gómez Farías were carried out in sugarcane fields and small cattail wetlands adjacent to cane fields because natural wetlands are no longer found in the area. In Tecolutla, esteros and water bodies with reed marshes were visited. The speed of the transects was 10 to 15 m/min (Emlen 1971). In each site the number of individuals recorded, distance of the record, vegetation type and geographic location were taken. In addition, in Gómez Farías we spent some time looking in some burned plots where we searched for dead *G. flavovelata* individuals in order to obtain data on the possible impacts on this species of burning the cane fields.

Current distribution

Ecological Niche Models (ENM) were used to estimate the current distribution of the species (Monterrubio-Rico *et al.*, 2016). ENM can be used to characterize the environmental conditions where species can potentially live (Peterson, 2006). In order to construct ENM for *G. flavovelata*, we first delimited the geographic resolution of our analyses (the M of Peterson *et al.*, 2011), which took into account the species' known distribution and biogeographic provinces (Espinosa and Ocegueda, 2008). The Sierra Madre Oriental and Gulf of Mexico provinces were considered and the records of the species were projected using the program ArcMap 10.2. In order to obtain current distribution models, bioclimatic variables at a resolution of 30 seconds were obtained from the monthly temperature and precipitation data of the past 30 years from WorldClim (www.worldclim.com; Anderson-Teixeira *et al.*, 2014). In addition, we added another variable, water bodies and wetlands, obtained from a map of land use and vegetation from INEGI (2013, scale 1:250000, series V). These variables were trimmed to the areas of the biogeographical provinces considered. In order to avoid autocorrelation among the variables, Pearson's correlations analyses were carried out among variables in STATISTICA (StatSoft, 2011) and only variables that were not autocorrelated were included. The program MaxEnt 3.4.1 was used (http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) to model the distribution based on climatic variables to generate a current distribution model (Phillips *et al.*, 2006).

Future distribution

In order to model the future distribution of the species we used as a framework the general circulation Canadian Center for Climate Modelling and Analysis's second generation coupled global climate model (CCCMA: CGCM2) because this model has been commonly used for this purpose in birds in Mexico and being a North American model has more accurate data for this study (Bravo-Cadena *et al.*, 2011; Feria *et al.*, 2013). Two GCC climate scenarios were considered: one optimistic, that is a low-emissions scenario (RCP 2.6), and one pessimistic, that is a high-emissions scenario (RCP 8.5) (IDEAM, 2015; Rodríguez *et al.*, 2015; Salas *et al.*, 2017). In our analyses we considered for the models the years 2050 and 2070, since they are the available layers and also these are the most commonly used years and have been used in other studies to model future distributions of birds (Feria *et al.*, 2013; Salas *et al.*, 2017). We carried out 100 replicates for each model (*sensu* Plasencia-Vázquez *et al.*, 2014; Sierra-Morales *et al.*, 2016). Seventy percent of the data were used to generate the models and 30% to evaluate them (*sensu* Phillips *et al.*, 2006; Plasencia-Vázquez *et al.*, 2014; Valencia, 2015). The output format was logistic (*sensu* Marmion *et al.*, 2009; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2014). Once the projections were obtained, the best models were selected, which were validated by taking into account the tenth percentile for each model, i.e. 90% of the points where the species had been recorded were contained within the predicted area and up to 10% may fall outside the area (*sensu* Morueta-Holme *et al.*, 2010; Plasencia-Vázquez *et al.*, 2014). The omission rate as well as the calibration and validation values of the area under the curve (AUC) were considered to choose the model and determine the cutoff threshold value, which was applied using the program ArcGis to convert the probabilistic models to binary presence/absence maps. Using this procedure, we constructed four future distribution models for *G. flavovelata* (two for the year 2050 and two for 2070, considering one for the optimistic and one for pessimistic emissions scenarios). Using the program ArcMap 10.2 (ESRI, 2013) the current and future areas of distribution were calculated (area gained or lost), and the distribution area which would theoretically remain for the species in all future scenarios was constructed using the pixels with a presence value in the binary maps.

Habitat conservation status

One of the factors that most affect the species is the loss of habitat, which together with climate change can cause the reduction in the distribution of a species, affecting its populations (Miller-Rushing *et al.*, 2010). Both phenomena tend to intensify their effects mutually. Therefore, the habitat was evaluated at a local level, to determine its status and better understand the conservation problems that *G. flavovelata* faces, as well as its relationship with the distribution models.

In each of the seven localities visited during fieldwork habitat alterations were identified and classified. To do this, the percentage of the area devoted to agriculture, grazing, urban solid waste, human settlements and natural vegetation were quantified. To do it a 1 km-radius buffer was established around the sampling sites and the percentage of each type of vegetation was calculated using a satellite image (ESRI, 2013; Fernández *et al.*, 2008; Pérez-García *et al.*, 2014) in the program ArcMap. The classification of vegetation was based on identification in the field and consultation with specialized literature (Valiente-Banuet *et al.*, 1995; López-Portillo *et al.*, 2009). In addition, we recorded the human activities carried out in and around the areas visited and described the type of human activity and its potential impact on the ecosystems present. In this way, it is possible to better understand the conservation problems in the area and with it propose better focused management strategies.

Results

Historic records

A total of 332 historical records was compiled for the species, which was reduced to 84 unique-coordinate records, but once records were validated by pixel only 66 records could be used for the projections. The 45.18% of records was of GBIF, 36.14% eBird, 16.86% VertNet and 1.80% bird collection of UNAM.

Records from fieldwork

The state where most field records were obtained was Tamaulipas, and the localities with the highest number of observations of the species were Héroes de Chapultepec (13), El Azteca (9), Loma Alta (7), and Saucillo (5) (Table 1). These sites are mainly used for cultivation of sugar cane (*Saccharum officinarum*), accounting for 75% of the area (Fig. 4a; Table 1). The plant species where the Altamira yellowthroat was observed perching were *S. officinarum* with 24 records (Fig. 4b), *Typha domingensis* with 9, and one record on *Leucaena leucocephala*. In the localities in Veracruz there were no records of the species. The vegetation in these sites was mainly reed marsh and mangrove (Table 1).

ENM of current distribution

Ten variables were used to realize the model of distribution of *G. flavovelata* (Table 2). The model shows that *G. flavovelata* is present in the region that extends from the municipality of Gómez Farías, Tamaulipas, to Cd. Valles, San Luis Potosí, with an area of 11,990 km² (Fig. 5a). At the state level the south of Tamaulipas represents 61.75% of the distribution, east of San Luis Potosí 22.64% and north of Veracruz 15.60%. Regarding the municipalities that occupy the largest area, these are: El Mante, Ocampo, Llera, Xiconténcatl, González and Altamira, in Tamaulipas with 44.6% overall, Cd. Valles and Tamuín, in San Luis Potosí, with 17.4%, and Tampico Alto, Tamiahua and Tuxpan in Veracruz with 10% of the total.

Future distribution

The optimistic models for 2050 and 2070 showed a drastic change in the area and location of the potential distribution of the species compared to the current distribution, and both future models were quite similar (Fig. 5b and c). The optimistic model for 2050 predicts a decrease in the potential distribution area to 7,106 km². Under this model the zone in Tamaulipas that presents the ideal conditions for the presence of the species will be the area of Gómez Farías, Llera, and Xicoténcatl; in Veracruz the area of potential distribution is present from Tampico Alto to Tecolutla (Fig. 5b). The optimistic model for 2070 shows the same general pattern, but with a smaller area of potential distribution, 6,270 km² (Fig. 5c). The pessimistic model for 2050 also predicts a change in the size of the area of distribution, which is reduced to 6,915 km² (Fig. 5d). However, the pessimistic model for 2070 shows an even more reduced area, expanding to only 2,734 km² (Fig. 5e). The zones with ideal conditions predicted by both models (i.e., pessimistic for 2050 and 2070) are located mainly in northern Veracruz (Fig. 5d and e). This zone, from Tuxpan to Tecolutla, is the one which is predicted to conserve the ideal environmental conditions for the species in all the models (current and future). This zone has an area of 433 km² (Fig. 5f).

Conservation status of the habitat

In the current distribution model the species is present in southern Tamaulipas, however during fieldwork natural wetlands were not found in the area of Gómez Farías, since those which were historically reported have been converted to sugarcane fields. The species was observed outside of bulrush and cattail marshes, but the majority of the observations occurred in cane fields, which account for approximately 70% of the vegetation cover in the area; human settlements occupy an average of 12% of the area (Table 1). On visits to burned plots we did not find any remains of *G. flavovelata*, but there were a large number of scavenger birds, such as *Caracara cheriway* and *Coragyps atratus*, feeding on unidentified animal remains (Fig. 6a and b). With respect to the sites visited near Tecolutla, we still found wetland habitat available for *G. flavovelata*, consisting of some cattail marshes in relatively good conditions. However, in the localities of Tecolutla and Flores Magón there is some conflict with human settlements, agriculture, grazing, and solid waste. On average, 28% of the sites were occupied by agricultural areas and 6.6% by human settlements (Table 1).

Discussion

Due to the exploitation, destruction and loss of wetlands, diverse species that inhabit them are threatened or on the brink of extinction (Tabilo, *et al.*, 1996; Blanco 1999). Globally more than 50% of the wetland area has been lost (Zepeda *et al.*, 2012). Specifically, it has been indicated that inland wetlands have decreased between 69-75% during the 20th century, while coastal wetlands decreased 62-63% (Davidson, 2014). Regard to wetlands birds, it is predicted a probability of extinction higher than in any other group of birds (3-4%; Sekercioglu *et al.*, 2004). In Mexico, a loss of 62.1% of its wetlands is estimated (6,968,452 ha in a period of 30 to 40 years; Landgrave and Moreno-Casasola, 2012). The loss and degradation of wetlands due to human activities has caused the extinction of birds such as Slender-billed Grackle (*Quiscaluspalustris*), that was endemic species to the wetlands of central México (Peterson, 1998). On the other hand, the GCC can affect the viability of wetlands and cause ecological alterations (Peterson *et al.*, 2002; Barros and Albernaz, 2013). Currently, several endemic and restricted distribution species such as *G. beldingi*, *G. flavovelata* and *G. speciosa* represent the most critical approach to aquatic bird conservation in Mexico (Ramírez-Bastida *et al.*, 2008; Ortiz-Pulido, 2018).

Current distribution

The ENM constitutes a tool that allow to know possible alterations in the distribution of the species due to diverse phenomena. Also allow us to characterize the environmental conditions where species can potentially live (Wiens y Donoghue, 2004; Peterson, 2006). The ENM have been relevant to determine the possible effects of the GCC on diverse species of birds (Peterson *et al.*, 2001; 2002; Şekercioğlu *et al.*, 2008). Alike, these models have an implication in the territorial planning and the decision making for the conservation of species (Peterson *et al.*, 2016). In this sense, our results corroborate the relevance of using ENM to determine distributions and with this, establishing priorities, as well as carrying out management and conservation strategies of the species. On the other hand, according to our results, the ENM show that endangered species such as *G. flavovelata* and the wetlands that it inhabits can be vulnerable to the GCC. In this regard, it has been indicated as an urgent priority to model the effects of the GCC on wetlands that are critical for rare or endangered aquatic birds. Within the immediate actions is to maintain water levels, as it is expected a greater impact on the water resource (Miller-Rushing, 2010) due to GCC.

In relation to the distribution of *G. flavovelata* on the regional level, we found that this includes the south of Tamaulipas, east of San Luis Potosí and north of Veracruz. Some new predicted suitable areas are the zone of Hidalgo, Padilla, Güémez, Casas y Jaumave in Tamaulipas, which occupy 3.9% of the total distribution, and the area of Naranjos de Amatlán, Chinampa de Gorostiza y Tantima in Veracruz (0.69%). Locally, we found that several wetlands, such as those of Altamira, Tuxpan, and Tecolutla, are environmentally suitable for *G. flavovelata*. These results partially coincide with those of Hernández (2012), who also indicated that the Ciénega del Fuerte wetland in Veracruz also has the potential to be an area of long-term protection for *G. flavovelata*. Unfortunately, these zones present a high degree of perturbation (Hernández 2012; this study). In addition, climate change can affect the viability of habitats and cause ecological alterations, as changes in interactions, competition and predation (Peterson, 2002; Crick, 2004), so it is necessary to implement measures in this regard.

Local habitat

Although the area of Gómez Farías is a good site for the presence of *G. flavovelata*, in this zone the habitat for this species is disappearing due to activities such as sugarcane cultivation. In this region, agriculture occupies 34% of the landscape (INEGI 2010), of which 5,117 ha is sugarcane production (SIAP, 2007; SAGARPA, 2012; INEGI, 2015). As a result, this species has lost the majority of its habitat in the zone and appears to use cane fields as a refuge. Perhaps the species can take refuge in cane fields because the fields have canals and irrigation systems which mimic their natural habitat. It has been mentioned that this species sometimes inhabits small irrigation ditches, such as those around the Vicente Guerrero Reservoir in Tamaulipas or in cane fields associated with bodies of water (Rodríguez and Banda 2015; BirdLife International, 2017). Despite using cane fields as an alternative habitat, it is necessary to consider that this species requires permanent marshes, and if these are not available, the species may become locally extinct (Escalante-Pliego, 2010).

The use of cane fields as alternative habitat has its disadvantages, given that traditional management of sugarcane fields may have a direct impact on *G. flavovelata* populations, leading to the reduction and growing isolation of populations. This is because the field is constantly transformed. For example, in the last phase of the sugarcane harvest, the field is burned (SAGARPA, 2015), and this burning could affect the survival of adult *G. flavovelata*. In addition, the season in which fields are typically burned coincides with the breeding season of *G. flavovelata*, which extends from March through July (Escalante-

Pliego, 2010; SAGARPA, 2015; BirdLife, 2018), so it is possible that the burn may also impact the reproductive cycle of the species and destroy nests, eggs and chicks.

While the fact that the species can use an alternative habitat may aid in their conservation, it is necessary to define the mobility and dispersal capability of the individuals of this species before it can be determined if this actually contributes to its protection. If the species moves little, any phenomenon which affects its habitat will ultimately affect it. While it has been reported that some species of *Geothlypis* do not tend to move long distances and it has been reported that *G. flavovelata* does not move much (Hernández, 2012), there are no hard data to corroborate this. In addition, data on similar species do not help to resolve this question. For example, *G. beldingi*, a sister species which inhabits semi-deserts, has never been reported at distances greater than 50 m from wetlands and reed marshes, so it has been suggested that it cannot colonize or disperse to new breeding sites, possibly because it cannot cross the spaces between oases, leaving it tied to its breeding sites (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999). However, this same species, *G. beldingi*, has been described as having some capacity to locate and colonize nesting areas, since *G. beldingi* individuals have been reported 200 km from their known breeding range (Erickson *et al.*, 2008).

Future distribution

According to our results, for *G. flavovelata*, potential distribution areas in the future could occur mainly in the region that extends from the municipalities of Tamiahua to Tecolutla, in northern Veracruz. Besides, there is a high probability that the future distribution of this species will be reduced compared to the current (by up to 77.2%, comparing the current distribution to the pessimistic 2070 model). Thus, it is necessary to address the habitat conservation issues of the Tamiahua to Tecolutla zone, particularly of the wetland habitat.

As a wetland-dependent bird, *G. flavovelata* is vulnerable to climate-driven alteration or reduction of wetland habitat. Wetland habitats and the birds that depend on them are particularly vulnerable to GCC. Climate affects the water cycle, the amount and timing of rainfall, humidity, the frequency and severity of extreme events, and the availability of resources, all of which can cause ecological alterations and lead to the reduction, degradation, or complete loss of wetland habitats (Peterson *et al.*, 2002; Crick, 2004; Barros and Albernaz, 2014), so much so that with a 3-4 ° C temperature increase, 85% of wetlands are projected to be lost worldwide (Wormworth and Mallon 2006). This makes waterbirds dependent on wetlands one of the avian groups most vulnerable to climate change (Wormworth and Mallon 2006). In aquatic birds, GCC can cause changes in migration and phenology as well as affect the patterns of mortality, distribution and reproduction (Žalakevicius and Švažas 2005; Guillemain *et al.*, 2013). As such, it is important to consider the information and predictions generated by this study since they may be of use in prioritizing conservation strategies for *G. flavovelata*.

Geothlypis flavovelata is a habitat specialist, and it could determine the effect of the GCC on its future distribution. It is because the bird species most vulnerable to range restriction under GCC are habitat specialists, with risk status, reduced and restricted populations, with patchy habitats, limited climatic range and low dispersal capacity (Crick 2004). *Geothlypis flavovelata*, unfortunately, likely falls under nearly all of these categories. As it has been showed, it is a wetland-dependent bird with a restricted range in a region where wetlands are more and more fragmented. While its dispersal capacity has not been well described, data from the closely related *G. beldingi* make it reasonable to assume relatively low dispersal availability, as discussed in the Rodríguez-Estrella *et al.* (1999). The ability of birds to disperse to other suitable habitats when their current distribution is rendered unsuitable by climate change may affect their vulnerability to GCC. The range sizes of birds that easily disperse to colonize new areas, for example some cracids, may be unaffected or

even increase under GCC because they may colonize zones made newly available as an effect of GCC (Peterson *et al.*, 2001). However, birds that cannot colonize new areas, which is apparently the case of *G. flavovelata*, may find their distribution reduced under GCC scenarios. To know the dispersal capacity of *G. flavovelata* is therefore a critical factor to consider in evaluating the species' vulnerability to climate change (Crick, 2004), and extinction risk in general, as sedentary birds are over-represented by five-fold among extinct bird species (Sekercioglu *et al.*, 2008).

Conservation proposals

We believe that continuous monitoring is essential for the conservation and management of *G. flavovelata*. With monitoring (including censuses), population size could be followed over the years and its conservation status could be more accurately determined. Also, further studies are needed to define rates of dispersal and locate new sites and populations of the species which could be considered for future conservation plans. At the same time, genetic studies are needed in order to determine the inter-population variability and population viability, as well as phenomena which could compromise conservation, such as bottlenecks, inbreeding, gene flow, and reduced dispersal rates.

On the other hand, it is necessary to declare, protect, and restore priority conservation areas for *G. flavovelata*; to do so will require the creation and implementation of a conservation management plan for this species with which the species' habitat could also be conserved. In such a plan, it would be necessary to protect and regulate the slash and burn of cattails, control and limit human constructions, agriculture and grazing in and around wetlands, as well as the extraction and use of water resources from wetlands.

Other activities that should be carried out include environmental education programs in the localities surrounding the distribution zones. This could be achieved through the integration of conservation projects as well as the promotion of ornithological tourism, training of local guides, and community monitoring. This would generate income for the communities and protect priority conservation sites.

Finally, it is necessary to instruct public policies that contribute to the environmental conservation of the area in which the species is distributed. In the same sense, it is essential to regulate the agriculture and grazing practices of local producers, offering new alternatives for production and use for local markets and strengthening the link between subsistence and conservation and the adoption of environmental sustainability measures.

For the birds of the genus *Geothlypis*, the patterns of distribution are poorly known (Ramírez-Bastida *et al.*, 2008; Navarro-Sigüenza, *et al.*, 2014). In this sense, the results of the present study are important to increase the knowledge of *G. flavovelata*.

Conclusions

We predict that the majority of areas where *G. flavovelata* is now distributed (i.e. southern Tamaulipas, eastern San Luis Potosí, and northern Veracruz) will be lost due to climate change, since the environmentally ideal areas of distribution will change and will be gradually reduced in the future, and by 2070 will be restricted mainly to northern Veracruz. Considering that the ideal habitat for the species is even currently found in a small, fragmented, and deteriorated area, even under the current climate, we conclude that *G. flavovelata* should continue to be considered at grave risk of extinction and it is necessary to take urgent measures to conserve this species.

Acknowledgements

We thank the birding troop of “El Cielo”, especially M. Álvarez, for their unconditional support during fieldwork in Gómez Farías, Tamaulipas. We are grateful to CONACYT, which partially supported fieldwork (project 258364) and which granted a scholarship to JFM (604942). We thank the UAEH for partial support of field work.

References

- (AOS) American Ornithological Society. 2017. Checklist of North and Middle American Birds. (consulted November 17 2017). <http://checklist.aou.org/taxa?utf8=%E2%9C%93&search=Geothlypis>.
- Anderson-Teixeira KJ, Davies SJ, Bennett AC, Gonzalez-Akre EB, Muller-Landau HC, Wright SJ, Basset Y. 2014. CTFS-ForestGEO: a worldwide network monitoring forests in an era of global change. *Global Change Biology*. 21(2):528-549.
- Arbelaez-Cortes E. 2012. Filogeografía comparada: Conceptos, métodos y patrones generales en aves Neotropicales—Revisión. *Acta Biológica Colombiana*. 17(1):19-38.
- Barros DF, Albernaz ALM. 2014. Possible impacts of climate change on wetlands and its biota in the Brazilian Amazon. *Journal of Biology*. 74(4):810-820.
- BirdLife International. 2018. Species factsheet: *Geothlypis flavovelata*. (consulted January 7 2018). <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/Altamira-Yellowthroat>
- Blanco DE. 1999. Los humedales como hábitat de aves acuáticas. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe-ORCYT. Montevideo, Uruguay. p. 219-228.
- Bravo-Cadena J, Sánchez Rojas G, Gelviz-Gelvez SM. 2011. Estudio de la distribución de las especies frente al cambio climático. *Cuadernos de Biodiversidad*. 35:12-18. (consulted August 18 2016). https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17442/1/cuadbiod35_03.pdf.
- Buenfil FJ. 2009. Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. México, D.F. Pp. 859.
- Cracraft J. 1973. Continental drift, paleoclimatology, and the evolution and biogeography of birds. *Journal of Zoology*. 169:455-545.
- Crick QPH. 2004. The impact of climate change on birds. *Ibis*. 146(1):48-56.
- Cruz-Cárdenas G, Villaseñor JL, López-Mata L, Martínez-Meyer E, Ortiz E. 2014. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en MaxEnt. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. 20(2):187-201.
- Davidson NC. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*. 65(10):934-941.
- Emlen JT. 1971. Population densities of birds derived from transect counts. *The Auk*. 88(2):323-342.
- Erickson RA, Hamilton RA, Mlodinow SG. 2008. Status review of Belding Yellowthroat *Geothlypis beldingi*, and implications for its conservation. *Bird Conservation International*. 18(03):219-228.
- Escalante-Pliego P, Navarro AG, Peterson AT. 1998. Un análisis geográfico, ecológico e histórico de la diversidad de aves terrestres de México. *Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución*, Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J. (Eds.). Instituto de Biología. UNAM. México, DF. 279-304.
- Escalante-Pliego P. 2010. Ficha técnica de *Geothlypis flavovelata*. Fichas sobre las especies de aves incluidas en Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-

- ECOL-2000. Parte 1. Instituto de Biología, UNAM. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W007. México, D.F.
- Espinosa D, Ocegueda S. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, DF. Pp. 33-65.
- ESRI, ANA. 2013. Redlands California. (consulted august 16 2016). <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst>.
- Feria PT, Sánchez-Rojas G, Ortiz-Pulido R, Calixto-Pérez E, Dale JM, Duberstein CL, Valencia-Herverth J. 2013. Estudio del cambio climático y su efecto en las aves en México: enfoques actuales y perspectivas futuras. Huitzil. 14(1):47–55.
- Fernández de Sevilla T, Gómez A, Arjonilla JF, Martínez R, Magdaleno F. 2008. Metodología para la caracterización de formaciones de vegetación de ribera y su morfología fluvial asociada utilizando datos LiDAR e imágenes digitales de alta resolución. Topografía y Cartografía. 25(147):24-29.
- Guillemain M, Poysa H, Fox DA, Arzel C, Dessborn L, Ekroos J, Gunnarsson G, Eske HT, Kjær CT, Lehtikoinen A, Mitchell C, Rintala J, Pape MA. 2013. Effects of climate change on European ducks: what do we know and what do we need to know? Wildlife Biology. 19(4):404-419.
- Hernández SM. 2012. Aspectos ecológicos de *Geothlypis flavovelata* (Ridgway 1896), especie endémica del Noreste de México (master's thesis). Tuxpan, Veracruz: Universidad Veracruzana.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100. Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones-Enfoque Nacional-Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Colombia. Pp. 60
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Gómez Farías, Tamaulipas. Pp. 10.
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2015. Anuario estadístico y geográfico de Tamaulipas 2015. Pp. 24.
- Landgrave R, Moreno-Casasola P. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. Investigación ambiental. 4(1):19-35.
- López-Portillo J, Lara-Domínguez AL, Ávila-Ángeles A, Vázquez-Lule AD. 2009. Caracterización del sitio de manglar Tecolutla, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.
- Marmion M, Parviainen M, Luoto M, Heikkinen RK, Thuiller W. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. Diversity and Distributions. 15:59-69.
- Mayr E. 1965. What is a fauna? Zoologisches Jahrbuch, Abteilung Systematik. 92:472-486.
- Miller-Rushing AJ, Primack BR, Sekercioglu HC. 2010. Conservation consequences of climate change for birds. Pp. 295-309.
- Monterrubio-Rico CT, Charre-Medellín JF, Pacheco-Figueroa C, Arriaga-Weiss S, Valdez-Leal JD, Cancino-Murillo R, Escalona-Segura G, Bonilla-Ruz C, Rubio-Rocha Y. 2016. Distribución potencial histórica y contemporánea de la familia Psittacidae en México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 87:1103-1117.
- Morueta-Holme N, Fløjgaard C, Svenning JC. 2010. Climate change risks and conservation implications for a threatened small-range mammal species. PloS one. 5(4):e10360.
- Navarro-Sigüenza AG, Sánchez-González LA. 2002. La diversidad de las aves. En Conservación de aves: experiencias en México. Gómez-de Silva H, Oliveras de Ita A. (Eds.). CIPAMEX, CONABIO, NFWF, México, D. F. p. 24-85.

- Navarro-Sigüenza AG, Gordillo-Martínez A, Peterson AT. 2009. Mapeando la diversidad de las aves de México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 12(2):91-95.
- Navarro-Sigüenza AG, Rebón-Gallardo MF, Gordillo-Martínez A, Peterson AT, Berlanga-García H, Sánchez-González LA. 2014. Biodiversidad de aves en México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 85:476-495.
- Ortiz-Pulido R. 2018. ¿Qué especies de aves están en riesgo en México? *Huitzil. Revista Mexicana de Ornitología*. 19(2):237-272.
- Pérez-García JM, Sebastián-González E, Alexander KL, Sánchez-Zapata JA, Botella F. 2014. Effect of landscape configuration and habitat quality on the community structure of waterbirds using a man-made habitat. *European Journal of Wildlife Research*. 60(6):875-883.
- Peterson A.T. 1998. The distribution and type locality of the extinct Slender-billed Grackle, *Quiscalus palustris*. *British Ornithologist's Club*. 118:119-121.
- Peterson AT, Sánchez-Cordero V, Soberon J, Bartley J, Buddemeier RW, Navarro-Sigüenza AG. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological modelling*. 144(1):21-30.
- Peterson AT, Ortega-Huerta MA, Bartley J, Sanchez-Cordero V, Soberón J, Buddemeier RH, Stockwell DRB. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*. 416:626.
- Peterson AT. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics*. 3:59-72.
- Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer E, Nakamura M, Araújo MB. 2011. *Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)*. Princeton University Press.
- Peterson AT, Navarro-Sigüenza AG, Gordillo-Martínez A. 2016. Assumption- versus data-based approaches to summarizing species' ranges. *Conservation Biology*. 32:568-575.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*. 190(3):231-259.
- Plasencia-Vázquez AH, Escalona-Segura G, Esparza-Olguín LG. 2014. Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta zoológica mexicana*. 30(3):471-490.
- Poulin B, Lefebvre G, McNeil R. 1994. Characteristics of feeding guilds and variation in diets of bird species of three adjacent tropical sites. *Biotropica*. 26:187-197.
- Ramírez-Bastida P, Navarro-Sigüenza AG, Peterson AT. 2008. Aquatic bird distributions in Mexico: designing conservation approaches quantitatively. *Biodiversity and Conservation*. 17(10):2525-2558.
- Renton K. 2001. Lilac-crowned parrot diet and food resource availability: resource tracking by a parrot seed predator. *Condor*. 103:62-69.
- Rodríguez RRE, Banda VA. 2015. *Guía de aves de la Reserva de la Biosfera El Cielo*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Tamaulipas. Prograf. Primera edición. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. Pp. 266.
- Rodríguez CE, Picatoste JR, Heras HF. 2015. Quinto informe de evaluación del IPCC. *Asociación Meteorológica Española. Tiempo y clima*. 47:34-37.
- Rodríguez-Estrella R, Delgado LR, Bonilla EPD, Blanco G. 1999. Belding's yellowthroat: current status, habitat preferences and threats in oases of Baja California, Mexico. *Animal Conservation*. 2(2):77-84.

- Rojas-Soto OR, Sahagún-Sánchez FJ, Navarro-Sigüenza AG. 2001. Additional information on the avifauna of Querétaro, México. *Cotinga*. 15:48-52.
- (SAGARPA) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. Ficha técnica cultivo de Caña en Tamaulipas. Boletín No. 45.
- (SAGARPA) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2015. Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Pp. 19.
- Salas EAL, Seamster VA, Boykin KG, Harings NM, Dixon KW. 2017. Modeling the impacts of climate change on Species of Concern (birds) in South Central US based on bioclimatic variables. *AIMS Environmental Science*. 4(2):358-385.
- Sánchez CS, Flores AM, Cruz-Leyva IA, Velázquez A. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas, en *Capital natural de México*, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. p. 75-129.
- Santaella L, Sada AM. 1992. A Cory's Shearwater off Isla Cozumel, Mexico: additional data and observations. *Wilson Bulletin*. 103:668-675.
- Sekercioglu CH, Daily GC, Ehrlich PR. 2004. Ecosystem consequences of bird declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 101:18042-18047.
- Sekercioglu CH, Schneider SH, Fay JP, Loarie SR. 2008. Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation Biology*. 22(1):140-150.
- (SEMARNAT) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México, DF.
- (SIAP) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2007. Padrón de productores de caña de azúcar (PPCA; zafra 2006-2007). (Consulted: January 26 2017). http://siazucar.siap.gob.mx/materiales/pdf/Tab_PPCA_TAMAULIPAS.pdf.
- Sierra-Morales P, Almazán-Núñez RC, Beltrán-Sánchez E, Ríos-Muñoz CA, del Coro AM. 2016. Distribución geográfica y hábitat de la familia Trochilidae (Aves) en el estado de Guerrero, México. *Biología Tropical*. 64(1):363-376.
- StatSoft, Inc. 2011. STATISTICA (data analysis software system), versión 10. (Consulted June 10 2017). www.statsoft.com.
- Tabilo E, Jorge R, Riquelme R, Mondaca A, Labra C, Campusano J, Tabilo M, Varela M, Tapia A, Sallaberry M. 1996. Management and conservation of the habitats used by migratory shorebirds at Coquimbo, Chile. *International Wader Studies*. 8:79-84.
- The IUCN Red List of Threatened Species. 2018. *Geothlypis flavovelata*. (consulted January 13 2018). <http://www.iucnredlist.org/details/22721842/0>.
- Valiente-Banuet A, Gonzales MF, Piñero DD. 1995. La vegetación selvática de la región de Gómez Farías, Tamaulipas, México. *Acta Botánica*. 33(1):1-36.
- Valencia HJ. 2015. Estado de conservación actual y futura de las rapaces nocturnas del Estado de Hidalgo, México (tesis de doctorado). Mineral de la Reforma, Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Wiens JJ, Donoghue MJ. 2004. Historical biogeography, ecology and species richness. *Trends in ecology & evolution*. 19(12):639-644.
- Wormworth J, Mallon K. 2006. Bird Species and Climate Change: The Global Status Report version 1.0. World Wide Fund for Nature. Pp. 75.
- Žalakevicius M, Švažas S. 2005. Global climate change and its impact on wetlands and waterbird populations. *Acta Zoologica Lituanica*. 15(3):211-217.
- Zepeda GC, Nemiga AX, Lot HA, Madrigal UD. 2012. Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 78:48-61.

Zink RM, Blackwell-Rago RC, Ronquist F. 2000. The shifting roles of dispersal and vicariance in biogeography. *Proceedings of the Royal Society of London B.* 267:497-503.

Table 1 Localities visited during fieldwork in the states of Tamaulipas and Veracruz. The location area in km², and main vegetation cover are indicated.

| Place | Location (Coordinates) | Area (km ²) | Vegetation cover % | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------------|----------|----------|
| | | | Agricultural land | Human settlements | Medium jungle | Riparian vegetation | Cattails | Mangrove |
| Gómez Farías, Tamaulipas | | | | | | | | |
| Loma alta | N 22°53'15.4" W -99°01'53.4 | 0.1 | 70 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Héroes de Chapultepec | N 22°56'54.2" W -99°02'47.1 | 0.69 | 90 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| El azteca | N 23°06'40.2" W -99°08'57.1 | 1.22 | 50 | 10 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| Saucillo | N 23°01'09.7" W -99°05'03.3 | 1.22 | 90 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| Tecolutla, Veracruz | | | | | | | | |
| Estero Lagartos | N 20°29'59.70" W -97°2'25.99" | 0.52 | 0 | 0 | 0 | 10 | 20 | 70 |
| Tecolutla | N 20°28'55.566 W -97°1'12.164" | 0.20 | 40 | 20 | 0 | 0 | 30 | 10 |
| Flores Magón | N 20°19' 59.307" W -96°55'2.207" | 0.87 | 45 | 0 | 0 | 0 | 40 | 15 |

Table 2 Environmental variables used to generate the models. The percentage of contribution is indicated. * Water bodies variable obtained from Instituto Nacional de Estadística and Geografía. INEGI, 2013.

| Number | Abbreviation | Environmental variables | Contribution % | Fount |
|--------|--------------|--|----------------|-----------|
| 1 | BIO4 | Temperature seasonality | 21.5 | WorldClim |
| 2 | BIO15 | Precipitation seasonality | 19.8 | WorldClim |
| 3 | BIO2 | Diurnal temperature range | 18.1 | WorldClim |
| 4 | BIO14 | Precipitation during the driest month | 11.9 | WorldClim |
| 5 | BIO19 | Precipitation during the coldest trimester | 9.9 | WorldClim |
| 6 | BIO9 | Mean temperature of the driest trimester | 7.9 | WorldClim |
| 7 | BIO6 | Minimum temperature of the coldest month | 7.4 | WorldClim |
| 8 | BIO7 | Annual temperature range | 2.2 | WorldClim |
| 9 | WB | Water bodies * | 1.2 | INEGI * |
| 10 | BIO17 | Precipitation during the driest trimester | 0.1 | WorldClim |



Fig. 4 Sugarcane fields in El Azteca, Gómez Farías, Tamaulipas (a) and *G. flavovelata* using cane fields (*Saccharum officinarum*) (b). Photo: Jesús Favela-Mesta, 2017.

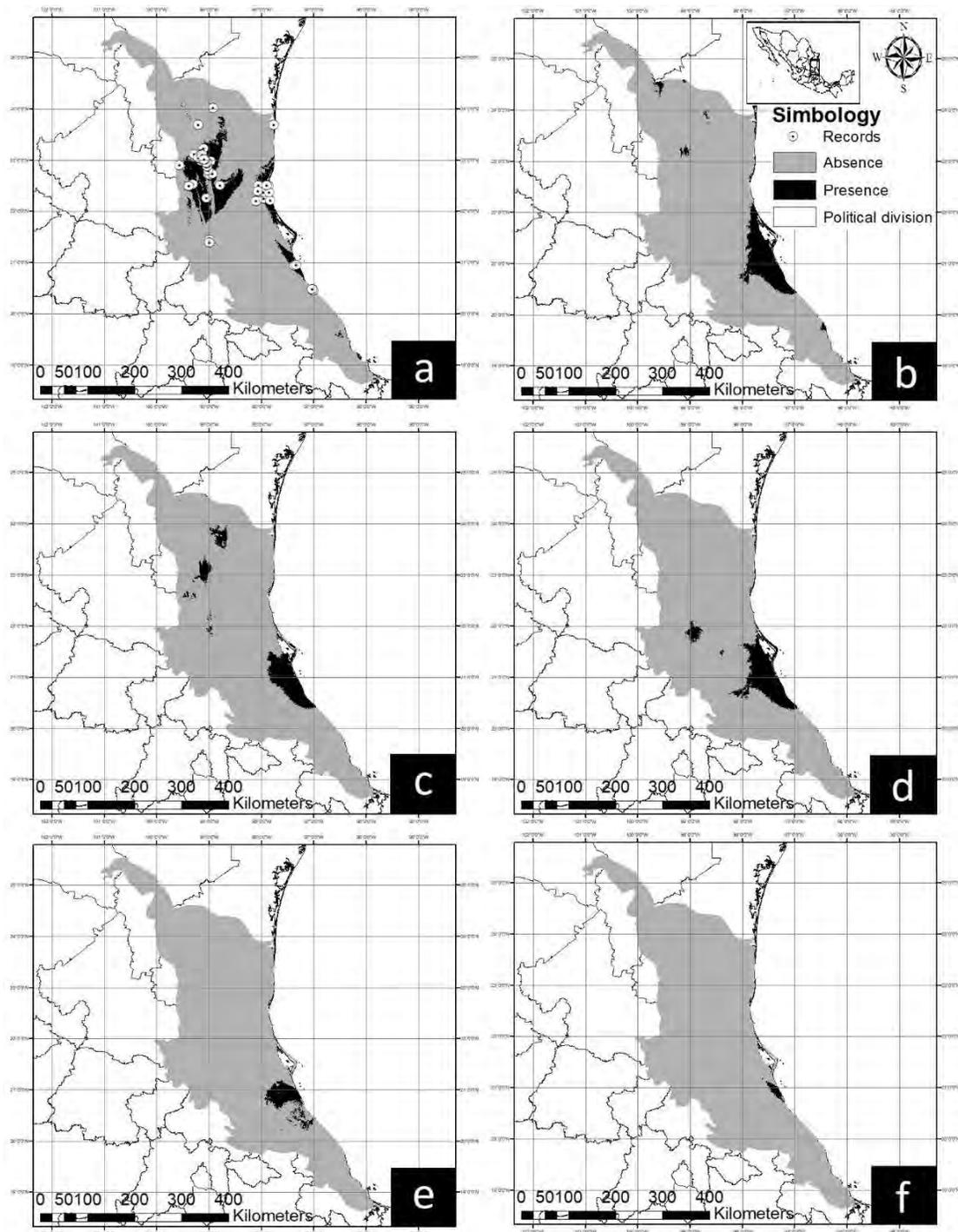


Fig. 5 Distribution of *G. flavovelata* in Mexico: current distribution (a); future distribution under optimistic scenario in 2050 (b) and 2070 (c); future distribution under pessimistic scenario in 2050 (d) and 2070 (e), and; combined, considering the current model and all future models (f). The absence (light grey) and presence (dark grey) areas for the species are indicated for each model

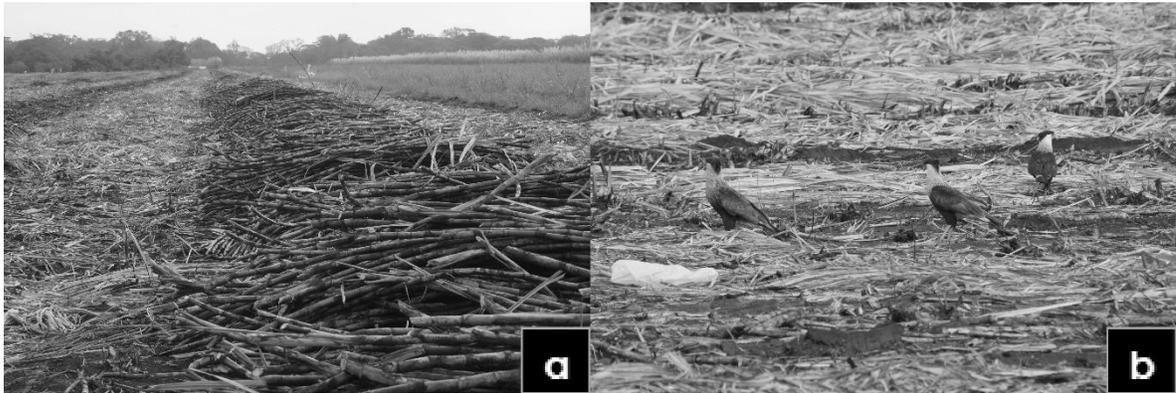


Fig. 6 Sugarcane (*Saccharum officinarum*) ready for harvest (a) and scavenger birds present in the fields after burning (b). Images taken in the Sabinas plot, Gómez Farías, Tamaulipas. Photo: Jesús Favela-Mesta, 2017.

Capítulo III.

Geothlypis beldingi

Introducción

La mayor amenaza para la conservación de distintas especies es la pérdida de su hábitat (Harris, 1984; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009). Generalmente, la pérdida es provocada por el crecimiento de las áreas agrícolas, ganaderas y urbanas en sitios originalmente cubiertos por vegetación no perturbada donde dichas especies se distribuyen (Íñigo-Elías y Enkerlin, 2002; Santos y Tellería, 2006).

En México existen varias áreas geográficas que se destacan por el número de especies endémicas, una de ellas es la Península de Baja California (BirdLife, 1998; Rodríguez-Estrella, 2005). Dicha área alberga cuatro especies y más de 30 sub especies de aves endémicas (García de la Puente y Cruz, 2015). En esta península se ha presentado un incremento en la tasa de cambio de hábitat en los últimos 10 años, debido al incremento de actividades humanas, como el turismo y la deforestación por agricultura, sobre pastoreo y minería (León *et al.*, 1997; Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999; 2007). En esta región se encuentran humedales como los oasis, que se consideran relictos y hábitat méxicos (de humedad moderada) disjuntos, que por sus características biogeográficas, ecológicas y evolutivas, son ambientes únicos en México (Grismer y McGuire, 1993).

En estos humedales se ha detectado una alta diversidad biológica, así como poblaciones raras, endémicas o relictas (Jiménez-Jiménez *et al.*, 2010; Luján y Rodríguez-Estrella, 2014; Pérez-García *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2015). Varias de estas especies están en riesgo (e.g. *Crotalus enyo*, *Elgaria paucicarinata*, *Fundulus lima*, *Plestiodon lagunensis*; Vaillant 1894, Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999; SEMARNAT, 2010; Velázquez y Ruíz, 2011). A pesar de la relevancia de los oasis de Baja California Sur, la atención que se les ha dado es reciente (Carmona *et al.* 2003, Jiménez *et al.*, 2015) y las aves dulceacuícolas han sido poco estudiadas en el estado (Carmona *et al.*, 2003).

La mascarita Bajacaliforniana (*Geothlypis beldingi*) es una especie endémica del estado de Baja California Sur, que habita en cuerpos de agua con tulares. Presenta una

distribución histórica discontinua desde las localidades de San Ignacio y La Purísima en los municipios de Mulegé y Comondú, hasta San José del Cabo y Todos Santos en el sur del estado (Erickson *et al.*, 2008). El área de distribución de la especie es de 3,800 km² y sus poblaciones son pequeñas y aisladas. Las presiones de conservación para *G. beldingi* son mayores en los oasis del sur, ya que tienen mayor grado de perturbación y problemáticas relacionadas con el impacto humano (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999).

Actualmente *G. beldingi* se encuentra considerada como vulnerable a nivel internacional (IUCN, 2018) y en México se considera en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010). La principal amenaza para la conservación de *G. beldingi* es la pérdida de hábitat, por desecación, degradación y pérdida de cuerpos de agua, debido al crecimiento de las ciudades, las zonas hoteleras y turísticas, así como la agricultura y ganadería (IUCN, 2018). El objetivo de este capítulo es determinar las áreas de distribución actual y futura de *G. beldingi* bajo el cambio climático global (CCG), así como los cambios en su hábitat y problemáticas de conservación a nivel local.

Método

El método utilizado para definir los registros históricos, realizar el trabajo de campo, los modelos de distribución actual y a futuro, así como la evaluación del hábitat fue el mismo que el usado en el capítulo II. A continuación, se presenta la información y análisis adicionales que se trabajó con esta especie, como su descripción, modelo de nicho ecológico actual en el espacio ambiental, análisis de cambio de uso de suelo y las funciones de distribución.

Respecto al trabajo de campo con esta especie se visitaron cinco sitios en Baja California Sur (ver cuadro 4).

Mascarita Bajacaliforniana (*Geothlypis beldingi*; Ridgway, 1883)

La población total se estima de 1,000 a 2,499 individuos (BirdLife International, 2018). Se alimenta de pequeños insectos, se reproduce de marzo a mayo y pone de dos a tres huevos (Escalante-Pliego y Rodríguez-Estrella, 2010). La mascarita Bajacaliforniana parece no tener la capacidad de colonizar o desplazarse a nuevos sitios de reproducción, por lo que tiene un aparente apego a sus sitios de crianza (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999). La principal amenaza para la conservación de *G. beldingi* es la pérdida de hábitat, debido a los asentamientos humanos, la agricultura y ganadería (IUCN, 2018).

Modelos de distribución actual y a futuro

Para obtener los modelos de distribución actual se consideraron las provincias biogeográficas Del Cabo y Baja California, y se utilizaron ocho variables ambientales, las cuales fueron estacionalidad de la temperatura, temperatura mínima del mes más frío, precipitación anual, precipitación del mes más seco, estacionalidad de la precipitación, precipitación del trimestre más seco, precipitación del trimestre más frío y los cuerpos de agua. Estas mismas variables, a excepción de los cuerpos de agua, fueron utilizadas para generar los modelos a futuro.

Modelo de nicho ecológico actual en el espacio ambiental

Se generó el modelo de nicho actual (elipsoide) en el espacio ambiental, para determinar la posible tolerancia ambiental de la especie, así como el nicho fundamental y realizado, en el espacio ambiental. Para ello, se utilizaron las tres variables ambientales más importantes (ya que es la cantidad que permite la plataforma donde se generan) y los registros de la especie. Las variables utilizadas para generar el modelo fueron estacionalidad de la temperatura, temperatura mínima del mes más frío y precipitación anual. El elipsoide se generó con la herramienta NicheToolBox de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO; <http://shiny.conabio.gob.mx:3838/nichetoolb2/>). El

nicho fundamental se define como las tolerancias ambientales (abióticas) de una especie, las cuales determinan causalmente su área de distribución (Soberón *et al.*, 2017). Por su parte el nicho realizado son las condiciones bióticas y abióticas favorables para una especie en el área que ocupa y en la cual tiene accesibilidad histórica. En dicha área la especie es observada (Soberón *et al.*, 2017). El Modelo de Nicho Ecológico (MNE) en el espacio ambiental se representa mediante elipsoides y puntos en el espacio, dichos puntos representan sitios, los cuales son más idóneos mientras más cerca estén del centroide de la elipse. Por su parte los puntos fuera del elipsoide corresponden a sitios con ambientes fuera del nicho de la especie. En la figura presentada en resultados, un color azul indica cercanía al centroide del elipsoide (alta idoneidad ambiental; valor cercano a 1) y un color rojo, lejanía del centroide (baja idoneidad ambiental; valor cercano a 0).

Análisis de cambio de uso de suelo

Se evaluó el cambio de uso de suelo en las áreas de distribución de *G. beldingi*. Para ello se consideraron las provincias de los MNE y las capas de uso de suelo y vegetación escala 1:250000, serie I (1997), IV (2009) y V (2013) del Geo portal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de CONABIO (2017) (continuo nacional; <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>), que se proyectaron espacialmente con el programa ArcMap 10.2. Los atributos de vegetación y uso de suelo fueron equiparados para cada una de las capas, de manera que se pudiera realizar la comparación de atributos entre capas. De igual forma se utilizaron los registros de la especie, los cuales fueron divididos en el rango de los años indicados y se proyectaron en los mapas, esto para determinar posibles cambios en la distribución de las especies respecto a la ocurrencia y la vegetación o uso de suelo. Se cuantificaron las áreas de los tipos de vegetación y usos de suelo de los años 1997, 2009 y 2013 mediante el programa ArcMap 10.2. Esto permitió determinar la ocupación y distribución de la vegetación natural e inducida para cada región, así como

cuantificar y determinar los cambios de 1997 a 2013 respecto a las áreas agrícolas, asentamientos humanos, zonas urbanas, popales, tulares y cuerpos de agua, determinando la relación y el posible impacto del cambio de uso de suelo y vegetación en el hábitat y la distribución de *G. beldingi*.

Funciones de distribución

Kernel de distribución

Para determinar qué áreas o zonas geográficas tienen mayor concentración o cantidad de registros de la especie, así como verificar la relación espacial de los puntos de presencia, se generaron kernels (función de densidad de probabilidad para una muestra univariada; Salgado, 2000) con el programa MATLAB 7.10. Estas agrupaciones, pueden ajustarse o reconstruir señales o funciones, así como comparar datos, determinar qué tan estables son los puntos de equilibrio y establecer una relación o diferencias entre agrupaciones (Vázquez, 2016). Para ello se aplicó un tamaño de malla promedio (7x7 km) para obtener mejores proyecciones y se utilizaron los datos de los registros de la especie. Mediante esto se obtuvieron superposiciones lineales de funciones de base radial Gaussianas (Kernels), las cuales representan gráficos de funciones multidimensionales, con valores de concentración de los registros, los cuales fueron sobrepuestos espacialmente.

Caculo de distancias y ángulos de distribución

Este análisis consistió en crear matrices con los registros de la especie, los cuales se agruparon espacial y temporalmente para realizar comparaciones. Con ello se pueden obtener distancias y ángulos de desplazamientos y así estimar la posible capacidad de dispersión de la especie. Este análisis fue realizado mediante el programa MATLAB 7.10. El significado biológico que puede representar este análisis para la especie radica en que es de utilidad para determinar la posibilidad de desplazamientos o movimientos, sus respectivas distancias, ángulos, diferencias entre periodos, regiones, zonas o localidades y

con ello aproximarnos a diversos panoramas sobre la distribución, disposición espacial de individuos, poblaciones y su restricción o aislamiento. De igual forma permite aproximarnos a un mayor conocimiento sobre la disposición espacial y continuidad del hábitat de influencia de la especie. Para evaluar las distancias de movimiento y sus respectivos ángulos se utilizaron cuatro enfoques diferentes:

- 1) Enfoque general por periodos: se utilizaron todos los registros de la especie, considerando su área de distribución total, y fueron divididos en los periodos considerados para el cambio de uso de suelo (1997, 2009, 2013). Este enfoque general plantea la hipótesis de que la especie se desplaza de manera aleatoria dentro de toda su área de distribución.
- 2) Enfoque entre localidades: se dividieron los registros considerando zonas, áreas o localidades independientes, dentro del área de distribución total de la especie. Este segundo enfoque plantea que la especie puede desplazarse entre dichas áreas o localidades.
- 3) Enfoque por región: se consideraron zonas que presentaran continuidad en el hábitat y la disposición espacial de registros, los cuales se dividieron entre dichas zonas o regiones. Este enfoque contempla un desplazamiento dentro de cada región considerada.
- 4) Enfoque por localidad independiente: en este último enfoque los registros fueron divididos dentro de un mismo cuerpo de agua o localidad, donde se asume que la especie tiene nula capacidad de desplazarse a otros sitios fuera de cada humedal o localidad.

Estos análisis permiten determinar hipotéticamente la posible capacidad de dispersión de la especie y la variación o diferencias entre periodos, zonas, regiones y localidades o cuerpos de agua.

Estado de conservación del hábitat

Para la evaluación del hábitat de la especie se definieron las siguientes categorías:

Agricultura: es la actividad en la que se realiza un manejo del suelo para producir alimentos y plantas útiles para las industrias de la alimentación y del vestido principalmente. Debido a las prácticas de siembra, esta actividad suele ocasionar un cambio de uso de suelo (Díaz, 2004).

Ganadería: es una actividad que consiste en la crianza y cuidado de algunos animales para obtener alimentos y otros productos útiles para la industria. Puede ser intensiva o extensiva y debido al pastoreo puede ocasionar impactos sobre la vegetación (Martínez, 2000).

Residuos sólidos urbanos: desechos que se generan en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas o los que provienen de cualquier otra actividad dentro de los establecimientos o en la vía pública (SEMARNAT, 2014).

Contaminación hídrica: acción y efecto de introducir materias, formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica (CONAGUA, 1992).

Asentamientos humanos: establecimiento de un conglomerado demográfico, con el conjunto de sus sistemas de convivencia, en un área físicamente localizada, considerando dentro de la misma los elementos naturales y las obras materiales que lo integran. Son representados por centros de población, conurbación y zonas urbanas (SSP, 1993)

Deforestación: es la reducción de la cubierta vegetal principalmente por actividad humana, la cual puede ocasionar problemas como modificaciones en los ciclos hídricos y cambios regionales de los regímenes de temperatura y precipitación, así como la pérdida de hábitats o la fragmentación de ecosistemas (Dirzo y García, 1992).

Fragmentación: es el proceso de división de un hábitat continuo en secciones. Los fragmentos resultantes difieren del hábitat original al ser de menor tamaño, estar aislados (comúnmente en mayor grado) y en presentar efectos de borde. La fragmentación se origina por la transformación del paisaje que se realiza con diversos fines por actividades humanas (CONABIO, 2009).

Resultados

Registros históricos

Se obtuvo un total de 3,082 registros, de los cuales quedaron 159 depurados con coordenadas únicas, y solo 93 se mantuvieron al realizar la validación de registros por pixel (Cuadro 3).

Cuadro 3. Registros obtenidos de diversas fuentes como GBIF (2016), eBird (2016), colección de aves de la UNAM (2016), VertNet (2016), así como los registros totales y depurados para *G. beldingi*.

| Especie | GBIF | eBird | Colección UNAM | VertNet | Registros totales | Registros depurados |
|--------------------|-------|-------|----------------|---------|-------------------|---------------------|
| <i>G. beldingi</i> | 1,522 | 930 | 30 | 600 | 3,082 | 159 |

Registros de campo

Se obtuvo un total de 28 registros de *G. beldingi*. El sitio que resultó con más observaciones para la especie fue el estero San José (20 registros), seguido de San Pedrito (5), Santiago (3) Cabo San Lucas (0) y Todos Santos (0) (Cuadro 4; Fig. 7). Las especies de plantas en las que se observó perchada a *G. beldingi* fueron tulares de *Typha domingensis* (Typhaceae) con 13 registros, carrizales de *Phragmites communis* (Poaceae) con 10, palmares de *Washingtonia* sp. (Arecaceae) con 3 y *Scirpus* sp. (Cyperaceae) con 2 registros.

Cuadro 4. Localidades visitadas para los muestreos de *G. beldingi*. Se indican los registros y puntos geográficos obtenidos de la especie en Baja California Sur, México, durante noviembre del 2016.

| Estado | Municipio | Localidad y coordenadas | Altitud m.s.n.m. | Individuos observados | Puntos obtenidos (coordenadas) |
|---------------------|-----------|---|------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Baja California Sur | Los Cabos | San José del Cabo (N 23°3'16.97" W-109°41'26.495") | 45 | 20 | 6 |
| | | Cabo San Lucas (N 22°53'45.36" W -109°54'11.49") | 20 | 0 | 0 |
| | | Santiago (N 23°29'49.708" W -109°47'32.662") | 120 | 3 | 1 |
| | La Paz | San Pedrito (N 23°23'32.26" W-110°12'40.03") | 27 | 5 | 2 |
| | | Todos Santos (N 23°23'27.715" W-110°12'41.926") | 27 | 0 | 0 |
| | 2 | 5 | | 28 | 9 |



Figura 7. Registros de *G. beldingi* en el estero de San José del Cabo, Baja California Sur, México, haciendo uso de *Scirpus* sp. (a) y de *Phragmites communis* (b). Fotografías: Jesús Favela, 2016.

Distribución geográfica actual

La distribución histórica de *G. beldingi* abarca gran parte del estado de Baja California Sur. Se obtuvieron registros diversos a lo largo de dicho estado (Fig. 8a), sin embargo, la mayor cantidad de registros se obtuvo para la región de Los Cabos (Fig. 8b).

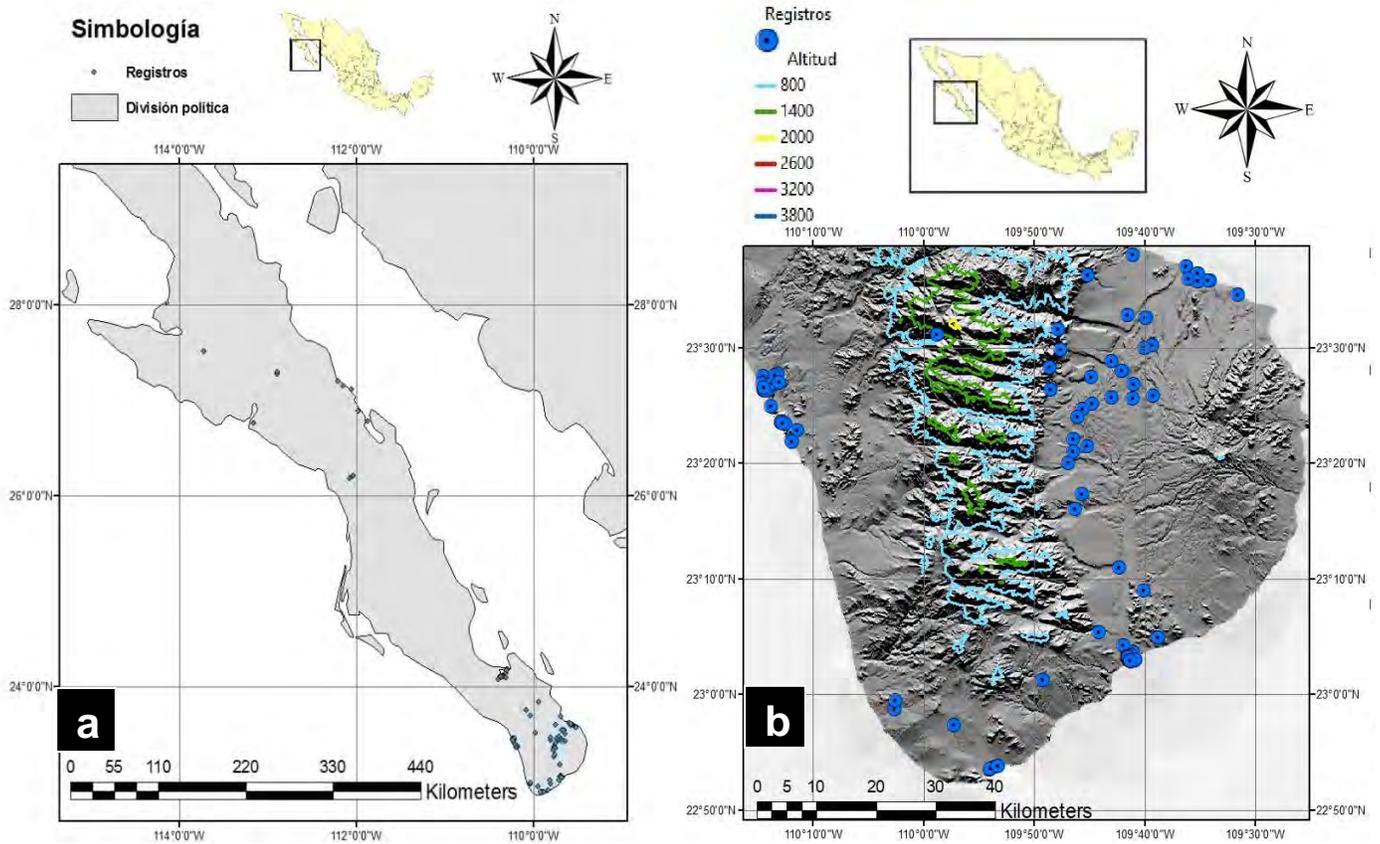


Figura 8. Distribución geográfica de *G. beldingi* en Baja California Sur, México. Se presentan todos los registros obtenidos de la especie (a) y el modelo digital de elevación de la zona donde se ubica la mayor cantidad de registros de la especie (b).

Modelo de distribución actual

El modelo seleccionado presentó un valor de AUC de 0.97. La zona que resultó con mayor área idónea para la presencia de la especie fue la región de Los Cabos, específicamente el área de que va de San José, Caduaño, Santiago y La Ribera, en Baja California Sur. El área total resultó con 10,883 km² (Fig. 9a).

Modelo de nicho ecológico actual en el espacio ambiental

Este modelo indica que *G. beldingi* puede tener una alta tolerancia y plasticidad ante las condiciones ambientales, ya que el nicho fundamental engloba la mayor parte de los puntos. Por su parte el nicho realizado es muy reducido (Fig. 9b).

Modelos de distribución a futuro

El modelo seleccionado presento un valor de AUC de 0.95. El modelo optimista del 2050 mostro un cambio con respecto a las zonas que presentaran las condiciones ambientales idóneas para la presencia de la especie, así como la cantidad de área. Las condiciones adecuadas para la especie se presentarán principalmente en la zona costera que abarca los municipios de Los Cabos, La Paz, Comondú y Loreto, en Baja California Sur. Dicha zona ocupa 18,072 km² (Fig. 9c). Para el modelo optimista del 2070 el área se reduce y solo permanecen zonas idóneas en la región de los municipios de Los Cabos y La Paz, la cual ocupa un área de 8,149 km² (Fig. 9d). Por su parte para el modelo pesimista del 2050 las condiciones se presentarán en la región costera que va desde Loreto a Mulegé, dicha zona presenta un área de 3,452 Km² (Fig. 9e). Para el modelo pesimista del 2070 se presenta un aumento de área que abarca gran parte del estado de Baja California Sur, donde se encuentran los municipios de La Paz, Loreto, Comondú y Mulegé. Dicha área ocupa 40,847 Km² (Fig. 9f). Es importante considerar estas proyecciones para futuros planes de conservación de la especie, pero que la especie está ligada a cuerpos de agua y a la fecha no existe manera de modelar eso.

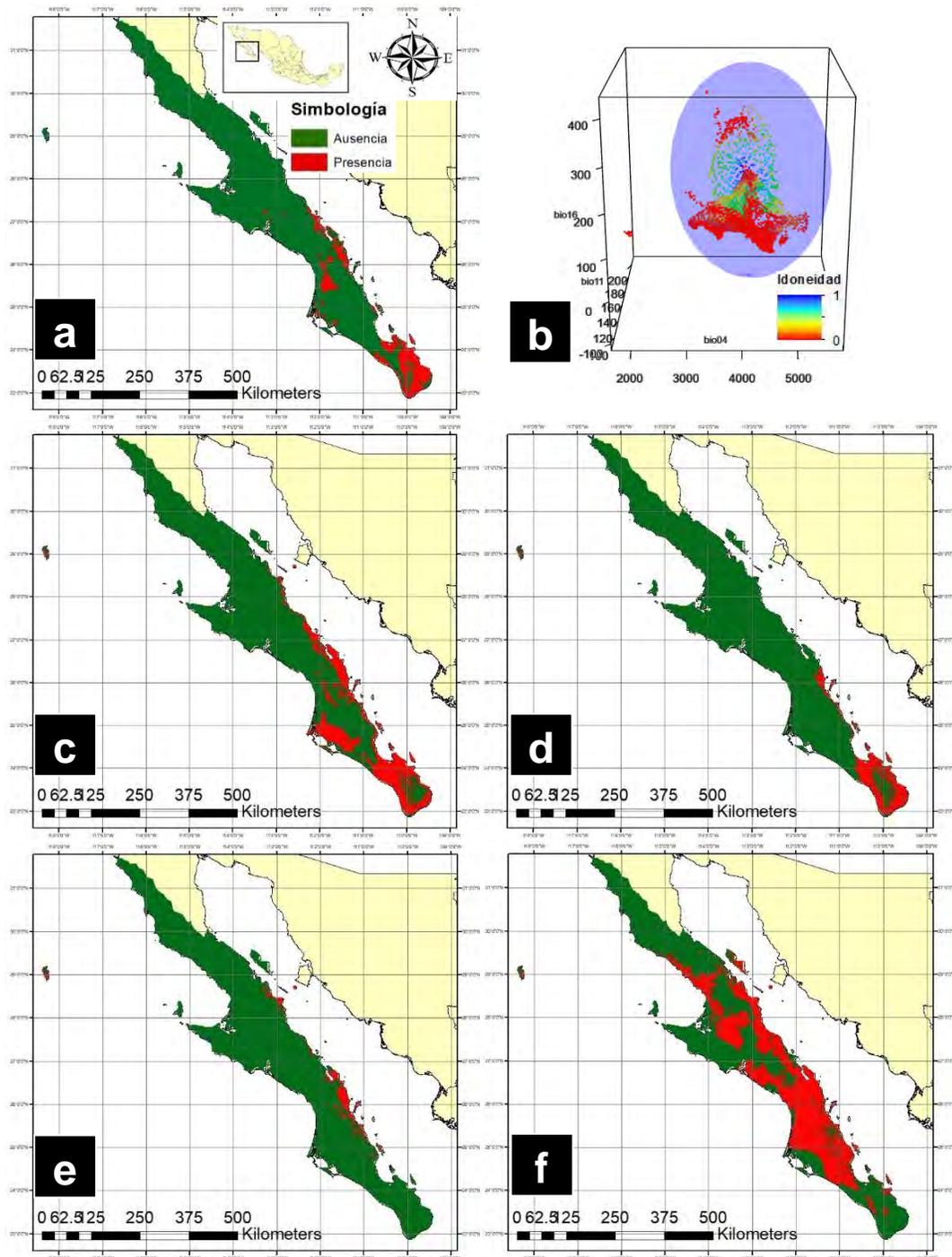


Figura 9. Distribución de *G. beldingi* en México: actual (a); futura para el escenario optimista del 2050 (c) y 2070 (d); futura para el escenario pesimista del 2050 (e) y 2070 (f). Se indica el área de ausencia (verde) y de presencia (rojo) para cada modelo. Modelo actual de nicho en el espacio ambiental (b), en el cual *G. beldingi* presenta un nicho fundamental amplio (elipsoide). Sin embargo, el nicho realizado (puntos azules) es escaso. La coloración de los puntos indica la idoneidad, desde cero (rojos), a cercano a uno (azules), donde uno indica las mejores condiciones ambientales para la especie.

Distribución con el cambio de uso de suelo y vegetación

Los mapas de uso de suelo y vegetación en Baja California Sur mostraron pocos cambios en general, destacando un pequeño aumento de la vegetación agrícola desde 1997 al 2013, que paso de 2,674 a 3,466 km² (Cuadro 5; Fig. 10). Por otro lado, durante el mismo periodo también hubo un aumento en las zonas urbanas pasando de 32 a 185 km² y los asentamientos humanos, que fueron de 200 a 229 km² principalmente en la región de Los Cabos, lo cual ha afectado a los humedales de esta zona, provocando su fragmentación y deterioro. Los cuerpos de agua y la vegetación de tulares y popales estan poco representada en Baja California Sur, y está disminuyendo paulatinamente. Los popales pasaron de 12 a 0 km², por su parte los tulares no están presentes. De igual manera la vegetación halófila y de galería está muy poco representada en el estado y está muy localizada, ubicándose principalmente cerca de las costas. Por otro lado, la vegetación más representativa para Baja California Sur fueron los matorrales sarcocaulales y sarcocaulales los cuales cubren gran parte del territorio estatal (Cuadro 5; Fig. 10).

Cuadro 5. Principales tipos de suelo y vegetación y su área en km² para la zona de distribución de *G. beldingi* en los periodos de 1997, 2009, y 2013.

| Tipo de suelo o vegetación | Área en Km ² | | |
|----------------------------|-------------------------|----------|----------|
| | 1997 | 2009 | 2013 |
| Zona urbana | 32.2055 | 183.57 | 185.33 |
| Asentamientos humanos | 0 | 200.02 | 229.12 |
| Cuerpos de agua | 1.1913 | 145.72 | 146.09 |
| Popales | 12.1394 | 0 | 0 |
| Tulares | 0 | 0 | 0 |
| Agricultura | 2,674.78 | 3,460.83 | 3,466.95 |

Simbología

- Agricultura
- Asentamientos humanos
- Bosque de galería
- Cuerpo de agua
- Matorral sarco-caule
- Matorral sarco-crasicaule
- Mezquital
- Pastizal cultivado
- Selva baja caducifolia
- Vegetación arbustiva de bosque de encino
- Vegetación de galería
- Vegetación halofila
- Zona urbana
- Registros



1997

2009

2013

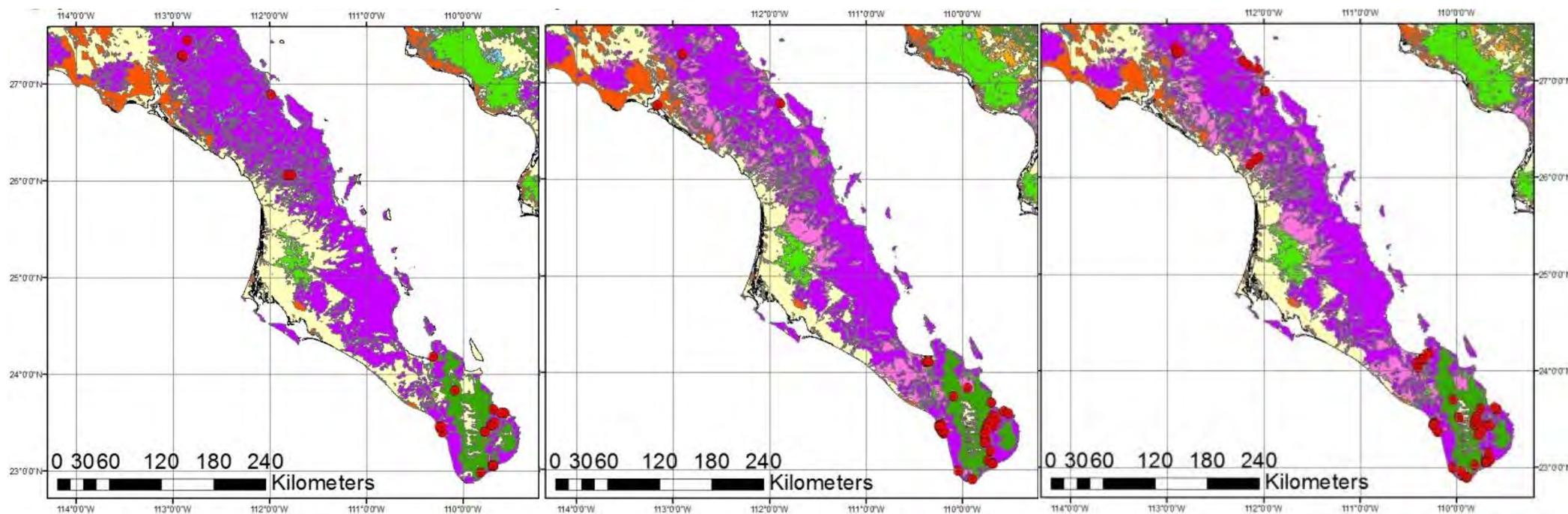


Figura 10. Registros de *G. beldingi* sobre cartas de uso de suelo y vegetación en 1997, 2009 y 2013 en Baja California Sur, México.

Funciones de distribución en Baja California Sur

La zona con mayor concentración de registros de *G. beldingi* fue el área que abarca los municipios de La Paz y Los Cabos, en Baja California Sur (Fig. 11).

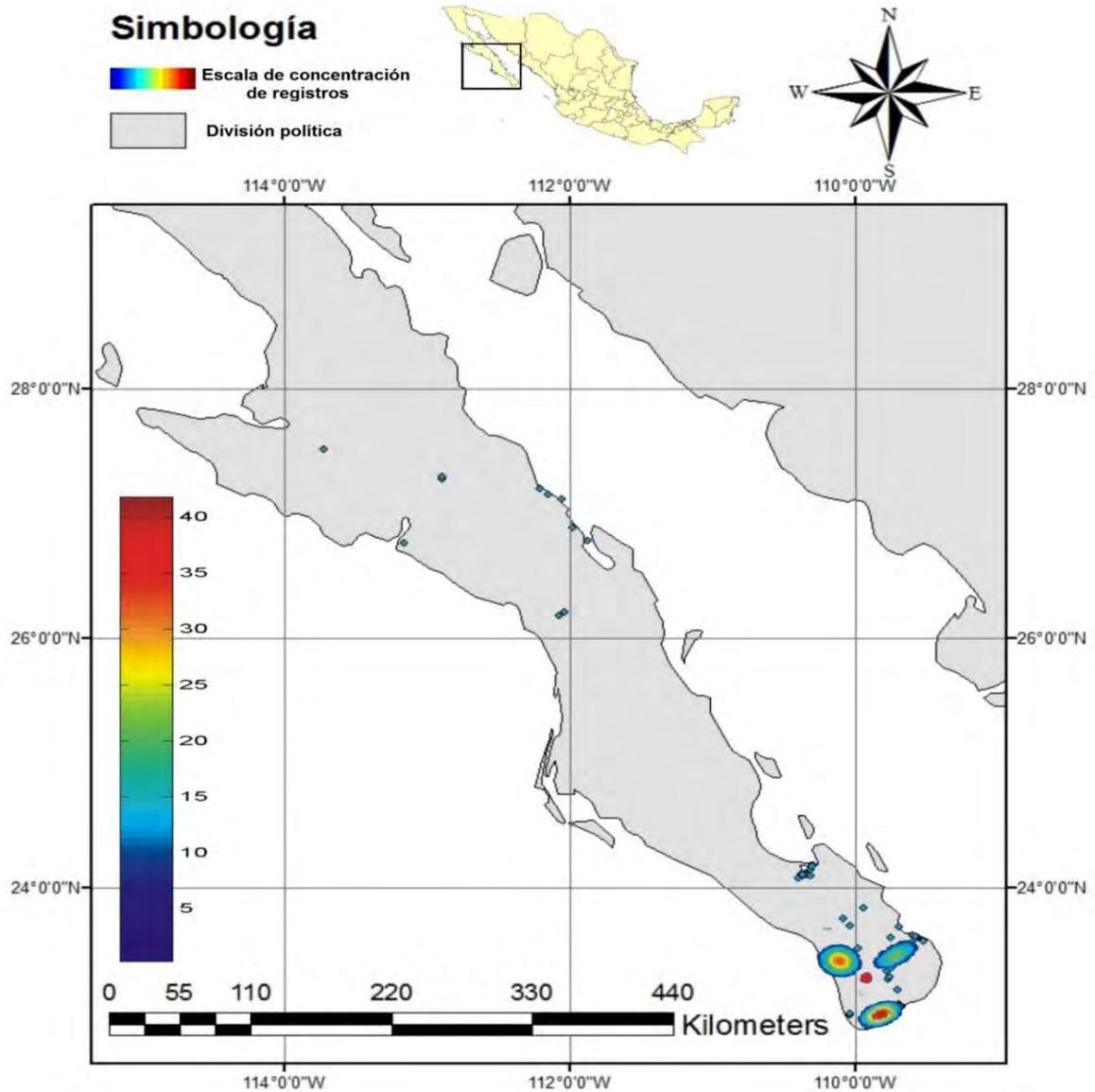


Figura 11. Concentración de la distribución de *G. beldingi* usando funciones de distribución. Los polígonos de colores indican la concentración espacial de registros de la especie en Baja California Sur, México.

Distancias y ángulos de distribución

Enfoque general por periodos

Las mayores distancias de desplazamiento de *G. beldingi* fueron para los periodos de 1997 a 2013 y 2009 a 2013, con 39 y 32 km respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Distancias y ángulos de los tres periodos considerados (1997, 2009, 2013) en la distribución general de *G. beldingi* en Baja California Sur, México.

| Periodos | Distancia (Km) | Ángulos |
|-----------|----------------|---------|
| 1997-2009 | 18.03 | 34.68 |
| 1997-2013 | 39.63 | 25.55 |
| 2009-2013 | 32.47 | 21.92 |
| \bar{x} | 28.52 | 26.88 |

Enfoque entre localidades

Las menores distancias de movimiento de la mascarita Bajacaliforniana entre localidades la presentaron Mulegé-San Bruno y Comondú-La Purísima con 0.28 y 1.0 km respectivamente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Distancias y ángulos entre las localidades o zonas independientes consideradas en la distribución de *G. beldingi* en Baja Californias Sur, México.

| Sitios | Distancia (Km) | Ángulos |
|----------------------------|----------------|----------|
| Caduaño y Santiago | 11.008686 | 2.231874 |
| Comondú y La Purísima | 1.003925 | 2.074663 |
| La Ribera y Santa Cruz | 6.000952 | 1.178547 |
| Mulegé y San Bruno | 0.280476 | 5.35865 |
| San Pedrito y Todos Santos | 6.00424 | 1.021956 |
| \bar{x} | 2.56 | 1.97 |

Enfoque por región

La región de Todos Santos-San Pedrito resulto con una menor distancia y ángulo de desplazamientos de *G. beldingi* con 2.0 y 6.6 km, por su parte la región de Caduaño-Santiago-Santa Cruz-La Ribera presento una distancia de 2.3 km de desplazamiento de la especie (Cuadro 8).

Cuadro 8. Distancias y ángulos de las regiones consideradas en la distribución de *G. beldingi* en Baja Californias Sur, México.

| Región | Distancia (Km) | Ángulo |
|--------------------------------------|----------------|----------|
| Caduaño-Santiago-Sta. Cruz-La Ribera | 2.368114 | 6.65439 |
| Todos Santos-San Pedrito | 2.062804 | 2.233066 |
| \bar{x} | 2.2101 | 3.8548 |

Enfoque por localidad

Los desplazamientos de la mascarita Bajacaliforniana en cada localidad independiente fueron más cortos para la localidad de Todos Santos, seguida de La Paz y La Ribera con 0.04, 1.88 y 2.01 km respectivamente (Cuadro 9).

Cuadro 9. Distancias y ángulos de cada localidad independiente considerada en la distribución de *G. beldingi* en Baja California Sur, México.

| Sitio | Distancia (Km) | Ángulo |
|-----------------|----------------|---------|
| La Paz | 1.8879 | 38.1573 |
| La Ribera | 2.0168 | 60.5577 |
| San Ignacio | 2.6550 | 21.7638 |
| Estero San José | 2.6833 | 7.3452 |
| Todos Santos | 0.04791 | 0.9151 |
| \bar{x} | 1.0538 | 12.7583 |

Estos resultados muestran una aproximación a lo que puede darse en cuanto a los desplazamientos de *G. beldingi*, considerando diferentes panoramas posibles para la especie.

Estado de conservación del hábitat

Dentro de los humedales presentes en la región de Los Cabos, B.C.S. existen diversas problemáticas y alteraciones provocadas por la actividad humana. En la evaluación del hábitat los asentamientos humanos constituyeron el segundo uso de suelo de mayor ocupación. Por su parte la vegetación natural más representativa alrededor de los sitios de muestreo son los matorrales y palmerales (Cuadro 10). Durante el trabajo de campo se observó como principal problemática los asentamientos humanos, seguida de otras como la agricultura, ganadería y deforestación (Fig. 12 y 13).

Cuadro 10. Localidades visitadas durante el trabajo de campo en el estado de Baja California Sur. Se indica la ubicación (coordenadas), área en km² y el principal tipo de cobertura vegetal o uso de suelo.

| Localidad y coordenadas | Área Km ² | % cobertura vegetal o uso de suelo | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------------------------|-------------|-----|----------|----------|-------|-------------------|
| | | Asentamientos humanos | Agricultura | Mar | Matorral | Palmeral | Tular | Cuerpo de agua |
| San José del Cabo (N 23°3'16.97" W-109°41'26.495") | 0.59 | 50 | 0 | 0 | 25 | 5 | 10 | 10 |
| Cabo San Lucas (N 22°53'45.36" W -109°54'11.49") | 0.25 | 40 | 0 | 15 | 45 | 0 | 0 | 0 |
| Todos Santos (N 23°23'27.715" W-110°12'41.926") | 0.1 | 10 | 15 | 30 | 20 | 15 | 5 | 5 |
| San Pedrito (N 23°23'32.26" W-110°12'40.03") | 0.14 | 0 | 0 | 17 | 65 | 10 | 3 | 5 |
| Santiago (N 23°29'49.708" W-109°47'32.662") | 0.15 | 10 | 25 | 0 | 30 | 10 | 10 | 15 |



Figura 12. Zonas hoteleras y asentamientos humanos, así como las imágenes satelitales donde se aprecia la cercanía de dichos asentamientos al estero San José (a y b) y laguna de Todos Santos (c y d). Fotografías: Jesús Favela, 2016; Bing, 2016.



Figura 13. Ganado equino (a) y bovino (b) presente en el oasis de Santiago, el cual puede afectar los humedales por el sobrepastoreo. Impactos directos sobre la vegetación por la apertura de senderos (a) y corte de carrizal en el estero San José (b). Fotografías: Jesús Favela, 2016.

Discusión

Distribución actual y futura

La distribución actual de la especie corresponde a la región de La Paz y Los Cabos, B.C.S. principalmente. Sin embargo, esta zona enfrenta un gran crecimiento demográfico, lo cual genera diversas problemáticas de conservación para *G. beldingi* (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999). Dicha región, como sitio con las condiciones adecuadas para la especie, se predice que se perderá bajo algunos escenarios de CCG (pesimista 2050 y 2070). En este sentido, otras regiones idóneas que predice la modelación a futuro son las áreas de Comondú, Loreto y Mulegé, al centro del estado de B.C.S. Debido a los cambios que puede enfrentar *G. beldingi* en su distribución es importante considerar estas predicciones en futuros planes de conservación.

Uno de los sitios de mayor importancia para *G. beldingi* es el estero San José, en el cual se obtuvieron la mayor cantidad de registros en el presente estudio; sin embargo, este sitio se encuentra en riesgo por la cercanía de complejos turísticos, resort, zonas hoteleras y la zona urbana. Esta cercanía tiene impactos directos en el estero, como descarga de aguas negras y la presencia de desechos urbanos y agrícolas que contaminan el humedal y favorecen la eutrofización ocasionando serios daños al sistema. Esto degrada la calidad del recurso hídrico dentro del estero, afectando su productividad. Además de estas afectaciones, los asentamientos humanos provocan la pérdida de áreas que son parte de los humedales. Por ejemplo, en el lapso de 1993 a 2005 los humedales de la zona presentaron una pérdida de cobertura vegetal del 80%. Esto fue causado por fenómenos hidrometeorológicos y aprovechamientos ilícitos, así como el azolve de los cuerpos de agua por los depósitos de sedimentos acarreados de las partes altas de la cuenca (Santoyo, 2008). Además, estos sitios están expuestos a eventos estocásticos, como los huracanes. En la zona se han reportado cinco eventos ciclónicos en los últimos años (i.e. 1993, 1995, 1996, 1998 y 2001) que afectaron vegetación de importancia para *G. beldingi*, como los

carrizales, los cuales perdieron un área de 48.3% durante dicho periodo (Santoyo, 2008). Debido a lo anterior es muy probable que las poblaciones de la especie en esta región sean propensas a desaparecer por fluctuaciones demográficas causadas por estos fenómenos (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999).

Por otro lado, la conexión del mar con los esteros permite la desecación parcial de las cuencas por vertimiento de las aguas contenidas hacia el mar. Por ejemplo, la superficie de agua en el estero San José disminuye notablemente llegando hasta un 70%, lo que ocasiona que parte de la vegetación sumergida y los sedimentos queden expuestos al intemperismo (Santoyo, 1989). Además, debido a los nutrientes concentrados, como nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y fosfatos, se reduce el oxígeno y se satura el sistema. Durante este proceso de saturación la vegetación de la laguna se desarrolla rápida y desmesuradamente, provocando la disminución de la superficie del espejo de agua (Santoyo, 1989). Otros cuerpos de agua en Baja California Sur pueden presentar algunas problemáticas similares a las del estero San José. Debido a ello las poblaciones de *G. beldingi* pueden ser afectadas de diversas maneras, como por ejemplo, en la disponibilidad de sitios de anidación y recursos tróficos (Wormworth y Mallon, 2006).

Finalmente, de acuerdo a nuestros resultados, la distribución de la especie cambiará en un futuro localizándose al centro y norte del estado, principalmente en zonas costeras y algunas serranas; sin embargo, es importante considerar la disponibilidad de hábitat. Según estimaciones se espera que los cuerpos de agua presenten una mayor explotación en el futuro por los humanos, debido a un incremento en la demanda del recurso hídrico (CONAGUA, 2014). Además, aunado a ello, el CCG puede tener un efecto en estos cuerpos de agua, pues puede provocar sequías, inundaciones y otras alteraciones de diversos tipos, lo que condicionaría la aparición de perturbaciones ecológicas (Peterson *et al.*, 2002; Barros y Albernaz, 2013). Por todo lo anteriormente dicho la distribución y conservación de *G. beldingi* podría ser crítica en un futuro.

Distancias y ángulos de distribución

Un factor que hace más vulnerable a la mascarita Bajacaliforniana es que, según los resultados de los análisis de distribución, esta especie no parece tener la capacidad de colonizar o desplazarse a nuevos sitios de reproducción, posiblemente por no poder cruzar el semidesierto existente entre oasis y podría tener apego a sus sitios de crianza (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999). Por lo anterior, las poblaciones en general pueden ser pequeñas y aisladas. Rodríguez-Estrella *et al.*, en 1999, reporta en su estudio que *G. beldingi* nunca se observó a más de 50 m de los oasis o tulares, por lo que posiblemente la especie tiene poca capacidad de dispersión. Sin embargo, Erikson *et al.*, en 2008, menciona que se subestima la capacidad de dispersión de la especie, ya que se ha observado a *G. beldingi* a 140 y 200 km fuera de su rango de cría conocido en Guerrero Negro y Bahía Tortugas, respectivamente. De igual forma este autor reporta que *G. beldingi* ha sido observada a una distancia de 400 km aproximadamente fuera de sus rangos conocidos en San José del Cabo, así mismo indica que el hábitat de esta especie ha sido dinámico y disyuntivo, involucrando muchos parches pequeños de cuerpos de agua emergentes que pueden desarrollarse y desaparecer rápidamente, factores que la especie debe reconocer para poder dispersarse a fin de localizar y colonizar un conjunto de ubicaciones de anidación adecuadas.

Respecto a las distancias y ángulos de distribución de *G. beldingi* obtenidas en el presente estudio, el enfoque general por periodos fue el que resulto con mayores distancias, ya que se consideró toda el área de distribución de la especie, en el estado de Baja California Sur. Sin embargo, este patrón de distribución no es probable en la especie, debido a la discontinuidad de hábitat, las distancias entre cuerpos de agua y la ausencia de estos en diversas zonas, lo que impide que se lleven a cabo grandes desplazamientos de la especie (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999). Por su parte el enfoque entre localidades indica que la especie tiene cierta capacidad de desplazarse entre los sitios, en este enfoque las

distancias de desplazamientos fueron grandes, sin embargo, no en todos los casos podría cumplirse este patrón, ya que igual que el enfoque anterior, la gran discontinuidad del hábitat, así como las distancias grandes entre localidades o sitios y la usencia de humedales podrían impedir los desplazamientos de *G. beldingi*.

Respecto al enfoque por región, este fue el que mejor se ajustó, ya que presentó una mejor disposición y relación espacial en cuanto a los registros y áreas continuas de hábitat, resultando distancias hipotéticas mejor ajustadas a los patrones de distribución de la especie. Considerando lo anterior solo fue posible realizar el análisis para dos regiones (Caguaño-Santiago-Sta. Cruz-La Ribera y Todos Santos-San Pedrito). La región de Caguaño-Santiago-Sta. Cruz-La Ribera es de particular interés, ya que existen diversos cuerpos de agua, e incluso se han descubierto poblaciones reproductoras en la zona (Erickson *et al.*, 2008). En cuanto al enfoque por localidad, las distancias de distribución resultaron las más reducidas respecto a los otros enfoques considerados. Este patrón solo se cumple en algunos casos en sitios donde no hay continuidad de hábitat y la especie ha quedado aislada, como podría ser el caso del Estero San José.

Los cuatro enfoques considerados para estos análisis indican que no hay un patrón particular que pueda aplicar en general para la especie, pues depende mucho de la continuidad del hábitat presente entre zonas, regiones o localidades, por lo que las distancias y distribución de *G. beldingi* puede responder de manera diferente en cada caso. El enfoque que más se ajustó considerando la disposición espacial de los registros, continuidad de hábitat y la biología de la especie, fue el regional seguido por el de localidad. Estos enfoques de distribución muestran una aproximación a lo que puede darse en cuanto a los desplazamientos de *G. beldingi*, considerando diferentes panoramas posibles para la especie. En el futuro sería conveniente usar tecnología de seguimiento satelital para determinar los desplazamientos de la especie en la región, sin embargo, es una tecnología

costosa, por lo cual sería poco viable, no obstante, existe la alternativa de realizar estudios genéticos que permitan determinar las tasas de dispersión y otros fenómenos biológicos.

Cambio de uso de suelo y estado de conservación del hábitat

Actualmente la región de los Cabos, al igual que en otras zonas de Baja California Sur, ha presentado un incremento en la tasa de cambio de hábitat en los últimos años debido a diferentes actividades humanas, como agricultura, pastoreo y turismo. En una situación especial están los oasis del sur en la zona de Los Cabos, pues tienen mayor grado de perturbación y amenazas relacionadas con el impacto humano en comparación con los oasis del norte del estado (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999). Esto fue corroborado en el presente estudio, donde el área de San José del Cabo a Cabo San Lucas es la que presenta cambios más drásticos, en relación al uso de suelo, resaltando principalmente el aumento de los asentamientos humanos.

La causa de esta degradación ambiental es provocada por el aumento poblacional en la zona y la actividad hotelera. La población del municipio de Los Cabos representaba en 1990 el 13.8% del total de habitantes del estado, pero para el 2010 concentraba el 37.4% de los habitantes (238,487 habitantes; SDE, 2013), presentando una densidad poblacional de 66 habitantes/km², lo que lo hace el municipio más densamente poblado de Baja California Sur (SDE, 2013; CONAPO, 2016). La tasa de crecimiento de Los Cabos alcanzó un 8.2%, siendo una de las más altas del país. Para la localidad de San José del Cabo su población se duplicó y para Cabo San Lucas esta rebasó el 80% en los últimos años (INEGI, 2015; SDE, 2015).

Por otra parte, la infraestructura hotelera ha crecido en los últimos años y la región de Los Cabos concentra actualmente el 75% de las habitaciones de hotel de Baja California Sur (SDE, 2015; INEGI, 2015, 2016). La industria hotelera sigue creciendo, actualmente está en desarrollo el corredor San José del Cabo-Cabo San Lucas, donde se han impactado

y sustituido las dunas costeras y oasis, por casas, hoteles y complejos turísticos, siendo una de las principales amenazas para la conservación de diversas especies (Rodríguez-Revelo *et al.*, 2014). Dicho crecimiento impacta negativamente la conservación e incrementa el riesgo de extinción de *G. beldingi* en la región.

A pesar de la reducción y pérdida de hábitat por actividades humanas, en algunos casos se puede compensar dicha pérdida mediante la creación de áreas artificiales que puedan ser usadas por la especie (Schnack *et al.*, 2000), para ello podrían usarse las Lagunas de Oxidación en La Paz, B.C.S., donde se ha registrado a *G. beldingi* (Zamora-Orozco *et al.*, 2007), y un humedal establecido en el centro del distrito hotelero en Cabo San Lucas (Erickson *et al.*, 2008). En este sentido Erickson *et al.* (2008) menciona que es posible que en algunos casos los embalses de origen antropogénico, como el que ocurre en el río La Purísima, pueden ser usados para formar hábitat útil para esta especie. De igual forma Erickson y Rodríguez-Estrella (1999) indican que una alternativa viable es la creación de hábitat potencial usando estanques artificiales que están asociados con los campos de golf y el desarrollo de resorts o complejos turísticos. Quizá de esta manera algunas actividades humanas puedan resultar compatibles con la conservación.

Por su parte los oasis en Baja California Sur deben ser considerados en los planes de manejo u ordenamiento ecológico, como sitios prioritarios de conservación, debido a su importancia biológica, ecológica, social, cultural e histórica (Carmona *et al.*, 2003). Actualmente no existe un programa a largo plazo para la conservación o monitoreo de la especie, sin embargo, han existido algunos proyectos como el de Pronatura Noreste, donde se realizaron labores de investigación y conservación de *G. beldingi* y del estero San José del 2008 al 2010 (Pronatura, 2010; Palacios y Galindo-Espinosa, 2010).

A pesar de que la especie se reporta extinta en algunas localidades, las problemáticas que enfrenta y lo vulnerable que puede ser, su categoría de conservación en la IUCN fue cambiada en 2017, pasando de en peligro de extinción a vulnerable (IUCN,

2018). Sin embargo, si la alteración del hábitat continúa o aumenta, y si los eventos estocásticos se presentan de manera constante y simultánea diversas poblaciones podrían ser afectadas, y tendrían alta probabilidad de extinción, por lo que la especie sigue en grave riesgo.

Finalmente, es necesario explorar sitios potenciales donde *G. beldingi* puede estar presente en Baja California Sur. Esto es porque existen lugares que no han sido evaluados y en donde pueden encontrarse poblaciones de la especie, como las descubiertas hace una década en Las Cuevas y San Dionisio en el sureste de Baja California Sur (Erickson *et al.*, 2008; Pronatura, 2010; IUCN, 2018).

Literatura citada

Barros DF, Albernaz ALM. 2013. Possible impacts of climate change on wetlands and its biota in the Brazilian Amazon. *Journal of Biology*. 74(4):810-820.

BirdLife International 1998. Endemic Bird Areas of the world: priorities for biodiversity conservation, BirdLife International, Cambridge, UK: BirdLife Conservation Series No. 7.

BirdLife International. 2018. Species factsheet: *Geothlypis beldingi*. (consultado el 7 de enero de 2018). <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/Altamira-Yellowthroat>.

Carmona R, Brabata G, Cuéllar-Brito A, González-Peralta A. 2003. Observaciones recientes de aves en el oasis de La Purísima, Baja California Sur, México. *Animales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología*. 74(1):43-52.

Colección de aves de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2016. (consultado el 30 de agosto de 2016). <https://datosabiertos.unam.mx/biodiversidad/>.

(CONAGUA) Comisión Nacional del Agua. 1992. Ley de Aguas Nacionales. México, DF. (consultado el 16 de mayo de 2017).

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-4-13.pdf>.

(CONAGUA) Comisión Nacional del Agua. 2014. Estadísticas del Agua en México. México, D.F. (consultado el 3 de mayo de 2017). <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>.

(CONABIO) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2009. Biodiversidad Mexicana. (consultado el 16 de mayo de 2017). <http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/pdf/fragmentacion.pdf>.

(CONABIO) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2017. Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. (consultado el 20 de febrero de 2017) <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.

(CONAPO) Consejo Nacional de Población. 2016. Proyecciones de la Población de México 2010-2050. Baja California Sur. (consultado el 17 de enero de 2017). http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos.

Díaz LAR. 2004. Agricultura General. (consultado el 17 de mayo de 2017). <https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/AGRICULTURA+GENERAL+ING+OVIEDO.pdf>.

Dirzo R, Garcia MC. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in southeast Mexico. *Conservation Biology*. 6(1):84-90.

eBird. 2016. eBird: Una base de datos en línea para la abundancia y distribución de las aves. eBird, Ithaca, New York. (consultado el 20 de agosto de 2016). <http://www.ebird.org>.

Erickson RA, Hamilton RA, Mlodinow SG. 2008. Status review of Belding Yellowthroat *Geothlypis beldingi*, and implications for its conservation. *Bird Conservation International*. 18(03):219-228.

- Escalante-Pliego P, Rodríguez-Estrella R. 2010. Ficha técnica de *Geothlypis beldingi*. Fichas sobre las especies de aves incluidas en Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Parte 1. Instituto de Biología, UNAM. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W007. México, D.F. (consultado el 18 de agosto de 2016). <http://bios.conabio.gob.mx/especies/8013852.pdf>.
- García de la Puente OJE, Cruz CPR. 2015. Potencial económico del aviturismo en Los Cabos. *Revista global de negocios*. 3(1):29-43.
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF) 2016. (consultado el 25 de agosto de 2016) <https://www.gbif.org/>.
- Grismer LL, McGuire JA. 1993. The oases of central Baja California, Mexico, part I: A preliminary account to the relict mesophilic herpetofauna and the status of the oases. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*. 92:2-24.
- Harris LD. 1984. *The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity*. University of Chicago Press. Chicago, Illinois.
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2015. Anuario Estadístico y Geográfico Baja California Sur. Pp. 385.
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2016. Anuario Estadístico y Geográfico Baja California Sur. Pp. 412.
- Íñigo-Elías, Enkerlin. 2002. Amenazas, estrategias e instrumentos para la conservación de las aves. En *Conservación de aves: experiencias en México*. Gómez de Silva H, Oliveras de Ita A. (Eds). CIPAMEX/CONABIO/NFWF. México D.F. p. 86-125.
- Jiménez ML, Nieto-Castañeda IG, Correa-Ramírez MM, Palacios-Cardiel C. 2015. Las arañas de los oasis de la región meridional de la península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86:319-331.
- Jiménez-Jiménez ML, Palacios-Cardiel C. 2010. Scorpions of desert oases in the southern Baja California Peninsula. *Journal of Arid Environments*. 74:70-74.

- León DLJL, Domínguez RC, Domínguez ML, Navarro JJP. 1997. FLORISTIC COMPOSITION OF THE SAN JOSÉ DEL CABO OASIS, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO. SIDA. 17(3):599-614.
- Luja MVH, Rodríguez-Estrella R. 2014. Evaluación del riesgo de extinción de *Pseudacris hypochondriaca curtade* acuerdo al numeral 5.7 de la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010 y propuesta para la inclusión de la especie. Pp.17.
- Martínez ARG. 2000. Teoría económica de la producción ganadera. Universidad de Córdoba. Servicio de Publicaciones. (consultado el 17 de mayo de 2017). http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/14_13_06_Teoria_economica.pdf.
- Palacios E, Galindo-Espinosa D. 2011. Plan de acción para la conservación del Mascarita Peninsular (*Geothlypis beldingi*) y sus hábitats en Baja California Sur, México. Versión 1. Informe no publicado. Pronatura Noroeste, A.C., y Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (Unidad La Paz). La Paz, Baja California Sur. Pp. 14.
- Pérez-García JM, Botella RF, Galina TP, Arnaud FG, Pérez II, Giménez CA. 2013. Fauna: Vertebrados. En Evocando el edén conocimiento, valoración y problemática del oasis de los Comondú. Cariño M. (Ed). p. 139-160.
- Peterson AT, Ortega-Huerta MA, Bartley J, Sánchez-Cordero V, Soberón J, Buddemeier RH, Stockwell DRB. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. Nature. 416: 626-629.
- Pronatura Noroeste, A.C. 2010. Plan de Conservación del Estero de San José del Cabo, B.C.S., México. La Paz, Baja California Sur. Pp. 54.
- Ríos-Muñoz CA, Navarro-Sigüenza AG. 2009. Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. Ornitología Neotropical. 20:491-509.

- Rodríguez-Estrella R. 2005. Terrestrial Birds and Conservation Priorities in Baja California Peninsula. USDA Forest Service. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191.
- Rodríguez-Estrella R. 2007. Land use changes affect distributional patterns of desert birds in the Baja California peninsula, Mexico. *Diversity and distribution*. 13:877-889.
- Rodríguez-Estrella R, Delgado LR, Diez EPDB, Blanco G. 1999. Belding's yellowthroat: current status, habitat preferences and threats in oases of Baja California, Mexico. *Animal Conservation*. 2:77-84.
- Rodríguez-Revelo N, Espejel I, Jiménez-Orocio O, Martínez ML, Infante MD, Monroy R. 2014. Ficha técnica Baja California Sur. p. 159-168.
- Salgado UIH. 2000. Suavización no Paramétrica para Análisis de Datos. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 1-234.
- Santos T, Tellería JL. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*. 15(2):3-12.
- Santoyo H. 2008. Ficha técnica Manejo y gestión de la Reserva Ecológica Estero de San José. Universidad autónoma de Baja California Sur. Pp.42.
- Santoyo H, Ramírez S. 1989. Impacto ambiental y alternativas de recuperación de un ambiente lagunar costero en Baja California Sur. Res. III Congr. Venezolano sobre Ciencias del Mar. 46.
- Schnack JA, de Francesco FO, Colado UR, Novoa ML, Schnack EJ. 2000. Humedales antrópicos: su contribución para la conservación de la biodiversidad en los dominios subtropical y pampásico de la Argentina. *Ecología Austral*. 10:63-80.
- (SDE) Secretaria de Promoción y Desarrollo Económico. 2013. Los Cabos, información Estratégica. Dirección de informática y estadística. Pp. 35.
- (SDE) Secretaria de Promoción y Desarrollo Económico. 2015. Los Cabos, Información Estratégica. Dirección de informática y estadística. Pp. 52.

- Secretaría de Servicios Parlamentarios. 1993. Ley General de Asentamientos Humanos. Última reforma publicada DOF 24-01-2014. México, D.F. (consultado el 16 de mayo de 2017). http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/lgah/LGAH_abro.pdf.
- (SEMARNAT) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México, DF.
- (SEMARNAT) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2014. Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial. (consultado el 16 de mayo de 2017). <http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos-solidos-urbanos>.
- Soberón J, Osorio-Olvera L, Peterson T. 2017. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88:437-441.
- The IUCN Red List of Threatened Species. 2018. *Geothlypis beldingi*. (consultado el 13 de febrero de 2018). <http://www.iucnredlist.org/details/22721842/0>.
- Vaillant L. 1894. Sur une collection de poissons recueillie en Basse-Californie et dans le Golfe par M. Léon Diguët. *Bull. Soc. Philomath. Paris, Series*. 3(6):69-75.
- Vázquez ME. 2016. Efecto de la desnutrición sobre la composición y organización de las fibras de los fascículos del musculo extensor digitorum longus de la rata (*Rattus norvegicus*) (tesis de licenciatura). Mineral de la Reforma, Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Velázquez MA, Ruíz GC. 2011. Índice de calidad ambiental aplicado en el Oasis de San Ignacio, Baja California Sur, México. *Investigación ambiental*. 3(1):30-38.
- VertNet. 2016. (consultado el 25 de agosto de 2016). <http://vertnet.org/>.

Zamora-Orozco EM, Carmona R, Brabata G. 2007. Distribución de aves acuáticas en las lagunas de oxidación de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México. *Biología Tropical*. 55(2):617-626.

Capítulo IV.

Geothlypis speciosa

Introducción

La pérdida de hábitat y el cambio climático son una amenaza para la conservación de la biodiversidad (Sekercioglu *et al.*, 2008; 2012; Ackerly *et al.*, 2010). Estos dos factores pueden tener diversos efectos en las especies, desde cambios en su distribución y abundancia, hasta provocar su extinción (Sekercioglu *et al.*, 2004; Thomas *et al.*, 2004). Las aves son uno de los grupos más vulnerables ante dichos factores. Para evaluar el efecto del CCG se han utilizado MNE. Con ello es posible determinar prioridades de conservación (Peterson, 2006; Illoldi-Rangel y Escalante, 2008).

Uno de los ecosistemas más amenazados son los humedales. En México, se estima un rango del 35-62.1% de humedales deteriorados, transformados o perdidos, esto debido a las actividades antropogénicas, poniendo en riesgo a las especies que los habitan (Tabilo, *et al.*, 1996; Blanco 1999; Sánchez *et al.*, 2009; Landgrave y Moreno-Casasola, 2012; Zepeda *et al.*, 2012).

La mascarita del Lerma (*Geothlypis speciosa*) es una especie que habita en algunos humedales de la Faja Volcánica Transversal (FVT) y es endémica a la región. Presenta una distribución histórica en los lagos de Pátzcuaro y Cuitzeo, en Michoacán, lago de Yuriria y presa Solís en Guanajuato, lago de Zumpango, Lerma y Texcoco en el estado de México (IUCN 2018). Las poblaciones son aisladas, reducidas y restringidas, por lo que son propensas a grandes fluctuaciones (Escalante-Pliego, 2010).

La mascarita del Lerma se encuentra en peligro de extinción a nivel mundial y en México, de acuerdo a la lista roja de la IUCN (2018) y la NOM-059-2010 (SEMARNAT 2010). Esta especie enfrenta fuertes amenazas de conservación debido a presión demográfica, agricultura, ganadería, contaminación y descargas de aguas residuales en los humedales donde habita, así como el aprovechamiento del recurso hídrico de dichos humedales, lo cual ha provocado el deterioro, reducción y pérdida de su hábitat (Martínez 1993; Maderey y Jiménez, 2001; CONAGUA 2007; 2014; Bravo *et al.*, 2008; Vargas y

Guzmán 2009; Gonzales, 2012; Zepeda *et al.*, 2012; CONAPO 2014; Lisvet y Carbajal 2015; IUCN, 2018).

El objetivo del presente capítulo es determinar el área de distribución actual y a futuro de *G. speciosa* considerando el efecto del cambio climático y del uso de suelo. Obtener esta información podría ayudar en la conservación de dicha especie.

Método

Se siguió el método indicado previamente en el capítulo II. Específicamente se utilizó la misma metodología para definir los registros históricos, realizar el trabajo de campo, los modelos de distribución actual y a futuro, así como la evaluación del hábitat. De igual forma se utilizó el método adicional indicado en el capítulo III, para la descripción de la especie, el modelo de nicho ecológico actual en el espacio ambiental, análisis de cambio de uso de suelo y las funciones de distribución.

Respecto al trabajo de campo con esta especie se visitaron diversas localidades en los estados de México y Michoacán (ver cuadro 12).

Mascarita del Lerma (*Geothlypis speciosa*; Scarlet, 1859)

Para esta especie se reporta una distribución histórica en los estados de México y Michoacán (IUCN, 2018). Dicha especie no ha sido censada en campo desde los años ochenta (Stattersfield *et al.*, 1998). Su área de distribución es de 500 km² y se estima una población total de 1,667 a 6,666 individuos, basado en una estimación de registros conocidos, descripción de abundancia y tamaño de rango (BirdLife, 2018). Se encuentra en humedales con plantas de los géneros *Typha* (Typhaceae) y *Scirpus* (Cyperaceae). Se alimenta de pequeños insectos y se reproduce de marzo a junio (Escalante-Pliego, 2010). La mascarita del Lerma enfrenta fuertes presiones ambientales en su hábitat, debido al crecimiento urbano y cambio de uso de suelo (IUCN, 2018).

Modelos de distribución actual y a futuro

Para la generación de los modelos al presente se consideró la provincia de la Faja Volcánica Transversal y las variables de temperatura media anual, estacionalidad de la temperatura, rango de temperatura anual, temperatura media del trimestre más húmedo, temperatura media del trimestre más seco, temperatura media del trimestre más cálido, precipitación del trimestre más cálido y los cuerpos de agua. Para los modelos a futuro se utilizaron las mismas variables, a excepción de los cuerpos de agua.

Modelo de nicho ecológico en el espacio ambiental

Para generar el modelo de nicho actual en el espacio ambiental, se utilizaron las variables de estacionalidad de la temperatura, temperatura media del trimestre más seco y la del trimestre más cálido.

Resultados

Registros históricos

Se obtuvo un total de 1,073 registros históricos, de los cuales se mantuvieron 98 registros depurados con coordenadas únicas, y solo 53 registros permanecieron al realizar la validación de registros por pixel (Cuadro 11).

Cuadro 11. Registros obtenidos de diversas fuentes como GBIF (2016), eBird (2016), colección de aves de la UNAM (2016), VertNet (2016), así como los registros totales y depurados para *G. speciosa*.

| Especie | GBIF | eBird | Colección UNAM | VertNet | Registros totales | Registros depurados |
|--------------------|------|-------|----------------|---------|-------------------|---------------------|
| <i>G. speciosa</i> | 523 | 160 | 50 | 340 | 1,073 | 98 |

Registros de campo

En el estado de México el sitio que resulto con más observaciones para la especie fue San Pedro Tultepec (25 registros), seguido de Almoloya del Río (24) y San Nicolás Peralta (8)

(Cuadro 12). Respecto al estado de Michoacán solo se observó a la especie en las localidades de Erongarícuero y Arocutín (Pátzcuaro) con 11 y 27 registros respectivamente (Cuadro 12; Fig. 14). En cuanto a las especies de plantas utilizadas por *G. speciosa* en las localidades de ambos estados, solo se registraron dos géneros; *Scirpus* (Cyperaceae) con 57 registros y *Typha* (Typhaceae) con 38.

Cuadro 12. Localidades visitadas para los muestreos de *G. speciosa*, se indican los registros y puntos geográficos obtenidos de la especie en el estado de México y Michoacán durante febrero y marzo del 2017.

| Estado | Municipio | Localidad y coordenadas | Altitud m.s.n.m. | Individuos observados | Puntos obtenidos (coordenadas) | |
|-----------|----------------------|--|------------------|-----------------------|--------------------------------|----|
| México | Lerma | San Pedro Tultepec (N19°15'28.9" W-99°30'23.2") | 2,590 | 25 | 11 | |
| | | San Nicolás Peralta (N19°21'32.4" W-99°30'59.2") | 2,590 | 8 | 5 | |
| | Almoloya del Río | Almoloya del Río (N19°09'26.9" W-99°29'34.1") | 2,600 | 24 | 11 | |
| Total | 2 | 3 | | 57 | 27 | |
| Michoacán | Pátzcuaro | Isla de Janitzio (N 19°34'20.40" W-101°39'0.84") | 2,140 | 0 | 0 | |
| | | Isla de Tecuena (N 19°35'10.99" W-101°39'0.87") | 2,080 | 0 | 0 | |
| | | Muelle de las garzas y principal (N 19°32'50.91" W-101°36'48.34") | 2,140 | 0 | 0 | |
| | Erongarícuero | Erongarícuero (N 19°35'06.1"W -101°42'34.3") | 2,084 | 11 | 4 | |
| | | Arocutín (N 19°33'35.5" W -101°41'28.0") | 2,052 | 27 | 14 | |
| | Quiroga | San Jerónimo Purenchecuaró (N 19°40'31.20" W -101°36'26.15") | 2,040 | 0 | 0 | |
| | Tzintzuntzan | Tzintzuntzan (N 19°37'59.61" W -101°33'55.14") | 2,047 | 0 | 0 | |
| | | Santiago Tzipijo (N 19°33'59.56" W- 101°38'9.88") | 2,040 | 0 | 0 | |
| | | Ihuatzio (N 19°33'50.08" W -101°37'5.61") | 2,056 | 0 | 0 | |
| | Cuitzeo del Porvenir | Cuitzeo del Porvenir (N 19°57'48.59" W -101° 8'47.64") | 1,837 | 0 | 0 | |
| | | San Agustín del Pulque (N 19°57'41.91" W -101° 3'42.98") | 1,841 | 0 | 0 | |
| | Santa Ana Maya | Santa Ana Maya (N 19°59'50.65" W -101° 1'43.89") | 1,840 | 0 | 0 | |
| | Queréndaro | Queréndaro (N 19°48'36.80" W -100°52'30.76") | 1,840 | 0 | 0 | |
| | Total | 7 | 13 | | 38 | 18 |



Figura 14. Registros de *G. speciosa* a orillas del lago Pátzcuaro, en la localidad de Eronguarícuaro, Michoacán, haciendo uso de *Scirpus* sp. (a) y haciendo uso de *Typha* sp. en la ciénega de Chimaliapan, en San Pedro Tultepec, Lerma, estado de México (b). Fotografías: Jesús Favela, 2017.

Distribución geográfica actual

La distribución histórica de *G. speciosa* abarca la región de los lagos en Michoacán y el área de las ciénegas del Lerma en México (Fig. 15a). Se obtuvieron registros diversos a lo largo dichas regiones, las cuales se ubican dentro de la provincia de la Faja Volcánica Transversal (FVT). La mayor cantidad de registros se obtuvo para la región del lago de Pátzcuaro en Michoacán y las ciénegas del Lerma, en el estado de México (Fig. 15b).

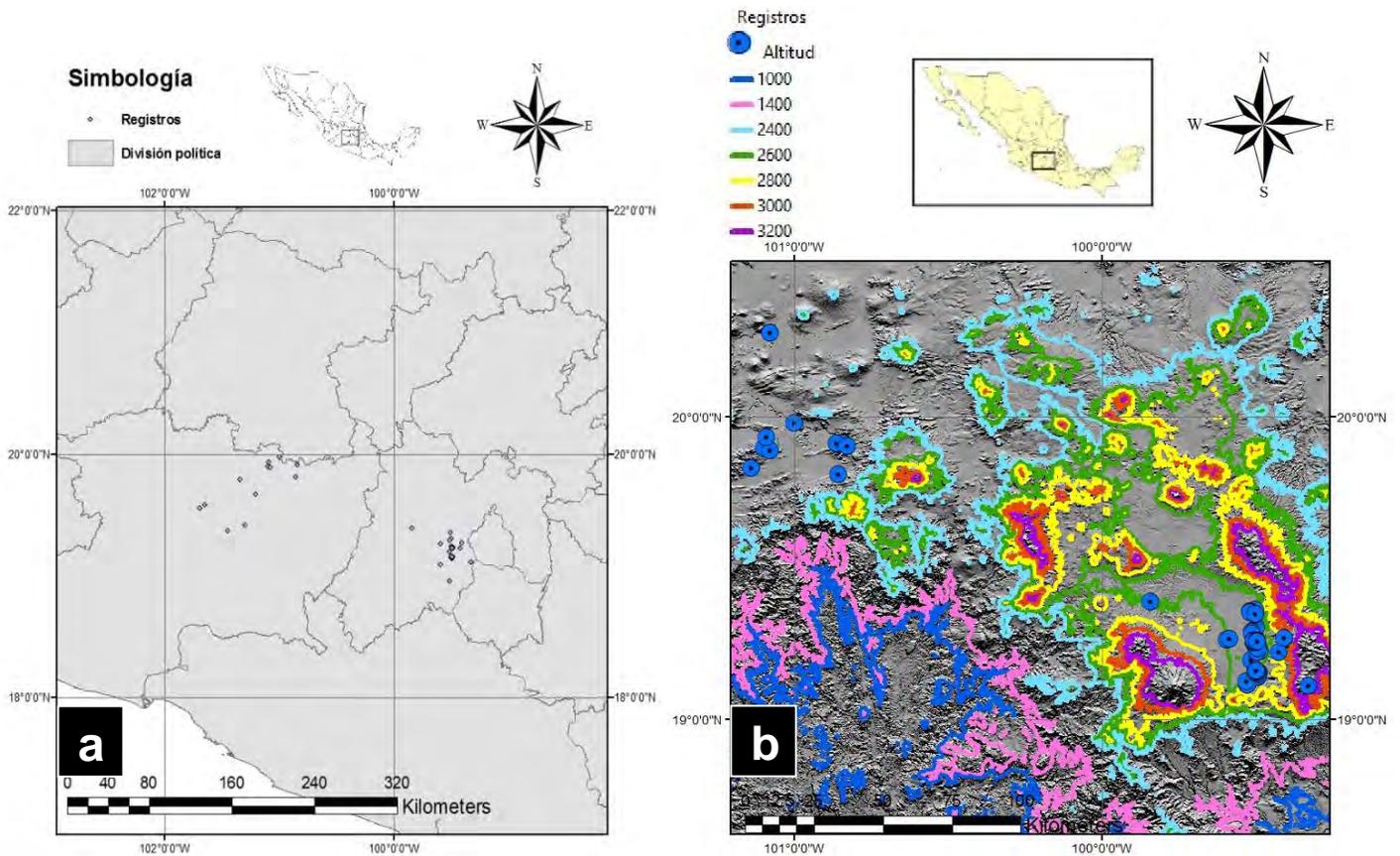


Figura 15. Distribución geográfica de *G. speciosa* en Michoacán y México. Se presentan todos los registros obtenidos de la especie (a) y el modelo digital de elevación de la zona donde se ubica la mayor cantidad de registros de la especie (b).

Modelo de distribución actual

El modelo seleccionado presento un valor de AUC de 0.97. La zona que resultó con condiciones idóneas para la presencia de la especie abarco el área de los lagos de Pátzcuaro y Cuitzeo, las ciénegas del Lerma, y los valles aledaños en el estado de México. Dicha zona ocupa un área de 9,188 Km² (Fig. 16a).

Modelo de nicho ecológico en el espacio ambiental

El modelo indica un nicho fundamental muy reducido. El elipsoide obtenido es muy pequeño y muchos puntos quedan fuera de este. Por su parte el nicho realizado también es reducido, encontrándose muy pocos puntos idóneos (Fig. 16b).

Modelos de distribución a futuro

El modelo seleccionado presentó un valor de AUC de 0.96. El modelo optimista del 2050 indica que las áreas como las ciénegas del Lerma y el lago de Cuitzeo se mantienen respecto a la distribución actual, por su parte el área del lago Pátzcuaro se pierde. Se predicen nuevas áreas como las aledañas en el lago de Chapala, en Jalisco, y los valles entre México y Puebla. Esta zona ocupa un área de 16,284 km² (Fig. 16c). En cuanto al modelo optimista del 2070 se pierden las áreas de Cuitzeo y Pátzcuaro, pero se presentan nuevas áreas desde el valle de Toluca, pasando por México, Puebla y Tlaxcala en mayor medida. Dicha área ocupa 27,038 km² (Fig. 16d). En el modelo pesimista para el 2050 la región de Cuitzeo y Pátzcuaro no será idónea y se mantendrán las condiciones para la especie principalmente en el área del valle de Toluca, incluidas las ciénegas del Lerma. Esta área predicha es de 15,614 km² (Fig. 16e). Respecto al modelo pesimista del 2070 se pierden zonas en el valle de Toluca y las zonas aledañas en México, sin embargo, aparecen diversas áreas idóneas en el norte del estado de Puebla (Fig. 16f). El área predicha para este modelo ocupa 13,184 km². Los modelos a futuro en general predicen ganancia de área respecto al modelo actual.

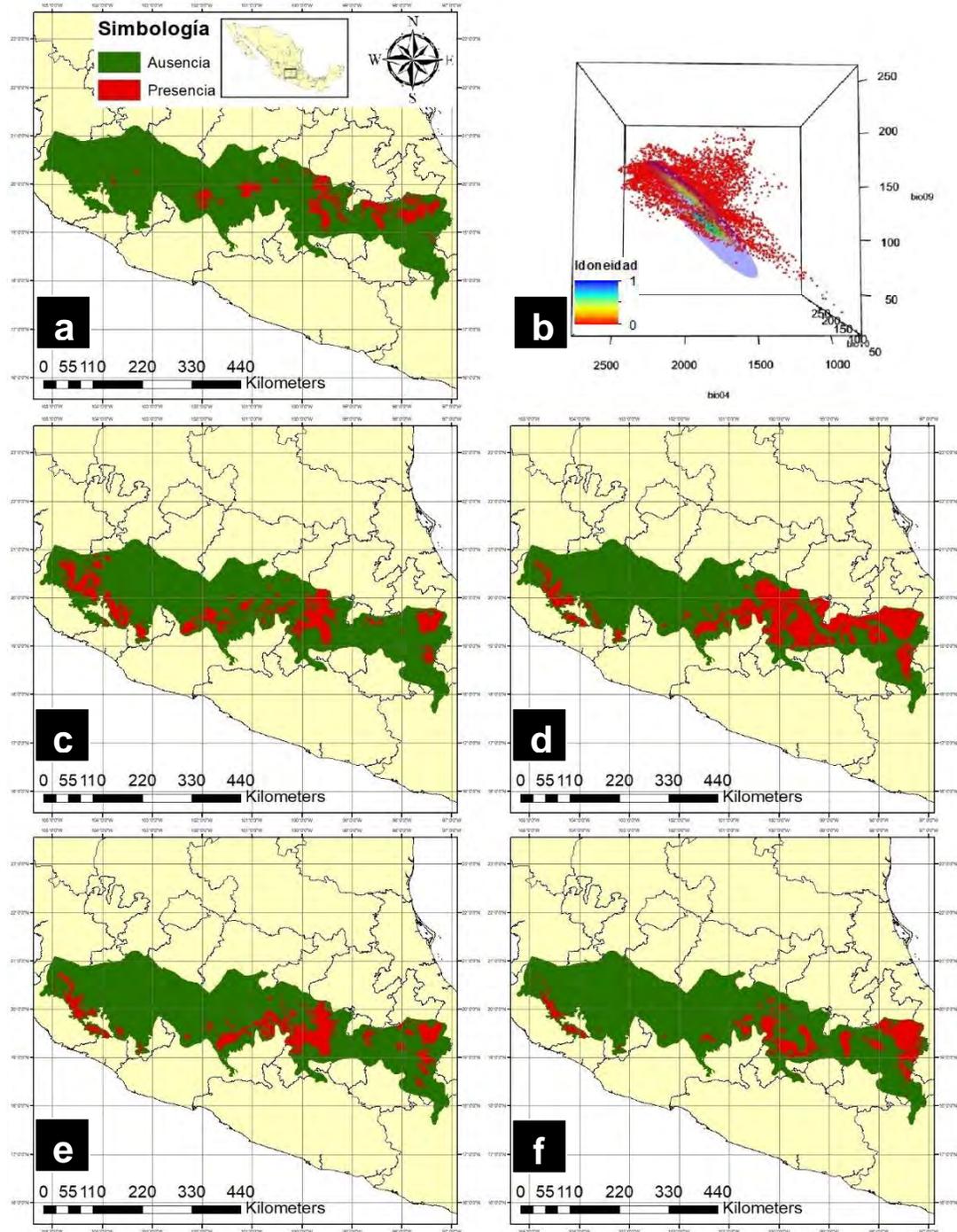


Figura 16. Distribución de *G. speciosa* en México: actual (a); futura para el escenario optimista del 2050 (c) y 2070 (d); futura para el escenario pesimista del 2050 (e) y 2070 (f). Se indica el área de ausencia (verde) y de presencia (rojo) para cada modelo. Modelo actual de nicho en el espacio ambiental (b), en el cual *G. speciosa* presenta un nicho fundamental muy reducido (elipsoide), de igual forma el nicho realizado (puntos azules) es reducido. La coloración de los puntos indica la idoneidad, desde cero (rojos), a cercano a uno (azules), donde uno indica las mejores condiciones ambientales para la especie.

Distribución con el cambio de uso de suelo y vegetación

El uso de suelo y vegetación durante el periodo de 1997 al 2013 en la región de distribución de *G. speciosa* mostró un incremento de suelo agrícola, el cual paso de 70,552 a 72,676 Km². De igual manera las zonas urbanas presentaron un incremento, pasando de 1,241 a 4,785 en el mismo periodo (Cuadro 13). Para los asentamientos humanos también se presentó un incremento de 657 en 2009 a 1,153 Km² en el 2013. Este crecimiento urbano se ve reflejado en las ciudades y zonas conurbadas de Toluca y México (Fig. 17). Por su parte los popales no están representados y para los tulares se indica una disminución pasando de 248 a 86 Km². La vegetación de tular o popal tiene muy poca representación en esta zona (Cuadro 13; Fig. 17).

Cuadro 13. Principales tipos de suelo y vegetación y su área en km² para la zona de distribución de *G. speciosa* en los periodos de 1997, 2009, y 2013.

| Tipo de suelo o vegetación | Área en Km ² | | |
|----------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| | 1997 | 2009 | 2013 |
| Zona urbana | 1,241.91 | 4,268.34 | 4,785.73 |
| Asentamientos humanos | 0 | 657.69 | 1,153.87 |
| Cuerpos de agua | 2,990.73 | 3,409.24 | 3,616.49 |
| Popales | 0 | 0 | 0 |
| Tulares | 248.74 | 64.00 | 86.21 |
| Agricultura | 70,552.20 | 63,390.79 | 72,676.88 |

Simbología

- Agricultura
- Bosque de encino
- Cuerpo de agua
- Matorral Submontano
- Pastizal halofilo
- Pastizal inducido
- Selva baja caducifolia
- Tular
- Vegetación secundaria arbustiva
- Zona urbana
- Registros



1997

2009

2013

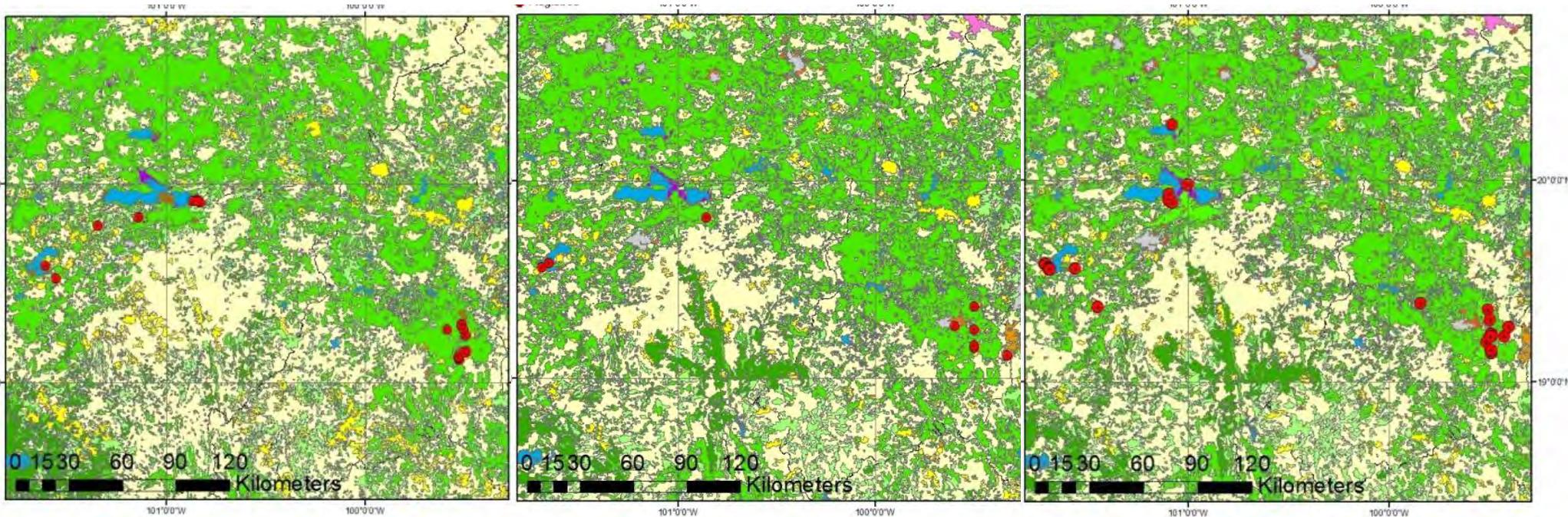


Figura 17. Registros de *G. speciosa* sobre cartas de uso de suelo y vegetación en 1997, 2009 y 2013 en los estados de Michoacán y México.

Funciones de distribución en Michoacán y México

La zona con mayor concentración de registros de *G. speciosa* fue el área de las ciénegas del Lerma en México, seguida del área del lago Cuitzeo y la zona del lago de Pátzcuaro en Michoacán (Fig. 18).

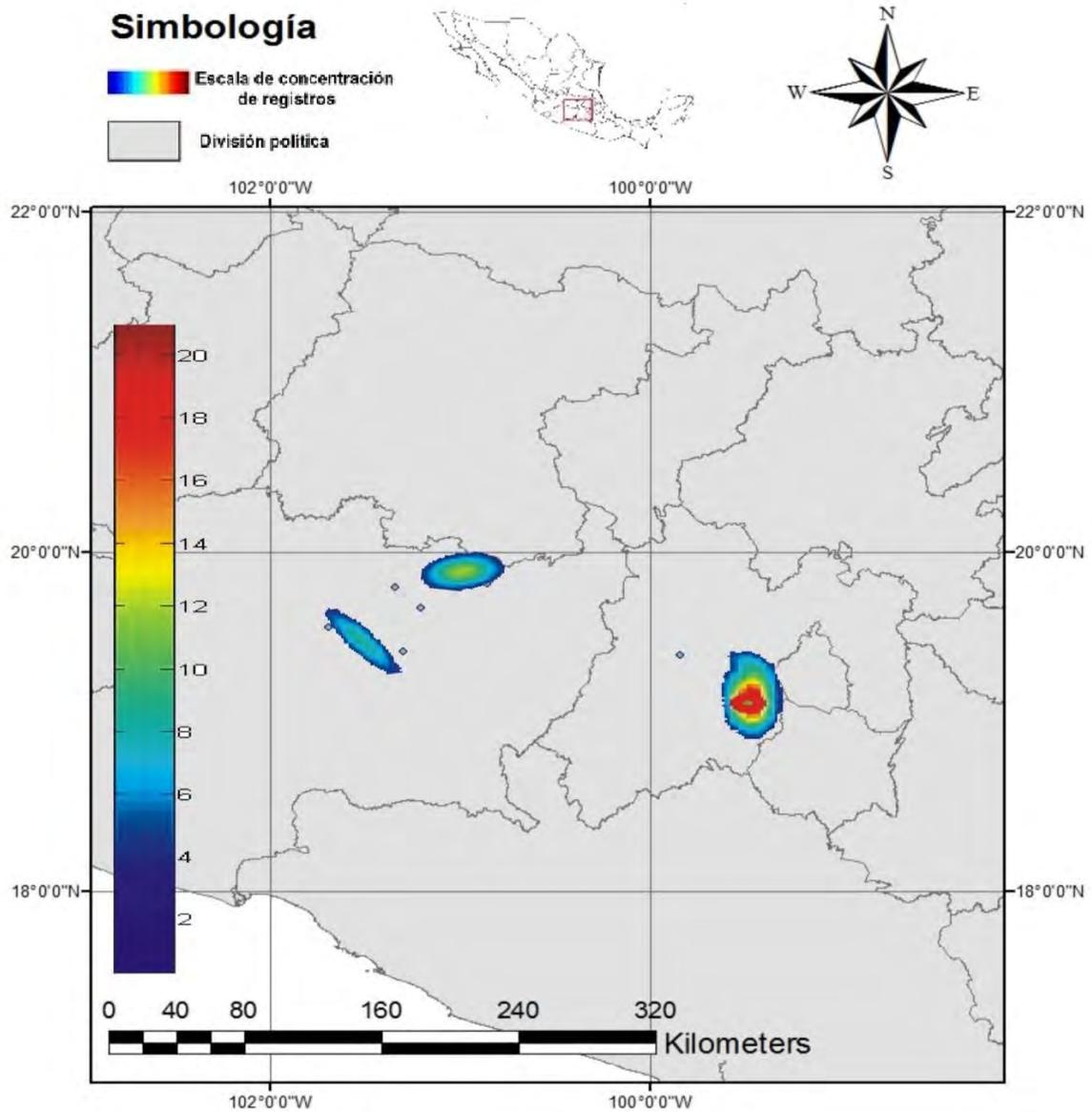


Figura 18. Concentración de la distribución de *G. speciosa* usando funciones de distribución. Los polígonos de colores indican la concentración espacial de registros de la especie en Michoacán y México.

Distancias y ángulos de distribución

Enfoque general por periodos

Las mayores distancias de desplazamiento de *G. speciosa* fueron para los periodos de 2009 a 2013 y 1997 a 2013, con 34 y 24 km respectivamente (Cuadro 14).

Cuadro 14. Distancias y ángulos de los tres periodos considerados (1997, 2009, 2013) en la distribución general de *G. speciosa* en Michoacán y México.

| Periodos | Distancia (Km) | Ángulo |
|-----------|----------------|--------|
| 1997-2009 | 10.09 | 6.18 |
| 1997-2013 | 24.05 | 3.22 |
| 2009-2013 | 34.15 | 9.39 |
| \bar{x} | 22.76 | 6.26 |

Enfoque entre localidades

Las menores distancias de movimiento de la mascarita del Lerma entre localidades las presentaron Almoloya-Tultepec y San Nicolás-Tultepec con 3.5 y 10 km respectivamente (Cuadro 15).

Cuadro 15. Distancias y ángulos entre las localidades o zonas independientes consideradas en la distribución de *G. speciosa* en Michoacán y México.

| Sitios | Distancia (Km) | Ángulo |
|------------------------|----------------|------------|
| Almoloya y San Nicolás | 12.626338 | 19.607506 |
| Almoloya y Tultepec | 3.509043 | 9.201891 |
| Cuitzeo y Pátzcuaro | 18.610838 | 33.97557 |
| San Nicolás y Tultepec | 10.199263 | 10.552231 |
| \bar{x} | 9.576354293 | 15.9478676 |

Enfoque por región

La región de Erongarícuaro-Arocutín resulto con una menor distancia de desplazamientos de *G. speciosa* con 2.0 km, por su parte la región de ciénegas del Lerma presento una distancia de 5.2 km de desplazamiento de la especie (Cuadro 16).

Cuadro 16. Distancias y ángulos de las regiones consideradas en la distribución de *G. speciosa* en Michoacán y México.

| Región | Distancia (Km) | Ángulo |
|--------------------------|----------------|----------|
| Ciénegas del Lerma | 5.291839 | 4.651338 |
| Erongarícuaro - Arocutín | 2.047633 | 2.296758 |
| \bar{x} | 3.1917 | 3.2684 |

Enfoque por localidad

Los desplazamientos de la mascarita del Lerma en cada localidad independiente fueron más cortos para Erongarícuaro, seguida de Cuitzeo y Arocutín con 0.7, 1.0 y 2.0 km respectivamente (Cuadro 17).

Cuadro 17. Distancias y ángulos de cada localidad independiente considerada en la distribución de *G. speciosa* en Michoacán y México.

| Sitio | Distancia (Km) | Ángulo |
|---------------|----------------|------------|
| Almoloya | 3.542278 | 20.634754 |
| Cuitzeo | 1.017567 | 19.528483 |
| Erongarícuaro | 0.799608 | 23.062466 |
| Arocutín | 2.002445 | 0.633636 |
| San Nicolás | 3.120377 | 50.508127 |
| Tultepec | 7.072249 | 48.73015 |
| \bar{x} | 2.24306228 | 15.6145234 |

Estado de conservación del hábitat

En los cuerpos de agua visitados durante el trabajo de campo en México y Michoacán existen diversas problemáticas y alteraciones antropogénicas. En la evaluación del hábitat, la agricultura y los asentamientos humanos fueron los usos de suelo de mayor ocupación. Por su parte la vegetación natural más representativa en los sitios de muestreo fueron los cuerpos de agua y tulares (Cuadro 18). Durante el trabajo de campo fueron constatadas diversas problemáticas ocasionada por el crecimiento urbano en los sitios visitados, tales como la deforestación, incendios, agricultura, ganadería, la contaminación por descarga de aguas residuales y residuos sólidos domésticos (Fig. 19 y 20). Por su parte en el Estado de México se observó gran afectación en la ciénega de Chiconahuapan, ya que en ciertas zonas ya no existe agua, ni vegetación de tulares, por lo que está enfrentando un fuerte proceso de desecación (Fig. 19).

Cuadro 18. Localidades visitadas durante el trabajo de campo en los estados de México y Michoacán. Se indica la ubicación (coordenadas), área en km² y el principal tipo de cobertura vegetal o uso de suelo.

| Localidad y coordenadas | Área Km ² | % cobertura vegetal o uso de suelo | | | | | |
|--|----------------------|------------------------------------|-------------|-------|----------------|----------|--------|
| | | Asentamientos humanos | Agricultura | Tular | Cuerpo de agua | Matorral | Bosque |
| Ciénegas de Lerma, México | | | | | | | |
| San Pedro Tultepec (N19°15'28.9" W-99°30'23.2") | 1.38 | 20 | 15 | 65 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolás Peralta (N19°21'32.4" W-99°30'59.2") | 1.51 | 45 | 15 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| Almoloya del Río (N19°09'26.9" W-99°29'34.1") | 3.43 | 0 | 75 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| Lago de Pátzcuaro, Michoacán | | | | | | | |
| Isla de Janitzio y Tecuene (N 19°34'20.40" W-101°39'0.84") | 8.4 | 10 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 |
| Muelle de las garzas y principal (N 19°32'50.91" W-101°36'48.34") | 2.74 | 10 | 80 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| Eronguarícuaro (N 19°35'06.1"W -101°42'34.3") | 2.3 | 0 | 80 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| Arocútín (N 19°33'35.5" W -101°41'28.0") | 0.62 | 5 | 55 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| San Jerónimo Purenchecuaró (N 19°40'31.20" W -101°36'26.15") | 0.36 | 20 | 15 | 0 | 65 | 0 | 0 |
| Tzintzuntzan (N 19°37'59.61" W -101°33'55.14") | 0.32 | 10 | 25 | 0 | 30 | 20 | 15 |
| Santiago Tzipijo (N 19°33'59.56" W- 101°38'9.88") | 0.72 | 5 | 25 | 0 | 70 | 0 | 0 |
| Ihuatzio (N 19°33'50.08" W -101°37'5.61") | 0.29 | 15 | 40 | 15 | 30 | 0 | 0 |
| Lago de Cuitzeo, Michoacán | | | | | | | |
| Cuitzeo del Porvenir (N 19°57'48.59" W -101° 8'47.64") | 3.5 | 50 | 0 | 10 | 40 | 0 | 0 |
| San Agustín del Pulque (N 19°57'41.91" W -101° 3'42.98") | 2.32 | 30 | 0 | 70 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Ana Maya (N 19°59'50.65" W -101° 1'43.89") | 1.5 | 5 | 35 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| Cuerpo de agua de Queréndaro, Michoacán | | | | | | | |
| Queréndaro (N 19°48'36.80" W -100°52'30.76") | 3.25 | 20 | 35 | 0 | 25 | 0 | 20 |



Figura 19. Asentamientos humanos en la ciénega central de Chimaliapan en San Pedro Tultepec, Lerma, Edo. Mex. (a y b). Las ciénegas funcionan como depósitos de aguas residuales y desechos sólidos domésticos, como la de Chiconahuapan en San Nicolás Peralta, Lerma, Edo. Mex. (c y d). Degradación de la vegetación de tular en las ciénegas debido al corte y quema (e); la ciénega de Chiconahuapan es una de las más deterioradas y actualmente enfrenta un proceso de desecación (f). Fotografías: Jesús Favela, 2017.

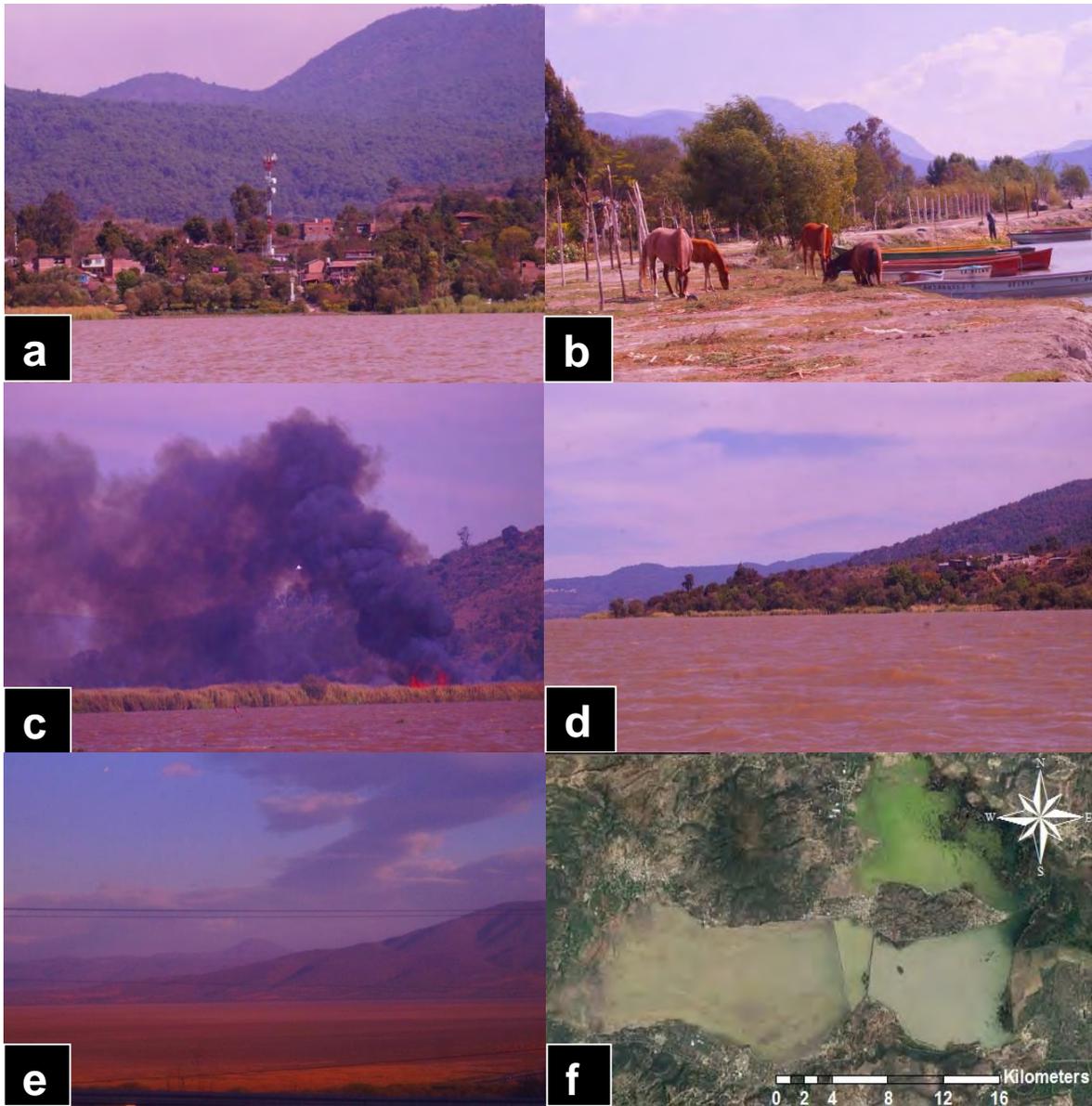


Figura 20. Los asentamientos humanos han presentado un gran crecimiento en los últimos años en los alrededores del lago de Pátzcuaro (a); la ganadería es una de las actividades más comunes en las inmediaciones de los lagos de Cuitzeo y Pátzcuaro (b); los incendios tienen una alta incidencia en el área, sobre todo en primavera y verano debido a las altas temperaturas que se pueden presentar (c). Uno de los problemas más fuertes en el lago de Pátzcuaro es la contaminación, principalmente por descarga de aguas residuales, lo que provoca una alta turbidez y baja calidad de agua, afectando a muchas especies que dependen de este recurso (d); por su parte el lago de Cuitzeo enfrenta un proceso de desecación, pues la mitad del cuerpo de agua se encuentra seca, lo cual ha ocasionado problemas de erosión (e); fotografías: Jesús Favela, 2017. Imagen satelital del lago de Cuitzeo donde se aprecia el área seca del lago (izquierda) (f); google earth, 2016.

Discusión

Distribución actual y futura

La distribución actual de la especie abarca principalmente la región del valle de México, dicha zona actualmente enfrenta diversas problemáticas, la principal es el desarrollo demográfico (Zepeda *et al.*, 2012). Respecto a los sitios en los que aún se puede encontrar la especie como el lago de Pátzcuaro y Cuitzeo en Michoacán, así como las ciénegas del Lerma en México estos enfrentan diversas problemáticas como la explotación agrícola, ganadera, la contaminación por descargas residuales y la presión demográfica (Vargas y Guzmán, 2009; Zepeda *et al.*, 2012). Además de estas problemáticas, se ha indicado que otra amenaza para la especie es el CCG (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018).

Actualmente la especie solo fue encontrada en las tres ciénegas que aún permanecen en el estado de México, así como en el sur del lago Pátzcuaro. En el lago de Cuitzeo no se encontraron poblaciones, a pesar de que se ha indicado que este último alberga las poblaciones más importantes desde finales de 1980 (Escalante-Pliego, 2010). Sin embargo, el esfuerzo de muestreo del presente trabajo no fue suficiente como para determinar que la especie está ausente en el lago de Cuitzeo. Además, se ha indicado que la presencia/ausencia de la especie en este humedal varía según las zonas. Al respecto Pérez-Arteaga *et al.*, (2018) determinaron que existen poblaciones en Cuitzeo y que incluso este humedal contiene el 59.2% de todo el hábitat idóneo dentro del rango de distribución de la especie. Sin embargo, ellos mencionan que la especie no fue registrada en determinadas zonas de este lago, como al oeste de la carretera Federal 43D, por tal asumen que el rango de distribución no debe incluir esta zona.

Por otro lado, en algunos sitios, como el lago de Texcoco, Zumpango y Presa Solís la especie está extirpada (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018), y quizá en Texcoco, los últimos ejemplares fueron colectados en 1956 (Escalante-Pliego, 2010). Su extirpación se atribuye

a la sequía y alteraciones presentadas en estos humedales. En relación a ello, en sitios como Pátzcuaro las problemáticas que existen, como la contaminación por agroquímicos y los azolves, ocasionados por las laderas deforestadas, provocan que el lago siga perdiendo profundidad, lo que se refleja también en cambios en la vegetación de las orillas del lago (Vargas y Guzmán, 2009). Todo esto ha generado que cada vez exista una mayor degradación en el lago y en el ambiente que lo rodea. Durante el trabajo de campo se registraron tres incendios en los alrededores, en vegetación de pastizal cercana a tulares, por lo que este tipo de vegetación es de las más afectadas durante los incendios. Así mismo Pérez-Arteaga *et al.* (2018) reportan que la quema de vegetación en el lago Cuitzeo es común, esto para abrir espacios para los canales de navegación, la agricultura y el ganado. Además, en varios lagos (Yuriria, Cuitzeo y Zirahuén; Pérez-Arteaga *et al.*, 2018) se aprovecha el tule (*Typhacea*) para manualidades. Todas estas problemáticas podrían provocar que la especie desaparezca de los humedales en los que permanece.

Respecto a la distribución futura, de los modelos obtenidos se predice que las zonas con las condiciones ambientales para la presencia de *G. speciosa* cambiarán y se localizarán en diversas áreas, como el occidente de Jalisco, donde se encuentran grandes cuerpos de agua como el lago de Chapala. De igual forma se predicen zonas en el noreste del estado de Puebla. Para México y Michoacán se predice un aumento en el Valle de Toluca, y la zona central noreste de Michoacán. Dichas zonas son las de mayor relevancia para la especie. A pesar de que los modelos indican un aumento de área idónea para la presencia de la especie, debemos considerar que, en gran parte de esta área predicha ya no existe hábitat disponible, ya que son espacios ocupados por asentamientos y tierras agrícolas o ganaderas principalmente. En este sentido las actividades antropogénicas han provocado una disminución y desaparición de los popales y tulares. Por otro lado, se ha indicado que las presiones y explotación del recurso hídrico aumentarían en un futuro, amenazando en mayor medida la permanencia de los cuerpos de agua y de las especies

que en ellos habitan (CONAGUA, 2014). Por ejemplo, debido a la degradación de humedales en la zona del Lerma se extinguió una especie endémica del área, el Zanate de Lerma (*Quiscalus palustris*; Peterson, 1998). De continuar estas tendencias de alteración y pérdida de hábitat, *G. speciosa* podría enfrentar también un proceso de extinción en el futuro. Debido a la pérdida de hábitat que enfrenta *G. speciosa* es importante considerar las predicciones de estos modelos y evaluar áreas con hábitat potencial para los futuros planes de conservación.

Funciones de distribución

Respecto a las distancias de distribución de *G. speciosa*, las distancias más grandes fueron obtenidas para el enfoque general. Esto fue debido a que este enfoque considera toda el área de distribución de la especie, en México y Michoacán. Sin embargo, debido al posible aislamiento entre poblaciones estas distancias de desplazamiento y enfoque de distribución no es factible. Por otro lado, el enfoque entre localidades de igual forma presentó distancias amplias de desplazamientos, y debido a la discontinuidad del hábitat entre varias localidades, es posible que la especie no pueda presentar estos patrones de movimientos y por tanto no se desplace a esas distancias. En cuanto al enfoque por región, este presentó un mejor ajuste respecto a los anteriores. La región de Erongarícuro - Arocutín es de las pocas que aún presenta condiciones que permiten tener cierta continuidad en el hábitat y por tanto ciertos desplazamientos de la especie. De acuerdo a las condiciones de dichos sitios y los resultados, es muy factible que *G. speciosa* tenga desplazamientos y recambios en la zona.

Finalmente, para el análisis por localidad, se obtuvieron los valores más bajos, debido al pequeño tamaño de algunos sitios. Este patrón y distancias pueden aplicar en diversos lugares, sobre todo en los que no presentan conectividad o están aislados, como el caso del lago de Cuitzeo. Particularmente *G. speciosa* tiene ciertas limitaciones principalmente

por su área de distribución tan reducida y la pérdida de hábitat por asentamientos humanos. En este sentido el enfoque que más se ajustó considerando la disposición espacial de los registros, el hábitat y la ecología de la especie fue el de localidad. Si esto es cierto, las poblaciones de la especie estarían en grave riesgo al no tener flujo génico entre poblaciones. Al respecto se ha indicado que, a pesar de la cercanía entre humedales, como el caso de las ciénegas del Lerma su conectividad debe evaluarse en términos de la distancia máxima y que posiblemente los individuos se mueven entre los sitios, pero en este caso las actividades humanas en los alrededores son intensas, lo cual dificultaría los movimientos de la especie (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018). Sin embargo, hacen falta estudios y datos concretos que corroboren lo anterior. Otro factor relevante, es que ante la dinámica que pueden presentar los humedales y su permanencia estacional, la presencia de la especie puede variar a través del tiempo y espacio. En el caso de *G. speciosa* su permanencia en el lago Cuitzeo se le atribuye a su capacidad para dispersarse entre los fragmentos de hábitat idóneos cuando algunas áreas son dañadas por los incendios, por lo que se cree ha logrado una adaptación a este hábitat dinámico (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018).

Cabe señalar que los patrones de distribución de especies de *Geothlypis* en México son muy poco conocidos (Ramírez-Bastida *et al.*, 2008). De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede indicar que las especies de *Geothlypis* como *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa* tienen desplazamientos cortos dentro de sus áreas de distribución, esto quizá por no poder atravesar zonas como los asentamientos humanos, áreas agrícolas u otros tipos de hábitat para llegar a otros cuerpos de agua, además de presentar un posible arraigo a sus sitios de crianza (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999) y de que el hábitat disponible es escaso. No obstante, es posible que *G. speciosa*, al igual que sus especies hermanas (e.g. *G. flavovelata* y *G. beldingi*) presenten una amplia capacidad de dispersión, pues dichas especies se han reportado fuera de sus rangos de distribución, donde se indican registros para *G. speciosa* en la región montañosa del centro de Veracruz (Martínez, 1996), *G.*

flavovelata en La Mancha, Veracruz (Ortiz-Pulido *et al.*, 1995) y *G.beldingi* en Guerrero Negro, Baja California Sur (Erickson *et al.*, 2008).

Cambio de uso de suelo y estado de conservación del hábitat

El hábitat de *G. speciosa* es muy localizado y es cada vez más reducido. Según los resultados, las poblaciones de esta especie pueden estar asiladas debido a la fragmentación y discontinuidad del hábitat en las zonas que se encuentran. Se esperaría que en los próximos años continúe el aumento de las zonas agrícolas y los asentamientos humanos, lo que generaría un mayor impacto y presión sobre los recursos que usa la especie.

De igual manera la contaminación y eutrofización es un grave problema. Por ejemplo, en el lago Pátzcuaro esto es ocasionado por las descargas de aguas residuales que se depositan en el lago, tanto de localidades urbanas como rurales, las cuales son provenientes de 15 sitios, incluyendo Pátzcuaro y Quiroga (aproximadamente 200 l/s). En esta zona, el 33% de la basura no se recolecta y el 70% de las aguas residuales de las zonas urbanas y rurales no se trata (120 mil habitantes en la cuenca), y las descargas de drenes agrícolas suele ir en aumento (400 a 800 l/s del dren Zurumútar, DR 091 Pátzcuaro) (CONAGUA-IMTA, 2007). Todo esto ocasiona que el agua presente alta turbidez, ensalitramiento, altas concentraciones de nutrientes y poco oxígeno. Se reporta una disminución de 40 km² de la superficie lagunar de 2.6 m de profundidad en los últimos años (CONAGUA-IMTA, 2007). Debido a lo anterior las poblaciones de *G. speciosa* en el lago de Pátzcuaro están en riesgo.

Otro sitio importante para la especie en Michoacán es el lago Cuitzeo, en el cual las problemáticas son aún más graves. Los alrededores del lago están ocupados en su mayoría por asentamientos humanos, y los principales usos de suelos son agrícola y ganadero. Se estima que la población urbana de la cuenca aumento 187% entre 1970 y el año 2000, con

lo que se incrementó en más del 100% la superficie ocupada por 16 de los 26 asentamientos de la cuenca en el mismo periodo (Bravo *et al.*, 2008). Esto ha ocasionado que los impactos y presiones sobre el cuerpo de agua sean cada vez mayores. Durante el trabajo de campo se logró apreciar que los principales usos de suelo aledaños al lago son los asentamientos humanos y el ganadero. Además, debido a la actividad agrícola y urbana, las aguas del lago suelen estar contaminadas con agroquímicos, aguas negras, productos industriales, contaminantes orgánicos y biológicos. El impacto de esto se incrementa porque la gran mayoría de los poblados no cuentan con plantas tratadoras de aguas negras, y estas son vertidas a ríos de la cuenca (Bravo *et al.*, 2008). Los agroquímicos y residuos orgánicos e inorgánicos vertidos en las aguas ocasionaron el incremento de la vegetación acuática (15% en el año 2000), lo que reduce el espejo de agua (López-Granados *et al.*, 2002), quedando áreas desecadas las cuales pasan a ser usadas para la agricultura.

Un factor importante en este lago es el proceso de desecación. En la actualidad el uso del agua del lago de Cuitzeo se ha modificado ya que paso de ser una zona acuícola y agrícola, a servir como receptor de descargas de agua residuales de la ciudad de Morelia y los municipios aledaños (Lisvet y Carbajal 2015). Actualmente se puede apreciar una parte del lago completamente seca, y el volumen del agua en la zona restante es variable a través de los años. La superficie y dinámica acuática del lago es considerada estacional a lo largo del año (entre meses) y a lo largo de los años (cíclica), esto ha propiciado que el lago se haya desecado temporalmente durante varios meses en los años 2000 y 2001. Además, se reporta una de desecación anual recurrente desde 1998, tal vez como resultado de las sequías que han afectado la cuenca desde mediados de los años noventa. La superficie del cuerpo de agua varía según la precipitación y sequía que se puedan presentar (Mendoza *et al.*, 2007).

Por otro lado, han existido impactos por la construcción de la autopista Salamanca-Morelia y deforestación de bosques aledaños que recargan el acuífero; además, al ser una

zona geotérmica se han realizado excavaciones en los alrededores (Mendoza *et al.*, 2007, Le Bert, 2011), provocando brotes de agua a propulsión, que afectan las cuencas subterráneas. Debido a ello, el lago ha sido impactado y afectado en sus funciones ambientales y enfrenta procesos de desecación (Mendoza *et al.*, 2007).

El impacto ambiental también ha afectado a pobladores humanos, en quienes se han reportado diversas afectaciones, como algunas enfermedades respiratorias y de la vista, debido a la gran erosión y levantamiento de polvo que se presenta en la zona seca del lago. Las problemáticas de los lagos también afectan la economía de las poblaciones que dependen de estos ya que se ve disminuida la producción pesquera (SAGARPA, 2007).

En cuanto a las ciénegas del Lerma, durante muchos años han sido deterioradas por el desarrollo industrial y urbano del Valle de Toluca, la expansión de áreas agrícolas y urbanas, la contaminación, la fragmentación y la desecación. Para el año de 1940 solo quedaban tres ciénegas, la de Chignahuapan, Chimaliapan y Chiconahuapan, cuando se estima que en la época prehispánica las ciénegas cubrían 27,025 ha aproximadamente, pero en 1988 su extensión era de 3,200 ha (Martínez, 1993). Los cambios entre 1973 y 2008 fue de 44% para uso agrícola, 12.1% para tulares, 3.5% urbanos y 2.1% para cuerpos de agua. En 35 años los tulares se redujeron 65% (307 ha). Las zonas urbanas crecieron 327 ha (1064%; Zepeda *et al.*, 2012). Todo esto ha conllevado a la pérdida de gran extensión del cuerpo de agua y tulares, los cuales han sido sustituidos por campos de cultivo y espacios urbanos. Esto ha provocado una fuerte reducción y degradación del hábitat, por lo que las poblaciones de la mascarita del Lerma pueden ser cada vez más reducidas y aisladas.

Las ciénegas sufren descargas de aguas residuales, gran cantidad de basura, escombros, y residuos orgánicos provenientes de las localidades cercanas. Esto es consecuencia del gran aumento poblacional en el estado de México durante los últimos años, donde en 1950 se contaba con 1.4 millones de personas, en 1970 con 3.8 millones,

para el 2000 con 13.0 millones, para el 2008 14.6 millones y se estima para el año 2030 aumentará a 20,167,433 de habitantes (CONAPO, 2014).

La extracción del recurso hídrico es también uno de los problemas más graves en este sitio. Desde hace años se ha extraído y utilizado grandes volúmenes de agua en la zona, se estima que en promedio 422.4 millones de m³/año (Zepeda *et al.*, 2012), lo que impacta a manantiales, ríos y ciénegas, provocando su desecación paulatina. Esta situación provoca una cadena de efectos secundarios como hundimientos, agrietamientos y reducción del área de las ciénegas (Ceballos, 2003). Desde 1951 la cuenca del río Lerma fue seriamente afectada y transformada por la extracción de agua para el abastecimiento de la Ciudad de México (Maderrey y Jiménez, 2001).

Actualmente las ciénegas prevalecen debido a pequeños manantiales y escurrimientos superficiales (Ceballos, 2003). Debido al aumento poblacional actual, y futuro se prevé que existirá una mayor presión sobre el recurso hídrico (Maderrey y Jiménez, 2001; CONAGUA, 2014), lo que puede provocar la desaparición total de estos cuerpos de agua. Durante el trabajo de campo se pudo apreciar esta situación, observándose algunas zonas donde es aprovechado el recurso hídrico, por otro lado, la ciénega que se vio más afectada fue la de Chiconahuapan ya que en ciertas zonas ya no existe agua, ni vegetación de tulares, por lo que está enfrentando un fuerte proceso de desecación. Debido a las problemáticas que enfrentan las ciénegas el hábitat de *G. speciosa* es cada vez más reducido, lo que posiblemente ha propiciado el aislamiento y reducción de sus poblaciones.

Las problemáticas mencionadas son comunes en la mayoría de los humedales donde habita la especie, y varios de estos como el lago de Texcoco, Zumpango, Álvaro Obregón, Presa Solís y río Lerma en los alrededores de Salamanca, Guanajuato no cuentan con hábitat idóneo y la especie no ha sido registrada desde hace varios años, lo cual posiblemente representa una prueba del aislamiento de esta especie (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018). Por su parte, en el caso de las poblaciones de *G. speciosa* que presentan

abundancias bajas, como en los lagos de Yuriria y Zirahuén algunas opciones posibles que se pueden implementar son la translocación y/o refuerzos de las poblaciones (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018). Las problemáticas de conservación de diversos humedales donde habita *G. speciosa* es alarmante, y hacen falta programas de manejo, monitoreo y conservación.

Literatura citada

Ackerly DD, Loarie RS, Cornwell KW, Weiss BS, Hamilton H, Branciforte R, Kraft BJN. 2010.

The geography of climate change: implications for conservation biogeography. *Diversity and Distributions*. 16:476-487.

BirdLife International. 2018. Species factsheet: *Geothlypis speciosa*. (consultado el 7 de marzo de 2018). <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/black-polled-yellowthroat-geothlypis-speciosa>.

Blanco DE. 1999. Los humedales como hábitat de aves acuáticas. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe-ORCYT. Montevideo, Uruguay. p. 219-228.

Bravo E, M, Oliva FG, Patrón ER, Cantú MM, Camacho GB, López EG. 2008. La cuenca del lago de Cuitzeo: problemática, perspectiva y retos hacia el desarrollo sostenible. Fondo Editorial Morevallado. Morelia, Michoacán, México.

Ceballos G. 2003. Ficha Informativa de los humedales Ramsar. Instituto de Biología de la UNAM. México, D.F. Pp 14.

Colección de aves de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2016. (consultado el 30 de agosto del 2016). <https://datosabiertos.unam.mx/biodiversidad/>.

- (CONAGUA) Comisión Nacional del Agua, IMTA, Fundación GRA. 2007. Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro. 2003-2007.
- (CONAGUA) Comisión Nacional del Agua. 2014. Estadísticas del Agua en México. México, D.F. (consultado el 3 de mayo de 2017). <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>.
- (CONAPO) Consejo Nacional de Población. 2014. Dinámica demográfica 1990-2010 y proyecciones de población 2010-2030. México, D.F. Pp. 43.
- eBird. 2016. eBird: Una base de datos en línea para la abundancia y distribución de las aves. eBird, Ithaca, New York. (consultado el 20 de agosto de 2016) <http://www.ebird.org>.
- Erickson RA, Hamilton RA, Mlodinow SG. 2008. Status review of Belding Yellowthroat *Geothlypis beldingi*, and implications for its conservation. Bird Conservation International. 18(03):219-228.
- Escalante-Pliego P. 2010. Ficha técnica de *Geothlypis speciosa*. Fichas sobre las especies de aves incluidas en Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Parte 1. Instituto de Biología, UNAM. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W007. México, D.F. (consultado el 18 de agosto de 2016). <http://bios.conabio.gob.mx/especies/8013858.pdf>.
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF) 2016. (consultado el 25 de agosto de 2016). <https://www.gbif.org/>.
- Gonzales BJ. 2012. La gran transformación del Estado de México y sus desafíos sociodemográficos. Migración mexiquense a Estados Unidos: Un análisis interdisciplinario. Universidad Autónoma del Estado de México. Pp. 51.
- Illoldi-Rangel P, Escalante T. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. Biogeografía. 3:7-12.

- Landgrave R, Moreno-Casasola P. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación ambiental*. 4(1):19-35.
- Le Bert GH. 2011. Evaluación de la Energía Geotérmica en México. Informe para el Banco Interamericano de Desarrollo y la Comisión Reguladora de Energía. México, D.F.
- Lisvet G, Carbajal M, de la Luz M. 2015. Sistema productivo local en Michoacán: La actividad pesquera en Mariano Escobedo, Cuitzeo. *Economía y Sociedad*. 19(32):15-40.
- López-Granados EM, Mendoza ME, Acosta A. 2002. Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Gaceta Ecológica*. 64:19-34.
- Maderey RLE, Jiménez RA. 2001. Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. *Investigaciones geográficas*. 45:24-38.
- Martínez CYI. 1993. La evolución de la superficie de las ciénegas de Lerma y sus principales repercusiones físicas, biológicas y humanas (tesis de licenciatura). Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Martínez GJE. 1996. La ornitofauna veracruzana: una revisión bibliográfica. Pp. 30.
- Mendoza ME, Bocco G, López-Granados E, Bravo M. 2007. Tendencias recientes de las superficies ocupadas por el lago de Cuitzeo: un enfoque basado en percepción remota, sistemas de información geográfica y análisis estadístico. *Investigaciones geográficas*. 64:43-62.
- Ortiz-Pulido R, Gómez de Silva H, Gonzales-García F, Álvarez AA. 1995. Avifauna del Centro de Investigaciones Costeras La Mancha, Veracruz México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*. 66:87-118.
- Pérez-Arteaga A, Monterrubio-Rico T, Delgado-Carrillo O, Cancino-Murillo R, Salgado-Ortiz J. 2018. UPDATING THE DISTRIBUTION RANGE OF THE

- ENDANGERED BLACK-POLLED YELLOWTHROAT (*GEOTHLYPIS SPECIOSA*).
Ornitología Neotropical. 29: 51–57.
- Peterson AT. 1998. The distribution and type locality of the extinct Slender-billed Grackle, *Quiscalus palustris*. British Ornithologist's Club. 118:119-121.
- Peterson AT. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. Biodiversity Informatics. (3):59-72.
- Ramírez-Bastida P, Navarro-Sigüenza AG, Peterson AT. 2008. Aquatic bird distributions in Mexico: designing conservation approaches quantitatively. Biodiversity and Conservation. 17(10):2525-2558.
- Rodríguez-Estrella R, Delgado LR, Diez EPDB, Blanco G. 1999. Belding's yellowthroat: current status, habitat preferences and threats in oases of Baja California, Mexico. Animal Conservation. 2:77-84
- Sánchez CS, Flores AMI, Cruz-Leyva A, Velázquez A. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas, en Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. Pp. 75-129.
- (SAGARPA) Secretaria de Agricultura Desarrollo Rural y Pesca. 2007. PROY-NOM-036-PESC-2005. Pesca responsable en el Lago de Pátzcuaro, ubicado en el Estado de Michoacán. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros. Diario Oficial. Pp. 31-46.
- Sekercioglu CH, Daily GC, Ehrlich PR. 2004. Ecosystem consequences of bird declines. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 101:18042-18047.
- Şekercioğlu CH, Primack BR, Wormworth J. 2012. The effects of climate change on tropical birds. Biological Conservation. 148(1):1-18.
- Sekercioglu CH, Schneider SH, Fay JP, Loarie SR. 2008. Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. Conservation Biology. 22(1):140-150.

- (SEMARNAT) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México, D.F.
- Stattersfield AJ, Crosby MJ, Long AJ, Wege DC. 1998. Endemic bird areas of the world. Priorities for biodiversity conservation. BirdLife Conservation Series. BirdLife International, Cambridge. 7:20-121.
- Tabilo E, Jorge R, Riquelme R, Mondaca A, Labra C, Campusano J, Tabilo M, Varela M, Tapia A, Sallaberry M. 1996. Management and conservation of the habitats used by migratory shorebirds at Coquimbo, Chile. International Wader Studies. 8:79-84.
- The IUCN Red List of Threatened Species. 2018. *Geothlypis speciosa*. (consultado el 7 de marzo de 2018). <https://www.iucnredlist.org/species/22721851/94735057>.
- Thomas DC, Cameron A, Green ER, Bakkenes M, Beaumont JL, Collingham CY, Erasmus FNB, Ferreira de SM, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Huntley B, Van Jaarsveld SA, Midgley FG, Miles L, Ortega-Huerta MA, Peterson TA, Phillips LO, Williams ES. 2004. Extinction risk from climate change. Nature. 427:145-148.
- Vargas S, Guzmán RNB. 2009. Deterioro de la cuenca del lago de Pátzcuaro cambios en la identidad étnica p'urhépech. XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires. Asociación Latinoamericana de Sociología, Buenos Aires. p. 1-15.
- VertNet. 2016. (consultado el 25 de agosto de 2016). <http://vertnet.org/>.
- Zepeda GC, Nemiga XA, Lot Helgueras A, Madrigal UD. 2012. Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. Investigaciones geográficas. (78):48-61.

Capítulo V.

Conclusiones generales

Se ha hipotetizado que el cambio climático global (CCG) y el cambio de uso de suelo (CUS) pueden afectar el área de distribución de las especies, afectando así a sus poblaciones (Sekercioglu *et al.*, 2004; 2008; Miller-Rushing *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos en esta tesis indican que ambos factores constituyen amenazas reales para la conservación de *G. flavovelata* (Cap. II), *G. beldingi* (Cap. III) y *G. speciosa* (Cap. IV). Estos dos factores, combinados con las posibilidades de dispersión de cada especie, tienden a actuar de manera sinérgica, intensificando sus efectos (Sekercioglu *et al.*, 2004; 2008; Miller-Rushing *et al.*, 2010). Por ello que es conveniente discutir la implicación de dichos factores en la conservación de las especies estudiadas y, en general, en las especies de aves que habitan en humedales.

Cambio climático global

El clima afecta el ciclo del agua, la cantidad y temporalidad de lluvias, la humedad, la frecuencia y la severidad de eventos extremos y la disponibilidad de recursos; todo ello a su vez puede causar alteraciones ecológicas y conducir a la reducción, degradación o pérdida completa de los hábitats de humedales (Peterson *et al.*, 2002; Crick, 2004; Barros y Albernaz, 2014). Por ejemplo, si ocurre un cambio de temperatura de 3-4°C, el 85% de los humedales del mundo podrían perderse (Wormworth y Mallon, 2006); esto sería ocasionado por cambios en el nivel del mar, lo que causará efectos negativos en los humedales costeros y en el hábitat de las aves que allí habitan (Wormworth y Mallon, 2006). Por ello la viabilidad de los humedales en función del CCG es relevante para planear la conservación de las especies de aves acuáticas ligadas a estos, principalmente las raras o que estén en peligro

Además, en aves acuáticas, el CCG puede provocar cambios en la migración y la fenología, así como afectar los patrones de mortalidad, distribución y reproducción (Žalakevicius y Švažas, 2005; Guillemain *et al.*, 2013). Por ejemplo, con un aumento de la

temperatura en 2.5°C, se espera que en algunas regiones del centro-norte de EE.UU. se reduzcan en 72% las poblaciones de patos en el año 2060 (Wormworth y Mallon, 2006). Posiblemente esto ya se está observando, pues algunas aves marinas costeras, como el frailecillo copetudo (*Fratercula cirrhata*), han sufrido una reducción en sus poblaciones, lo que ha sido atribuido al CCG (Gjerdrum *et al.*, 2003). Otras especies de aves de humedales, como la Curruca de Marmora (*Sylvia sarda*) y la Curruca acuática (*Acrocephalus paludicola*), podrían verse afectadas de manera similar. Para la primera de estas especies se ha predicho que su rango de distribución actual se perderá completamente en el futuro, y para la segunda especie, se ha hipotetizado que la variación en la precipitación puede provocar que las profundidades de las marismas sean más cambiantes, modificando los niveles de agua por encima o por debajo de los 5-12 cm, un rango preferido por ella (Wormworth y Mallon, 2006). Este efecto tal vez fue el que ha ocasionado la desaparición de algunas poblaciones de la grulla siberiana (*Grus leucogeranus*) en humedales (UNEP/CMS, 2011). Estas alteraciones pueden ser similares a las que enfrentan ahora, o enfrentaran en el futuro, *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa*.

En particular, considerando el CCG, los resultados de este trabajo permiten decir que diversas áreas como la de Gómez Farías, Tamaulipas para *G. flavovelata* (Cap. II), Los Cabos, en Baja California Sur, para *G. beldingi* (Cap. III), así como Pátzcuaro y Cuitzeo en Michoacán para *G. speciosa* (Cap. IV), podrían no ser idóneas en el futuro para la presencia de dichas especies. La especie que posiblemente se verá más afectada por el CCG es *G. flavovelata*, pues su área de distribución se augura que se reducirá drásticamente en el futuro en todos los escenarios (Cap. II). Para *G. beldingi* se vaticina que se reducirán sus áreas de distribución en el escenario pesimista del 2050 y en el optimista del 2070. En cuanto a las nuevas áreas idóneas predichas para dicha especie, estas se presentarán principalmente en las zonas costeras del este de Baja California Sur (Cap. III). Por su parte con *G. speciosa* (Cap. IV) se predice que aumentará el área de distribución en el futuro.

Para ella las nuevas áreas idóneas se presentarán en gran parte de la Faja Volcánica Transversal, como el occidente de Jalisco, centro y noreste de Michoacán, el valle de México y el noreste de Puebla (Cap. IV).

Cambio de uso de suelo

A nivel mundial más del 50% de las áreas de humedales se han perdido (Zepeda *et al.*, 2012). Durante el siglo XX se ha perdido entre un 69-75% de los humedales del interior de los continentes y un 62-63% de los costeros (Davidson, 2014). En México se considera que se ha perdido más del 62.1% de estos sitios (Landgrave y Moreno-Casasola, 2012) Esta pérdida ha sido causada por actividades humanas, que han ocasionado la sobreexplotación y degradación de los humedales, lo que a su vez ha provocado que muchas de las especies que los habitan se encuentren amenazadas o en peligro de extinción (Tabilo *et al.*, 1996; Blanco, 1999). Un ejemplo de ello es el zanate de Lerma (*Quiscalus palustris*), una especie extinta que era endémica a los humedales del centro de México (Peterson, 1998). Por todo ello no es raro que las aves de humedales tengan una mayor probabilidad de extinción si se les compara con cualquier otro grupo de aves (Sekercioglu *et al.*, 2004).

La pérdida de hábitat es el principal problema de conservación que enfrentan las tres especies de estudio (i.e. *G. flavovelata*, *G. beldingi*, *G. speciosa*). En las regiones de distribución de las tres especies en los últimos años millones de hectáreas se han convertido en asentamientos humanos, áreas agrícolas y ganaderas (SIAP, 2007; Sánchez *et al.*, 2009; INEGI, 2010, 2015; SAGARPA, 2012; Zepeda *et al.*, 2012). Un ejemplo de ello son los popales y tulares, un tipo de vegetación acuática que las tres especies prefieren, pero que se ha perdido en diversas regiones de México (Buenfil, 2009; Zepeda *et al.*, 2012). Por si fuera poco, se predice que los cuerpos de agua sufrirán una mayor presión en el futuro, pues tanto la población humana y las actividades antropogénicas no se reducirán a corto ni mediano plazo (Maderey y Jiménez, 2001; CONAGUA, 2014). Finalmente, otro

factor relevante a considerar en el CUS es el proceso de desecación, que es ocasionado por el uso indiscriminado de los recursos hídricos de los humedales por los humanos. Esta desecación ocasiona que el volumen del agua sea más variable a través del tiempo. Debido a todo ello, los humedales pueden estar sufriendo diversos impactos por el CUS y verse afectados en sus funciones ambientales (Mendoza *et al.*, 2007).

Los resultados (Capítulos II, III y IV) indican que existe una reducción gradual en cuanto al hábitat disponible para las tres especies. El análisis en campo del estado de conservación de hábitat local de las tres especies ha indicado un deterioro, que tiene causas comunes, como el crecimiento demográfico (desarrollo industrial y urbano) y la práctica de la agricultura, la ganadería, la contaminación del agua por descargas residuales, la eutrofización y la extracción del recurso hídrico (Capítulos II, III y IV; Maderey y Jiménez, 2001; Bravo *et al.*, 2008; Vargas y Guzmán, 2009; Zepeda *et al.*, 2012; SDE, 2013, 2015; CONAPO, 2014, 2016; Lisvet y Carbajal 2015; INEGI, 2015, 2016). Estas actividades afectan a las especies de estudio por la degradación o pérdida de hábitat que provocan, lo cual ha propiciado algunas extinciones locales de estas especies (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999; Hernández, 2012; Pérez-Arteaga *et al.*, 2018). Con el trabajo de campo y los análisis hechos en este estudio se comprobó que el CUS es uno de los factores que más ha afectado la conservación de *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa*.

Movilidad y dispersión

En un contexto de CCG y CUS, es crucial determinar la movilidad y capacidad de dispersión de las especies, pues de ello depende su respuesta a estos fenómenos. Esto es porque si las especies tienen un rango restringido y se mueven poco cualquier fenómeno que afecte su hábitat también podrá afectarlas, contrario a lo que ocurriría si se mueven mucho. Para aves con poca dispersión se predice en el futuro mayor probabilidad de extinción (5-8%) en comparación a especies con mayor dispersión (3-4%; Thomas *et al.*, 2004; Wormworth y Mallon, 2006; Sekercioglu *et al.* 2008). Por ejemplo, se ha indicado que el área de

distribución de algunas aves, como los crácidos, quienes pueden dispersarse fácilmente y colonizar nuevas áreas, podrían no verse afectada, o incluso aumentar, por el CCG (Peterson *et al.* 2001). Sin embargo, la distribución futura de otras especies que aparentemente no pueden colonizar tan fácilmente nuevas áreas, como sería el caso de *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa*, tal vez se vea reducida bajo el CCG. Debido a ello, es importante conocer la capacidad de movilidad y dispersión de las especies, ya que con ello se podría analizar mejor su capacidad de recuperación frente al CCG y CUS (Crick, 2004).

Desafortunadamente para las especies estudiadas, y para muchas otras especies de humedales, existe poca información o, incluso, esta es contradictoria. Por ejemplo, se ha sugerido que *G. flavovelata* y *G. beldingi* no tienden a moverse largas distancias (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999; Hernández 2012). Esto es quizá ocasionado porque son especies con requerimientos de hábitat muy específicos, tanto para su reproducción como para su vida diaria (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999), por lo que tal vez no pueden cruzar los espacios existentes entre cuerpos de agua. Para *G. speciosa* se ha sugerido que posiblemente los individuos se mueven entre los sitios, tal vez porque las zonas cubiertas con cienegas en el Lerma son muy cercanas (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018). Sin embargo, es posible que *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa* presenten cierta capacidad de dispersión. Dichas especies se han reportado fuera de sus rangos de distribución conocidos, con registros para *G. flavovelata* en La Mancha (Ortiz-Pulido *et al.*, 1995) y ciénegas del fuerte, Veracruz (Hernández, 2012); para *G. beldingi* en Guerrero Negro y Bahía Tortugas, Baja California Sur (Erickson *et al.*, 2008), y; para *G. speciosa* en la región montañosa del centro de Veracruz (Martínez, 1996) y el lago de Zirahuén, Michoacán (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018).

La movilidad y dispersión de las especies de humedales puede estar condicionada por la dinámica espacio-temporal que presentan los humedales, que en el paisaje, a lo largo

del tiempo aparecen y desaparecen por causas naturales o antropogénicas. De hecho, se cree que esta variabilidad espacio-temporal en cuanto disponibilidad de los humedales es un factor que las especies deben manejar para permanecer en el paisaje (e.g. *G. beldingi* y *G. speciosa*) y al colonizar nuevas áreas (Erickson *et al.*, 2008; Pérez-Arteaga *et al.*, 2018). Por ejemplo, se ha sugerido que la permanencia de *G. speciosa* en el lago Cuitzeo se debe a su capacidad para dispersarse entre los fragmentos de hábitat idóneos, sobre todo cuando algunos son dañados por incendios o desecación (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018). Incluso se ha sugerido que la especie ha logrado, de alguna manera, una adaptación a este hábitat dinámico (Pérez-Arteaga *et al.*, 2018). Esta idoneidad espacio-temporal del hábitat puede ser la causa de la variación respecto a la presencia o ausencia de las especies en determinados humedales.

En el caso de este estudio se ha encontrado que el enfoque de distribución con mejor ajuste para las tres especies es el regional, seguido por el de localidad. Este último solo se cumple en algunos casos en sitios donde no hay continuidad de hábitat y los individuos puedan estar aislados. Bajo un enfoque de distribución regional, las medias de distribución son de 3.16, 2.2 y 3.19 km para *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa* respectivamente. Considerando una distribución dentro de una misma localidad esta dispersión se ve aún más reducida, con medias de distribución de 3.80, 1.05 y 2.24 km para *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa*. De acuerdo a esto resultados, se puede indicar que las especies de estudio tienen desplazamientos cortos dentro de sus áreas de distribución. Los análisis indican que no hay un patrón particular que pueda aplicar en general para la distribución de las tres especies, pues depende mucho de la continuidad del hábitat presente entre zonas y la cercanía entre estas o está limitada por posibles interacciones como actividades humanas, por lo que las distancias de movimientos y patrones de distribución de las especies pueden responder de manera diferente en cada caso.

Otras alternativas para evaluar la movilidad y dispersión de las especies citadas son (1) utilizar tecnología de seguimiento satelital, sin embargo, es una tecnología poco viable por su costo, y; (2) realizar estudios genéticos que permitan determinar sus tasas de dispersión. Conocer la capacidad de dispersión de las especies *G. flavovelata*, *G. beldingi* y *G. speciosa* es un factor crítico a considerar en la evaluación de la vulnerabilidad de las especies ante el CCG y CUS (Crick, 2004). En este trabajo se ha obtenido los primeros estimados en este sentido, pero estos necesitan ser validados por otros estudios en el futuro.

En síntesis, en este trabajo se encontró que el CUS es la principal problemática de conservación que enfrentan actualmente las especies, esto por la pérdida de hábitat. El CCG representa otra amenaza y puede afectar la distribución de las especies en el futuro ya sea reduciendo o cambiando sus áreas de distribución. Por último las especies posiblemente presentan cortos desplazamientos en sus áreas de distribución.

Propuestas de conservación de las especies

Actualmente no existe un programa de conservación o monitoreo de ninguna de las tres especies analizadas. Por ello se necesitan implementar y dar continuidad a los planes de manejo en las áreas protegidas, como el Estero San José y el Área de Protección de Flora y Fauna Ciénegas del Lerma, las cuales albergan poblaciones de *G. beldingi* y *G. speciosa*, respectivamente (Rodríguez-Estrella *et al.*, 1999; IUCN, 2018). Por su parte *G. flavovelata* no se encuentra en alguna Área Natural Protegida (Escalante-Pliego, 2010), por lo que es prioritario proteger y conservar algunos sitios donde existen poblaciones viables de dicha especie.

Para proteger a las tres especies sería conveniente decretar, proteger o restaurar áreas prioritarias de conservación, para lo cual se requiere la elaboración e implementación de planes de manejo. Para ello sería ideal realizar primeramente un estudio de monitoreo

a corto y largo plazo, para determinar sus poblaciones y estado actual a nivel local y regional, así como evaluar los patrones o tasas de dispersión y la fluctuación demográfica. De igual forma se requieren estudios genéticos, para determinar variabilidad y viabilidad entre poblaciones, posibles cuellos de botellas, endogamia, flujo génico y tasas de dispersión. Por otra parte, es importante explorar y evaluar sitios remanentes con tulares y popales, en humedales o marismas dentro del rango de distribución conocida de las especies, de manera que se puedan localizar nuevos sitios y poblaciones de las especies de estudio, los cuales puedan ser considerados en los planes de conservación (Erickson *et al.*, 2008). Otras acciones que es conveniente regular son el corte y quema de los tulares, limitar las edificaciones, áreas agrícolas y ganaderas dentro o en los alrededores de los humedales, así como controlar la contaminación, extracción y aprovechamiento del recurso hídrico en los humedales (Buenfil, 2009; BirdLife, 2018).

En relación a ello, es necesario considerar a los humedales como sitios prioritarios dentro de los planes de ordenamiento territorial dentro de los municipios (Carmona *et al.*, 2003). De igual forma, se requiere crear una cultura ambiental, concientizando a la población sobre la importancia de estos ecosistemas, reconociendo su valor ambiental, diversidad, servicios ecosistémicos y recursos que estos brindan a la sociedad. Lo cual es viable mediante la implementación de proyectos, campañas y la difusión de información a través de diversos medios y estrategias (Buenfil, 2009). En este sentido la implementación de programas de educación ambiental en las localidades cercanas a sitios que albergan poblaciones de las especies es vital. Esto podría lograrse mediante la integración y gestión de proyectos de conservación, así como la promoción del turismo ornitológico, la capacitación de guías locales y el monitoreo comunitario. Esto permitiría generar ingresos para las comunidades y proteger sitios prioritarios de conservación de las tres especies de estudio (Cantú y Sánchez, 2011).

Otro frente que debe atacarse es la elaboración e implementación de políticas públicas que colaboren con la conservación de manera que se respeten y fortalezcan las Áreas Protegidas y sus acciones de conservación, dando continuidad y apoyo a estas, respetándolas y evitando cualquier tipo de impacto o alteración humana (CONANP, 2014). En cuanto a la protección de áreas existe la posibilidad de conservar sitios mediante tierras privadas, lo cual representa una opción de conservación local, pero insuficiente al considerar el área de distribución y la población total de cada especie, sin embargo, esta medida contribuye a proteger cierto rango y población de cada especie (Pérez-Bocanegra, *et al.*, 2014). De igual forma, otra alternativa a considerar es la creación de hábitat en sitios que alberguen cuerpos de agua, como pueden ser los humedales artificiales o restaurados, dentro del rango de distribución de las especies, en los cuales se pueden realizar reintroducciones o refuerzo de poblaciones. En el caso de los sitios con baja abundancia y considerando diversos factores como las condiciones bióticas, abióticas y presiones de conservación se podrían realizar según el caso translocaciones y/o refuerzo de las poblaciones (Erickson *et al.*, 2008; Pérez-Arteaga *et al.*, 2018).

Así mismo es indispensable y primordial promover mejores prácticas de agricultura, ganadería y turismo con los pobladores y productores locales, al igual que nuevas alternativas de producción y aprovechamiento para el mercado local, fortaleciendo los vínculos de subsistencia en torno a la conservación y adoptando medidas de sostenibilidad ambiental. Finalmente, en otro sentido de ideas, es necesaria la formación de ornitólogos que se especialicen en el estudio y conservación de determinados grupos y especies, como las mascaritas, que den atención a las especies poco estudiadas que se encuentren en alguna categoría de riesgo o sean endémicas (Ortiz-Pulido, 2018).

Literatura citada

- Barros DF, Albernaz ALM. 2014. Possible impacts of climate change on wetlands and its biota in the Brazilian Amazon. *Journal of Biology*. 74(4):810-820.
- BirdLife International. 2018. Species factsheet: *Geothlypis flavovelata*. (consultado el 7 de enero de 2018). <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/Altamira-Yellowthroat>.
- Blanco DE. 1999. Los humedales como hábitat de aves acuáticas. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe-ORCYT. Montevideo, Uruguay. p. 219-228.
- Bravo E, M, Oliva FG, Patrón ER, Cantú MM, Camacho GB, López EG. 2008. La cuenca del lago de Cuitzeo: problemática, perspectiva y retos hacia el desarrollo sostenible. Fondo Editorial Morevallado. Morelia, Michoacán, México.
- Buenfil FJ. 2009. Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. México, D.F. Pp. 859.
- Cantú JC, Sánchez ME. 2011. Observación de aves: Industria millonaria. *CONABIO. Biodiversitas*. 97:10-15.
- Carmona R, Brabata G, Cuéllar-Brito A, González-Peralta A. 2003. Observaciones recientes de aves en el oasis de La Purísima, Baja California Sur, México. *Animales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología*. 74(1):43-52.
- (CONAGUA) Comisión Nacional del Agua. 2014. Estadísticas del Agua en México. México, D.F. (consultado el 3 de mayo del 2017). <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>.
- (CONANP) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2014. Estrategia hacia 2040: una orientación para la conservación de las áreas naturales protegidas de México.

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- (CONAPO) Consejo Nacional de Población. 2014. Dinámica demográfica 1990-2010 y proyecciones de población 2010-2030. México, D.F. Pp. 43.
- (CONAPO) Consejo Nacional de Población. 2016. Proyecciones de la Población de México 2010-2050. Baja California Sur. (consultado el 17 de enero de 2017). http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos.
- Crick QPH. 2004. The impact of climate change on birds. *Ibis*. 146(1):48-56
- Davidson NC. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*. 65(10):934-941.
- Erickson RA, Hamilton RA, Mlodinow SG. 2008. Status review of Belding Yellowthroat *Geothlypis beldingi*, and implications for its conservation. *Bird Conservation International*. 18(03):219-228.
- Escalante-Pliego. P. 2010. Ficha técnica de *Geothlypis flavovelata*. Fichas sobre las especies de aves incluidas en Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Parte 1. Instituto de Biología, UNAM. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W007. México, D.F. (consultado el 18 de agosto de 2016). <http://bios.conabio.gob.mx/especies/8013853.pdf>.
- Gjerdrum C, Vallée AMJ, St. Clair C, Bertram DF, Ryder JL, Blackburn GS. 2003. Tufted puffin reproduction reveals ocean climate variability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 100(16):9377.
- Guillemain M, Poysa H, Fox DA, Arzel C, Dessborn L, Ekroos J, Gunnarsson G, Eske H, T, Kjær CT, Lehikoinen A, Mitchell C, Rintala J, Pape MA. 2013. Effects of climate change on European ducks: what do we know and what do we need to know? *Wildlife Biology*. 19(4):404-419.

- Hernández SM. 2012. Aspectos ecológicos de *Geothlypis flavovelata* (Ridgway 1896), especie endémica del Noreste de México (master's thesis). Tuxpan, Veracruz: Universidad Veracruzana.
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2016. Anuario Estadístico y Geográfico Baja California Sur. Pp. 412.
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2015. Anuario Estadístico y Geográfico Baja California Sur. Pp. 385.
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Gómez Farías, Tamaulipas. Pp. 10.
- Landgrave R, Moreno-Casasola P. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación ambiental*. 4(1):19-35.
- Lisvet G, Carbajal MML. 2015. Sistema productivo local en Michoacán: La actividad pesquera en Mariano Escobedo, Cuitzeo. *Economía y Sociedad*. 15-40.
- Maderey RLE, Jiménez RA. 2001. Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. *Investigaciones geográficas*. 45:24-38.
- Martínez GJE. 1996. La ornitofauna veracruzana: una revisión bibliográfica. Pp. 30.
- Mendoza ME, Bocco G, López-Granados E, Bravo M. 2007. Tendencias recientes de las superficies ocupadas por el lago de Cuitzeo: un enfoque basado en percepción remota, sistemas de información geográfica y análisis estadístico. *Investigaciones geográficas*. 64:43-62.
- Miller-Rushing AJ, Primack BR, Sekercioglu HC. 2010. Conservation consequences of climate change for birds. Pp. 295-309.
- Ortiz-Pulido R, Gómez de Silva H, Gonzales-García F, Álvarez AA. 1995. Avifauna del Centro de Investigaciones Costeras La Mancha, Veracruz México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*. 66:87-118.

- Ortiz-Pulido R. 2018. ¿Qué especies de aves están en riesgo en México? Huitzil. Revista Mexicana de Ornitología. 19(2):237-272.
- Pérez-Arteaga A, Monterrubio-Rico T, Delgado-Carrillo O, Cancino-Murillo R, Salgado-Ortiz J. 2018. UPDATING THE DISTRIBUTION RANGE OF THE ENDANGERED BLACK-POLLED YELLOWTHROAT (*GEOTHLYPIS SPECIOSA*). Ornitología Neotropical. 29:51–57.
- Pérez-Bocanegra E, Isaac-Márquez R, Ayala-Arcipreste ME. 2014. Marco legal y oportunidades de desarrollo de la conservación voluntaria en México. Revista Iberoamericana de Ciencias. 1(5):2334-2501.
- Peterson AT, Ortega-Huerta MA, Bartley J, Sánchez-Cordero V, Soberón J, Buddemeier RH, Stockwell DR. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. Nature. 416(6881):626-629.
- Peterson AT, Sánchez-Cordero V, Soberon J, Bartley J, Buddemeier RW, Navarro-Sigüenza AG. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. Ecological modelling. 144(1):21-30.
- Peterson AT. 1998. The distribution and type locality of the extinct Slender-billed Grackle, *Quiscalus palustris*. British Ornithologist's Club. 118:119-121.
- Rodríguez-Estrella R, Delgado LR, Bonilla EPD, Blanco G. 1999. Belding's yellowthroat: current status, habitat preferences and threats in oases of Baja California, Mexico. Animal Conservation. 2(2):77-84.
- (SAGARPA) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. Ficha técnica cultivo de Caña en Tamaulipas. Boletín No. 45.
- Sánchez CS, Flores AM, Cruz-Leyva IA, Velázquez A. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas, en Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. p. 75-129.

- (SDE) Secretaria de Promoción y Desarrollo Económico. 2013. Los Cabos, información Estratégica. Dirección de informática y estadística. Pp. 35.
- (SDE) Secretaria de Promoción y Desarrollo Económico. 2015. Los Cabos, Información Estratégica. Dirección de informática y estadística. Pp. 52.
- Sekercioglu CH, Daily GC, Ehrlich PR. 2004. Ecosystem consequences of bird declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 101:18042-18047.
- Sekercioglu CH, Schneider SH, Fay JP, Loarie SR. 2008. Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation Biology*. 22(1):140-150.
- (SIAP) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2007. Padrón de productores de caña de azúcar (PPCA; zafra 2006-2007). (Consultado el 26 de enero de 2017). http://siazucar.siap.gob.mx/materiales/pdf/Tab_PPCA_TAMAULIPAS.pdf.
- Tabilo E, Jorge R, Riquelme R, Mondaca A, Labra C, Campusano J, Tabilo M, Varela M, Tapia A, Sallaberry M. 1996. Management and conservation of the habitats used by migratory shorebirds at Coquimbo, Chile. *International Wader Studies*. 8:79-84.
- The IUCN Red List of Threatened Species. 2018. *Geothlypis speciosa*. (consultado el 7 de marzo de 2018). <https://www.iucnredlist.org/species/22721851/94735057>.
- Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, Erasmus BFN, de Siquiera MF, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Huntley B, Van Jaarsveld AS, Midgley GF, Miles L, Ortega-Huerta MA, Peterson AT, Phillips O, Williams SE. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*. 427:145.
- (UNEP/CMS) United Nations Environment Programme/Secretariat of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals. Conservation Measures for the Siberian Crane, 2011. Secretariat, Bonn, Germany. Technical Report. Fifth Edition. p. 202.
- Vargas S, Guzmán RNB. 2009. Deterioro de la cuenca del lago de Pátzcuaro cambios en la identidad étnica p'urhépech. XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana

de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires.
Asociación Latinoamericana de Sociología, Buenos Aires.

Wormworth J, Mallon K. 2006. Bird Species and Climate Change: The Global Status Report
version 1.0. World Wide Fund for Nature. p. 75.

Žalakevicius M, Švažas S. 2005. Global climate change and its impact on wetlands and
waterbird populations. Acta Zoologica Lituanica. 15(3):211-217.

Zepeda GC, Nemiga AX, Lot HA, Madrigal UD. 2012. Análisis del cambio del uso del suelo
en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática.
Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 78:48-61.