

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**DETERMINACIÓN DE SITIOS DE
CONSERVACIÓN PARA AVES CON VALOR DE
IMPORTANCIA ANTE EL CAMBIO
CLIMÁTICO EN EL SURESTE MEXICANO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO
MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

YAZMIN DEL CARMEN ROSIQUE DE LA CRUZ

DIRECTORES DE TESIS

DRA. CORAL JAZVEL PACHECO FIGUEROA

DR. JUAN DE DIOS VALDEZ LEAL

SEPTIEMBRE 2020

VILLAHERMOSA TABASCO, MÉXICO.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**



JULIO 07 DE 2020

**C. YAZMIN DEL CARMEN ROSIQUE DE LA CRUZ
PAS. DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **"DETERMINACIÓN DE SITIOS DE CONSERVACIÓN PARA AVES CON VALOR DE IMPORTANCIA ANTE EL CAMBIO CLIMATICO EN EL SURESTE MEXICANO"**, asesorado por la Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa y Dr. Juan de Dios Valdez Leal, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por el M. en C. Eduardo Javier Moguel Ordoñez, Dra. Lilia María Gama Campillo, Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa y Dr. Juan de Dios Valdez Leal y M. en C. Víctor Manuel Santiago Plata.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“DETERMINACIÓN DE SITIOS DE CONSERVACIÓN PARA AVES CON VALOR DE IMPORTANCIA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SURESTE MEXICANO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 07 de julio del dos mil veinte.

AUTORIZO



YAZMIN DEL CARMEN ROSIQUE DE LA CRUZ

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

“Cuando te das cuenta del valor de la vida, uno se preocupa menos por discutir sobre el pasado, y se concentra más en la conservación para el futuro”

Dian Fossey

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación “Evaluación de la efectividad de protección de la cobertura natural de las áreas naturales protegidas de la planicie Tabasqueña” folio 522, de la División Académica De Ciencias Biológicas, por el apoyo para la producción de cartografía por medio de programas especializados.

Al cuerpo académico “Conservación y Gestión Ambiental”, con clave UJAT-CA-252, conformados por la Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa, Dr. Luis José Rangel Ruiz, M. C. Eduardo Javier Moguel Ordoñez y Dr. Juan de Dios Valdez Leal por el apoyo y asesoría durante la realización de este documento.

Al “Laboratorio de Ecología del Paisaje y Cambio Global” de la DACBiol, por proporcionarme el espacio, las herramientas y el apoyo para realizar este trabajo.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y la Secretaría de investigación, posgrado y vinculación por el apoyo financiero.

A CONACYT por su apoyo durante estos dos años de estudio.

Al Dr. Andres Lira Noriega, por darme la oportunidad para realizar mi estancia, y darme herramientas para poder realizar este trabajo.

A mis asesores

Por darme nuevamente la confianza y brindarme todo el apoyo en cada una las etapas de este trabajo, el cual también de ustedes. Mi cariño y respeto.

A la Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa, porque siempre tuvo las palabras correctas para cada una de las dudas que surgió en este documento, en cada página esta su esfuerzo y paciencia, muchas gracias de todo corazón.

Al Dr. Juan De Dios Valdez Leal, por su apoyo y asesorías durante el proceso, porque me enseñó que donde solo es un trabajo sencillo se puede explotar a un más, gracias por cada palabra.

A mi comité Revisor

Al M. en C. Eduardo Javier Moguel Ordoñez, la Dra. Lilia María Gama Campillo, al en M. en C. Víctor Manuel Santiago Plata, a la Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa y al Dr. Juan de Dios Valdez Leal, por acompañarme durante este proceso y nutrir este documento con sus comentarios, revisiones y enseñanzas, gracias por el tiempo invertido en la revisión de este documento.

A mis compañeros del Laboratorio de Ecología del paisaje y Cambio Climático

De manera muy especial a Ruth del Carmen Luna Ruiz, por todo el apoyo incondicional que me ofreció. Fuiste como mi SAM que nunca dejó solo a su Frodo ☺.

A Hilda, Richy, Bertha, Victorio, porque todas las largas platicas y debates que se realizaron en el laboratorio, las cuales hicieron que este proceso fuera de mucho aprendizaje, pues fueron multidisciplinarias ☺ , gracias por alentarme siempre.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de terminar y obtener un logro más en la vida. Gracias Señor por la vida y bendiciones adquiridas.

A mis padres Ramón y Rocio, por estar siempre al pendiente de mí, por tener siempre las palabras correctas para seguir, por ser esos pilares que sostienen cada uno de mis proyectos, porque es por ustedes y para ustedes que este y más trabajos se realizaran. Los amo.

A mis hermanas Laura y Rocio, porque siempre estuvieron a mi lado, también al pendiente de este proceso y apoyándome cuando tenía alguna duda, siempre con sus comentarios certeros. A ti Yanet, siempre a mi lado como mi alma gemela, gracias por todo el apoyo dado, desde palabras hasta desvelos. Gracias y saben que las amo.

A mi princesa, porque siempre tuvo una hermosa sonrisa para mí y siempre lleno de alegrías mis tristezas, te amo Fer ☺.

A Francisco, gracias cuñis por todo el apoyo, palabras y largas pláticas que entablamos con respecto a este trabajo, gracias por todo ☺. A mi otro cuñis, Emanuel, gracias por todo tu apoyo, por resolver mis dudas y también por estar presente a lo largo de este trabajo.

A mi familia, que siempre estuvo al pendiente de este proceso, de manera especial a ti mamita Ada, que se siempre estuve en tus oraciones, a ti Sele e Itzel, que también formaron parte de mi desestres con palabras y abrazos.

A mi otra familia, que aun que no lleven mi sangre son parte de ella, a Oswaldo, Julio, Jorge, Gaby, Pancho, Silvia, Karen y Anahi, que siempre estuvieron con palabras de aliento, que aun que a lo mejor algunos no sabían del tema, siempre opinaban desde su profesión u ocupación, haciendo que este proceso fuera más relajado. A ti Clau porque todo el apoyo brindado, gracias por las palabras y la confianza y compartir conmigo bonitos momentos.

A los nuevos integrantes de la familia, Erika, Andy, Jose Luis y Cesar, claro no podía faltar Irvin, por subirse al barco de esta nueva aventura, de la cual sin saber cómo llegar teníamos claro en donde debíamos desembarcar. Gracias por ser parte de este nuevo grupo

A ti ☺ gracias por estar siempre presente en esta nueva etapa con palabras de aliento y fortaleza, siempre recordándome la persona que soy, para poder seguir adelante con este trabajo. No tengo palabras para agradecer todo lo ofrecido en este proceso, solo sé que siempre pude y podré contar contigo. y si de algo estoy segura es que yo sé, y tú sabes???

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN	3
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	4
OBJETIVOS	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO	5
Cambio climático	5
Escenarios climáticos.....	5
Impacto del cambio climático sobre la biodiversidad.....	6
Uso de Suelo.....	7
Especies indicadoras.....	8
Las aves como indicadores del cambio climático	11
Modelos de distribución.....	11
Referencia Bibliográfica.....	14
CAPITULO II.- ¿SON LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL UNA HERRAMIENTA CERTERA DE LA BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN?.....	25
CAPITULO III.- VULNERABILIDAD DE LAS AVES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SURESTE DE MÉXICO	33
1. Introducción.....	33
2. Materiales y Método.....	34
2.1. Fase I.- Selección de especies con Valor de importancia ante el Cambio Climático.....	34
2.2. Fase II.- Elaboración de los modelos de distribución	36
2.2.1. Obtención de registros.....	37
2.2.2. Selección de variables.....	37
2.2.3. Obtención Generación de los modelos de distribución potencial de las aves 38	
2.3. Fase III.- Evaluación del impacto del cambio climático sobre el Sureste de México.....	39
3. Resultados.....	40
3.1. Elaboración de los modelos de distribución.....	41

3.2.	Generación de los modelos de distribución potencial de las aves	42
3.3.	Índice de Vulnerabilidad de las especies	43
4.	Discusión	47
4.1.	Generación de los modelos de distribución potencial de las aves	49
4.2.	Elaboración del Índice de Vulnerabilidad de las especies	50
5.	Conclusión.....	51
6.	Referencia Bibliográfica.....	53
CAPITULO VI. - IDENTIFICACIÓN DE LOS SITIOS CON VALOR DE IMPORTANCIA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CONSERVACIÓN DE AVES EN EL SURESTE DE MÉXICO.....		60
1.	Introducción.....	60
2.	Metodología.....	61
2.1.	Fase I. Modelación de la transformación futura de la cobertura y uso de suelo del sureste de México.	61
2.1.1.	Preparación de Insumos.....	61
2.1.2.	Proceso de Modelación Terrset®.....	62
2.1.2.1.	Análisis de cambio de uso de suelo (Change Analysis).....	62
2.1.2.2.	Modelación de las transiciones potenciales de la cobertura de suelo (Transition Potential).....	63
2.1.2.3.	Predicción de los cambios de uso (Change Prediction).....	64
2.2.	Fase II. Contrastar la distribución potencial futura de las aves con las coberturas futuras con el fin de identificar los sitios con VIACC para la conservación de aves en el sureste de México.	64
2.2.1.	Ensamble de modelos.....	64
2.2.2.	Área de conservación	65
2.2.3.	Tipo de cobertura.....	65
2.2.4.	Priorización de sitios con valor de importancia ante el cambio climático para conservación de aves.....	65
3.	Resultados.....	67
3.1.	Análisis de cambio y determinación de transiciones	67
3.2.	Predicción de Cambios.....	69
3.3.	Identificación de áreas de distribución potencial de las aves del sureste de México protegidas por la ley	69

3.4. Identificación de los sitios prioritarios para las aves con valor de importancia ante el cambio climático del sureste de México	71
4. Discusión	73
4.1. Análisis de cambio y determinación de transiciones	73
4.2. Identificación de los sitios prioritarios para las aves del sureste de México.....	75
5. Conclusiones.....	78
6. Referencia Bibliográfica.....	79
Anexos.....	85

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO III

Figura 1.- Pérdida y ganancia del área de distribución de las especies, para cada uno de los MCG en los dos periodos de tiempo 2050 y 2070..... 45

Figura 2.- Porcentaje de perdida, ganancia y permanencia del área de distribución potencial por especie, de acuerdo al Modelo de Circulación General en el que fue modelado..... 43

Figura 3.- Estatus de vulnerabilidad por especies de acuerdo al Modelo de Circulación General en el que fue modelado..... 46

Figura 4.- Estatus de vulnerabilidad de las especies de acuerdo al Modelo de Circulación General en el que fue modelado..... 44

CAPÍTULO IV

Figura 1. Unión de los elementos principales para la obtención de los sitios sensibles ante los efectos de CC, de acuerdo a cada periodo de tiempo (actual, 2050 y 2070) 66

Figura 2. Proporciones de coberturas naturales y antrópicas en las Series III, Serie VI, proyectadas 2050 y 2070, en el área total y sólo de áreas consideradas protegidas.....67

Figura 3. Pérdidas y ganancias de las coberturas naturales y antrópicas del sureste de México en el periodo 2002-2014.....68

Figura 4. Porcentaje del área de distribución potencial actual y futura que se encuentra bajo algún estatus de protección.....70

Figura 5. Porcentaje del área de distribución potencial actual y futura de tipo natural que no se encuentra bajo algún estatus de protección.....70

Figura 6. Porcentaje por estado del área que ocupan los sitios prioritarios, perturbados y protegidos de acuerdo a los dos periodos de tiempo 2050 y 2070.....72

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1. Criterios para seleccionar las especies indicadoras.....	10
--	----

CAPÍTULO III

Tabla 1. Descripción de los criterios utilizados para la selección de aves con valor de importancia ante el cambio climático (VIACC).....	35
--	----

Tabla 2.- Categorías y valores ponderados de cada criterio.....	36
--	----

Tabla 3. Aves indicadoras del CC, seleccionadas durante la evaluación de VIACC.....	40
--	----

Tabla 4. Grupo de variables bioclimáticas que se utilizaron para realizar los modelos de distribución potencial de cada una de las especies.....	41
---	----

CAPÍTULO IV

Tabla 1.- Clasificación e ID que se establecieron para cada una de las capas de Uso de Suelo y Vegetación.....	62
---	----

Tabla 2.- Matriz de tabulación cruzada o matriz de cambio.....	63
---	----

Tabla 3.- Clasificación final de las coberturas de USV actual, 2050 Y 2070, para la identificación de sitios prioritarios.....	66
---	----

Tabla 4. Persistencia por coberturas naturales y antrópicas para el sureste de México....	68
--	----

Tabla 5. Área de las coberturas naturales y antrópicas proyectadas al 2050 y 2070.....	69
---	----

Tabla 6. Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México.....	72
---	----

ÍNDICE DE ANEXO

ANEXO I

Cuadro 1.- 19 Variables climáticas de <i>WorldClim</i> 1.4.....	85
Cuadro 2.- Características de los Modelos de Circulación General.....	86
Cuadro 3.- Criterios y categorías de la evaluación de la vulnerabilidad de las aves con VICC.....	85

ANEXO II

Cuadro 1.- Matriz de selección de especies Indicadoras, con valores ponderados.....	87
Cuadro 2.- Matriz de selección de especies Indicadoras, de acuerdo a los valores de peso relativo.....	88
Figura 1.- Total de registros de presencia de las especies, en el periodo de 1960-2018..	89
Figura 2.- Variables que contribuyeron más a cada uno de los modelos de distribución...89	

ANEXO III.-

Figura 1.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Amazona albifrons</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	90
Figura 2.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Amazona oratrix</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	91
Figura 3.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Amazilia yucatanensis</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	92
Figura 4.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Aramus guarauna</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	93
Figura 5.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Botaurus pinnatus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	94
Figura 6.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Bubo virginianus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	95
Figura 7.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Buteogallus anthracinus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	96
Figura 8.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Cairina moschata</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	97
Figura 8.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Cardinalis cardinalis</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	98
Figura 10.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Celeus castaneus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	99

Figura 11.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Ceratopipra mentalis</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	100
Figura 12.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Chondrohierax uncinatus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	101
Figura 13.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Cyanocorax yucatanicus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	102
Figura 14.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Dendrocincla anabatina</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	103
Figura 15.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Dendrocincla homochroa</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	104
Figura 16.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Egretta rufescens</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	105
Figura 17.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Eupsittula nana</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	106
Figura 18.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Geranospiza caerulescens</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	107
Figura 19.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Jabiru mycteria</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	108
Figura 20.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Leptodon cayanensis</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	109
Figura 21.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Meleagris ocellata</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	110
Figura 22.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Micrastur semitorquatus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	111
Figura 23.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Onychorhynchus coronatus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	112
Figura 24.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Penelope purpurascens</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	113
Figura 25.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Ramphastos sulfuratus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	114
Figura 26.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Sarcoramphus papa</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	115
Figura 27.- Mapa de modelos de distribución potencial del <i>Spizaetus ornatus</i> , en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.....	116

Figura 28.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Tinamus major*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México..... 117

Figura 29.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Trogon collaris*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México..... 118

ANEXO IV

Figura 1.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación de las aves del sureste de México para el 2050..... 119

Figura 2.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación de las aves del sureste de México para el 2070..... 120

Figura 3.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050..... 121

Figura 4.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050. 122

Figura 5.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050..... 123

Figura 6.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050. 124

Figura 7.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050. 125

Figura 8.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070. 126

Figura 9.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070. 127

Figura 10.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070..... 128

Figura 11.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070..... 129

Figura 12.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070..... 130

INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) es un fenómeno del cual se tiene reporte que ejerce un impacto en los sistemas humanos y naturales, en los ciclos biológicos y ecológicos. Este fenómeno es la variación del clima, como resultado de las emisiones de gases de efecto invernadero (GIE) que se liberan al ambiente, provocados principalmente por actividades antropogénicas (Díaz, 2012; IPCC, 2014; Rodríguez & Mance, 2009), estos gases están directamente relacionados con la temperatura media mundial de la tierra (IPCC, 2013b; ONU, 2017).

El CC trae consigo numerosas afectaciones directas e indirectas a los individuos, poblaciones y ecosistemas que se encuentran en el planeta. Estas afectaciones van desde la modificación de la temperatura en los océanos, en los cuales se estima que a escala global, ha habido un aumento de 0.11 [0.09 a 0.13] °C por decenio, durante el período entre 1971 y 2010, hasta el aumento del nivel del mar donde la tasa media de elevación promedio es de 1.7 [1,5 a 1,9] mm/año entre 1901 y 2010, y de 3.2 [2.8 a 3.6] mm/año entre 1993 y 2010. En relación a la precipitación, también se tendrán cambios, pero estos no serán uniformes (Andrade & Pinzón, 2011; Herzog, Martinez, Jorgensen, & Tiessen, 2011; IPCC, 2014), provocando una desestabilidad en las dinámicas terrestres, lo cual traerá un impacto significativo en la biodiversidad (Descamps *et al.*, 2017; Gama-Campillo, 2018; Yanez-Arancibia, Day, Twilley, & Day, 2014).

En las poblaciones tanto de fauna como de flora, se ha observado ya algunos impactos, en el tamaño de la población y en su área de distribución. Aunado a estos cambios están la disponibilidad de alimento, la modificación de espacios de descanso, de hábitat de reproducción, de hábitat de caza y la aparición de nuevas enfermedades o parásitos (Descamps *et al.*, 2017; Drake & Martin 2017; Gao *et al.* 2018;). Lo anterior indica, que la tasa de pérdida de recursos biológicos aumentará, afectando más rápido a aquellos ecosistemas que ya se encuentran impactados por las distintas modificaciones de las actividades humanas (Martínez-Meyer, Sosa-Escalante, & Álvarez, 2014; Urbina Cardona, 2011). En cuanto a las afectaciones

directas sobre las especies, se han encontrado cambios en el desarrollo fisiológico y en sus conductas durante las fases de reproducción y migración (Gao, Gao, & Zhang, 2018; Lemoine, Schaefer, & Bohning-Gaese, 2007; Uribe & Ávila, 2015).

Dentro de los grupos taxonómicos, las aves se están viendo seriamente afectadas por estos impactos (Kaeslin, Redmond, & Dudley, 2013; Kujala, Lahoz-Monfort, Elith, & Moilanen, 2018; Uribe & Ávila, 2015), debido a que ya muestra cambios en sus periodos y distancias de migración, en sus áreas de anidación, sus tamaños poblacionales y sus áreas de distribución (Cadena, 2011; Kaeslin *et al.*, 2013; Peñuelas *et al.*, 2004; Sekercioglu, Primack, & Wormworth, 2012). Muchos estudios que se han realizado alrededor de este grupo taxonómico, muestran tendencias de disminución, siendo más vulnerables aquellos grupos que son endémicos, especialistas o con un nicho ambiental pequeño. Esto es porque no solo se enfrentan al cambio climático, sino a las presiones antrópicas como la deforestación de selvas y el aumento de la frontera agrícola, originando una modificación completa en la cobertura terrestre y climática, y en consecuencia de estos dos factores podrían llegar a ocasionar la extinción de las aves (Gardali, Seavy, DiGaudio, & Comrack, 2012; Rodríguez & Mance, 2009; Sekercioglu, Schneider, Fay, & Loarie, 2008).

Cabe recalcar que las aves son de suma importancia en los ecosistemas, debido a los servicios que ofrecen, los cuales son inevitables para el ambiente y el bienestar humano (Feria *et al.*, 2013; Şekercioğlu, 2012; Weiss, Calmé, & Kampichler, 2008). Por lo cual, es necesario conocer cuál será la respuesta de las aves ante el impacto del cambio climático y la evolución de la cobertura terrestre.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del cambio climático, en la distribución potencial futura de aves del Sureste de México, para identificar sitios para su conservación. Los resultados de este trabajo son claves, ya que determinar los sitios en donde las aves encontrarán las condiciones adecuadas para mantenerse en el tiempo, permitirán realizar planeaciones oportunas para recibir mayor atención y mitigar tales efectos.

JUSTIFICACIÓN

El CC tendrá importantes efectos sobre la biodiversidad en el planeta (IPCC, 2013b, 2014). Estos efectos de cambios ya se están reportando en diversos grupos taxonómicos de plantas y animales terrestres, de agua dulce y marinos, a nivel de poblaciones o especies (Kaeslin *et al.*, 2013). Dentro de las respuestas que han mostrado las especies son la modificación de sus áreas de distribución geográfica, actividades estacionales, pautas migratorias, abundancias e interacciones con otras especies (IPCC, 2014).

Se espera que a consecuencia del CC se tenga una extinción entre el 20 o 30 % de las especies de plantas y animales, ocasionando impactos diversos (Kaeslin *et al.*, 2013). De forma directa, algunas aves como la paloma *P. nigrirostris*, muestran disminución de población, ya que tienen una fuerte relación positiva con la precipitación y una negativa con la temperatura, de tal manera que si hay descenso en la cantidad de lluvia y el incremento en la temperatura como se prevé, esta ave podría correr el riesgo de desaparecer (Martínez, 2016), por lo tanto el aumento de la tasa de pérdida estarán en función de las características que posea cada organismo para resistir o adaptarse a los cambios y el desplazamiento a hábitats de latitudes y elevaciones más altas (Gao *et al.*, 2018; Hernández-Manrique, Sánchez-Fernández, Numa & Galante, 2013).

Añadido a este problema se encuentra la modificación que se sigue realizando a los ecosistemas, dándole constantemente una forma diferente al territorio, afectando aún más las condiciones que tienen las comunidades biológicas (Carmona, *et al.*, 2017; Rivera Gutiérrez, 2006). El impacto que todo esto tendrá sobre la biodiversidad en el mundo es indiscutible, sumándose la transformación en los hábitats a causa de las actividades antrópicas (Bouroncle, 2008; Johnson *et al.*, 2010). Las aves han sido estudiadas por su respuesta rápida ante CC, Ortiz-Pulido (2018) menciona que el 75% de las aves del mundo enfrentarán un proceso de extinción de continuar las tendencias de destrucción ambiental, actualmente estima que en México hay 120% más de las especies de aves en peligro de las que actualmente están protegidas.

Por lo cual, es necesarios realizar trabajos en los cuales se combine el impacto que el cambio climático y la evolución de la cobertura terrestre traerán sobre las especies, pues permitirá identificar de manera puntual las áreas de interés para ellas y así determinar las áreas de conservación, centrando las acciones y estrategias de anticipadas a dichos cambios.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles serán los sitios con valor de importancia en los cuales las aves podrán ser conservadas ante los impactos del cambio climático?

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto del cambio climático, en la distribución potencial futura de aves del Sureste de México, para identificar sitios para su conservación.

Objetivos específicos

- ✓ Determinar la vulnerabilidad de las especies con valor de importancia ante el cambio climático en el sureste de México.
- ✓ Identificar sitios con valor de importancia ante el cambio climático para la conservación de aves en el sureste de México.

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

Cambio climático

Las distintas actividades que realiza el ser humano en el planeta en el último siglo han provocado el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, dando como resultado un incremento de la temperatura. El aumento de temperatura modifica directamente el clima en el planeta, originando impactos en el medio natural y humano, en los continentes y océanos (IPCC, 2014; Kaeslin et al., 2013). El clima en el planeta ha variado a lo largo del tiempo, hace miles de años los cambios climáticos eran por causa natural, pero esto cambio cuando surgió la revolución industrial, aumentando de manera excepcional las concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) (IPCC, 2007), el cual es uno de los principales gases responsables del efecto invernadero.

El cambio climático actual se asocia a la modificación del clima causado por las altas concentraciones de GEI de origen antrópico en la atmosfera. Se prevé que haya un aumento en las temperaturas y una variación de las precipitaciones para los próximos 100 años, tiempo en el cual los organismos tendrán que enfrentar una serie de desafíos, los cuales van desde cambios en los procesos fisiológicos hasta modificación de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (IPCC, 2010; Peñuelas *et al.*, 2004). Con el objetivo de observar los cambios que se presentarán en el clima del planeta, se han trabajado una serie de escenarios que tratan de exponer estas nuevas condiciones. Estas representaciones no son pronósticos del tiempo, debido a que cada escenario se basa en un conjunto de análisis climatológicos.

Escenarios climáticos

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), en su Quinto Informe de Evaluación presenta cuatro escenarios, conocidos como RCP (Trayectorias de concentración representativas): RCP 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5, los cuales nos muestran las proyecciones a futuro con base a las emisiones de gases de efecto invernadero, con un margen de variación en función del desarrollo socioeconómico y la política climática (IPCC, 2014). El escenario de mitigación estricto (RCP2.6) supone una

reducción considerable y sostenida en las emisiones. Los escenarios RCP 4.5 y 6.0, suponen una cierta estabilización de las emisiones, y el escenario RCP8.5 contempla altos niveles de emisiones en el cual se supone que no se realizará alguna medida de mitigación.

Para cada uno de estos escenarios se realizan diferentes modelos matemáticos, llamados Modelos de Circulación General (MCG). Los MCG tratan de representar los procesos físicos de la atmósfera, el océano, la criósfera y la superficie de la tierra ante los posibles efectos del cambio climático (Jéuregui, 2003; Montero-Martínez, *et al.*, 2013). Estos son una herramienta que se utilizan para simular y conocer la posible respuesta del sistema climático y los gases de efecto invernadero (Manzanilla, *et al.*, 2018). Sin embargo, los modelos matemáticos no son siempre exactos, por lo cual pueden representar bien una región y tener un mal desempeño en otra, debido a este problema siempre se recomienda usar más de un MCG (Araújo & New, 2007; Diniz-Filho *et al.*, 2009; Guevara, León-Paniagua, Rios & Anderson, 2018; Rodríguez, 2010).

Impacto del cambio climático sobre la biodiversidad

El cambio climático es uno de los tantos problemas ambientales a los cuales los organismos se deben enfrentar, pues causa efectos directos o indirectos sobre la biodiversidad. Dentro de los problemas que podría ocasionar, está el modificar los procesos ecológicos que se desarrollan en un ecosistema, dando como resultado, la pérdida del suministro de servicios ambientales (Foden *et al.*, 2013; Martín-López, *et al.*, 2007).

Todo esto ha sido a causa del aumento de temperatura que está volviendo más cálidas las regiones del planeta, afectando la ecología y fisiología de los organismos. Ejemplo de ello, es que algunas plantas están variando la temporada anual en su fenología, dejando a las aves desprovistas de refugio y alimento, ya que estas no modifican su periodo de arribo (Drake & Martin, 2018). De igual manera se ha observado que está afectado el periodo reproductivo, pero no solo de las aves sino de todos los grupos taxonómicos (Aguado & Escalante, 2015; Descamps *et al.*, 2017).

La UICN ha identificado al cambio climático como una amenaza, en donde 2,560 especies (11%) se encuentran amenazadas por este problema, de las 23,250 que figuran como amenazadas por otros factores (Trull, Böhm, & Carr, 2018). Foden *et al.*, (2013), menciona que entre 608-851 (6-9%) de las especies de aves, 670-933 (11-15%) de especies de anfibios y 4,773 (6-9%) de especies de coral son altamente vulnerables al cambio climático. Urban (2015), alude que, si el cambio climático se desarrolla de la manera esperada, una de cada seis especies podría verse afectada por este fenómeno, llevándolas al borde la extinción.

Es por eso que se ha venido trabajando en conocer la respuesta de las especies ante dicho fenómeno. Una de las líneas en las cuales se ha venido apostando es la modelación de especies de acuerdo a los escenarios climáticos (Aguado & Escalante, 2015; Alberdi & Felicísimo, 2016; Botello, Sánchez-Cordero, & Ortega-Huerta, 2015; Botello, Sarkar, & Sánchez-Cordero, 2015; Calderón Torres, Sossa Arango, & Khoury, 2015; Lara, 2017; Olivier, Van Aarde, & Lombard, 2013; Redford, Berger, & Zack, 2013; Rosenstock, Toranza, & Brazeiro, 2015; Rosique, 2015; Timaná de la Flor & Cuentas, 2015), con el que se buscan identificar la respuesta de las especies ante CC y definir de esta manera las especies que tendrán las capacidades suficientes para adaptarse y permanecer en el tiempo (Gao *et al.*, 2018).

Uso de Suelo

Los seres humanos constantemente demandan espacios en los que puedan desarrollar actividades que cubran sus necesidades. Estas necesidades van desde producir alimento y ropa hasta la recreación y esparcimiento; como resultado se han modificado la cobertura vegetal original, ocasionando la alteración y fragmentación de hábitats, siendo esta una de las principales causas de pérdida de especies (Laurance, Sayer, & Cassman, 2014; López Vazquez, Balderas Plata, Chávez Mejía, Juan Pérez, & Gutiérrez Cedillo, 2015; Martínez-Meyer, Sosa-Escalante, & Álvarez, 2014; Jantz *et al.*, 2015).

El uso de suelo se define como las diferentes maneras en que la sociedad usa un terreno o cubierta vegetal (Gopar-Merino & Velázquez, 2016; Trucíos, *et al.*, 2013).

De acuerdo al tipo de transformación que se emplee sobre este suelo, influirá en los hábitats que ahí se desarrollan (Castro, Sahagún, & Reyes, 2017; Farfán Gutiérrez, Rodríguez-Tapia, & Mas, 2015; Fernández & Prados, 2010). Los hábitats tienen a ser fragmentados, y quedan parches, los cuales pueden o no estar conectados, modificando de esta manera la dinámica de los organismos (Vaugoyeau *et al.*, 2016).

Las respuestas que podría estar mostrando las especies a nivel comunidad o como individuo ante la fragmentación se encuentran: (1) reducción en la riqueza de especies, principalmente especialistas, (2) menos individuos y especies en fragmentos pequeños, (3) impacto sobre la densidad y fecundidad de aves, (4) cambios en la distribución de especies en hábitats fragmentados e (5) incremento en parasitismo y predación de nidos debido a efecto de borde a nivel de comunidad (Colorado, Vásquez, & Mazo, 2017).

Esta transformación de los ecosistemas se seguirá realizando, e impactando las comunidades de organismos (Camacho-Sanabria *et al.*, 2015; Trucíos *et al.*, 2013). Asociado a esto se encuentra la liberación de GEI, que se genera cuando un ecosistema es destruido, liberando todo el carbono que se tenía almacenado mediante la descomposición o la combustión de los residuos, contribuyendo de esta manera al aumento de estos gases, los cuales dan paso a la variación climática que se está presentando (IPCC, 2013b). Por lo tanto, las especies estarán limitadas por las condiciones climáticas que encuentren en el futuro, pero también por el paisaje que se presente como resultado de las acciones humanas que se realizan en el territorio (Del Castillo-Batista, Figueroa-Rangel, Lozano-García, Olvera-Vargas, & Cuevas-Guzmán, 2018; J. M. González, 2018; Rosenstock *et al.*, 2015; Toranza C, 2016).

Especies indicadoras

Actualmente, el mundo es de constante cambio, muchos de los cuales se ejercen sobre los ecosistemas, el resultado es que las cadenas tróficas se rompen, causando que se alteren las condiciones originales de los ambientes u hábitat (Catalá & Isasi, 2011; Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011). En la naturaleza todos los

organismos se interrelacionan en conjunto con los factores del ambiente abiótico, por lo tanto, los cambios afectan a todos. Esto ha dado paso a la selección de especies que puedan reflejar el estado de salud de los ecosistemas, ya que muchas tienen una alta sensibilidad a la transformación del medio, que es imperceptible para los humanos (González-Ortega *et al.*, 2003; López-saut, Rodríguez, & Ramírez, 2014).

Estas especies mostrarán los cambios ambientales que se ocasionan a causa de los disturbios, generando información para evaluar la calidad y el bienestar del ecosistema, y su estado de conservación (Kattan, Naranjo, & Rojas, 2008; Villarreal, Jiménez, & Rica, 2008, Pacheco-Figueroa *et al.*, 2019). Estas especies se conocen como especies indicadoras, las cuales deben ser sensibles a los cambios, para poder mostrar una advertencia temprana. Ellas reflejan la condición ambiental con base a su presencia, ausencia o abundancia, debido a que los cambios en la condición ambiental de un ecosistema repercuten o beneficia a la especie (Catalá & Isasi, 2011; Kattan *et al.*, 2008; Lawler, White, Sifneos, & Master, 2003; López-saut *et al.*, 2014; Newson *et al.*, 2009).

Las señales deben ser predecibles y pueden ir desde cambiar su comportamiento, migrar, o hasta cambiar la composición de las comunidades en las que estas se encuentran (Valois-Cuesta, Córdoba-Arias, & Rentería-Arriaga, 2016). De tal manera que deben cumplir una serie de características o criterios que permitan seleccionar la especie y así poder evaluar la biodiversidad, el funcionamiento y los procesos que la afectan (Tabla 1).

Algunos ejemplos en que se han empleado las especies indicadoras son: el diagnóstico del estado de salud de un ecosistema, indicar la contaminación del aire (Alcalá *et al.*, 2009; Simijaca-Salcedo, Vargas-Rojas, & Morales-Puentes, 2014), suelo (Baretta, Brown, & Cardoso, 2010; Socarrás & Izquierdo, 2014) o agua (Miravet, *et al.*, 2016; Perbiche-Neves, *et al.*, 2013). También han podido reflejar un conjunto único de características ambientales en un lugar específico, es decir un microclima único o ayudando a delimitar una eco-región (Heilmann-Clausen *et al.*, 2014). Otra manera de utilizar a las especies indicadores, es para mostrar el brote

de una enfermedad (Tulloch, Chadès, & Possingham, 2013), o indicarnos donde hay impactos a causa del cambio climático (Del-Val & Sáenz-Romero, 2017; Descamps *et al.*, 2017).

Por lo tanto, la selección de una especie indicadora es un trabajo que se debe realizar con cautela, debido a que cuando se trata de dirigir las políticas y esfuerzos en pro de la conservación y cuidado de los ambientes, se pueden tomar como herramienta de referencia y de este modo plantear propuestas de planes de manejo de los recursos o crear las estrategias de conservación (López-saut *et al.*, 2014; Sattler *et al.*, 2014).

Tabla 2. Criterios para seleccionar las especies indicadoras

Autor	Criterios
González-Ortega <i>et al.</i> , (2003)	Estado de conservación
	Endemismo
	Distribución geográfica
	Especialización
	Susceptibilidad de muestreo
	Facilidad de determinación y manipulación en campo
	Grado de conocimiento
	Abundancia relativa
Catalá & Isasi, (2011)	Biología bien documentada
	Fácil de estudiar
	Sensible a las perturbaciones humanas (tanto negativa como positivamente)
	Ampliamente distribuida
	Poco longevas
Kattan <i>et al.</i> , (2008)	Facilidad y costo de muestreo
	Conocimiento y relevancia
	Sensibilidad
Villarreal; <i>et al.</i> , (2004)	Taxonomía bien conocida
	Historia natural bien conocida
	Taxones superiores con distribución en un amplio rango geográfico
	Abundantes, de fácil observación y manipulación
	Taxones inferiores (especies y subespecies) con especialidad de hábitat y sensibles a cambios
	Grupo altamente diversificado taxonómica y ecológicamente.
	Presentar poca estacionalidad
	Patrones de diversidad extrapolable a otros taxones relacionados y no relacionados.

Las aves como indicadores del cambio climático

Las aves son los organismos más estudiados en la tierra y representan un grupo indicador importante para conocer los efectos del CC, debido a que tienen una estrecha relación con las condiciones ambientales de su hábitat (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014). Se ha observado que estas tienen serios problemas en cuanto a la sincronización de sus hábitos rutinarios, ya que ocasiona un desfase entre su alimentación, desplazamiento, anidación y hasta el periodo de migración (Descamps *et al.*, 2017; Drake & Martin, 2018; Johansson, Smith, & Jonzén, 2014; Lemoine *et al.*, 2007; Vaugoyeau *et al.*, 2016).

Se estima que entre 6 y 9% de las aves del mundo serán vulnerables al CC, además de estas actualmente se encuentran en algún estatus de peligro de extinción (Foden *et al.*, 2013). Las predicciones muestran una tendencia de disminución de este grupo, afectando principalmente especies endémicas y especialistas, debido a que no solo serán afectadas por este fenómeno sino que siguen siendo impactadas por las actividades antropogénicas, provocando que pudiese extinguirse en décadas posteriores por reducción y modificación de su hábitat (Feria *et al.*, 2013; Jessica, 2011; Zurell, Graham, *et al.*, 2018). Todo lo anterior da paso que las cadenas tróficas se alteren, provocando que la composición ecosistémica que se encuentra en los hábitats se transforme.

González (2016), indica que los procesos de deforestación y pérdida de hábitat están afectando directamente la distribución de las aves, pero también están siendo afectadas por el incremento de la temperatura máxima. Se estima que la pérdida de hábitat y el calentamiento de la tierra de 3.5 °C para el año 2100, resultará entre 600 y 900 extinciones de aves terrestres, de estas el 89% ocurrirá en los trópicos (Sekercioglu *et al.*, 2012). De tal manera que la sobrevivencia de las aves estará en función del CC y el uso de suelo.

Modelos de distribución

Existen factores abióticos que influyen en la distribución de las especies. La temperatura, la precipitación, la luz y la humedad, podrían limitar y obligar a las especies a desplazarse de un sitio a otro en busca de espacios con condiciones de

hábitat apropiadas para su desarrollo (Aguado-Bautista & Escalante, 2015; Albores, et al., 2017). Estos patrones de distribución geográfica y las variables ambientales son la base para obtener una modelación de nicho ecológico, con el que se busca determinar el área de distribución potencial de la especie (Castro *et al.*, 2017; Cruz-Cárdenas, *et al.*, 2014; Kujala *et al.*, 2018; Meller *et al.*, 2014).

Los modelos de distribución potencial (MDP) de especie son una representación de la realidad, que buscan aproximarse a la distribución real del organismo, estos se calculan en un espacio ambiental multidimensional y luego se proyecta al espacio geográfico (Townsend *et al.*, 2011). Por lo que Martínez-Meyer, Díaz-Porras, Peterson, & Yanez-Arenas (2012), definen como “nicho” a un hipervolumen N-dimensional dentro del cual las poblaciones pueden mantenerse por sí mismas indefinidamente.

Los modelos, se generan mediante programas estadísticos que cumplen los requerimientos necesarios de cada investigador (Benito Garzón, Sánchez De Dios, & Sáinz Ollero, 2007; Elith *et al.*, 2006; Phillips, Anderson, & Schapire, 2006), y se trabajan a partir de registros de presencia de la especie y datos ambientales, infiriendo a partir de ellas hacia donde la especie se desplazará en el paisaje (Lozier, Aniello, & Hickerson, 2009; Mateo, Felicísimo, & Jesus, 2011). Este proceso se basa en el concepto tradicional de Nicho propuesto por Grinnell (1917), el cual está definido por un subconjunto de variables fundamentalmente no interactivas (escenopoéticas), que corresponden a un área geográfica específica donde la especie existiera indefinidamente (Soberón, 2007).

En la actualidad hay una variedad de métodos para el modelado de distribución de las especies, es por eso que se han realizado diferentes estudios para compararlos y llegar a determinar cual tiene un mejor desempeño (Benito de Pando & Peñas de Giles, 2007; Elith *et al.*, 2006; Hijmans & Graham, 2006; Meller *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2012). En cuanto a los MDP a futuro es un reto mayor, debido a que no se puede predecir el futuro con precisión, pero esto no limita que se sigan realizando trabajos de modelación, para comprender los posibles efectos del CC (Araújo, *et al.*, 2011; Olivier *et al.*, 2013). La base para realizar las proyecciones a futuro es la

distribución actual, debido a que es ahora en donde las especies identifican la combinación adecuada de variables para poder tener su nicho, además exponer los factores que influyen en la reducción de esas áreas que ahora son favorables en un espacio de tiempo (Jessica, 2011; Pliscoff & Fuentes, 2011).

De manera general los modelos se han convertido en una de las áreas de investigación con mayor desarrollo en el campo de la biogeografía de la conservación, debido a que muestra la dinámica de las especies mediante su distribución dando las pautas para dirigir los esfuerzos de conservación (Aguado-Bautista & Escalante, 2015; Alberdi & Felicísimo, 2016; Araujo & Rahbek, 2006; Guisan *et al.*, 2013).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Referencia Bibliográfica

- Aguado-Bautista, Ó., & Escalante, T. (2015). Cambios en los patrones de endemismo de los mamíferos terrestres de México por el calentamiento global. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 99–110. <https://doi.org/10.7550/rmb.46637>
- Alberdi, N. V., & Felicísimo, P. A. (2016). Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Bosques de los Andes del Norte y Centro. *GeoFocus.*, 0(17), 1–22. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Albores, J. E. R., Tinajero, R., Vargas, L. C., Vargas, & Chapa, L. (2017). Cara a cara con El quebrantahuesos. *CONABIO.Biodiversitas*, 130, 12–16. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21824.53768>
- Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Rodríguez, J., Loredó, C., Lara, J., & Tapia, J. (2009). Concentraciones de Fe, Mn Y Mg en material foliar de cinco especies arbóreas indicadoras de La contaminación urbana en la Ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*, 18, 37–52.
- Andrade, C. A., & Pinzón, V. M. (2011). Efectos de la sobre-elevación del nivel del mar por el cambio climático en las playas de los cayos del Archipiélago de San Andrés. *Boletín Científico CIOH*, (29), 60–71. <https://doi.org/10.26640/22159045.229>
- Araújo, M. B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogués-Bravo, D., & Thuiller, W. (2011). Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters*, 14(5), 484–492. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01610.x>
- Araújo, M. B., & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(1), 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010>
- Araujo, M. B., & Rahbek, C. (2006). How Does Climate Change Affect Biodiversity? *Science*, 313(5792), 1396–1397. <https://doi.org/10.1126/science.1131758>
- Arriaga-Weiss, S. L., Calmé, S., & Kampichler, C. (2008). Bird communities in rainforest fragments: Guild responses to habitat variables in Tabasco, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17(1), 173–190. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9238-7>
- Baretta, D., Brown, G. G., & Cardoso, E. J. B. N. (2010). Edáficas Como Indicadores Da Qualidade Do. *Acta Zoológica Mexicana*, 2(Número especial), 135–150.
- Benito de Pando, B., & Peñas de Giles, J. (2007). Aplicación de moldelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península Ibérica. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 7, 100–119. <https://doi.org/1578-5157>
- Benito Garzón, M., Sánchez De Dios, R., & Sáinz Ollero, H. (2007). Predictive modelling of tree species distributions on the Iberian Peninsula during the Last

- Glacial Maximum and Mid-Holocene. *Ecography*, 30(1), 120–134. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04813.x>
- Botello, F., Sánchez-Cordero, V., & Ortega-Huerta, M. A. (2015). Disponibilidad de hábitats adecuados para especies de mamíferos a escalas regional (estado de Guerrero) y nacional (México). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 226–237. <https://doi.org/10.7550/rmb.43353>
- Botello, F., Sarkar, S., & Sánchez-Cordero, V. (2015). Impact of habitat loss on distributions of terrestrial vertebrates in a high-biodiversity region in Mexico. *Biological Conservation*, 184, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.035>
- Bouroncle, seoane C. (2008). Efectos de la fragmentación en la ecología reproductiva de especies y grupos funcionales del bosque húmedo tropical de la zona atlántica de Costa Rica. CATIE. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2934E/A2934E.PDF>
- Cadena, J. B. (2011). Cambio climático global: efecto en algunas especies de aves en peligro en el estado de Hidalgo, México. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Calderón Torres, S. S., Sossa Arango, C. C., & Khoury, C. K. (2015). Impacto del cambio climático para el 2020 en la distribución potencial de Achira (*Canna indica* L.) en Colombia usando tres modelos de circulación global de la familia de escenarios de emisión A2. *Ingeniería y Región*, 13(1), 91. <https://doi.org/10.25054/22161325.711>
- Camacho-Sanabria, J. M., Pérez, J. I. J., Pineda, N. B. J., Cadena, E. G. V., Bravo, L. C. P., & Sánchez, M. L. (2015). Cambios de cobertura / Uso del Suelo. *Madera y Bosques*, 21(1), 93–112. Retrieved from http://www2.inecc.gob.mx/emapas/download/lch_cambio_de_uso_del_suelo.pdf
- Carmona, R., Mendoza, L. F., Molina, D., Ortega, L., Miramontes, E., & Cruz, M. (2017). Presencia espacial y temporal de aves rapaces diurnas (aves: Accipitriformes, Falconiformes) en marismas nacionales, Nayarit-Sinaloa, México. *Acta Zool. Mex.* (n.S.), 33(1), 27–38.
- Castro, N. J., Sahagún, S. F. J., & Reyes, H. H. (2017). Dinámica de fragmentación en la Sierra Madre Oriental y su impacto sobre la distribución potencial de la avifauna. *Madera y Bosques*, 23(2), 99–117. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321429>
- Catalá, I., & Isasi, C. E. (2011). Los concentos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso yabuso en ecología de la conservación. *Interciencia*, 36(1), 31–38. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/339/33917727005.pdf>
- Colorado, G. J. Z., Vásquez, J. L. M., & Mazo, I. N. Z. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en santa elena (Medellín,

- Colombia). *Acta Biologica Colombiana*, 22(3), 379–393. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., 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. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.034>
- Del-Val, E., & Sáenz-Romero, C. (2017). Insectos Descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) Y Cambio Climático: Problemática Actual Y Perspectivas En Los Bosques Templados. *Tip*, 20(2), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.006>
- Del Castillo-Batista, A. P., Figueroa-Rangel, B. L., Lozano-García, S., Olvera-Vargas, M., & Cuevas-Guzmán, R. (2018). 1580 years of human impact and climate change on the dynamics of a Pinus-Quercus-Abies forest in west-central Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(1), 208–225. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.2117>
- Descamps, S., Aars, J., Fuglei, E., Kovacs, K. M., Lydersen, C., Pavlova, O., ... Strøm, H. (2017). Climate change impacts on wildlife in a High Arctic archipelago – Svalbard, Norway. *Global Change Biology*, 23, 490–502. <https://doi.org/10.1111/gcb.13381>
- Díaz, G. C. (2012). El Cambio Climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227–240. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047163-1.00500-2>
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F. S., & Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology*, 4(8), 1300–1305. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Diniz-Filho, J. A. F., Mauricio Bini, L., Fernando Rangel, T., Loyola, R. D., Hof, C., Nogués-Bravo, D., & Araújo, M. B. (2009). Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. *Ecography*, 32(6), 897–906. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06196.x>
- Drake, A., & Martin, K. (2018). Local temperatures predict breeding phenology but do not result in breeding synchrony among a community of resident cavity-nesting birds. *Scientific Reports*, 8(1), 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20977-y>
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudi, M., Nakamura, M., Nakazawa, Y., ... Wisz, M. S. (2006). Nuevos métodos mejoran la predicción de la distribución de las especies a partir de datos ocurrencia, 2.
- Farfán Gutiérrez, M., Rodríguez-Tapia, G., & Mas, J. F. (2015). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México.

- Feria, A. T. P., Sanchez, R. G., Ortiz, P. R., Bravo, C. J., Calixto, P. E., Dale, J. M., ... Valencia, H. J. (2013). Estudio del cambio climático y su efecto en las aves en México: enfoques actuales y perspectivas futuras. *Teresa. Huitzil*, 14(1), 47–55. Retrieved from www.huitzil.net
- Fernández, M. N., & Prados, M. V. (2010). Cambios en las coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Guadalfeo (1975-1999). *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, (10), 158–184.
- Foden, W. B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Vié, J. C., Akçakaya, H. R., Angulo, A., ... Mace, G. M. (2013). Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLoS ONE*, 8(6), e65427. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065427>
- Gama-Campillo, L. M. (2018). Osos polares, pingüinos imperiales y manglar. ¿Qué tienen en común? *Dialogos*, 54(9), 15–19. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gao, L., Gao, J., & Zhang, S. (2018). Temperature effect on luteinizing hormone secretion of Eurasian Skylark (*Alauda arvensis*) and Great Tit (*Parus major*) in China. *Avian Research*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s40657-018-0095-8>
- Gardali, T., Seavy, N. E., DiGaudio, R. T., & Comrack, L. A. (2012). A climate change vulnerability assessment of California's at-risk birds. *PLoS ONE*, 7(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029507>
- González-Ortega, A., Antonio, M., Hernández, G., Gómez, M., Velázquez, D., Enrique, L., ... Velázquez, D. (2003). Un método para la selección de aves bioindicadoras con base en sus posibilidades de monitoreo. *Huitzil*, 4(2), 10–16. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2003.4.2.18>
- González, J. M. (2018). Efectos del cambio climático y cambio de uso de suelo sobre la distribución de especies clave de plantas en redes tróficas del Chaco Serrano. Retrieved from <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/6147>
- González, O. (2016). ¿ Son las aves indicadores de cambio climático en los andes tropicales de Huánuco, Perú? (Vol. 1).
- Gopar-Merino, L. F., & Velázquez, A. (2016). Componentes del paisaje como predictores de cubiertas de vegetación: estudio de caso del estado de Michoacán, México. *Investigaciones Geograficas*, 2016(90), 75–88. <https://doi.org/10.14350/rig.46688>
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I. T., ... Buckley, Y. M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16, 1424–1435.

<https://doi.org/10.1111/ele.12189>

- Grinnell, J. (1917). The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk*, 34, 427–433.
- Heilmann-Clausen, J., Barron, E. S., Boddy, L., Dahlberg, A., Griffith, G. W., Nordén, J., ... Halme, P. (2014). A fungal perspective on conservation biology. *Conservation Biology*, 29(1), 61–68. <https://doi.org/10.1111/cobi.12388>.
- Hernandez-Manrique, O. L., Sanchez-Fernandez, D., Numa C. & Galante E. (2013). Extinction trends of threatened invertebrates in peninsular Spain. 17, 235–244. <https://doi.org/10.1007/s10841-012-9502-3>
- Herzog, S. K., Martinez, R., Jorgensen, P. M., & Tiessen, H. (2011). Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global.
- Hijmans, R. J., & Graham, C. H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12(12), 2272–2281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x>
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. ... de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: Ginebra, Suiza. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- IPCC. (2010). Informe sobre el desarrollo mundial 2010 Desarrollo y cambio climático., 1–60. <https://doi.org/10.1029/2003RG000143>. Jones
- IPCC. (2013a). Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Retrieved from http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf
- IPCC. (2013b). Cambio climático 2013: Bases físicas para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes. (IPCC, Ed.).
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. (IPCC, Ed.). <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Jessica, B. C. (2011). Cambio climático global: efecto en algunas especies de aves en peligro en el estado de Hidalgo, México. *Journal of Chemical Information and Modeling*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Jéuregui, E. O. (2003). Algunos conceptos modernos sobre la circulación general de la atmósfera. *Investigaciones Geográficas*, (50), 121–143.
- Johansson, J., Smith, H. G., & Jonzén, N. (2014). Adaptation of reproductive phenology to climate change with ecological feedback via dominance hierarchies. *Journal of Animal Ecology*, 83(2), 440–449. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12151>

- Johnson, W. E., Onorato, D. P., Roelke, M. E., Land, E. D., Cunningham, M., Belden, R. C., ... O'Brien, S. J. (2010). Genetic Restoration of the Florida Panther. *Science*, 329, 1641–1645. <https://doi.org/10.1126/science.1192891>
- Kaeslin, E., Redmond, L., & Dudley, N. (2013). La fauna silvestre en un clima cambiante. *Fao*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i2498s.pdf>
- Kattan, G., Naranjo, L. G., & Rojas, V. (2008). Especies focales. *Regiones Biodiversas: Herramientas Para La Planificación de Sistemas Regionales de Áreas Protegidas*, (September), 155–166.
- Kujala, H., Lahoz-Monfort, J. J., Elith, J., & Moilanen, A. (2018). Not all data are equal: Influence of data type and amount in spatial conservation prioritisation. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(11), 2249–2261. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13084>
- Lara, B. D. C. (2017). Determinación de cambios de distribución de especies por efectos del cambio climático en el parque municipal natural campo alegre y parque Regional Natural Ucumari en Risaralda Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5403/1/LaraBallesterosDiana2017.pdf>
- Laurance, W. F., Sayer, J., & Cassman, K. G. (2014). Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology and Evolution*, 29(2), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>
- Lawler, J. J., White, D., Sifneos, J. C., & Master, L. L. (2003). Rare species and the use of indicator groups for conservation planning. *Conservation Biology*, 17(3), 875–882. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01638.x>
- Lemoine, N., Schaefer, H. C., & Bohning-Gaese, K. (2007). Species richness of migratory birds is influenced by global climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1), 55–64. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2006.00252.x>
- López-saut, E. G., Rodríguez estrella, R., & Ramírez, F. C. (2014). ¿ Son las grullas indicadoras de la riqueza de especies de aves acuáticas en humedales en el altiplano Mexicano ? *Acta Zool. Mex. (n.S.)*, 30(2), 268–287.
- López Vazquez, V., Balderas Plata, M., Chávez Mejía, M., Juan Pérez, J., & Gutiérrez Cedillo, J. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA Ergo-Sum*, 22(2), 136–144.
- Lozier, J. D., Aniello, P., & Hickerson, M. J. (2009). Predicting the distribution of Sasquatch in western North America: Anything goes with ecological niche modelling. *Journal of Biogeography*, 36(9), 1623–1627. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02152.x>
- Manzanilla, U. Q., Aguirre, Ó. C., Jiménez, J. P., Treviño, E. G., & Yerena, J. I. Y. (2018). Climate change scenarios (CMIP-5) for three protected natural areas in

- the Transversal Neovolcanic belt. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.255>
- Martín-López, B., González, J. A., Díaz, S., Castro, I., & García-Llorente, M. (2007). Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas*, 16(3), 69–80.
- Martínez, P. A. L. (2016). Cambios poblacionales en la avifauna de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil relacionados al cambio climático y densidad de vegetación durante los años 2000 a 2012. Universidad del Valle de Guatemala.
- Martinez-Meyer, E., Diaz-Porras, D., Peterson, A. T., & Yanez-Arenas, C. (2012). Ecological niche structure and rangewide abundance patterns of species. *Biology Letters*, 9(1), 20120637–20120637. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0637>
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E., & Álvarez, F. (2014b). The study of the biodiversity in Mexico: A route with a course? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 1–9. <https://doi.org/10.7550/rmb.43248>
- Mateo, R.G., Felicísimo, A. M., & Muñoz, J. (2011). Species distributions models: A synthetic revision | Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217–240. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Mateo, Ruben G., Felicísimo, A. M., & Jesus, M. (2011). Modelos de distribución de especies : Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 217–240.
- Meller, L., Cabeza, M., Pironon, S., Barbet-Massin, M., Maiorano, L., Georges, D., & Thuiller, W. (2014). Ensemble distribution models in conservation prioritization: From consensus predictions to consensus reserve networks. *Diversity and Distributions*, 20(3), 309–321. <https://doi.org/10.1111/ddi.12162>
- Miravet, L. B. S., García, E. A. R., López, P. D. C., Alayón, G. G., & Salinas, E. C. (2016). Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores Water quality of Ariguanabo river according to physico-chemical indices and bioindicators. *Inge. Hidráulica y AMBIENTAL*, 37(2), 108–122.
- Montero-Martínez, M. J., Ojeda-Bustamante, W., Santana-Sepúlveda, J. S., Prieto-González, R., & Lobato-Sánchez, R. (2013). Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 4(2), 113–128.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 476–495. <https://doi.org/10.7550/rmb.41882>

- Newson, S. E., Mendes, S., Crick, H. Q. P., Dulvy, N. K., Houghton, J. D. R., Hays, G. C., ... Robinson, R. A. (2009). Indicators of the impact of climate change on migratory species. *Endangered Species Research*, 7(2), 101–113. <https://doi.org/10.3354/esr00162>
- Olivier, P. I., Van Aarde, R. J., & Lombard, A. T. (2013). The use of habitat suitability models and species-area relationships to predict extinction debts in coastal forests, South Africa. *Diversity and Distributions*, 19(11), 1353–1365. <https://doi.org/10.1111/ddi.12099>
- ONU. (2017). Cambio climático | Naciones Unidas. Retrieved October 30, 2017, from <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
- Ortiz-Pulido, R. (2018). ¿Qué especies de aves están en riesgo en México?. 19(2), 237-272. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2018.19.2.348>
- Peñuelas, J., Sabaté, S., Filella, I., Gracia, C., & Josep Peñuelas, Santi Sabaté, I. F. Y. C. G. (2004). CAPÍTULO 15 Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres : observación , experimentación y simulación *. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*.
- Pacheco-Figueroa, C. P., Gordillo-Chávez, E. J., Gama L., Valdez-Leal, J., & Pérez-De la Cruz M. 2019. Bioindicadores Terrestres. En la Biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. I: CONABIO, México, 303-308.
- Perbiche-Neves, G., Fileto, C., Laço-Portinho, J., Troguer, A., & Serafim-Júnior, M. (2013). Relations among planktonic rotifers, cyclopoid copepods, and water quality in two Brazilian reservoirs. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(1), 138–149. <https://doi.org/10.3856/vol41-issue1-fulltext-11>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pliscoff, P., & Fuentes, C. T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48, 61–79. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>
- Redford, K. H., Berger, J., & Zack, S. (2013). Abundance as a conservation value. *Oryx*, 47(02), 157–158. <https://doi.org/10.1017/S0030605313000331>
- Rivera Gutiérrez, H. F. (2006). Composición y estructura de una comunidad de aves en un área suburbana en el suroccidente colombiano. *Ornitología Colombiana*, 4, 28–38.
- Rodríguez & Mance. (2009). Cambio climático: lo que está en juego.
- Rodríguez, A. R. (2010). Evaluación de los modelos globales del clima utilizados para la generación de escenarios de cambio climático con el clima presente en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Retrieved

from

<http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/evaluacion-de-modelos-globales-ipcc.pdf>

- Rosenstock, N., Toranza, C., & Brazeiro, A. (2015). Climate and land-use changes effects on the distribution of a regional endemism: *Melanophryniscus sanmartini* (Amphibia, Bufonidae). *Iheringia. Série Zoologia*, 105(2), 209–216. <https://doi.org/10.1590/1678-476620151052209216>
- Rosique, L. C. R. del D. A. (2015). Efecto del cambio climático en las distribución del Tamandua Mexicana en el estado de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Samuel M. Jantz, B. B., Thomas M. Brooks, L. P., Chini, Qiongyu Huang, Rachel M. Moore, J. N., Hurtt, G. C., Jantz, S. M., Barker, B., ... Hurtt, G. C. (2015). Future habitat loss and extinctions driven by land-use change in biodiversity hotspots under four scenarios of climate-change mitigation. *Conservation Biology*, 00, No. 00(4), 1–10. <https://doi.org/10.1111/cobi.12549>
- Sattler, T., Pezzatti, G. B., Nobis, M. P., Obrist, M. K., Roth, T., & Moretti, M. (2014). Selection of multiple umbrella species for functional and taxonomic diversity to represent urban biodiversity. *Conservation Biology*, 28(2), 414–426. <https://doi.org/10.1111/cobi.12213>
- Şekercioğlu, Ç. H. (2012). Promoting community-based bird monitoring in the tropics: Conservation, research, environmental education, capacity-building, and local incomes. *Biological Conservation*, 151(1), 69–73. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.024>
- Sekercioglu, C. H., Primack, R. B., & Wormworth, J. (2012). The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 148, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.019>
- Sekercioglu, C. H., Schneider, S. H., Fay, J. P., & Loarie, S. R. (2008). Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation Biology*, 22(1), 140–150. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00852.x>
- Simijaca-Salcedo, D. F., Vargas-Rojas, D. L., & Morales-Puentes, M. E. (2014). Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (TUNJA, BOYACÁ, COLOMBIA). *Acta Biologica Colombiana*, 19(2), 221–232.
- Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, 10(12), 1115–1123. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x>
- Socarrás, A., & Izquierdo, I. (2014). Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica. Evaluation of agroecological systems through biological indicators of the soil quality: edaphic mesofauna. *Pastos y Forrajes*, 37(1), 47–54.

- Timaná de la Flor, M., & Cuentas, M. A. (2015). Biogeografía predictiva : técnicas de modelamiento de distribución de especies y su aplicación en el impacto del cambio climático. *Espacio y Desarrollo*, 27, 159–179. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201501.008>
- Toranza C, B. A. & M. R. (2016). Threatened amphibians of Uruguay: Effectiveness of protected areas face of climate change. *Ecologia Austral*, 26(2), 138–149. Retrieved from http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/viewFile/136/156
- Torres, N. M., De Marco, P., Santos, T., Silveira, L., de Almeida Jácomo, A. T., & Diniz-Filho, J. A. F. (2012). Can species distribution modelling provide estimates of population densities? A case study with jaguars in the Neotropics. *Diversity and Distributions*, 18(6), 615–627. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2012.00892.x>
- Townsend, A. P., Soberon, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martinez-Meyer, E., Nakamura, M., & Basto, M. A. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Choice Reviews Online (1st ed.). New Jersey. <https://doi.org/10.5860/choice.49-6266>
- Trucíos, R. C., Rivera, M. G., Delgado, G. R., Estrada, J. Á., & Cerano, J. P. (2013). Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 339–346.
- Trull, N., Böhm, M., & Carr, J. (2018). Patterns and biases of climate change threats in the IUCN Red List. *Conservation Biology*, 32(1), 135–147. <https://doi.org/10.1111/cobi.13022>
- Tulloch, A. I. T., Chadès, I., & Possingham, H. P. (2013). Accounting for complementarity to maximize monitoring power for species management. *Conservation Biology*, 27(5), 988–999. <https://doi.org/10.1111/cobi.12092>
- Urban, M. C. (2018). Accelerating extinction risk from climate change. *SCIENCE*, 348, 571-573. Downloaded from <http://science.sciencemag.org/>
- Urbina Cardona, J. N. (2011). Gradientes Andinos en la Diversidad y Patrones de Endemismo en Anfibios y Reptiles de Colombia: Posibles respuestas al cambio climático. *Facultad de Ciencias Basicas*, 7(1), 74–91.
- Uribe, B. E., & Ávila, R. L. P. (2015). El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (Vol. 1). Retrieved from Cuba
- Valois-Cuesta, H., Córdoba-Arias, J. A., & Rentería-Arriaga, E. (2016). Patrones de diversidad de plantas en un gradiente de baja elevación en el Chocó, Colombia, usando especies indicadoras (Rubiaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(4), 1275–1282. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.10.001>
- Vaugoyeau, M., Adriaensen, F., Artemyev, A., Bañbura, J., Barba, E., Biard, C., ...

- Møller, A. P. (2016). Interspecific variation in the relationship between clutch size, laying date and intensity of urbanization in four species of hole-nesting birds. *Ecology and Evolution*, 6(16), 5907–5920. <https://doi.org/10.1002/ece3.2335>
- Villarreal; Álvarez, S; Córdoba, F.; Escobar, G.; Fagua, F.; Gast, H.; Mendoza, M.; M., O. y A. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Bogotá, Colombia.
- Villarreal, J., Jiménez, A., & Rica, C. (2008). Colonia de garzones (*Mycteria americana*) en un paisaje agrosilvopastoril del bosque seco , Costa Rica : Implicaciones en conservación. *Zeledonia*, 2(Blake 1977), 8–16.
- Yanez-Arancibia, A., Day, J. W., Twilley, R. R., & Day, R. H. (2014). Manglares: ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. *Madera y Bosques*, 20(especial), 39–75.
- Zurell, D., Graham, C. H., Gallien, L., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2018). Long-distance migratory birds threatened by multiple independent risks from global change. *Nature Climate Change*, 8(11), 992–996. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0312-9>

CAPITULO II.- ¿SON LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL UNA HERRAMIENTA CERTERA DE LA BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN?

KUXULKAB'



¿SON LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL UNA HERRAMIENTA CERTERA DE LA BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN?

ARE POTENTIAL DISTRIBUTION MODELS AN ACCURATE TOOL OF CONSERVATION BIOLOGY?

Yazmin del Carmen Rosique de la Cruz¹, Juan de Dios Valdez Leal², Coral Jazvel Pacheco Figueroa³, Lilia María Gama Campillo⁴, Eduardo Javier Moguel Ordóñez⁵, Luis José Rangel Ruiz⁶ & Francisco Javier Hernández Sánchez⁷

¹Ecóloga por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), estudiante de la Maestría en Ciencias Ambientales de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio-UJAT). ²Biólogo por la UJAT; Maestro en Ciencias en Manejo y Conservación de Vida Silvestre por la Universidad Nacional de Costa Rica (UNCR); Doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales (DEST) por la UJAT. ³Médico Veterinario Zootecnista por la UJAT; Maestra en Ciencias en Manejo y Conservación de Vida Silvestre por la UNCR; DEST por la UJAT. ⁴Bióloga por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Doctora en Ciencias por la Universidad de California, campus Riverside. Responsable del Laboratorio de Ecología del Paisaje y Cambio Global. ⁵Ingeniero Agrónomo con especialidad en parasitología agrícola por el Colegio Superior de Agricultura Tropical; Maestro en Ciencias en Agrometeorología por el Colegio de Postgraduados (COLPOS). ⁶Biólogo, Maestro y Doctor en Ciencias (Biología) por la UNAM. Responsable del Laboratorio de Malacología. ⁷Biólogo y Maestro en Ciencias Ambientales por la UJAT.

Laboratorio de Ecología del Paisaje y Cambio Global; Laboratorio de Malacología; Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales (CICART), DACBio-UJAT; Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya, C.P. 86039, Villahermosa, Tabasco, México.

✉ jvaldecleal@yahoo.com.mx

ORCID: 0000-0003-1713-9343 | 0000-0002-0315-2400 | 0000-0001-5281-9251 | 0000-0002-5417-9697 | 0000-0002-1641-6794 | 0000-0001-9921-0048 | 0000-0003-4353-0629

Como referenciar:

Rosique de la Cruz, Y.C.; Valdez Leal, J.D.; Pacheco Figueroa, C.J.; Gama Campillo, L.M.; Moguel Ordóñez, E.J.; Rangel Ruiz, L.J. & Hernández Sánchez, F.J. (2019). ¿Son los modelos de distribución potencial una herramienta certera de la biología de la conservación? *Kuxulkab'*, 25(51): 17-24, enero-abril. DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n51.2847>

Disponible en:

<http://www.revistas.ujat.mx>
<http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n51.2847>

Resumen

Los seres humanos han transformado el entorno según sus necesidades, dejando un paisaje muy variado. Las actividades antropogénicas son la causa más importante en la disminución de especies, debido a la reducción y pérdida de hábitat. Un factor más que está afectando directamente a las poblaciones e individuos es el cambio climático. Se estima provocará entre el 20 y 30 % la extinción de muchas especies de plantas y animales. En años recientes, los modelos de distribución de especies (SDMs) han sido ampliamente utilizados para identificar el efecto del cambio climático en plantas y especies animales. Los SDMs pueden ser una herramienta muy útil en la toma de decisiones para la conservación de áreas y ecosistemas por parte de los diferentes órganos de gobierno o por las instituciones internacionales, pero con ciertas incertidumbres.

Palabras clave: Pérdida de especie; Extinción; Cambio Climático; Conservación.

Abstract

Humans have changed the environment to satisfy their needs. This has generated a great variety of the landscapes. Anthropogenic activities are the most important cause in the damage of species due to habitat loss and reduction. Another factor that it is directly affecting wildlife populations and individuals is climate change. It is estimated that it will provoke from 20 to 30% of the extinction of all plants and animal species. In recent years, Species Distribution Models (SDMs) have been widely used to identify the effect of climate change in plant and animal species. SDMs can be a very useful tool in making decisions for the conservation and the maintenance of areas and ecosystems by different governments or international institutions; however, with some uncertainty.

Keywords: Species lost; Extinction; Climate change; Conservation.

17

El bienestar humano está ligado directamente al mantenimiento de la biodiversidad, pero el desarrollo de la humanidad es la principal amenaza a la biodiversidad. Los ecosistemas naturales en buenas condiciones, ofrecen servicios ecosistémicos a los seres humanos, los cuales reciben estos bienes y servicios claves en su bienestar, tales como agua limpia, alimento y protección contra tormentas, por mencionar algunos. Por otra parte, el desarrollo humano se convierte en una amenaza, por todas las actividades que implican la transformación del hábitat natural en un sistema tal como los monocultivos, lo que es una problemática, porque se requiere un equilibrio entre ambas situaciones.

Las actividades antropocéntricas afectan directa e indirectamente al hábitat (Johnson, Onorato, Roelke, Loria, Cunningham, Belden, McBride, Jansen, Lotz, Shindle, Howard, Wildt, Penfold, Hostetler, Oll, & O'Brien, 2010; Castro-Navarro, Sahagún-Sánchez & Reyes-Hernández, 2017); así como la reducción de poblaciones de fauna por cacería y tráfico ilegal de las especies (Sosa-Escalante, 2011; Nadal, Carmona & Trouvet, 2013). El desarrollo y la búsqueda de la satisfacción de necesidades humanas ha transformado los paisajes naturales (Méndez, 2007; Bouroncle, 2008; Muñoz & Refoyo, 2013; Jantz, Barker, Brooks, Chini, Huang, Moore, Noel & Hurtt, 2015). Dando como resultado la creación o mejoramiento de nuevas vías de comunicación, áreas de agricultura, ganadería, y el crecimiento de la mancha urbana.

La presión de cacería altera la disponibilidad de presas para diferentes especies, o reduce sus poblaciones, de forma que ya no pueden mantenerse o reproducirse, lo que les lleva a un colapso. Las modificaciones a los entornos naturales y pérdida de selvas es inminente; lo que ha dado en consecuencia que la fauna modifique sus patrones de conducta y distribución (Tellería, 2013; Carrara, Arroyo-Rodríguez, Vega-Rivera, Schandube, de Freitas, & Fährig, 2015).

Existen factores naturales que forman el paisaje a lo largo de miles de años. Las tormentas, vientos, lluvias, huracanes o terremotos causan modificaciones al paisaje, dando origen a una distribución local de las especies y la diversidad de hábitat (Koeslin, Redmond, & Dudley, 2013). Un factor más que está afectando directamente a las poblaciones e individuos es el cambio climático (Giam, Bradshaw, Tan, & Sodhi, 2010; Jantz et al., 2015). Son las oscilaciones constantes de la Tierra que provocan cambios en el clima, al alterarse las propiedades de la atmósfera, lo cual está dando como consecuencias el aumento del nivel del mar por la expansión y deshielo de los polos, los huracanes de mayor fuerza, cambios en la temperatura y precipitación (IPCC, 2014).

Se estima que el cambio climático, provocará entre el 20 y 30 % la extinción de especies de plantas y animales que se conoce actualmente, lo cual conlleva a interacciones complejas e impactos diversos (Koeslin et al., 2013). Las extinciones estarán en función de las características que posea cada especie para resistir o adaptarse a los cambios, ya que deberán modificar desde las conductas reproductivas, hasta sus periodos de desarrollo, comportamientos durante las fases de crecimiento, reproducción y migración (Urbe & Ávila, 2015).

«Son muestra de factores naturales que forman el paisaje a lo largo de los años: las tormentas, vientos, lluvias, huracanes o terremotos causan modificaciones al paisaje, dando origen a una distribución local de las especies y la diversidad de hábitat»

Koeslin et al., (2013)



Algunos estudios nos empezamos a mostrar los cambios en algunas especies de animales y plantas, así como en los ecosistemas completos. Se ha observado que muchas especies terrestres y marinas han cambiado sus áreas de distribución geográfica y las actividades estacionales, régimen migratorio, abundancias e interacciones (Gordo, 2007; Şekerçioğlu, Schneider, Fay & Loarle, 2008; Şekerçioğlu, Primack & Wormworth, 2012; Käeslin et al., 2013; Uribe & Ávila, 2015).

En términos generales, se habla de la modificación completa de la vida en el planeta, aumentando la tasa de pérdida de extinción de algunas especies y el desplazamiento de otras a hábitats con latitudes y elevaciones más altas (Descamps, Aars, Fugle, Kovacs, Lydersen, Pavlova, Ashild, Ravolainen & Strøm, 2017). Se estima que las especies que serán más impactadas al cambio climático son aquellas que cumplen con los requisitos de ser altamente sensibles, altamente expuestas y de menor capacidad de adaptación (Foden, Butchart, Stuart, Vié, Akçakaya, Angulo, DeVantier, Gutsche, Turak, Cao, Donner, Katarlyu, Bernard, Holland, Hughes, O'Hanlon, Gamett, Şekerçioğlu & Mace, 2013). Por lo que se considera que el impacto que esto tendrá sobre la biodiversidad en el mundo es indiscutible, ya que habrá un aumento en el número de extinción de organismos.

Pero no todo está perdido, la biología de la conservación es una ciencia que trata de buscar una armonía ante esta crisis ambiental que el ser humano ha propiciado. La cual busca acciones que ayuden a prevenir la degradación del medio ambiente y conservar los hábitats y las especies. Pero requiere de gran cantidad de información en cortos períodos de tiempo, para orientar las acciones que protejan y conserven la biodiversidad en todos sus niveles. En esta búsqueda rápida de información, se ha recurrido a las modelaciones de datos de especies sensibles a todos estos cambios (Torres, De Marco Júnior, Santos, Silveira, de Almeida Jácomo & Diniz-Filho, 2012; Yañez-Arenas, Martínez-Meyer, Mandujano & Rojas-Soto, 2012).

Dentro de los grupos taxonómicos que se encuentran en el planeta, las aves son los organismos que muestran una rápida respuesta a estos cambios, ya que han presentado modificaciones que van desde la disminución de número de organismos en las poblaciones, el bajo éxito de reproducción e incubación. Algunas especies se han visto afectadas o beneficiadas al momento de la dispersión ocasionando que sus rangos de distribución se contraigan o amplíen (Şekerçioğlu et al., 2012; Käeslin et al., 2013; Gordo, 2015; Uribe & Ávila, 2015; Vaugoyeau et al., 2016).

Revista de divulgación científica de la División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

KUUSKAB

19



Se estima que entre 608-851 especies de aves (6-9 %), son altamente vulnerables al cambio climático y además se encuentran en algún estatus de protección (Foden et al., 2013). Existen predicciones que muestran las tendencias de la disminución de este grupo, afectando principalmente a las especies endémicas y especialistas, ya que no solo serán afectadas por este fenómeno sino que seguirán siendo impactadas por las actividades antropogénicas como el cambio de uso del suelo, provocando que pudieran extinguirse en las décadas posteriores por reducción y modificación de su hábitat (Bravo, 2011; Feria, Sánchez-Rojas, Ortiz-Pulido, Bravo-Cadena, Calixto, Dale, Duberstein, Iloldi-Rangel, Lara & Valencia-Herverth, 2013).

Todo lo anterior está ocasionando que las cadenas tróficas se vean alteradas, provocando que la composición de los hábitats se transformen y estos puedan provocar un desequilibrio en el ecosistema. Esta información apoyada con otros conocimientos permite que los objetivos propuestos para conservar, se lleven a cabo. Tal es el caso del uso de los modelos de distribución de las especies.

En las últimas décadas se ha trabajado con modelos de distribución potencial a futuro, esto en pro de ubicar aquellos espacios geográficos que podrán conservar u obtener las características ambientales adecuadas para mantener las especies en peligro (Hijmans & Graham, 2006; Benito de Pando & Peñas de Giles, 2007; Castro-Navarro et al., 2017).

Esto ha posicionado a los modelos como una herramienta fundamental para la evaluación del efecto del cambio climático, ya que permite estimar las relaciones entre las distribuciones de especies y las variables ambientales. Los modelos de distribución de especies son una representación de la realidad, con la cual, se busca aproximarse a la distribución de la especie, generando mapas que muestren la idoneidad o similitud ambiental en la cual la especie podría contar con los requerimientos ambientales necesarios. El conocimiento que nos generan los modelos de la distribución geográfica es esencial para la planificación de la conservación y la preservación.

Uno de los aspectos que hay que tomar en cuenta, es la selección de los datos de presencia de las especies, debido a que hay una relación muy estrecha entre los datos y los modelos de distribución (Hijmans, Cameron, Parra, Jones & Jarvis, 2005; Elith et al., 2006; Pearson, Thuiller, Araújo, Martínez-Meyer, Brotons, McClean, Miles, Segurado, Dawson & Lees, 2006; Martínez-Méndez, Aguirre-Planter, Egúizte, & Jaramillo-Correa, 2016). Esto ha llevado a crear controversia, debido a que si no hay una buena representatividad del área de distribución puede generar un impacto negativo en los modelos causando así que el área predicha se subestime (Hijmans et al., 2005; Gomes et al., 2018). Sin embargo, la mayoría de los modelos han sabido disminuir dicho impacto negativo, proporcionando estimaciones razonables de las áreas.



debido a que son fáciles de usar haciendo que sean tomados a la ligera, pero esto no les quita que son un apoyo para identificar las áreas de ocupación de las especies. Por lo cual la modelación dependerá del objetivo de la investigación.

En la actualidad los modelos de distribución aún se encuentran en desarrollo, abiertos para facilitar cosas que pueden mejorar el rendimiento de estos programas. Un reto mayor de los modelos de distribución potencial a futuro es la imposibilidad a predecir el futuro con precisión. Pero esto no ha quitado que se realicen diferentes estrategias para la comprensión de los posibles efectos que éste trae consigo.

Estos modelos se han transformado en una de las áreas de investigación con mayor desarrollo en el campo de la biogeografía de la conservación (Araújo & Rahbek, 2006; Gulsan *et al.*, 2013; Aguado-Bautista & Escalante, 2015; Alberdi & Felcislmo, 2016), debido a que se puede observar la reducción de las áreas que ahora son favorables en un espacio de tiempo, mostrando de esta manera el impacto que se tendría de acuerdo con los cambios en el clima (Bravo, 2011; Plliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

Los modelos de distribución pueden ser importantes para la toma de decisiones de conservación, ya que permiten observar los patrones espaciales de la presencia de las especies y tratan de mostrar las relaciones entre la distribución de especies y su entorno (Araújo & Rahbek, 2006; Richardson & Whittaker, 2010). Esta herramienta nos pueden dar pautas para poder direccionar los esfuerzos de conservación en áreas importantes en las cuales se puedan mantener poblaciones viables de especies de fauna silvestre. Otro de los beneficios que nos podrían estar mostrando, es poder contar con la información de aquellas especies que pudieran beneficiarse de las nuevas condiciones ambientales y puedan ampliar su distribución natural.

Es muy difícil en nuestros días poder conservar a todas las especies. Sin embargo, debemos de estar consciente que los modelos de distribución de especies pueden ser una herramienta muy útil para generar información. Dichos modelos pueden apoyar a la toma de decisiones para la conservación de áreas o ecosistemas por parte de los diferentes órganos de gobierno o por las instituciones nacionales e internacionales, pero siempre considerando que presentan incertidumbres.

Otro problema que podríamos mencionar es que no se ha logrado integrar las interacciones bióticas o las limitaciones de dispersión. Esto es a causa de que el rango potencial podría diferir del rango realizado a causa de las interacciones que tienen las especies con el ambiente, ya que muchos de los limitantes están en función de su dispersión, competencias y otros factores. Esto representa un gran reto que se debe enfrentar, ya que dichas interacciones se pueden observar solo si se realizan de manera indirecta (Tórres *et al.*, 2012; Anderson, 2013; Wlsz *et al.*, 2013).

Después de evaluar diversos trabajos que emplean la modelación de especie, se ha llegado a la conclusión de que estos modelos se deben tomar con mucha precaución

Referencias

- Aguado-Bautista, Ó. & Escalante, T.** (2015). Cambios en los patrones de endemismo de los mamíferos terrestres de México por el calentamiento global. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1): 99-110. DOI «<https://doi.org/10.7550/rmb.46637>»
- Alberdi Nieves, V. & Felicísimo Pérez, A.** (2016). Evaluación del impacto del cambio climático en los bosques de los Andes del Norte y centro. *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (17): 44-65. DOI «<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>»
- Anderson, R.P.** (2013). A framework for using niche models to estimate impacts of climate change on species distributions. *Annals of the New York Academy of Sciences (Ann N Y Acad Sci)*, 1297(1): 8-28. DOI «<https://doi.org/10.1111/nyas.12264>»
- Araújo, M.B. & Rahbek, C.** (2006). How does climate change affect biodiversity? *Science*, 313(5792): 1396-1397. DOI «<https://doi.org/10.1126/science.1131758>»
- Benito de Pando, B. & Peñas de Giles, J.** (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (7): 100-119. Recuperado de «<http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/113/275>»
- Bouroncle Seoane, C.** (2008). *Efectos de la fragmentación en la ecología reproductiva de especies y grupos funcionales del bosque húmedo tropical de la zona atlántica de Costa Rica*. (Tesis de Maestría en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad). Turrialba, Costa Rica: Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Recuperado de «<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2934E/A2934E.PDF>»
- Bravo Cadena, J.** (2011). *Cambio climático global: efecto en algunas especies de aves en peligro en el estado de Hidalgo, México*. (Tesis de Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación; p. 73). Mineral de la Reforma, Hidalgo; México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Carrara, E.; Arroyo-Rodríguez, V.; Vega-Rivera, J.H.; Schondube, J.E.; de Freitas, S.M. & Fahrig, L.** (2015). Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico. *Biological Conservation*, 284: 117-126. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.014>»
- Castro-Navarro, J.; Sahagún-Sánchez, F.J. & Reyes-Hernández, H.** (2017). Dinámica de fragmentación en la Sierra Madre Oriental y su impacto sobre la distribución potencial de la avifauna. *Madera y Bosques*, 23(2): 99-117. DOI «<https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321429>»
- Descamps, S.; Aars, J.; Fuglei, E.; Kovacs, K.M.; Lydersen, C.; Pavlova, O.; Åshild, Ø.; Ravolainen V. & Strøm, H.** (2017). Climate change impacts on wildlife in a High Arctic archipelago-Svalbard, Norway. *Global Change Biology*, 23(2): 490-502. DOI «<https://doi.org/10.1111/gcb.13381>»
- Elith, J.; Graham, C.H.; Anderson, R.P.; Dudík, M.; Ferrier, S.; Guisan, A.; Hijmans, R.H.; Huettmann, F.; Leathwick, J.R.; Lehmann, A.; Li, J.; Lohmann, L.G.; Loiselle, B.A.; Manion, G.; Moritz, C.; Nakamura, M.; Nakazawa, Y.; Overton, J.M.M.; Townsend, P.A.; Phillips, S.J.; Richardson, K.; Scachetti-Pereira, R.; Schapire, R.E.; Soberón, J.; Williams, S.; Wisz, M.S. & Zimmermann, N.E.** (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2): 129-151. DOI «<https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>»
- Feria Arroyo, T.P.; Sánchez-Rojas, G.; Ortiz-Pulido, R.; Bravo-Cadena, J.; Calixto Pérez, E.; Dale, J.M.; Duberstein, J.N.; Illoldi-Rangel, P.; Lara, C. & Valencia-Herwerth, J.** (2013). Estudio del cambio climático y su efecto en las aves de México: enfoques actuales y perspectivas futuras. *Huitzil*, 14(1): 47-55. Recuperado de «<http://www.scielo.org.mx/pdf/huitzil/v14n1/v14n1a9.pdf>»
- Foden, W.B.; Butchart, S.H.M.; Stuart, S.N.; Vié, J.C.; Akçakaya, H.R.; Angulo, A.; DeVantier, L.M.; Gutsche, A.; Turak, E.; Cao, L.; Donner, S.D.; Katariya, V.; Bernard, R.; Holland, R.A.; Hughes, A.F.; O'Hanlon, S.E.; Garnett, S.T.; Sekercioglu, Ç.H. & Mace, G.M.** (2013). Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLOS ONE*, 8(6): e65427. DOI «<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065427>»
- Giam, X.; Bradshaw, C.J.A.; Tan, H.T.W. & Sodhi, N.S.** (2010). Future habitat loss and the conservation of plant biodiversity. *Biological Conservation*, 143(7): 1594-1602. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.04.019>»
- Gordo, O.** (2007). La fenología nos alerta del cambio climático. *Quercus*, 25(3): 37-41. Recuperado de «https://www.researchgate.net/publication/251490780_La_fenologia_nos_alerta_del_cambio_climatico»
- Gordo, O.** (2015). Impactos del cambio climático en la migración de las aves ibéricas. En: Herrero, A. & Zavala, M.A. (eds.); *Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: impactos, vulnerabilidad y adaptación en España*, (informe de evaluación; Vol. 1; pp. 153-161). Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado de «https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Gordo/publication/286929120_Impactos_del_cambio_climatico_en_la_migracion_de_las_aves_ibericas/links/56c4f14108ae2064e304d9cb.pdf»

- Gomes V.H.F.; Iñi, S.D.; Raes, N.; Amaral, I.L.; Salomão, R.P.; Coelho, L. de S.; De Almeida, M.F.D.; Castilho, C.V.; Lima, F.D. de A.; Cárdenas, L.D.; Guevara, J.E.; Magnusson, W.E.; Phillips, D.L.; Wittmann, F.; Veiga, C.M. de J.; Pires, M.M.; Irumé, M.V.; Sabatier, D.; Molino, J.-F.; Bánki, O.S.; da Silva, G.J.R.; Pitman, N.C.A.; Fernandez, P.M.T.; Mendoza, A.M.; Garcia, L.B.; Martins, V.E.; Moraes de L., N.E.M.; Núñez, V.P.; Freire, S.T.S.; Manzatto, A.G.; Terborgh, J.; Costa, R.N.F.; Montero, J.C.; Césula, K.R.; Marimon, B.S.; Marimon, B.-H.; Honorio, C.E.N.; Feldpausch, T.R.; Duque, A.; Zartman, C.E.; Castaño, A.N.; K.T.J.; Mostacedo, B.; Vasquez, R.; Schöngart, J.; Assis, R.L.; Brilhante, M.M.; Fragomeni, S.M.; Andrade, A.; Laurance, W.F.; Camargo, J.L.; Demarchi, L.O.; Laurance, S.G.W.; de Sousa, F.E.; Mendonça, N.; Henrique, A.; Cardenas, R.J.D.; Quaresma, A.; Costa, F.R.C.; Guimarães, V.I.C.; Ladvocat, C.B.B.; Castellanos, H.; Brien, R.; Stevenson, P.R.; Feitosa, Y.; Duijvenvoorden, J.F.; Aymard, G.A.; Mogollón, H.F.; Targhetta, N.; Comiskey, J.A.; Vicentini, A.; Lopes, A.; Damasco, G.; Dávila, N.; Garcia-Villacorta, R.; Levis, C.; Schiatti, J.; Souza, P.; Thaise, E.; Alfonso, A.; Neill, D.; Dallmeier, F.; Valle, F.L.; Araujo-Murakami, A.; Praia, D.; Dantas, do A.D.; Antunes, C.F.; Coelho de S., F.; Feeley, K.; Arroyo, L.; Petratti, P.M.; Gribel, R.; Villa, B.; Licona, J.C.; Fine, P.V.A.; Cerón, C.; Baraloto, C.; Jimenez, E.M.; Stropp, J.; Engel, J.; Silveira, M.; Peñuela, M.M.C.; Petronelli, P.; Maas, P.; Thomas-Caesar, R.; Henkel, T.W.; Daly, D.; Rios, P.M.; Baker, T.R.; Fuentes, A.; Peres, C.A.; Chave, J.; Marcelo, P.; Jose, L.; Dexter, K.G.; Silman, M.R.; Møller, J.P.; Pennington, T.; Di Fiore, A.; Cornejo, V.F.; Phillips, J.F.; Rivas-Torres, G.; von H.P.; van A.T.R.; Ruschel, A.R.; Prieto, A.; Rudas, A.; Hofman, B.; Vela, C.I.A.; Marques, B.E.; Egleé, L.Z.; Gallardo, G.G.P.; Dávila, D.H.P.; de Andrade, M.I.P.; G. Jean-Louis, M.P.; Linder, F.; de Matos, B.L. G.; Silva, N.; Zárate, G.R.; Zent, S.; Gonzales, T.; Vos, V.A.; Malhi, Y.; Oliveira, A.A.; Cano, A.; Weiss, A.B.; Vriesendorp, C.; Correa, D.F.; Vilanova, T.E.; van der, H.G.; Ramirez-Angulo, H.; Ferreira, R.J.; Young, K.R.; Rocha, M.; Trindade, N.M.; Umaña, M.M.N.; Tirado, M.; Wang, O.; Sierra, R.; Torres, L.A.; Mendoza, C.; Ferreira, C.; Baider, C.; Villarreal, D.; Balslev, H.; Mesones, I.; Urrego, G.L.E.; Casas, L.F.; Ahuite, R.M.A.; Linares-Palomino, R.; Zagt, R.; Cárdenas, S.; Farfan-Rios, W.; Felipe, S.A.; Daniela, P.; Valderrama, E.H.; Ramirez, A.F.; Huamantla-Chuquimaco, I.; Garcia-Cabrera, K.; Hernandez, L.; Valenzuela, G.L.; Alexiades, M.N.; Pansini, S.; *et al.* (2018) Species distribution modelling: contrasting presence-only models with plot abundance data. *Scientific Reports*, 8(1003): 2-12 DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18927-1>
- Guisan, A.; Tingley, R.; Baumgartner, J.B.; Naujokaitis-Lewis, I.; Sutcliffe, P.R.; Tulloch, A.I. T.; Regan, T.J.; Brotons, L.; McDonald-Madden, E.; Mantyka-Pringle, C.; Martin, T.C.; Rhodes, J.R.; Maggini, R.; Setterfield, S.A.; Elith, J.; Schwartz, M.W.; Wintle, B.A.; Broennimann, O.; Austin, M.; Ferrier, S.; Kearney, M.R.; Possingham, H.P. & Buckley, Y.M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16(12): 1424-1435. DOI <https://doi.org/10.1111/ele.12189>
- Hijmans, R.J. & Graham, C.H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12(12), 2272-2281. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x>
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G. & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978. DOI <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.1276>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*; (Pachauri, R.K. & Meyer, L.A. (eds); p. 157). Ginebra, Suiza: Autor. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Jantz, S.M.; Barker, B.; Brooks, T.M.; Chini, L.P.; Huang, Q.; Moore, R.M.; Noel, J. & Hurt, G.C. (2015). Future habitat loss and extinctions driven by land-use change in biodiversity hotspots under four scenarios of climate-change mitigation. *Conservation Biology*, 29(4): 1122-1131. DOI <https://doi.org/10.1111/cobi.12549>
- Johnson, W.E.; Onorato, D.P.; Roelke, M.E.; Land, E.D.; Cunningham, M.; Belden, R.C.; McBride, R.; Jansen, D.; Lotz, M.; Shindle, D.; Howard, J.; Wildt, D.E.; Penfold, L.M.; Hostettler, J.A.; Oli, M.K. & O'Brien, S.J. (2010). Genetic Restoration of the Florida Panther. *Science*, 329(5999): 1641-1645. DOI <https://doi.org/10.1126/science.1192891>
- Kaestlin, E.; Redmond, I. & Dudley, N. (2013). *La fauna silvestre en un clima cambiante*; (Estudios FAO: Montes; p. 114). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i2498s.pdf>
- Martínez-Méndez, N.; Aguirre-Planter, E.; Eguarte, L.E. & Jaramillo-Correa, J.P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1): 5-24. DOI <https://doi.org/10.17129/botsci.508>
- Méndez, E. (2007). Pérdida de biodiversidad vegetal en ambientes de cerrilladas pedemontanas de Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 39(1): 107-116. Recuperado de <http://www.redalyc.org/9081/articulo.oa?id=682637653011>
- Muñoz Araujo, B. & Refoyo Román, P. (2013). *Pérdida de Biodiversidad: responsabilidad y soluciones*, (Memorias del 10 Congreso Nacional de Medio Ambiente; pp. 7-8). España: Real Sociedad Española de Historia Natural 2ª ép. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/263043348_Perdida_de_Biodiversidad_Responsabilidad_y_soluciones

Nadal Urias, L.; Carmona Omana, A. & Trouyet Starr, M. (2013). *Tráfico ilegal de vida silvestre*, (1ª ed.; Cuadernos de divulgación ambiental, p. 28). México: Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFFPA). Recuperado de <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001601.pdf>>

Pearson, R.G.; Thuiller, W.; Araújo, M.B.; Martínez-Meyer, E.; Brotons, L.; McClean, C.; Miles, L.; Segurado, P.; Dawson, T.P. & Lees, D.C. (2006). Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33(10): 1704-1711. DOI <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01460.x>>

Plissock, P. & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48: 61-79. DOI <<https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>>

Richardson, D.M. & Whittaker, R.J. (2010). Conservation biogeography-foundations, concepts and challenges. *Diversity and Distributions (Diversity Distrib.)*, 14(3): 313-320. DOI <<https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00660.x>>

Şekercioglu, Ç.H.; Primack, R.B. & Wormworth, J. (2012). The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 148(1): 1-18. DOI <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.019>>

Sekercioglu, C.H.; Schneider, S.H.; Fay, J.P. & Loarie, S.R. (2008). Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation Biology*, 22(1): 140-150. DOI <<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00852.x>>

Sosa-Escalante, J.E. (2011). Aplicación de la Ley para el Combate del Tráfico Ilegal de Vida Silvestre en México: El caso de Charco Cercado. *Therya*, 2(3): 245-262. DOI <<https://doi.org/10.12933/therya-11-53>>; <<http://www.scielo.org.mx/pdf/therya/v2n3/v2n3a5.pdf>>

Tellería, J.L. (2013). *Pérdida de Biodiversidad. Causas y consecuencias de la desaparición de las especies*; (Memorias del 10 Congreso Nacional de Medio Ambiente; pp. 13-25). España: Real Sociedad Española de Historia Natural 2ª ép. Recuperado de <https://www.researchgate.net/profile/Jose_TELLERIA/publication/257238754_Perdida_de_biodiversidad_Causas_y_consecuencias_de_la_desaparicion_de_las_especies_Loss_of_biodiversity_causes_and_consequences_of_the_species_loss/links/00463524b249e10eab000000/Perdida-de-biodiversidad-Causas-y-consecuencias-de-la-desaparicion-de-las-especies-Loss-of-biodiversity-causes-and-consequences-of-the-species-loss.pdf>

Törres, N.M.; De Marco Júnior, P.; Santos, T.; Silveira, L.; de Almeida Jácomo, A.T. & Diniz-Filho, J.A.F. (2012). Can species distribution modelling provide estimates of population densities? A case study with jaguars in the Neotropics. *Diversity and Distributions*, 18(6): 615-627. DOI <<https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2012.00892.x>>

Uribe Botero, E. & Ávila Rodríguez, L.P. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*, (Vol. 1; p. 86). Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL); Unión Europea. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/1/S1501295_es.pdf>

Vaugoyeau, M.; Adriaensen, F.; Artemyev, A.; Bañura, J.; Barba, E.; Biard, C.; Blondel, J.; Bouslama, Z.; Bouvier, J.C.; Camprodon, J.; Cecere, F.; Charmantier, A.; Charter, M.; Cichoń, M.; Cusimano, C.; Czeszczewik, D.; Demeyrier, V.; Doligez, B.; Doutrelant, C.; Dubiec, A.; Eens, M.; Eeva, T.; Faivre, B.; Ferns, P.N.; Forsman, J.T.; García-del-Rey, E.; Goldshtein, A.; Goodenough, A.E.; Gosler, A.G.; Grégoire A.; Gustafsson, L.; Harnist, I.; Hartley, I.R.; Heeb, P.; Hinsley, S.A.; Isenmann, P.; Jacob, S.; Juškaitis, R.; Korpimäki, E.; Krams, I.; Laaksonen, T.; Lambrechts, M.M.; Leclercq, B.; Lehikoinen, E.; Loukola, O.; Lundberg, A.; Mainwaring, M.C.; Mänd, R.; Massa, B.; Mazgajski, T.D.; Merino, S.; Mitrus, C.; Mönkkönen, M.; Morin, X.; Nager, R.G.; Nilsson, J.Å.; Nilsson, S.G.; Norte, A.C.; Orell, M.; Perret, P.; Perrins, C.M.; Pimentel, C.S.; Pinxten, R.; Richner, H.; Robles, H.; Rytönen, S.; Senar, J.C.; Seppänen, J.T.; Pascoal da Silva, L.; Slagsvold, T.; Solonen, T.; Sorace, A.; Stenning, M.J.; Tryjanowski, P.; von Numers, M.; Walankiewicz, W. & Møller, A.P. (2016). Interspecific variation in the relationship between clutch size, laying date and intensity of urbanization in four species of hole-nesting birds. *Ecology and Evolution*, 7(16): 5907-5920. DOI <<https://doi.org/10.1002/ece3.2335>>

Wisz, M.S.; Pottier, J.; Kissling, W.D.; Pellissier, L.; Lenoir, J.; Damgaard, C.F.; Dormann, C.F.; Forchhammer, M.C.; Grytnes, J.Å.; Guisan, A.; Heikkinen, R.K.; Høye, T.T.; Kühn, I.; Luoto, M.; Maiorano, L.; Nilsson, M.C.; Normand, S.; Öckinger, E.; Schmidt, N.M.; Termansen, M.; Timmermann, A.; Wardle, D.A.; Aarstrup, P. & Svenning, J.C. (2013). The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological Reviews*, 88(1): 15-30. DOI <<https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2012.00235.x>>

Yañez-Arenas, C.; Martínez-Meyer, E.; Mandujano, S. & Rojas-Sojo, O. (2012). Modelling geographic patterns of population density of the white-tailed deer in central Mexico by implementing ecological niche theory. *Oikos*, 121(13): 2081-2089. DOI <<https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2012.02350.x>>

CAPITULO III.- VULNERABILIDAD DE LAS AVES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SURESTE DE MÉXICO

1. Introducción

Las aves se consideran uno de los grupos taxonómicos que están resintiendo con mayor impacto los efectos del cambio climático (CC) (Kaeslin, Redmond, & Dudley, 2013; Uribe & Ávila, 2015, Kujala *et al.*, 2018). En los últimos años se han reportado cambios en los periodos y distancias de migración, así como la modificación de sus áreas de anidación, tamaños poblacionales y distribución (Cadena, 2011; Peñuelas, *et al.*, 2004; Sekercioglu, Primack, & Wormworth, 2012). De manera específica se ha observado una tendencia de disminución en sus poblaciones, siendo las más vulnerables los grupos endémicos, especialistas o con un nicho ambiental pequeño (Feria *et al.*, 2013; Hanner *et al.* 2014).

Asimismo, las presiones antrópicas como la deforestación y el aumento de la frontera agrícola han originado una modificación completa en la cobertura terrestre; en consecuencia, y aunado a los efectos del CC, la suma de estos dos factores podría llegar a ocasionar la extinción local y regional de diversas especies de aves por reducción y transformación de su hábitat (Becerra & Mance, 2009; Sekercioglu *et al.* 2004). Lo anterior ocasionaría un efecto en cadena al perderse todos los servicios ecosistémicos necesarios para el ambiente y el bienestar humano (Feria *et al.*, 2013; Mace, Norris & Fitter, 2012; Corredor, Fonseca & Páez, 2012). Por lo que este grupo es un indicador idóneo para conocer la vulnerabilidad de las especies ante el impacto del CC, debido a que se encuentran implicados en una serie procesos ambientales.

Cuando se habla de vulnerabilidad, es lo equivalente al grado de susceptibilidad o capacidad de resistencia que se tiene para afrontar un fenómeno. Arribas *et al.* (2012), define el término como la capacidad de responder y adaptarse, de tal manera que las especies que tengan una capacidad de respuesta limitada serán más vulnerables. Bellard, *et al.*, (2012), mencionan que la vulnerabilidad que una especie tendrá ante el CC estará en función de dos factores: la capacidad para mantener sus poblaciones en su rango geográfico actual (persistencia) y la

capacidad para colonizar zonas favorables climáticamente (migración). Siendo importante determinar su distribución actual, en función a su presencia y su hábitat potencial futuro para conocer los sitios donde puede migrar. Por lo cual, el objetivo de este trabajo fue, determinar la vulnerabilidad climática de las especies de aves con valor de importancia ante el cambio climático en el sureste de México.

2. Materiales y Método

2.1. Fase I.- Selección de especies con Valor de importancia ante el Cambio Climático.

Las especies indicadoras para monitoreo del impacto del CC fueron seleccionadas en función de su vulnerabilidad. Se usaron los criterios adaptados de González-Ortega *et al.*, (2003), a los cuales se les asignó un valor de acuerdo a su relación con la vulnerabilidad de las aves ante el cambio climático (Tabla 1). De tal manera que primero se fijó un valor ponderado de acuerdo con la clasificación que tuviera cada criterio, y posteriormente se estableció un valor de peso relativo por criterio (Tabla 2).

En cuanto a los valores numéricos ponderados, se le asignó el valor más alto a las características con las cuales debe cumplir una especie indicadora. Inmediatamente se realizó la matriz para la selección de las especies con las que se realizara el monitoreo del impacto del CC. En las filas se encuentran las especies y en las columnas se encuentran los criterios y características a ser cuantificados. Al final se obtuvieron valores globales para cada una de las especies.

Para calcular el Valor de Importancia Ante el Cambio Climático (VIACC), se sumaron los valores de los pesos relativos de cada criterio por especie, obteniendo un valor total final. Este último valor fue el que se consideró para seleccionar a las especies. Se seleccionaron las primeras 29 especies de un total de 30 aves que presentan puntaje alto de VIACC, debido a que una de ellas a pesar de que contaba con un valor alto no cubría con todas las características de una especie indicadora. Posteriormente se realizó la revisión de los criterios aplicables.

Tabla 1. Descripción de los criterios utilizados para la selección de aves con valor de importancia ante el cambio climático (VIACC). Adaptados de González-Ortega *et al.*, (2003).

Criterio	Descripción	Peso relativo
Estado de Conservación Internacional	Para valorar este criterio se usó la lista roja de la Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza (UICN, 2018). El puntaje más alto fue para las Categorías de preocupación mayor. Esta Lista cuenta con la evaluación de la situación y amenazas a la especie a nivel global.	15%
Estado de Conservación nacional	En este punto se consideraron las especies en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Se omitió la categoría de Probablemente extinta en el medio silvestre (Ex). La evaluación de las especies en esta Norma, utilizan un sistema de evaluación detallado, que refleja las amenazas que tiene esta especie, y que potencialmente pueden verse amenazadas por el CC.	20%
Endemismo	Tomamos en cuenta la información de “Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes Actualización”, por Berlanga, <i>et al.</i> (2017). Este criterio se encuentra dividido en cuatro clasificaciones: Endémicas (EN) Semiendémicas (SE) Cuasiendémicas (CE) Especies exóticas (EX)	15%
Vulnerabilidad de Especies	Se seleccionó la información de “Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes Actualización”, por Berlanga, <i>et al.</i> (2015). Este grupo utilizó el método de la iniciativa <i>Partners in Flight</i> (Panjabi <i>et al.</i> , 2005), en donde asignamos valores de acuerdo con seis factores.	30%
Distribución geográfica	Se tomaron en cuenta aquellas especies que se distribuían el área de estudio (Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo). Se analizó el área distribución de cada una, y se le dio un valor mayor a las especies que ocupaban más del 50% del territorio del área. La observación se realizó tomando en cuenta la guía de campo de Howell & Webb (1999) y la página de neotropical birds (2018) (https://neotropical.birds.cornell.edu/Species-Account/nb/home).	10%
Historia natural conocida	Para este criterio se trabajó con las guías de campo de Howell & Webb (1999) y Peterson & Chalif (2000), y se complementó con una búsqueda de literatura. Además, se consideró la ficha técnica por CONABIO o Naturalista.	10%

Tabla 2. Categorías y valores ponderados de cada criterio.

Valor	Criterios
Estado de conservación Internacional (IUCN 2018)	
4	En peligro crítico (CR)
2	En peligro de extinción (EN)
1	Vulnerable (VU)
0.5	Especies en preocupación menor o ausentes (UICN)
Estado de conservación Nacional (NOM-059-SEMARNAT-2010)	
4	Especie en Peligro de extinción (P).
2	Especie Amenazada (A).
1	Especie sujeta a Protección especial (Pr).
0.5	Especie no presente en la NOM-059-SEMARNAT-2010.
Endemismo (Berlanga et al. 2017)	
4	Especie endémica de México (EN)
2	Especie semiendémica de México (SE)
1	Especie Cuasiendémica (CE)
0.5	Especie exótica o No evaluada (ne)
Vulnerabilidad de Especies (Berlanga et al. 2015)	
4	Mayor Vulnerabilidad
2	Mediana Vulnerabilidad
1	Baja Vulnerabilidad
0.5	Valor no disponible.
Distribución (Howell & Webb (1999) y https://neotropical.birds.cornell.edu/Species-Account/nb/home (2018).	
4	Distribuida en más del 50% del área de estudio.
0.5	Distribuida en menos del 50% del área de estudio.
Historia natural conocida (Howell & Webb 1999, Peterson & Chalif 2000, Artículos varios)	
4	Especie de la que se conoce la mayor parte de información de su ciclo de vida.
2	Especie de la que se conocen algunos aspectos de su ciclo de vida.
1	Especie de la que se conocen pocos aspectos de su ciclo de vida.
0.5	Especie de la que se conocen escasos aspectos de su ciclo de vida.

2.2. Fase II.- Elaboración de los modelos de distribución

Mediante el programa de máxima entropía (MaxEnt) (Phillips *et al.*, 2006) (www.cs.princeton.edu/schapiro/maxent) se generaron los modelos de distribución

potencial actual y futura, para la evaluación de pérdida/ganancia de área predicha para los diferentes escenarios.

2.2.1. Obtención de registros.

Los registros geográficos utilizados en este trabajo se obtuvieron a partir de base de datos electrónicas como GBIF (<https://www.gbif.org/>), Vertnet (<http://vertnet.org/>). Así como con la base de datos de informes técnicos de Valdez *et al.* (2016), así como datos proporcionados por la Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) (SNIB-CONABIO, 2017). Se consideraron sólo aquellos registros reportados a partir de 1960 a la fecha.

Se realizó un área de calibración (M), la cual sirvió para determinar el área ambiental donde ha sido registrada cada una de las especies. Esta área se delimitó tomando en cuenta las regiones biogeográficas a nivel mundial, así como las distribuciones históricas conocidas para cada especie, por lo cual se consultaron las páginas de CONABIO <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> y *Neotropical Birds* <https://neotropical.birds.cornell.edu/Species-Account/nb/species/gcrwar/overview>.

Posteriormente se realizó una selección por distancia de los puntos de registro mediante el programa R Studio® y el software PostgreSQL®, evitando de esta manera todo sesgo que se pudiera generar al momento de realizar los modelos, por cruce de puntos. Se definió una distancia mínima de 5 km y una distancia máxima 50 km entre puntos, dependiendo de la especie.

2.2.2. Selección de variables.

Se tomaron en cuenta las 19 variables de *WorldClim* 1.4 (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005) con resolución espacial de 1 km². Para evitar una correlación entre las variables, a partir de 5,000 puntos aleatorios dentro de las M se realizó un análisis de colinealidad por medio de la inflación de la varianza, con el objetivo de discriminar aquellas variables que estuvieran correlacionadas entre sí. Este análisis se realizó por medio de R Studio®.

Para los MDP a futuro, se utilizaron las capas climáticas de *WorldClim* 1.4, y se limitaron solo para el continente americano. Se seleccionaron cuatro MCG, en dos tiempos 2050 y 2070, en el escenario de emisiones altas RCP8.5, el cual propone la continuidad de las tasas de emisiones altas. Debido a que los MCG, pueden tener una incertidumbre, se recomienda usar más de uno (Cruz, 2018; Rodríguez, 2010), por lo cual se seleccionaron: CNRMCM5, GFDL-CM3, HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR.

2.2.3. Obtención Generación de los modelos de distribución potencial de las aves

Se generaron los MDP de las especies por medio del algoritmo de máxima entropía (MaxEnt 3.4.1). Por medio del programa R Studio® se seleccionó un grupo de registros de presencia con el que se corrió el modelo (*Training*) y para validar la base de datos de prueba, el número de registros de esta base fue el mismo número de registros que se usó en el entrenamiento. El área para los MDP actual se delimitó con la M y se seleccionó el grupo de variables climáticas que no están correlacionadas para cada especie

La capacidad predictiva de los modelos generados fue calculada mediante el área bajo la curva (*Area Under the Curve*: AUC) la cual se deriva de la curva operacional (*Receiver Operating Characteristic*: ROC). Se seleccionó el tipo de salida logística y se establecieron las rutas de acceso para cada uno de los MCG de acuerdo con los dos periodos de tiempo. Adicionalmente, cada modelo fue evaluado mediante la prueba ROC parcial, la cual establece que un buen identificador separaría bien presencias de ausencias y daría un valor mayor que uno (Peterson, Papeş, & Soberón, 2008), este se realizó por medio del programa de NicheToolbox en la paquetería de R Studio®.

Los modelos resultantes se clasificaron en mapas binarios (presencia/ausencia). Se usó como base los valores más bajos de omisión y comisión que se generaron, de este modo se tomó en cuenta el valor de área predicha, en donde estos valores se acercaban a cero. Los mapas generados se recortaron en función de los estados

que conforman el sureste de México (Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo).

2.3. Fase III.- Evaluación del impacto del cambio climático sobre el Sureste de México.

Para determinar los efectos del impacto que el CC sobre las áreas de distribución de las aves en el sureste mexicano, se utilizó el índice de vulnerabilidad (IV) propuesto por Felicísimo, Muñoz, Mateo & Villalba, (2012).

$$IV = 1 - ((APF \cap AOA) \cdot (APF \cap APA))$$

Dónde:

(APF \cap AOA) es la intersección entre el área potencial futura y el área ocupada actual (en tanto por uno).

(APF \cap APA) es la intersección entre el área potencial futura y el área potencial actual (en tanto por uno).

El primer elemento nos muestra el área potencial que se mantendrá ante los efectos del CC y penaliza su cambio espacial (aun cuando este sea mayor). De esta manera, si el área potencial se mantiene el índice disminuye, pues se considera tiene las posibilidades para implementar las medidas necesarias para la conservación.

El segundo nos muestra como las poblaciones existentes se mantendrán en su área de distribución actual. Por lo tanto, si el área potencial futura no se superpone con la actual las poblaciones se verán comprometidas.

Para realizar este análisis se trabajó con los mapas de distribución potencial. Por lo tanto, se tienen mapas de distribución potencial actual y mapas de distribución a futuro en dos momentos (2050 y 2070) con una resolución de 1 km. Para el mapa del área ocupada actual (AOA), se generó de manera externa, mediante los registros de presencia, los cuales muestran las localidades donde realmente se ha confirmado la presencia de la especie, y delimitan el espacio geográfico en el que se distribuye. Este se realizó con una grilla de 1 km X 1 km, en donde se ubicaron

los registros, y se tomó como AOA los pixeles en donde se encontraba uno o más registro de presencia.

Posteriormente por medio de un SIG, se traslaparon los mapas de acuerdo con el índice propuesto. Los mapas se homogenizaron en formato ráster. La intersección fue estimada en función a la coincidencia de celdas ocupadas o no ocupadas.

3. Resultados

De acuerdo con la evaluación del VICC, solo se consideraron 29 especies para los análisis (Tabla 3).

Tabla 3. Aves indicadoras del CC, seleccionadas durante la evaluación de VIACC.

Orden	Familia	Especie
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Spizaetus ornatus</i>
		<i>Buteogallus anthracinus</i>
		<i>Chondrohierax uncinatus</i>
		<i>Geranospiza caerulescens</i>
		<i>Leptodon cayanensis</i>
Anseriformes	Anatidae	<i>Cairina moschata</i>
Caprimulgiformes	Trochilidae	<i>Amazilia yucatanensis</i>
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Sarcoramphus papa</i>
Ciconiiformes	Ciconiidae	<i>Jabiru mycteria</i>
Falconiformes	Falconidae	<i>Micrastur semitorquatus</i>
Galliformes	Phasianidae	<i>Meleagris ocellata</i>
	Cracidae	<i>Penelope purpurascens</i>
Gruiformes	Aramidae	<i>Aramus guarauna</i>
Passeriformes	Furnariidae	<i>Dendrocincla anabatina</i>
		<i>Dendrocincla Homochroa</i>
	Cardinalidae	<i>Cardinalis cardinalis</i>
	Tyrannidae	<i>Onychorhynchus coronatus</i>
	Pipridae	<i>Ceratopira mentalis</i>
	Corvidae	<i>Cyanocorax yucatanicus</i>
	Pelecaniformes	Ardeidae
<i>Egretta rufescens</i>		
Piciformes	Picidae	<i>Celeus castaneus</i>
	Ramphastidae	<i>Ramphastos sulfuratus</i>
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Eupsittula nana</i>
		<i>Amazona oratrix</i>
		<i>Amazona albifrons</i>
Strigiformes	Strigidae	<i>Bubo virginianus</i>

Tinamiformes	Tinamidae	<i>Tinamus major</i>
Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon collaris</i>

3.1. Elaboración de los modelos de distribución

Se obtuvo un total de 547,062 registros. Posterior solo se trabajó con el 12% (64,432) de los registros. Del análisis de colinealidad se tuvo un promedio de ocho de las 19 variables bioclimáticas por especie (Tabla 4). En cuanto a la validación por medio de la prueba de ROC Parcial, todos nuestros modelos se encuentran por encima de uno, lo que indica que son estadísticamente mejores que el azar.

Tabla 4. Grupo de variables bioclimáticas que se utilizaron para realizar los modelos de distribución potencial de cada una de las especies.

Especie	Grupos de Variables
<i>Amazona oratrix</i>	2,3,10,13,14,15,18,18
<i>Meleagris ocellata</i>	2,3,4,6,13,15,18,19
<i>Spizaetus ornatus</i>	2,3,4,6,13,14,15,18,19
<i>Cardinalis cardinalis</i>	2,7,8,10,13,15,18,19
<i>Ceratopipra mentalis</i>	2,4,9,13,14,15,18,19
<i>Dendrocincla anabatina</i>	2,3,8,14,15,16,18,19
<i>Cairina moschata</i>	2,3,8,13,15,16,18,19
<i>Amazilia yucatanensis</i>	2,3,8,9,10,13,15,18,19
<i>Cyanocorax yucatanicus</i>	3,4,9,11,13,15,18,19
<i>Egretta rufescens</i>	2,3,8,9,10,13,14,15,18,19
<i>Bubo virginianus</i>	
<i>Celeus castaneus</i>	2,3,8,14,15,16,19,19
<i>Dendrocincla homochroa</i>	
<i>Penelope purpurascens</i>	
<i>Ramphastos sulfuratus</i>	2,3,8,13,14,15,18,19
<i>Amazona albifrons</i>	
<i>Jabiru mycteria</i>	
<i>Botaurus pinnatus</i>	
<i>Buteogallus anthracinus</i>	2,3,8,9,13,14,15,18,19
<i>Eupsittula nana</i>	
<i>Geranospiza caerulescens</i>	
<i>Aramus guarauna</i>	
<i>Onychorhynchus coronatus</i>	
<i>Sarcoramphus papa</i>	
<i>Chondrohierax uncinatus</i>	2,3,4,8,13,14,15,18,19
<i>Leptodon cayanensis</i>	
<i>Micrastur semitorquatus</i>	

Especie	Grupos de Variables
<i>Tinamus major</i>	
<i>Trogon collaris</i>	

3.2. Generación de los modelos de distribución potencial de las aves

En cuanto a los modelos de distribución de las 29 especies que se modelaron, seis estarán perdiendo área al momento que se transfieren al futuro en todos los escenarios, tanto el año 2050 como para el 2070. Estas especies son *Amazilia yucatanensis*, *Dendrocincla homochroa*, *Meleagris ocellata*, *Onychorhynchus coronatus*, *Sarcoramphus papa*, *Trogon collaris*. La especie que puede ser más afectada climáticamente es *Dendrocincla homochroa*, ya que pierde en cada uno de los modelos a futuro, en especial el MCG GFDL-CM3 año 2070, de 25´660,120.29 ha que ocupa, solo tendrá las condiciones adecuadas en 3´385,070.93 ha, lo cual se traduce en una pérdida del 85% de área.

Las especies que estarán ganando son cinco; *Bubo virginianus*, *Celeus castaneus*, *Jabiru mycteria*, *Cairina moschata*, *Egretta rufescens*. En este grupo, la especie que se verá más beneficiada es *Celeus castaneus*, de un área de 1´911,090.19 ha aumentara 21´123,118.34 ha en el MCG GFDL-CM3 año 2070, lo que representa un aumento del 73%.

Para las que se mantienen, hay cinco especies que su variación no es mayor a un incremento del 10% o un decremento del 10%. Entre estas especies están *Amazona oratrix*, *Amazona albifrons*, *Aramus guarauna*, *Chondrohierax uncinatus*, *Eupsittula nana* (Figura 1).

Con respecto a cómo fluctuó la presencia de especies de acuerdo con el MCG, el HADGEM2.ES tiene más especies que pierden área al momento que se proyectan al futuro, para el 2050, 13 especies pierden condiciones climáticas y para el 2070 son 12. El MCG, que tiene más especies con ganancia de área en cada periodo es GFDL-CM3, en el 2050 ganan nueve y 2070 son diez. La mayor cantidad de especies que se mantienen se encuentran en los modelos CNRMCM5 y el MPI-ESM-LR (Figura 2).

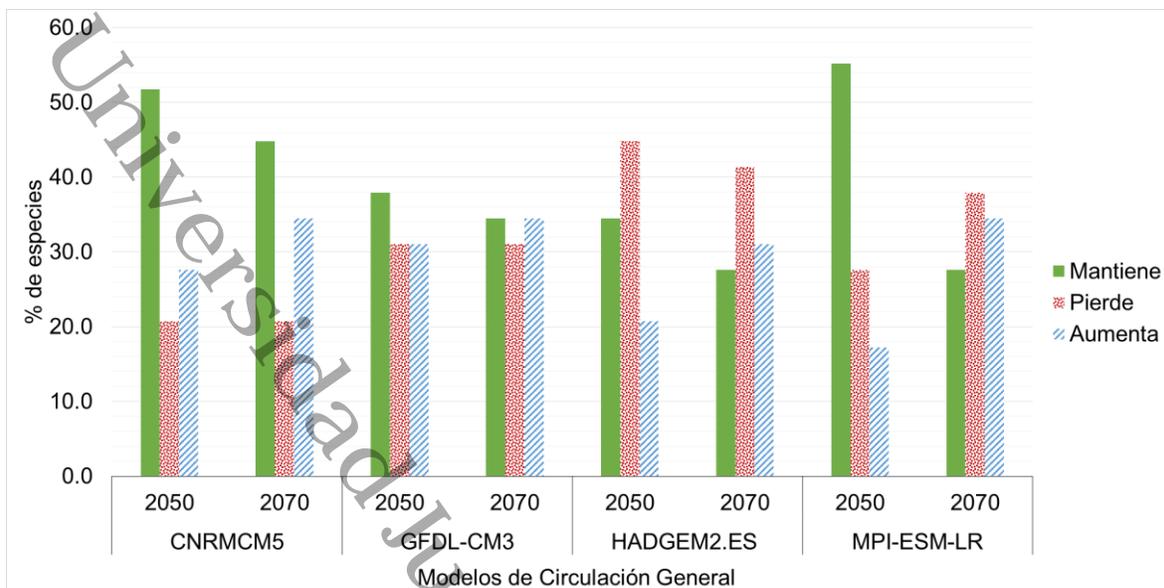


Figura 2.- Porcentaje de pérdida, ganancia y permanencia del área de distribución potencial por especie, de acuerdo con el Modelo de Circulación General en el que fue modelado.

3.3. Índice de Vulnerabilidad de las especies

Después de aplicar el IV, se observó que las 29 especies se encuentran en alguna categoría de riesgo de leve a crítica, ninguna tiene una vulnerabilidad inexistente. Siete especies se encontraron en la categoría de vulnerabilidad media, ante todos los escenarios y años. Estas especies son: *Aramus guarauna*, *Bubo virginianus*, *Eupsittula nana*, *Jabiru mycteria*, *Leptodon cayanensis* y *Sarcoramphus papa*.

En cuanto a la categoría de vulnerabilidad leve, *Micrastur semitorquatus* se mantiene en todos los escenarios y años. En lo referente a las categorías alta, muy alta y crítica, dos especies se encuentran en esta categoría, dependiendo del MCG: el *Amazona oratrix* va de muy alta a crítica y *Meleagris ocellata* va de alta a crítica (Figura 3).

En cuanto a los MCG, el HADGEM2.ES presenta tres especies en categoría vulnerabilidad crítica: las cuales son *Amazona oratrix*, *Ceratopira mentalis*, *Meleagris ocellata*. Este mismo modelo es el único que no presenta especies con una vulnerabilidad muy alta. En cuanto a las especies que son de vulnerabilidad alta, el mayor número de especies se encuentra en CNRMCM5, HADGEM2.ES. con nueve especies respectivamente en el año 2070. La vulnerabilidad media es donde

se encuentra la mayoría de las especies, siendo el MCG GFDL-CM3 quien tiene 17 especies en ambos periodos de tiempo. Con respecto a la última categoría de vulnerabilidad leve, el modelo que tiene más especies es el MPI-ESM-LR (Figura 4).

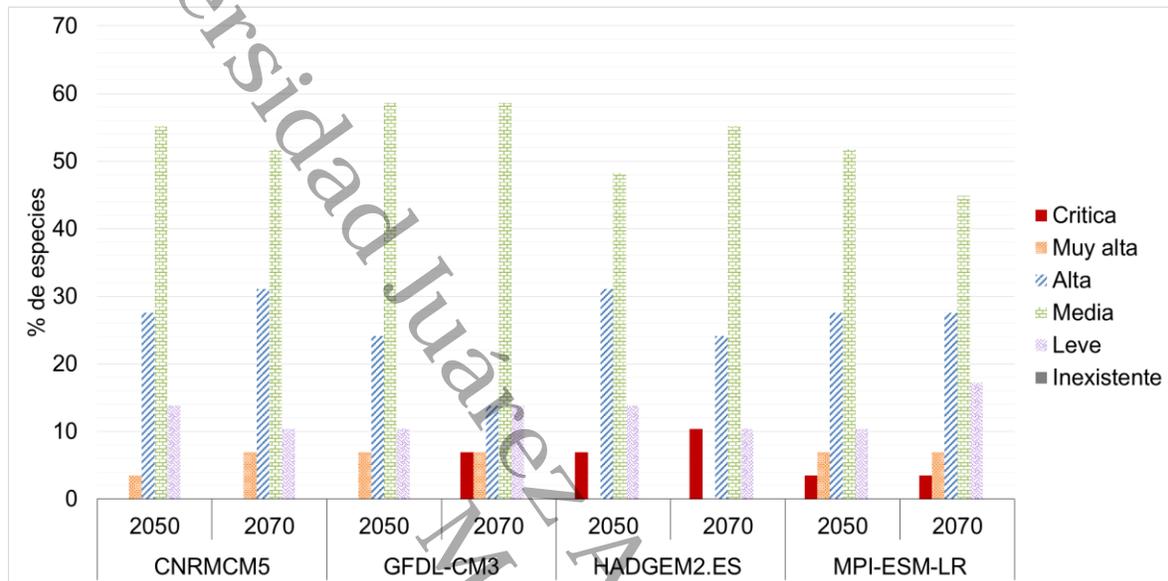


Figura 4.- Estatus de vulnerabilidad de las especies de acuerdo al Modelo de Circulación General en el que fue modelado

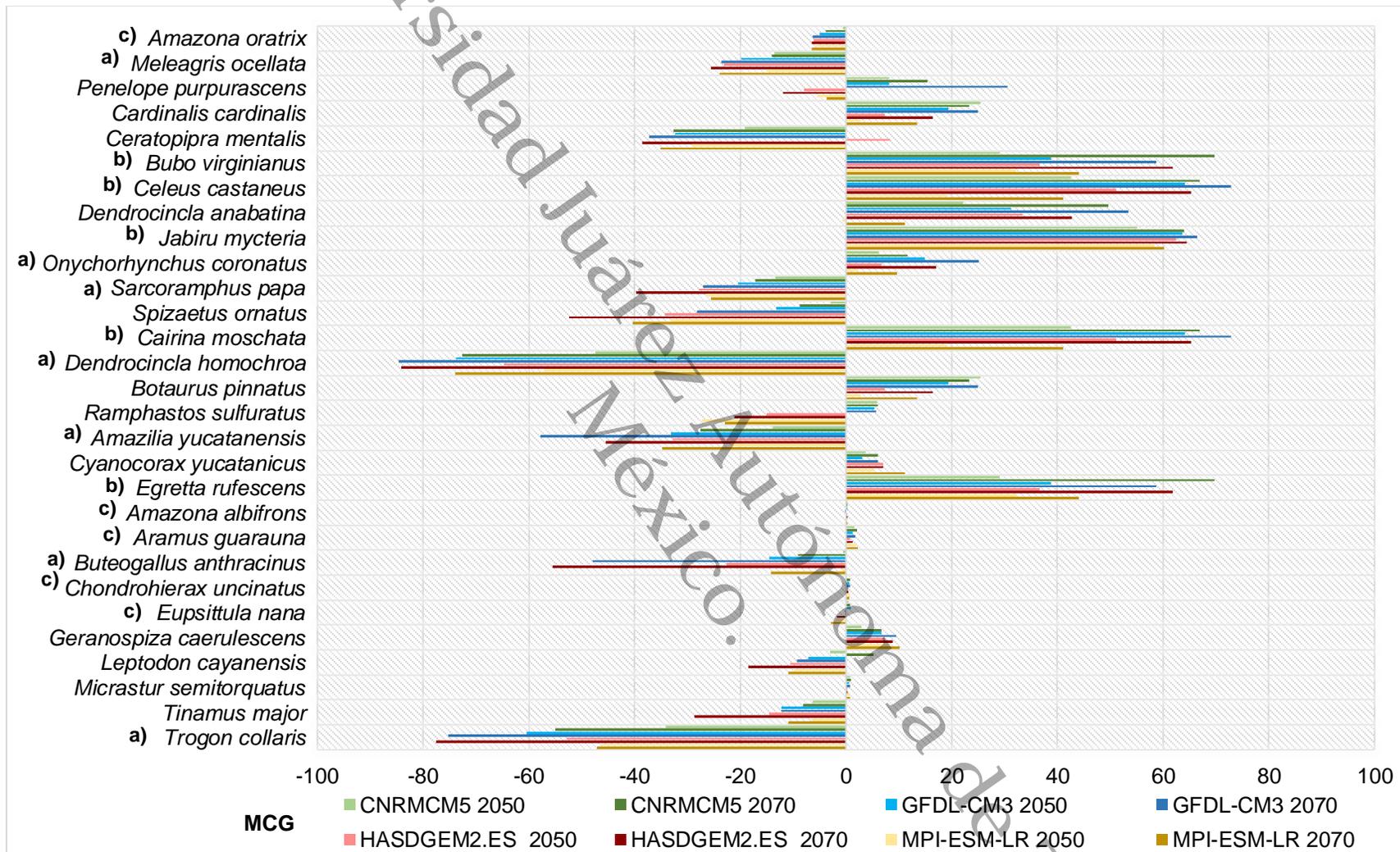


Figura 1.- Pérdida y ganancia del área de distribución de las especies, para cada uno de los MCG en los dos periodos de tiempo 2050 y 2070. a).-Las aves que estarán perdiendo área de distribución potencial a futuro, b).-Las especies que estarán ganando área y C).- Las aves que mantienen su área, esto es que su variación no es mayor o menor a 10% de su área actual.

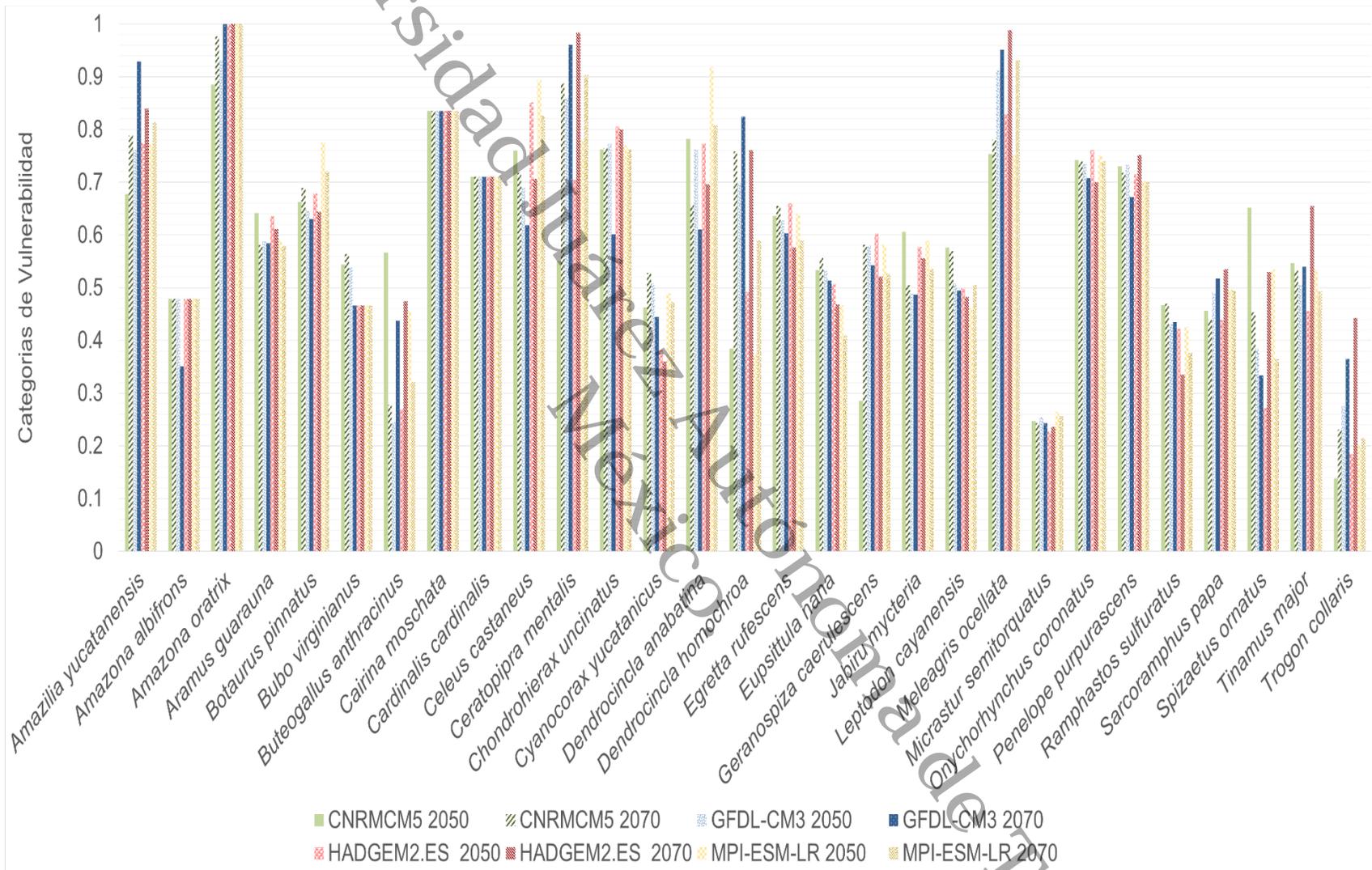


Figura 3.- Estatus de vulnerabilidad por especies de acuerdo al Modelo de Circulación General en el que fue modelado.

4. Discusión

El CC es una de las amenazas actuales a la biodiversidad, debido a que está modificando los ecosistemas en los que se desarrollan las especies, volviéndolos más cálidos a causa del aumento de temperatura, y con periodos de sequía o lluvias largos, ocasionando que las poblaciones de flora y fauna modifiquen la sincronización de sus hábitos rutinarios (Chen, *et al.*, 2011; Guitérrez & Trejo, 2014; IPCC, 2014; Orozco, Cardona Ayala & Araméndiz Tatis, 2012; Laurance *et al.*, 2012; Uribe & Ávila, 2015; Yom-Tov & Geffen, 2011). En algunos casos las especies estarán más comprometidas que otras (Galbraith, Spooner & Vaughn, 2010; Santos *et al.*, 2015).

Es por ello, que seleccionar especies que sean sensibles a los cambios es necesario, ya que con base en su presencia, ausencia o abundancia expresarán si su hábitat está siendo impactado o modificado (Butchart *et al.*, 2010; Del-Val & Sáenz-Romero, 2017; Gallagher, Hughes & Leishman, 2009; O. González, 2016). Las aves son un grupo que ha reaccionado bastante rápido a estos impactos, ya que algunas de ellas han alterado ciertos patrones que van desde cambiar sus rutas migratorias, áreas de descanso y distribución, hasta mostrar cambios en sus periodos reproductivos y de migración (Descamps *et al.*, 2017; Drake & Martin, 2018; Gordo, 2015; Johansson *et al.*, 2014; Kaeslin *et al.*, 2013; Kiat, Vortman, & Sapir, 2019; Saino *et al.*, 2011; Sekercioglu *et al.*, 2012; Uribe & Ávila, 2015; Vaugoyeau *et al.*, 2016).

Durante el proceso de selección de aves con alto valor, se pudo observar que el 86.65% de las especies se encuentran en alguna categoría de riesgo por la normatividad nacional (NOM-059-SEMARNAT-2010). Algunos autores mencionan que las especies que mejor se desempeñan como indicadoras son las consideradas endémicas, raras o que se encuentran en alguna categoría de riesgo, (Drummond *et al.*, 2010; Lawler *et al.*, 2003). Las especies protegidas a nivel local son las que tienen una buena representación de hábitat, por lo cual podrían considerarse como un sistema de alerta temprana (Wells, Robertson, Rosenberg & Mehlman, 2010). Por lo cual, se puede considerar que aquellas especies elegidas están

representando de manera adecuada el hábitat donde se encuentran, debido que 26 de las 29 especies están protegidas, por tanto, se puede suponer que están cubriendo de manera completa el área de estudio.

Dentro de esta selección, las Passeriformes fueron el género mejor representado. Este resultado es coherente hacia este orden, ya que es el más abundante dentro de las aves a nivel mundial (Areces, 2016; Ofelina, Hazel, & Tailor, 2007), en México este grupo está conformado por 42 familias, 221 géneros y 531-540 especies (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014). A pesar de ser muy variado y ocupar diversos tipos de ambientes, tiene especies con requerimientos y necesidades específicas, que les permite ser sensibles a los cambios en su entorno, e identificar la salud del ecosistema. Ofelina *et al.*, (2007), denota la importancia de la alimentación en este grupo, ya que estas aves se distribuirán en función su dieta, mientras más específica sea esta, mayor será la dependencia que presenten a la composición y estructura de la vegetación.

Both *et al.* (2010), mencionan que las especies pertenecientes a este grupo disminuyen su población mientras menos residentes son, debido que las migratorias tienen que estar en sincronización con la aparición de alimentos en su hábitat estacional. Por su parte Kiat *et al.*, (2019), indican que el grupo de las Passeriformes, ya han modificado ciertos procesos fenológicos a causa del aumento de la temperatura global. Por lo tanto, se considera que estas especies están siendo evaluadas de manera correcta.

El orden de los Accipitriformes, fue otro grupo con mayor número de especies indicadoras. De acuerdo a diferentes estudios, las especies de este grupo tienen una alta sensibilidad a la perturbación y a los cambios en el ambiente (Carmona *et al.*, 2017; McClure *et al.*, 2018; Voeroes, 2014). La presencia de estas aves, estará en función de las transformaciones que se realicen sobre su hábitat, ya que su abundancia, riqueza y diversidad, disminuye cuando se observan impactos sobre los ecosistemas (Carrete, Tella, Blanco, & Bertellotti (2009).

De tal manera, se considera que la evaluación, del VIACC discrimino de manera adecuada las especies; por lo tanto, las especies seleccionadas otorgan información adecuada para realizar trabajos de conservación, y con base a la observación o registros de cambios en el tamaño de sus poblaciones, pueden indicar que su gradiente ambiental se puede estar modificando a causa del CC.

4.1. Generación de los modelos de distribución potencial de las aves

Los modelos de distribución potencial son una representación geográfica del nicho ecológico. Este nicho es el espacio que reúne las condiciones climáticas favorables, donde la especie tendrá las mejores oportunidades de sobrevivir (Cuervo-Robayo *et al.*, 2017; Morales, 2012; Townsend *et al.*, 2011). Se ha observado como este nicho se verá seriamente afectado a causa del CC, lo que provocará que las especies modifiquen su distribución, tratando de contrarrestar este impacto (Aguado & Escalante, 2015; Boyle & Sigel, 2015; Drake & Martin, 2018; Foden *et al.*, 2013; Guitérrez & Trejo, 2014; Phipps *et al.*, 2017).

Al crear los modelos de distribución potencial, se visualiza la relación que tiene la especie y las variables ambientales en el presente, examinando de esta manera los cambios ambientales en el espacio geográfico futuro (Kearney & Porter, 2009). Durante el proceso de esta modelación a futuro, las aves cambian su rango geográfico (ampliando/reduciendo), en función de esas nuevas características ambientales. Descamps *et al.*, (2017), considera que las modificaciones que se prevén a causa del CC, afectarán de diferente manera a los organismos, debido a que algunos podrán considerarse “ganadores del cambio climático”. Tal es el caso de *Celeus castaneus*, especie de abundancia relativa no común, cuando esta encuentra el hábitat propicio pueden registrarse de uno a cuatro pares por km² (Nery-Fajardo, 2006). Las poblaciones de esta especie, a pesar de las transformaciones, puede adaptarse a estas nuevas condiciones (Gorman, 2014). Por el contrario, dentro de las “especies perdedoras” se encuentra *Dendrocincla homochroa* que reduce su distribución más de la mitad del área futura. La cual ha sido reconocida como especie indicadora, por ser más abundante en los hábitats conservados que en sistemas modificados. Estos resultados están muy

relacionados con lo propuesto con Foden *et al.*, (2013), quienes mencionan que las especies impactadas por el CC, son aquellas que cumplen con los requisitos de ser altamente sensibles y expuestas, así como de menor capacidad de adaptación.

Otra de las especies que ha perdido área es *Meleagris ocellata*, la cual se encuentra distribuida únicamente en una región de 130,000 km², a pesar que es tolerante al disturbio moderado no tiene un rango geográfico mayor (Panjabi, 2013), y de acuerdo a los modelos de distribución disminuirá entre 13 y 25% de su área. Loarie *et al.*, (2009), mencionan que las especies que tienen poca capacidad para desplazarse de un hábitat a otro, que se encuentran en tierras bajas sin acceso a elevaciones más altas, son las más probable que enfrenten un mayor riesgo ante los efectos del CC.

Los resultados obtenidos durante este proceso de modelación, coinciden con las investigaciones de Cadena (2011); Freeman, Sunnarborg, & Peterson, (2019); Langham, *et al.*, (2015); Lemoine, Schaefer, & Bohning-Gaese, (2007); Tingley, Monahan, Beissinger & Moritz, (2009), los cuales indican que las respuestas de los organismos frente al CC, estarán dadas con base a las características fisiológicas que tenga la especie y dependerá de las habilidades de cada una de ellas para mantenerse o perderse.

El MCG que presenta la mayor cantidad de especies con pérdida de área es HADGEM2-ES. Good *et al.*, (2013), después de analizar y comparar este MCG, encuentra que es un modelo capaz de desarrollarse y discernir de manera eficiente las condiciones que se prevén hacia el futuro en el medio tropical.

4.2. Elaboración del Índice de Vulnerabilidad de las especies

La finalidad de poder identificar la vulnerabilidad de las especies ante este fenómeno, es ayudar a entender hacia donde se deben dirigir los apoyos de conservación (Berrizbeitia, *et al.*, 2014; Carantoña & Hernández, 2017; Felicísimo *et al.*, 2012; Foden & Young, 2016), debido a que evalúan la susceptibilidad de las especies y de esta manera las priorizan para establecer estrategias de conservación (Young, Dubois, & Rowland, 2015).

Durante las evaluaciones de otros estudios se muestran resultados similares a los aquí obtenidos, debido a que la mayoría indica que las especies de manera general serán afectadas por las nuevas condiciones que se proveen, haciendo que estas se encuentren en algún estatus de vulnerabilidad (Felicísimo, Muñoz, Villalba, & Mateo, 2011; Heikkinen *et al.*, 2010; Hohmann, Delaney, & Swearingen, 2017). El grado de vulnerabilidad en el que se encuentre una especie, dependerá de la escala en la que se evalué, tal como lo menciona Gardali, Seavy, DiGaudio & Comrack (2012), quienes indican, que el 72% de las aves son vulnerables ante los efectos de CC, pero no descartan que las demás sean vulnerables, pero a diferente grado y por eso aún no han sido identificadas.

De acuerdo con lo anterior, se considera que el total las especies de aves que se incluyeron en los análisis son vulnerables en diferentes niveles a los cambios provocados al CC, por lo cual es importante que, en futuras tomas de decisiones, en manejo y conservación de la vida silvestre puedan ser consideradas como especies indicadoras a dichos cambios.

5. Conclusión

Las aves con valor de importancia ante el cambio climático son: *Spizaetus ornatus*, *Buteogallus anthracinus*, *Chondrohierax uncinatus*, *Geranoospiza caerulescens*, *Leptodon cayanensis*, *Cairina moschata*, *Amazilia yucatanensis*, *Sarcoramphus papa*, *Jabiru mycteria*, *Micrastur semitorquatus*, *Meleagris ocellata*, *Penelope purpurascens*, *Aramus guarauna*, *Dendrocincla anabatina*, *Dendrocincla Homochroa*, *Cardinalis cardinalis*, *Onychorhynchus coronatus*, *Ceratopipra mentalis*, *Cyanocorax yucatanicus*, *Botaurus pinnatus*, *Egretta rufescens*, *Celeus castaneus*, *Ramphastos sulfuratus*, *Eupsittula nana*, *Amazona oratrix*, *Amazona albifrons*, *Bubo virginianus*, *Tinamus major*, *Trogon collaris*

Las Paseriformes son el orden más vulnerable, las aves que están dentro de este grupo tienen una relación muy estrecha entre su alimentación y su área de distribución, y mientras esta dieta es más específica, la especie es más vulnerable ante los efectos del cambio climático.

Celeus castaneus, es una especie de abundancia relativa no común, si encuentra las condiciones adecuadas, entonces se distribuye ampliamente. Tal como lo está mostrando en la ampliación de su distribución, por lo que será una especie “ganadora del cambio climático”. *Dendrocincla homochroa* por el contrario es una especie que se encuentra como “perdedora del cambio climático, ya que se reduce su distribución más de la mitad del área futura.

Otra especie que será afectada, pero más que por las condiciones climáticas, por su restricción de hábitat es *Meleagris ocellata*, el cual está restringido a una región de sólo 130,000 km².

Las aves son vulnerables ante el efecto del cambio climático y ellas tienen respuestas diferentes, con base a sus características fisiológicas y sus habilidades para mantenerse en el tiempo. De tal manera que serán más afectadas aquellas que tengan restricciones y menor capacidad de adaptarse.

6. Referencia Bibliográfica

- Aguado, B. Ó., & Escalante, T. (2015). Cambios en los patrones de endemismo de los mamíferos terrestres de México por el calentamiento global. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 99–110. <https://doi.org/10.7550/rmb.46637>
- Araujo, M.B.; Guilhaumon, F.; Neto D. R.; Pozo, I. . C. R. (2011). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española 2. fauna de vertebrados. Retrieved from <http://www.ibiochange.mncn.csic.es/atlascc>
- Areces, C. V. (2016). Estudio en aves silvestres de canto (“Passeriformes”) de las moléculas MHC y reclasificación molecular de la familia “Carduelini.” Universidad Complutense de Madrid.
- Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D. T., Lobo, J. M., Millán, A., & Sánchez-Fernández, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 21(3), 79–84. <https://doi.org/10.7818/ecos.2012.21-3.10>
- Becerra Manuel Rodríguez & Mance Henry. (2009). Cambio climático: lo que está en juego. Foro Nacional Ambiental. Primera edición.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4), 365–377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Berrizbeitia, L. E., Castro, L., Gomez, M., Castillo, M. P., & Torres, M. C. (2014). Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe. <https://doi.org/10.1517/17425255.2012.698262>
- Both, C., Van Turnhout, C. A. M., Bijlsma, R. G., Siepel, H., Van Strien, A. J., & Foppen, R. P. B. (2010). Avian population consequences of climate change are most severe for long-distance migrants in seasonal habitats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1685), 1259–1266. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1525>
- Boyle, W. A., & Sigel, B. J. (2015). Ongoing changes in the avifauna of La Selva Biological Station, Costa Rica: Twenty-three years of Christmas Bird Counts. *Biological Conservation*, 188, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.004>
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. A., ... Watson, R. (2010). Global biodiversity: Indicators of recent declines. *Science*, 328(5982), 1164–1168. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Cadena, J. B. (2011). Cambio climático global: efecto en algunas especies de aves en peligro en el estado de Hidalgo, México. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Carantoña, T., & Hernández, D. (2017). Indicador de Vulnerabilidad de Especies ante El Cambio Climático En Áreas Naturales Protegidas, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, 33(53), 75–103.
- Carmona, R., Mendoza, L. F., Molina, D., Ortega, L., Miramontes, E., & Miguel, C. (2017). Spatial and temporal presence of diurnal raptors (aves: accipitriformes, falconiformes) at marismas nacionales, Nayarit-Sinaloa, México. *Acta Zool. Mex. (n.S.)*, 33(1), 27–38.
- Carrete, M., Tella, J. L., Blanco, G., & Bertellotti, M. (2009). Effects of habitat degradation on the abundance, richness and diversity of raptors across Neotropical biomes. *Biological Conservation*, 142(10), 2002–2011. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.012>
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., & Thomas, C. D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333(6045), 1024–1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432>
- Corredor C. E. S., Fonseca C. J. A. & Páez B. E. M. (2012). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental – Volumen 3 Número 1*, 77-83.
- Cuervo-Robayo, A., Escobar, L. E., Osorio-Olvera, L. A., Nori, J., Varela, S., Martínez-Meyer, E., ... Peterson, A. T. (2017). Introducción a Los Análisis Espaciales Con Énfasis En. *Biodiversity Informatics*, 12, 45–57. <https://doi.org/10.17161/bi.v12i0.6507>
- Cruz S. D. C. (2018). Efectos de la variabilidad de la estructura dinámica y termodinámica del calentamiento atmosférico en la climatología de Colombia. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia
- Del-Val, E., & Sáenz-Romero, C. (2017). Insectos Descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) Y Cambio Climático: Problemática Actual Y Perspectivas En Los Bosques Templados. *Tip*, 20(2), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.006>
- Descamps, S., Aars, J., Fuglei, E., Kovacs, K. M., Lydersen, C., Pavlova, O., ... Strøm, H. (2017). Climate change impacts on wildlife in a High Arctic archipelago – Svalbard, Norway. *Global Change Biology*, 23, 490–502. <https://doi.org/10.1111/gcb.13381>
- Drake, A., & Martin, K. (2018). Local temperatures predict breeding phenology but do not result in breeding synchrony among a community of resident cavity-nesting birds. *Scientific Reports*, 8(1), 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20977-y>
- Drummond, S. P., Wilson, K. A., Meijaard, E., Watts, M., Dennis, R., Christy, L., & Possingham, H. P. (2010). Influence of a Threatened-Species Focus on Conservation Planning. *Conservation Biology*, 24(2), 441–449. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01346.x>
- Felicísimo, A. M., Muñoz, J., Mateo, R. G., & Villalba, C. J. (2012). Vulnerabilidad de

- la flora y vegetación españolas ante el cambio climático. *Ecosistemas*, 21(3), 1–6. <https://doi.org/10.7818/RE.2014.21-3.00>
- Feria, A. T. P., Sanchez, R. G., Ortiz, P. R., Bravo, C. J., Calixto, P. E., Dale, J. M., ... Valencia, H. J. (2013). Estudio del cambio climático y su efecto en las aves en México: enfoques actuales y perspectivas futuras. *Teresa. Huitzil*, 14(1), 47–55. Retrieved from www.huitzil.net
- Foden, W. B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Vié, J. C., Akçakaya, H. R., Angulo, A., ... Mace, G. M. (2013). Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLoS ONE*, 8(6), e65427. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065427>
- Foden, W. B., & Young, B. E. (2016). IUCN SSC Guidelines for Assessing Species' Vulnerability to Climate Change. IUCN.
- Freeman, B., Sunnarborg, J., & Peterson, A. T. (2019). Effects of climate change on the distributional potential of three range-restricted West African bird species. *The Condor*, 20, 1–10. <https://doi.org/10.1093/condor/duz012>
- Galbraith, H. S., Spooner, D. E., & Vaughn, C. C. (2010). Synergistic effects of regional climate patterns and local water management on freshwater mussel communities. *Biological Conservation*, 143(5), 1175–1183. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.025>
- Gallagher, R. V., Hughes, L., & Leishman, M. R. (2009). Phenological trends among Australian alpine species: Using herbarium records to identify climate-change indicators. *Australian Journal of Botany*, 57(1), 1–9. <https://doi.org/10.1071/BT08051>
- Gardali, T., Seavy, N. E., DiGaudio, R. T., & Comrack, L. A. (2012). A climate change vulnerability assessment of California's at-risk birds. *PLoS ONE*, 7(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029507>
- González-Ortega, A., Antonio, M., Hernández, G., Gómez, M., Velázquez, D., Enrique, L., ... Velázquez, D. (2003). Un método para la selección de aves bioindicadoras con base en sus posibilidades de monitoreo. *Huitzil*, 4(2), 10–16. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2003.4.2.18>
- González, O. (2016). ¿ Son las aves indicadores de cambio climático en los andes tropicales de Huánuco, Perú? (Vol. 1).
- Good, P., Jones, C., Lowe, J., Betts, R., & Gedney, N. (2013). Comparing tropical forest projections from two generations of hadley centre earth system models, HadGEM2-ES and HadCM3LC. *Journal of Climate*, 26(2), 495–511. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00366.1>
- Gordo, O. (2015). Impactos del cambio climático en la migración de las aves ibéricas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 1, 153–161. Retrieved from <http://www.mapama.gob.es/es/cambio->

climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap9-
impactosdelcambioclimaticoenlamigraciondelasavesibericas_tcm7-403985.pdf

- Gorman, G. (2014). Woodpeckers of the world : the complete guide. Retrieved from https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9LmnAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Celeus+castaneus+niche&ots=iSkC731Btb&sig=h4dWzISt_3ug3Fdhb oiJYFf7Xmc#v=onepage&q=Celeus castaneus&f=false
- Guitérrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 179–188. <https://doi.org/10.7550/rmb.37737>
- Hannah, L., Flint, L., Syphard, A. D., Moritz, M. A., Buckley, L. B., & McCullough, I. M. (2014). Trends in Ecology & Evolution. 29(7), 390-397. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2014.04.006>
- Heikkinen, R. K., Luoto, M., Leikola, N., Pöyry, J., Settele, J., Kudrna, O., ... Thuiller, W. (2010). Assessing the vulnerability of European butterflies to climate change using multiple criteria. *Biodiversity and Conservation*, 19(3), 695–723. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9728-x>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hohmann, M. G., Delaney, D. K., & Swearingen, M. E. (2017). An Evaluation of Methods for Assessing Vulnerability of Army Installations to Impacts of Climate Change on Listed and At-Risk Species Construction Engineering. *Army Environmental Quality Technology An*, 17, 19.
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. (IPCC, Ed.). <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Jarma Orozco, A., Cardona Ayala, C., & Araméndiz Tatis, H. (2012). Efecto Del Cambio Climático Sobre La Fisiología De Las Plantas Cultivadas: Una Revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 63–76. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262012000100008
- Johansson, J., Smith, H. G., & Jonzén, N. (2014). Adaptation of reproductive phenology to climate change with ecological feedback via dominance hierarchies. *Journal of Animal Ecology*, 83(2), 440–449. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12151>
- Kaeslin, E., Redmond, L., & Dudley, N. (2013). La fauna silvestre en un clima cambiante. *Fao*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i2498s.pdf>
- Kearney, M., & Porter, W. (2009). Mechanistic niche modelling: Combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters*, 12, 334–350. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x>

- Kiat, Y., Vortman, Y., & Sapir, N. (2019). Feather moult and bird appearance are correlated with global warming over the last 200 years. *Nature Communications*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10452-1>
- Kujala, H., Lahoz-Monfort, J. J., Elith, J., & Moilanen, A. (2018). Not all data are equal: Influence of data type and amount in spatial conservation prioritisation. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(11), 2249–2261. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13084>
- Langham, G. M., Schuetz, J. G., Distler, T., Soykan, C. U., & Wilsey, C. (2015). Conservation status of North American birds in the Face of Future Climate Change. *PLoS ONE*, 10(9), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135350>
- Laurance, W. F., Carolina Useche, D., Rendeiro, J., Kalka, M., Bradshaw, C. J. A. A., Sloan, S. P., ... Zamzani, F. (2012). Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. *Nature*, 489(7415), 290–294. <https://doi.org/10.1038/nature11318>
- Lawler, J. J., White, D., Sifneos, J. C., & Master, L. L. (2003). Rare species and the use of indicator groups for conservation planning. *Conservation Biology*, 17(3), 875–882. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01638.x>
- Lemoine, N., Schaefer, H. C., & Bohning-Gaese, K. (2007). Species richness of migratory birds is influenced by global climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1), 55–64. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2006.00252.x>
- Loarie, S. R., Duffy, P. B., Hamilton, H., Asner, G. P., Field, C. B., & Ackerly, D. D. (2009). The velocity of climate change. *Nature*, 462, 2009.
- Mace, G. M., Norris K. & Fitter A. H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology and Evolution*. 27(1), 19-26
- McClure, C. J. W., Westrip, J. R. S., Johnson, J. A., Schulwitz, S. E., Virani, M. Z., Davies, R., ... Butchart, S. H. M. (2018). State of the world's raptors: Distributions, threats, and conservation recommendations. *Biological Conservation*, 227(August), 390–402. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.08.012>
- Morales, N. S. (2012). Modelos de distribución de especies: Software MaxEnt y sus aplicaciones en Conservación. *Revista Conservación Ambiental*, 2(1), 1–3.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 476–495. <https://doi.org/10.7550/rmb.41882>
- Nery-Fajardo, M. (2006). Información general de *Celeus castaneus*. México.
- Newson, S. E., Mendes, S., Crick, H. Q. P., Dulvy, N. K., Houghton, J. D. R., Hays, G. C., ... Robinson, R. A. (2009). Indicators of the impact of climate change on migratory species. *Endangered Species Research*, 7(2), 101–113.

<https://doi.org/10.3354/esr00162>

- Ofelina, R. M., Hazel, G. T. I., & Taylor, R. M. J. (2007). Inventario De Aves Passeriformes En Areas De Expansión Urbana En El Municipio De Quibdó, Chocó, Colombia. *Institucional Universidad Tecnológica Del Chocó D.L.C.*, 26, 79–89. <https://doi.org/10.18636/biodesarrollo.v26i1.469>
- Panjabi. (2013). Información sobre estado de conservación, uso, gestión y comercio de *Meleagris ocellata*.
- Peñuelas, J., Sabaté, S., Filella, I., Gracia, C., & Josep Peñuelas, Santi Sabaté, I. F. Y. C. G. (2004). CAPÍTULO 15 Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres : observación , experimentación y simulación *. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*.
- Peterson, A. T., Papeş, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213(1), 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phipps, W. L., Diekmann, M., MacTavish, L. M., Mendelsohn, J. M., Naidoo, V., Wolter, K., & Yarnell, R. W. (2017). Due South: A first assessment of the potential impacts of climate change on Cape vulture occurrence. *Biological Conservation*, 210(March), 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.03.028>
- Rodríguez R. A. (2010). Evaluación de los modelos globales del clima utilizados para la generación de escenarios de cambio climático con el clima presente en Colombia. (Tesis de Maestría). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM
- Saino, N., Ambrosini, R., Rubolini, D., Von Hardenberg, J., Provenzale, A., Hüppop, K., ... Sokolov, L. (2011). Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278, 835–842. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1778>
- Santos, R. M. B., Sanches Fernandes, L. F., Varandas, S. G. P., Pereira, M. G., Sousa, R., Teixeira, A., ... Pacheco, F. A. L. (2015). Impacts of climate change and land-use scenarios on *Margaritifera margaritifera*, an environmental indicator and endangered species. *Science of the Total Environment*, 511, 477–488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.090>
- 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. 30 de diciembre de 2010. Ciudad de México, México.

- Sekercioglu, C. H., Primack, R. B., & Wormworth, J. (2012). The effects of climate change on tropical birds. *Biological Conservation*, 148, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.019>
- Tingley, M. W., Monahan, W. B., Beissinger, S. R., & Moritz, C. (2009). Birds track their Grinnellian niche through a century of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(SUPPL. 2), 19637–19643. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901562106>
- Townsend, A. P., Soberon, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martinez-Meyer, E., Nakamura, M., & Basto, M. A. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. *Choice Reviews Online* (1st ed.). New Jersey. <https://doi.org/10.5860/choice.49-6266>
- Uribe, B. E., & Ávila, R. L. P. (2015). El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)* (Vol. 1). Retrieved from Cuba
- Vaugoyeau, M., Adriaensen, F., Artemyev, A., Bañbura, J., Barba, E., Biard, C., ... Møller, A. P. (2016). Interspecific variation in the relationship between clutch size, laying date and intensity of urbanization in four species of hole-nesting birds. *Ecology and Evolution*, 6(16), 5907–5920. <https://doi.org/10.1002/ece3.2335>
- Voeroes, F. D. (2014). Birds' nesting parameters in four forest types in the Pantanal wetland [parâmetros reprodutivos de aves em quatro tipos de florestas no Pantanal]. *Instituto de Biociencias de la universidad de sao paulo*. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.08713>
- Wells, J. V., Robertson, B., Rosenberg, K. V., & Mehlman, D. W. (2010). Global versus local conservation focus of U.S. state agency endangered bird species lists. *PLoS ONE*, 5(1), 3–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008608>
- Yom-Tov, Y., & Geffen, E. (2011). Recent spatial and temporal changes in body size of terrestrial vertebrates: Probable causes and pitfalls. *Biological Reviews*, 86(2), 531–541. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00168.x>
- Young, B. E., Dubois, N. S., & Rowland, E. L. (2015). Using the climate change vulnerability index to inform adaptation planning: Lessons, innovations, and next steps. *Wildlife Society Bulletin*, 39(1), 174–181. <https://doi.org/10.1002/wsb.478>

CAPITULO VI. - IDENTIFICACIÓN DE LOS SITIOS CON VALOR DE IMPORTANCIA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CONSERVACIÓN DE AVES EN EL SURESTE DE MÉXICO.

1. Introducción

A nivel mundial se vive un tiempo en el que se presentan una serie de retos en el área ambiental, estos van desde contar con una planeación territorial adecuada hasta prepararse para los impactos del CC. Este último se muestra como un desafío mayor, pues de acuerdo a los diferentes estudios es algo que ocurrirá en un grado de mayor o menor impacto, dependiendo de las medidas que se tomen (Arribas *et al.*, 2012; IPCC, 2013b).

La conservación de la biodiversidad, es una de las estrategias con las que se ha venido trabajando para tratar de mitigar los efectos del cambio climático (Arriaga-Cabrera, Aguilar, & Espinoza, 2009; Mercado *et al.*, 2016). Dentro de los esfuerzos realizados se encuentra el establecimiento de áreas protegidas, las cuales en los últimos años se ha identificado que no son suficientes, pues estas podrían verse comprometidas a causa de las nuevas condiciones climáticas (Carantoña & Hernández, 2017). Por lo tanto, para que sea efectivo, se debe realizar en torno a la respuestas biológicas que las especies tendrán ante este fenómeno, pues se busca conservar los ecosistemas que tengan un valor ecológico pero que permanezcan en el tiempo (Figuroa, Sánchez-Cordero, Illoldi-Rangel, & Linaje, 2011; Thomas *et al.*, 2011).

De manera que, es de suma importancia seguir realizando trabajos que pueden dirigir los esfuerzos de conservación a los sitios en donde los impactos serán en menor medida y puedan mitigar el efecto del CC (Chávez-Jiménez & González-Zeas, 2015; Jacinto-Flores, Sánchez-González, & Almazán-Núñez, 2017; Rosenstock *et al.*, 2015). Por lo cual el objetivo de este capítulo fue, identificar sitios con valor de importancia ante el cambio climático para la conservación futura de aves en el sureste de México.

2. Metodología

2.1. Fase I. Modelación de la transformación futura de la cobertura y uso de suelo del sureste de México.

Para trabajar los modelos de cobertura a futuro, se seleccionó como base el conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación (USV) de INEGI en dos periodos de tiempo y se empleó el programa de análisis espacial y modelación de la tierra Terrset® (Eastman, 2016).

2.1.1. Preparación de Insumos

Como primer paso se eligieron las capas USV en dos periodos de tiempo 2002 (t1) y 2014 (t2), a una escala 1:250 000 y una resolución de 1m (INEGI, 2005, 2017), seleccionando únicamente el área de estudio (Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quinta Roo) y estableciendo el mismo sistema de coordenadas (WGS_1984_World_Mercator).

Consecutivamente, se identificaron las categorías de cobertura vegetal de cada capa, logrando elegir una clasificación adecuada y homogénea para ambas. A cada una de las clasificaciones se les asignó un número de identificación que va de 0 a 12 (Tabla 1). Por último, se verificó que ambas capas tuvieran las mismas dimensiones espaciales.

También se trabajó con la capa de la red Nacional de Caminos, a una escala 1:50,000 (INEGI, 2016). Se limitó el área de estudio y consecutivamente se clasificaron en carreteras federales, estatales y municipales. Este proceso se llevó a cabo tomando en cuenta quien tenía la administración de estas, ya fuera Federal, Estatal, Municipal o Privada, cuando no se encontró quien administraba la red vial, se consideró la categoría del tipo de clasificación que se le da al objeto espacial, en función de lo determinado por la autoridad local. Como última parte se estableció el sistema de coordenadas (WGS_1984_World_Mercator).

Otras capas fueron, el continuo de elevación nacional, con una resolución de 15 m x 15m (INEGI, 2013) y la capa de precipitación anual (Bio_12) tomada de *WorldClim*.

1.4 (Hijmans et al., 2005). Solo se limitaron para el área de estudio y se estableció el sistema de coordenadas (WGS_1984_World_Mercator).

Tabla 1.- Clasificación e ID que se establecieron para cada una de las capas de Uso de Suelo y Vegetación.

Clasificación final	ID
Acuícola	1
Agricultura	2
Asentamientos humanos	3
Bosque	4
Cuerpos de Agua	5
Manglar	6
Pastizal	7
Popal-tular	8
Selva	9
Sin vegetación	10
Vegetación de galería	11
Vegetación secundaria	12

2.1.2. Proceso de Modelación Terrset®

El siguiente paso fue trabajar con Terrset®, en el módulo «Land Change Modeler». Este se divide en cinco sub-módulos, los primeros tres son los que utilizan para el análisis de cambio y su proyección en el futuro, por lo tanto, esta metodología estuvo en función de los estos 3 sub-módulos.

2.1.2.1. Análisis de cambio de uso de suelo (Change Analysis)

La base de todo el análisis se encuentra en mostrar las transiciones que hay de un tiempo a otro, ya que la probabilidad de que ocurra un cambio dependerá de lo que haya ocurrido en el pasado. Como parámetros principales de este primer análisis se sometieron a las capas de USV del año 2002 (t1) y 2014 (t2), y como parámetros de apoyo se seleccionaron las capas de carreta y elevación.

El análisis es por parte de una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambio, la cual resulta de cruzar las capas base (tiempo 1 y 2), esto genera las ganancias y las pérdidas, la persistencia y el cambio neto. En la matriz (Tabla 2), las filas

muestran las categorías del tiempo 1 y las columnas las del tiempo 2, la diagonal muestra la persistencia (P_{ij}) entre tiempo 1 y 2, y lo que se encuentra fuera de esta son las transiciones en ambos tiempos (Pontius, Shusas, & McEachern, 2004).

Se considera como ganancias a la diferencia de la suma entre la columna del total de tiempo 2 y la persistencia ($G_{ij} = P_{+j} - P_{ij}$). La pérdida será la diferencia existente entre la fila del tiempo 1 y la persistencia ($L_{ij} = P_{i+} - P_{ij}$). El cambio neto, es expresado como el valor absoluto de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría $D_j = |L_{ij} - G_{ij}|$ (Pineda, Bosque, Gómez, & Plata, 2009).

Estos resultados se muestran de manera gráfica y geográfica. Se estableció descartar todos los cambios menores de 300 ha, debido a que se consideran poco significativos a esta escala (Vidal-Sierra 2013).

Tabla 2.- Matriz de tabulación cruzada o matriz de cambio.

Tiempo 2					Total tiempo 1	Pérdida
Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4			
Tiempo 1						
Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{+}	$P_{4+} - P_{44}$
Total tiempo 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganancia	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fuente: Pontius et al., (2004)

2.1.2.2. Modelación de las transiciones potenciales de la cobertura de suelo (Transition Potential)

Como siguiente parte del ejercicio de cambio, se trabajó con las transiciones resultantes de primer sub-modelo. Se seleccionaron las transiciones de Bosque y popal-tular hacia pastizal, debido a que durante el análisis de cambio fueron las transiciones que tuvieron un mejor desarrollo en el modelo.

En cuanto a las variables explicativas se consideraron 11, que van desde variables externas hasta las distancias entre las clases. De estas solo dos mostraron un Cramer's mayor de 0.15, el cual indica que a partir de este valor la variable puede explicar mejor el cambio. Estas variables fueron elevación y la capa de precipitación anual (Bio_12). La metodología aplicada fue la de redes neuronales y dio como resultado los mapas de potencial de transición, estos son mapas de adecuación para cada transición.

2.1.2.3. Predicción de los cambios de uso (Change Prediction)

En el tercer y último paso se desarrollaron los modelos de uso a futuro, en dos periodos de tiempo 2050 y 2070. Este proceso se realizó con base en las transiciones antes mencionadas, las dos variables explicativas y estableciendo las fechas de proyección. Este proceso se realiza como respuesta de las presiones antrópicas que se realizan en el pasado en la escala de tiempo y como resultado se obtuvieron los mapas de predicción.

2.2. Fase II. Contrastar la distribución potencial futura de las aves con las coberturas futuras con el fin de identificar los sitios con VIACC para la conservación de aves en el sureste de México.

Como parte final del proceso se identificaron los sitios con VIACC. Para esto se usaron los modelos de distribución potencial de las especies y las capas de USV actual y futuro, junto con una capa de áreas de conservación.

2.2.1. Ensamble de modelos

En una primera parte se trabajó con los mapas de distribución potencial futura de cada especie. Se realizó un ensamble de MCG por cada tiempo, con la finalidad de integrar todas las áreas que cuenten con condiciones climáticas adecuadas para la especie, debido que no hay un modelo único. Esto dio como resultado un solo mapa por periodo de tiempo, clasificado en presencia-ausencia.

El proceso se llevó a cabo en un SIG, donde se realizó la unión de MCG, en lugar de elegir el "mejor" modelo se exploró el rango resultante de proyecciones (Cavazos *et al.*, 2013; Montero-Martínez *et al.*, 2013).

2.2.2. Área de conservación

En esta etapa se consideraron las áreas de conservación del sureste de México. Se realizó una unión de las Áreas Naturales Protegidas federales, estatales y municipales, se incluyeron las áreas de conservación voluntarias, AICAS y los sitios RAMSAR, creando así un solo polígono de conservación, el cual fue clasificado en conservado y no conservado. Definiendo como conservado, las zonas con algún tipo de protección y No conservado, las que se encuentran fuera de cualquier sistema de protección.

2.2.3. Tipo de cobertura

Se emplearon las capas de USV 2050 y 2070, y como cobertura actual se empleó la capa de INEGI 2014 (INEGI, 2017). Cada capa de USV se reclasificó, en dos categorías: natural y antrópica (Tabla 3).

2.2.4. Priorización de sitios con valor de importancia ante el cambio climático para conservación de aves

Para priorizar los Sitios con Valor de Importancia ante el CC, se emplearon los mapas de los modelos de distribución potencial, las capas de USV y las áreas de conservación. Se realizó una unión de mapas, con el que se cuantificó el área de distribución potencial por especie de acuerdo con el tipo de cobertura y grado de protección (Figura 1).

Después de obtener la capa, se procedió evaluar e identificar los sitios prioritarios para conservación. Primero se contabilizó por especie el total de área potencial en hectáreas que ocupa dentro de nuestra área de estudio; posteriormente, del área potencial se cuantificó que porcentaje se encuentra protegida y por último el área natural dentro del área potencial que no se encuentra protegida.

De esta manera se identificaron los espacios que cuentan con las condiciones ideales para que la especie se pueda mantenerse en el futuro, estas condiciones son; que climáticamente sean favorables y además cuente con área geográfica disponible, pero no se encuentre protegida por ni una ley. Estos espacios serán los sitios que representarán una oportunidad a futuro, para implementar medidas de

manejo para mitigar los efectos de la modificación de sus hábitats, asegurar su sobrevivencia y posibilitar una eventual expansión de su distribución.

Tabla 3.- Clasificación final de las coberturas de USV actual, 2050 Y 2070, para la identificación de sitios prioritarios.

Clasificación	Tipo
Acuícola	Antrópicas
Agricultura	
Asentamientos humanos	
Pastizal	
Sin vegetación	
Bosque	Natural
Manglar	
Selva	
Vegetación de galería	
Vegetación secundaria	
Popal-tular	
Cuerpos de agua	

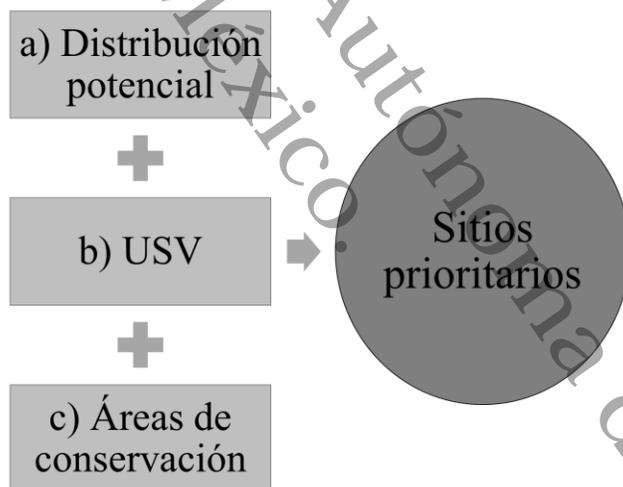


Figura 1. Unión de los elementos principales para la obtención de los sitios sensibles ante los efectos de CC, de acuerdo a cada periodo de tiempo (actual, 2050 y 2070). a) Las clasificaciones correspondientes de cada MDP, presencia – ausencia. b) Uso de Suelo y Vegetación clasificada en natural-no natural. c) Polígono de áreas de conservación que se tiene para el sureste de México (ANP federales, estatales y municipales, Áreas Voluntarias para la Conservación, AICAS y Ramsar).

3. Resultados

3.1. Análisis de cambio y determinación de transiciones

El área de estudio abarca un total de 26´662,221.37 Ha, de estas el 70.06% son coberturas naturales y el resto antrópicas (Figura 2). Se observa una disminución de las coberturas naturales, del período 2002-2014, así como en las proyecciones al 2050 y 2070. El 38.21% del área de estudio, se considera bajo algún nivel de protección. De este el 84.91% son coberturas naturales y el 15.09% son antrópicas, y presentan el mismo patrón de disminución de la cobertura natural, pero en mucho menor proporción.

En el análisis de persistencia del período 2002-2012, el 82.3% de la superficie mantuvo la cobertura original. De acuerdo con los tipos de cobertura el 71.3% son Natural y 28.7% son Antrópicos. La cobertura natural que tiene una mayor persistencia en el tiempo fue el manglar con 88.45% y la de menor persistencia fue el bosque con el 77.42% (Tabla 4).

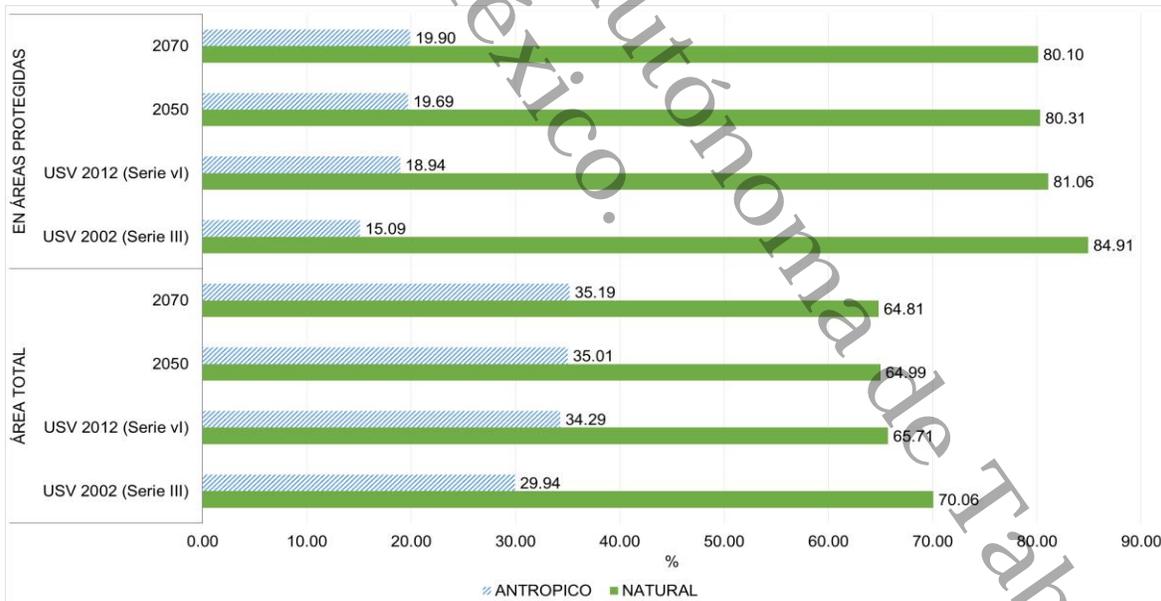


Figura 2. Proporciones de coberturas naturales y antrópicas en las Series III, Serie VI, proyectadas 2050 y 2070, en el área total y sólo de áreas consideradas protegidas.

Tabla 4. Persistencia por coberturas naturales y antrópicas para el sureste de México.

Tipo	Coberturas	Persistencia (ha)	%
Natural	Bosque	554,213.58	77.42
	Cuerpos de agua	752,667.06	98.67
	Manglar	563,284.12	88.45
	Popal-tular	894,727.06	87.60
	Selva	2'786,927.50	85.00
	Vegetación de galería	2,115.15	85.06
	Vegetación secundaria	10'074,798.19	82.17
Antrópico	Acuícola	354.78	100.00
	Agricultura	2'055,227.03	81.54
	Asentamientos humanos	144,914.67	98.53
	Pastizal	4'043,411.19	77.10
	Sin vegetación	58,650.47	82.97

En cuanto a la pérdida y ganancia, la cobertura natural que presentó la mayor pérdida fue la vegetación secundaria, pero también muestra el valor más alto de ganancia, en menor proporción a la pérdida. De las todas las coberturas naturales, las que están perdiendo menos de lo que están ganando son: popal-tular y vegetación de galería; en las demás coberturas el porcentaje de pérdida se ubicó por encima de la proporción de ganancias (Figura 2).

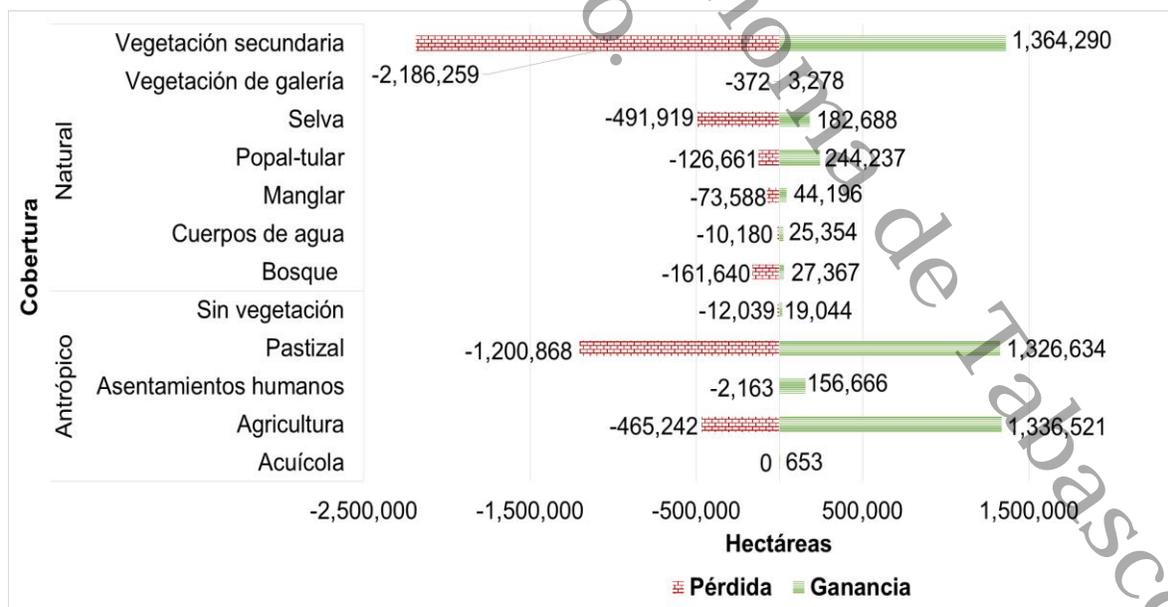


Figura 3. Pérdidas y ganancias de las coberturas naturales y antrópicas del sureste de México en el periodo 2002-2014.

3.2. Predicción de Cambios

Para la proyección 2050 y 2070, se encontró que la cobertura de Bosque es la que presentará la mayor pérdida de aproximadamente el 4.5% y la que tendrá la mayor ganancia es el Pastizal con un 0.82% (Tabla 5).

Tabla 5. Área de las coberturas naturales y antrópicas proyectadas al 2050 y 2070.

Tipo	Coberturas	2050	2070	% de cambio
Natural	BOSQUE	502,719.17	479,917.02	-4.535762
	CUERPOS DE AGUA	777,849.64	777,848.33	-0.000169
	MANGLAR	607,507.88	607,507.76	-0.000019
	POPAL-TULAR	1,024,068.53	1,000,712.48	-2.280712
	SELVA	2,969,655.04	2,969,656.80	0.000059
	VEGETACIÓN DE GALERÍA	5,390.63	5,389.82	-0.015063
	VEGETACIÓN SECUNDARIA	11,439,411.82	11,439,413.08	0.000011
Antrópico	ACUÍCOLA	1,007.33	1,007.33	0.000001
	AGRICULTURA	3,391,659.11	3,391,660.62	0.000045
	ASENTAMIENTOS HUMANOS	301,415.39	301,415.36	-0.000010
	PASTIZAL	5,563,864.59	5,610,020.61	0.829568
	SIN VEGETACIÓN	77,672.24	77,672.17	-0.000096

3.3. Identificación de áreas de distribución potencial de las aves del sureste de México protegidas por la ley

Del total de área de estudio (26´662,221.37 ha), solo se encuentra protegida el 38.21%. Este porcentaje de área que se encuentra protegida fue diferente, de acuerdo con el área de distribución de cada una de las especies (Figura 4). Solo dos de las especies cuentan con una protección mayor del 50% de su área potencial actual. Estas son *Celeus castaneus* que tiene un área de distribución potencial actual de 1´908,881.21 ha, tiene protegida 1´049,369.80 ha, en cuanto a *Meleagris ocellata* de 5´090,027.09 ha, tiene protegida 3´296,278.94 ha.

Posteriormente se evaluó el porcentaje de área que estaría protegida en los dos periodos de tiempo (2050–2070), poniendo como supuesto que estas áreas se mantendrán a lo largo del tiempo (Figura 4). La única especie que sigue manteniendo más del 50% de su área bajo alguna protección es *Meleagris ocellata*,

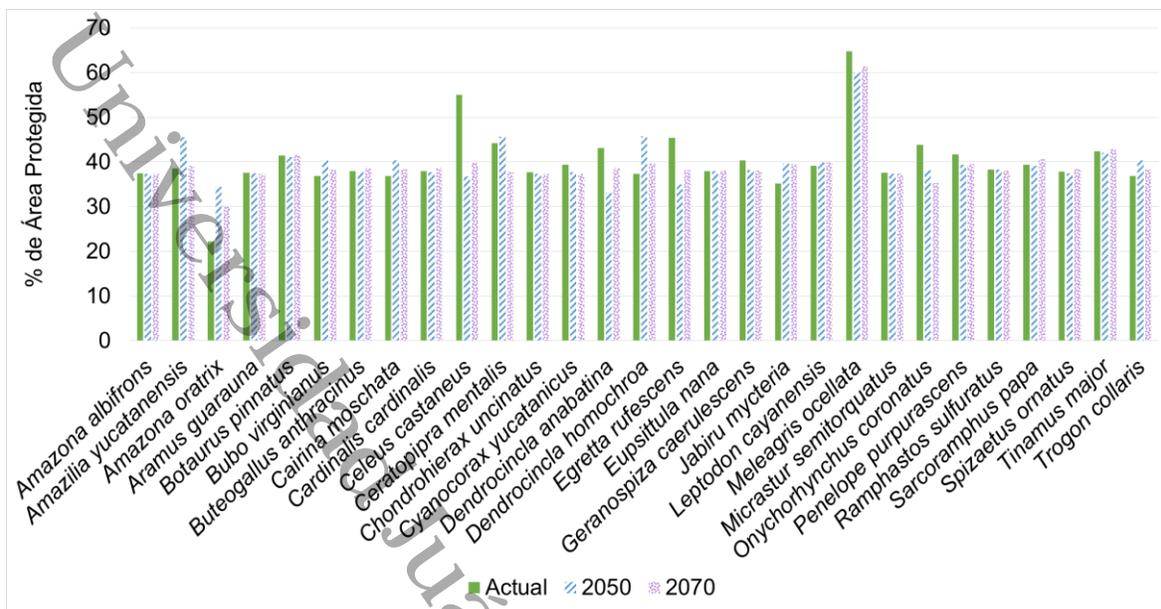


Figura 4. Porcentaje del área de distribución potencial actual y futura que se encuentra bajo algún estatus de protección.

Por otro lado, se identificaron en las áreas de distribución potencial de tipo natural pero que no estarán bajo ni un tipo de protección. Este porcentaje fluctuó entre el 25 y 40%, siendo *Meleagris ocellata* y *Tinamus major*, las que menos área natural sin protección tiene. *Meleagris ocellata* en el 2050 tiene un área sin protección de 1'237,205.19 y *Tinamus major* para el 2070 de 2655822.134 (figura 5).

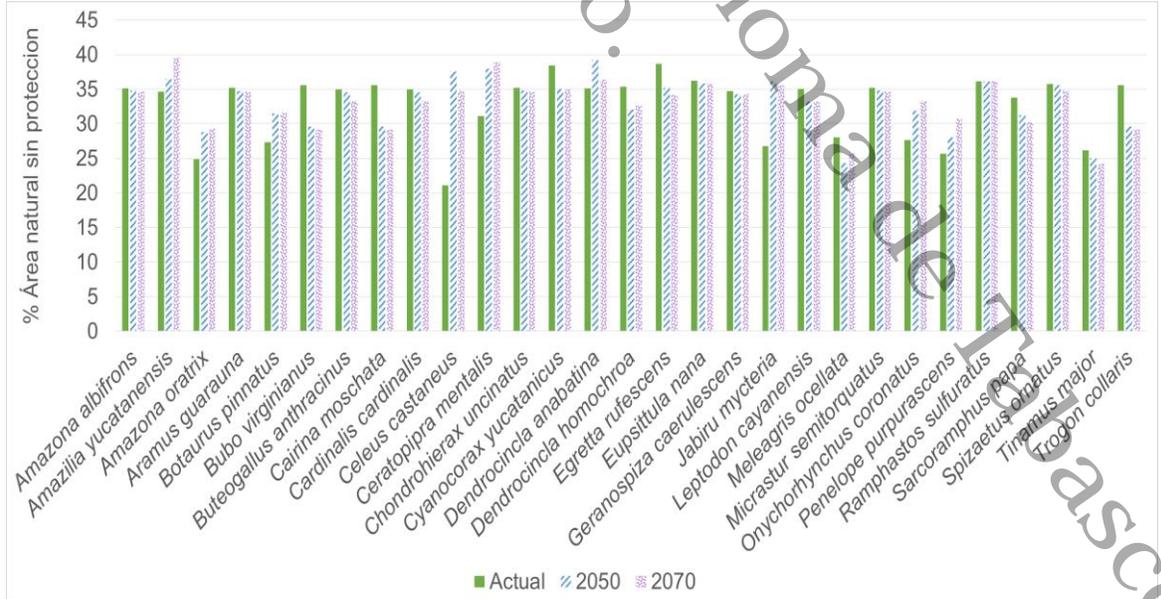


Figura 5. Porcentaje del área de distribución potencial actual y futura de tipo natural que no se encuentra bajo algún estatus de protección.

3.4. Identificación de los sitios prioritarios para las aves con valor de importancia ante el cambio climático del sureste de México

El área de distribución potencial actual y futura de las aves está conformada por coberturas naturales y antrópicas. Durante el análisis, se estimó el área potencial natural en las que las aves tendrán condiciones idóneas para mantenerse en el tiempo. Del área de distribución potencial actual de las aves, se observó que el 38.21% se encuentra bajo algún estatus de protección, el 35.29% tiene condiciones adecuadas para conservar, y el 26.50% restante son áreas donde se encuentran influenciadas por alguna actividad antrópica, por lo tanto, geográficamente no son adecuadas para las aves (Tabla 6).

En cuanto a los dos periodos de tiempo seleccionados, para el 2050 se estima que 9´124,548.16 ha cuentan con las condiciones adecuadas para mantener a las aves y en un momento dado poder conservar, para 2070 se habla de 9´098,653.28 ha, lo que nos indica que entre ambos periodos habrá una pérdida de área potencial de 25,894.88 ha (Tabla, 6).

Campeche, Yucatán y Quintana Roo, tienen el polígono con mayor área potencial a futuro que contara con las condiciones climáticas y geográficas para mantener a las aves, este polígono en ambos periodos ocupa más del 50%. En el 2050 este tiene una superficie de 5´615,976.88 ha, y para el 2070 de 5´615,937.45 ha, en ambos periodos se encuentra rodeando áreas que actualmente están bajo algún estatus de conservación (Figura 6).

Tabasco es el estado con menor área con condiciones climáticas y geográficas para conservar, en 2050 tiene solo 516,008.65 ha y para el 2070, 503,692.07 ha, recalcando que se tomó como sitios prioritarios, aquellas que tenían una cobertura natural y que no están dentro de ningún estatus de protección (Figura 6).

Tabla 6. Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México.

	Sitios prioritarios					
	Área actual (Ha)	%	2050 (Ha)	%	5070 (Ha)	%
Sitios Antrópicos fuera de conservación	7'064,710.02	26.50	7'350,241.30	27.57	7'376,136.18	27.67
Área de conservación	10'187,431.92	38.21	10'187,431.92	38.21	10'187,431.92	38.21
Sitios Prioritarios	9'410,079.44	35.29	9'124,548.16	34.22	9'098,653.28	34.13

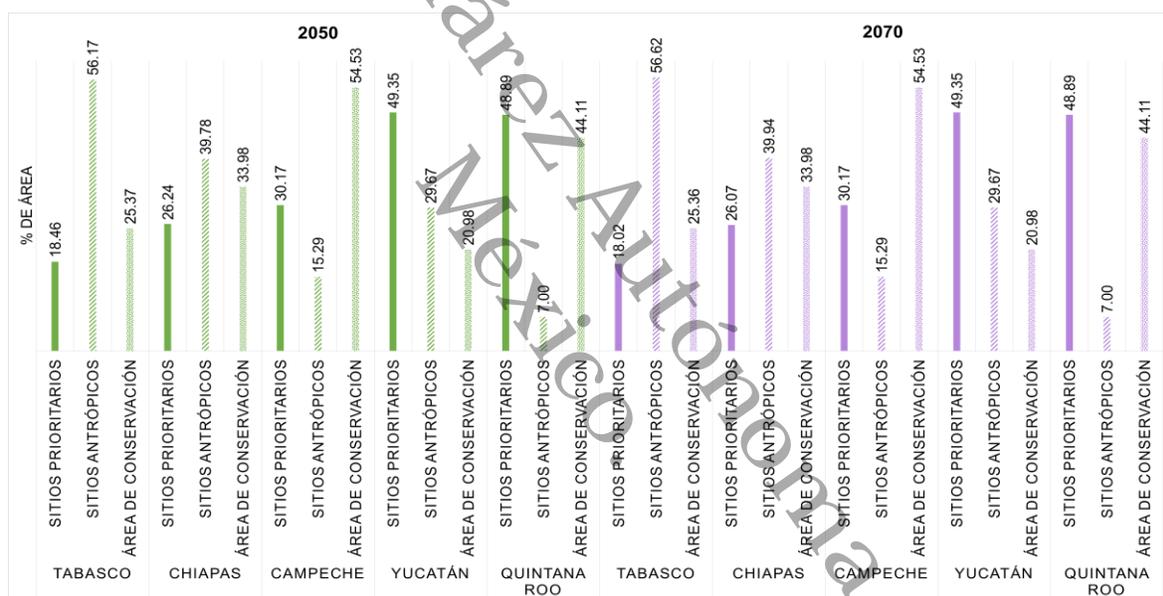


Figura 6. Porcentaje por estado del área que ocupan los sitios prioritarios, perturbados y protegidos en los dos periodos de tiempo 2050 y 2070.

4. Discusión

4.1. Análisis de cambio y determinación de transiciones

Actualmente se considera que no hay lugar sobre el planeta que no esté impactado de manera directa o indirecta las acciones humanas, alterando todos los ecosistemas (Hautier *et al.*, 2015; Venter *et al.*, 2016). Una alternativa planteada para salvaguardar la biodiversidad es establecer áreas protegidas, ayudando a que muchos de los ecosistemas que se encuentran amenazados puedan mantenerse o regenerarse en el tiempo (Coetzee, Gaston, & Chown, 2014; Leverington, *et al.*, 2010; Rodrigues *et al.*, 2004). Sin embargo, las ANP sufren una transformación creciente, como se muestra en los resultados de este trabajo, al tener un cambio de cobertura natural a antrópica a pesar de estar en algún estatus de protección.

El Mangle, es la cobertura con más persistencia a pesar de que es uno de los ecosistemas catalogado como los más sobreexplotados, llegando a poner en riesgo la sustentabilidad del mismo (Carbal, Muñoz, & Solar, 2015; Díaz, 2011; Hiraless-Cota, Espinoza-Avalos, Schmook, Ruiz-Luna, & Ramos-Reyes, 2010; Landgrave & Moreno-Casasola, 2012). Este provee una serie de servicios ecosistémicos que benefician directamente a la población, y es por esta razón, que las cuatro especies de mangle que se distribuyen en nuestro país se encuentran protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010, además, de que México forma parte de la “Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas” (Convención Ramsar) y decreta la ley de protección y conservación del ecosistema manglar.

De esta manera, se explica que durante el análisis de USV el mangle sea la cobertura natural que tiene una mayor persistencia en el tiempo, ya que es una cobertura vegetal que se encuentra protegida y tienden a aumentar si tiene las condiciones de salinización son las adecuadas (Campillo *et al.*, 2019; Valderrama *et al.*, 2014). Tal como lo plasma Velázquez, Bocco, & Siebe, (2015), quien durante su análisis observaron que la cobertura vegetal del mangle tiene una pérdida considerable de área en el periodo de 1979 a 2005, pero del 2005 a 2010, tuvo un

aumento, y este aumento se realizó dentro de un ANP. Vega-Vela *et al.*, (2018), también registra un aumento de cobertura no solo de Manglar, sino también de selva, Bosque Mesófilo de Montaña, acahual, en un área de reserva. Por lo que el sustento de coberturas naturales dentro de las ANP, le proporciona mayor probabilidad de mantenerse en el tiempo.

A diferencia del mangle, los bosques fueron los que menos persistieron en el tiempo. Este es un ecosistema que al igual que otros se han visto afectados por las diferentes actividades antrópicas sin que nadie las regule, a pesar de los servicios tan altos que ofrecen o ser sitios alto valor de conservación (Camacho-Sanabria *et al.*, 2015; Gibbs *et al.*, 2010; Otavo & Echeverría, 2017). A nivel mundial, los países tropicales tienen una pérdida neta de bosques de 7 millones de hectáreas por año, aumentado casi la misma área en terrenos agrícolas (FAO, 2016).

Armenteras & Rodríguez, (2014), mencionan que México está dentro de los tres países de Latinoamérica con una tasa anual de deforestación alta, provocada por la expansión agrícola, el desarrollo de infraestructura y la extracción de madera. Ellos hacen mención que Campeche, Tabasco, Yucatán, Querétaro y Veracruz son los estados que tienen las áreas más críticas. Por lo que se puede decir que el sureste mexicano, ve incrementada su pérdida de coberturas naturales por efectos antrópicos.

Por otro lado, en lo que se refiere a la cobertura vegetal natural que estará perdiendo y ganando, en ambos rubros se encuentra la vegetación secundaria, solo que serán más las áreas perdidas que las ganadas. Cuando se habla de una vegetación secundaria, se trata de zonas con cubierta vegetal conservada, que han sido modificadas por causas naturales o antrópicas, sustituyendo esta cubierta por algunas actividades de tipo económico, pero con el tiempo sufren abandono, provocando la recuperación de las mismas (García-Domínguez, Cámara Cabrales, Van der Wal, & Martínez Zurimendi, 2018; Meneses, 2009; Soto, Anzueto & Quechulpa, 2011; Zavala Cruz *et al.* 2011).

Por lo tanto, esta cobertura, es el resultado de las interacciones que hay entre las actividades humanas con el medio natural (Mukul & Herbohn, 2016). Los aumentos de cobertura que se muestran durante la evaluación, pueden considerarse como una ganancia de áreas con disturbio, debido a que se ha demostrado que esta vegetación puede proveer una serie de servicios, desde suministros forestales, hasta la protección al suelo y almacenamiento de carbono (Luna, 2017; Meneses, 2009). Se estima que anualmente se recuperan 2,2 millones de hectáreas de terreno agrícola, compensando de esta forma la pérdida de cobertura original (FAO, 2016). En las zonas tropicales, también se muestran tendencias positivas de recuperación de área de vegetación secundaria, esto debido a diferentes estrategias por parte de la sociedad, para recuperar sus bosques (Aide *et al.*, 2013; Bonilla-Moheno, Aide, & Clark, 2012; Herrador, Boada, Varga, & Mendizábal, 2011; Holl, Reid, *et al.*, 2017; Redo, Grau, Aide, & Clark, 2012; Zahawi *et al.*, 2015).

Sin embargo, también se muestra como esta vegetación pierde más área que la ganada, tal como lo menciona (Rosete-Vergés *et al.*, 1991), quien indica que solo entre el 10 y 13% de vegetación secundaria a nivel nacional se regenera en bosque primario, mientras que entre el 26% de esta vegetación es deforestada. Esta deforestación nuevamente se realiza sobre la vegetación secundaria a causada de que nuevamente se rehabilitar como zonas de cultivos y plantaciones (Luna, 2017; Soto *et al.*, 2011). De esta manera las aves nuevamente pierden zonas en donde pudieran cubrir sus necesidades, como refugio, disponibilidad de hábitats de forrajeo, zonas de alimentación y para la temporada reproductiva (Medellín *et al.*, 2009). Si bien algunas aves pueden tolerar las perturbaciones que se presentan durante el proceso de sucesión de vegetación, la transformación de estos territorios de manera definitiva a pastizales, o zonas de agricultura o de uso urbano es negativa para la mayoría (Council, 2007).

4.2. Identificación de los sitios prioritarios para las aves del sureste de México

El establecimiento de los sistemas de áreas de conservación ha sido de vital importancia para tratar de frenar los altos riesgos de extinción y conservar la

diversidad biológica. A nivel mundial se habla que el 14.7% del área terrestre del mundo se encuentra protegido (Jones, Watson, Possingham, & Klein, 2016), en México cerca del 18.16% del territorio nacional pertenece a un área natural de carácter federal (CONANP, 2018).

Durante el análisis se observó que para el sureste de México solo 38.21% del área se encuentra protegidas, el resto del área se encuentra en riesgo inminente. Moreno-Barajas, Talavera-Garduño, Rivera-Morales & Hernández-Ramírez (2019), estima que el 80% de biodiversidad que habita en México, se encuentra en zonas que no están bajo algún estatus de protección, es decir que solo una pequeña porción de especies y ecosistemas no experimentan cierta presión humana. Por lo tanto, la identificación de sitios que ecológicamente son valiosos, pero que se encuentran fuera de las ANP son de suma importancia para plantear objetivos puntuales para la protección, manejo y conservación de sitios importantes para reducir el impacto del cambio climático en las aves (Chávez González, González Guillén, & Hernández de la Rosa, 2018; Vázquez-Reyes *et al.*, 2018).

Yucatán, es uno de los estados en donde se concentra una mayor área potencial con características climáticas y geografías adecuadas para las aves. Es un estado, con características de relieve que no favorecen el establecimiento de la agricultura, por lo tanto, la intensificación y aumento de áreas por parte de este sector productivo ha sido lento (García, Méndez, Aguilar & Orellana, 2011). En cuanto a las actividades pecuarias, es un estado que no solo se concentra en la ganadería, pues dentro del mismo se desarrollan actividades de van desde producción porcina intensiva en unidades cerradas hasta la producción de ganado bovino extensiva, pero que llega a ser ineficiente y una amenaza importante para la biodiversidad de la región (Eastmond & García de Fuentes, 2011). En los últimos años, el estado le ha apostado a la conservación, y esto se plasma en el documento generado por parte del gobierno del estado y CONABIO, en el cual se crea una estrategia para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad (CONABIO, 2019).

Del lado contrario encontramos al estado que menos áreas conservadas tiene, el estado de Tabasco; en el cual, se han realizado transformaciones en los

ecosistemas de manera acelerada, provocando la pérdida de la cobertura natural a causa de las actividades económicas que se desarrollan (García, 2018; Magaña, 2010). La economía del estado está compuesta por actividades productivas como agricultura, minería, manufactura y construcción además de las de las actividades de servicio (Vázquez-Navarrete & Pereyra, 2019). Dentro de estas las que mayor impacto han ocasionado al estado son las zonas agropecuarias, pues en el periodo de 1940-2006 estas llegaron a cubrir entre el 40 y 55% del territorio, haciendo que las selvas y áreas de vegetación secundaria disminuyeran considerablemente (Zavala, 2019). En el 2015, para mantener la población de ganado bovino se necesitaba disponer del 95% de pastizales que se tenían disponibles, de tal manera que, si el número de cabezas de ganado aumenta, se demandaran más áreas de vegetación natural (Luna, 2017).

En cuanto a la industria del petróleo, este es un pilar fundamental dentro de la economía del estado de Tabasco, ocupa el 0.3% del territorio, en el cual tiene una gran influencia su transformación, a través de la creación de carreteras, las cuales sirven para acceder a las infraestructuras petroleras, impactando de manera directa los ecosistemas (Vázquez-Navarrete & Pereyra, 2019). Pero dentro de este gran mosaico de paisajes con los que cuenta Tabasco, hay sitios que pudieran ser de suma importancia para las especies, como en el caso de las aves residentes y migratorias (Valdez *et al.*, 2019).

Por lo tanto, la identificación de estos sitios de conservación fortalece a las ANP actuales, pues son áreas donde coinciden atributos climáticos y geográficos y cuya permanencia pudiera estar en riesgo si no se tiene protección, tal como lo plantea Arriaga-Cabrera *et al.*, (2009), quien indica que las áreas prioritarias para la conservación son espacios donde coinciden características ecosistémicas relevantes tanto ambientales como biofísicas, pero cuya permanencia pudiera estar amenazada por causas naturales o antrópicas.

Gama-Campillo *et al.* (2019), menciona que, de no atenderse y revertir los impactos hacia las áreas naturales, la vulnerabilidad que estas presentan ante el CC será mayor. Tal como muestran las áreas que se identificaron como sitios a prioritarios,

las cuales disminuyeron en área, y esto está en función no solo del área climática si no de la cobertura vegetal disponible, de tal manera que los esfuerzos deben dirigirse a proteger primeramente estas zonas, para que los efectos del CC sean menos drásticos.

5. Conclusiones

Las coberturas naturales tienen una tendencia a disminuir en el tiempo, especialmente en el caso de los Bosques. Por el contrario, los Manglares y popal-Tular son coberturas que presentan ganancia, especialmente el popal-tular que presenta más ganancia que pérdida. Los humedales son clave en el mantenimiento de la biodiversidad, pero las estrategias de conservación van más allá de su cobertura, ya que dependen del flujo de agua.

La tendencia que siguen las coberturas naturales en el futuro es a disminuir, pero está perdida se puede frenar o reducir si se encuentran bajo algún estatus de protección. De esta manera se puede salvaguardar la biodiversidad que ahí se encuentra.

El 34 % del área de estudio cuenta con las características para ser protegidas en el futuro, áreas en donde las aves tendrán menos riesgo de sufrir los impactos del cambio climático y garantizar su viabilidad. Estos sitios servirán para dirigir los esfuerzos de conservación de manera más efectiva y puntual.

Yucatán es el estado que tendrá la mayor área de cobertura natural a conservar en el futuro. Actualmente solo tiene protegido 21% de su territorio, pero si se atiende de manera efectiva podría aumentar esta área, reduciendo su propia vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. Tabasco, por el contrario, es el estado que sería más vulnerable ante los efectos de cambio climático.

6. Referencia Bibliográfica

- Aide, T. M., Clark, M. L., Grau, H. R., López-Carr, D., Levy, M. A., Redo, D., ... Muñiz, M. (2013). Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001-2010). *Biotropica*, 45(2), 262–271. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x>
- Armenteras, D., & Rodríguez, N. (2014). Dinámicas Y Causas De Deforestación En Bosques De Latino América: Una Revisión Desde 1990. *Colombia Forestal*, 17(2), 233. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a07>
- Arriaga-Cabrera, L., Aguilar, V., & Espinoza, J. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. In *Capital natural de México: estado de conservación y tendencias de cambio* (Vol. II, pp. 433–457). Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Regiones+prioritarias+y+planeaci?n+para+la+conservaci?n+de+la+biodiversidad#0>
- Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D. T., Lobo, J. M., Millán, A., & Sánchez-Fernández, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 21(3), 79–84. <https://doi.org/10.7818/ecos.2012.21-3.10>
- Bonilla-Moheno, M., Aide, T. M., & Clark, M. L. (2012). The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico. *Regional Environmental Change*, 12, 543–557. <https://doi.org/10.1007/s10113-011-0268-z>
- Camacho-Sanabria, J. M., Pérez, J. I. J., Pineda, N. B. J., Cadena, E. G. V., Bravo, L. C. P., & Sánchez, M. L. (2015). Cambios de cobertura / Uso del Suelo. *Madera y Bosques*, 21(1), 93–112. Retrieved from http://www2.inecc.gob.mx/emapas/download/lch_cambio_de_uso_del_suelo.pdf
- Campillo, L. M. G., Collado, Ricardo Alberto, T., Díaz, H. M. D. L., Villanueva, C. G., Macías, M. E. V., Treviño, & Moguel, E. J. O. (2019). El estudio de paisaje: una herramienta para el manejo de los recursos naturales. In *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Caso* (1st ed., pp. 153–158). México.
- Carantoña, T., & Hernández, D. (2017). Indicador De Vulnerabilidad De Especie Ante El Cambio Climático En Áreas Naturales Protegidas, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, 33(53), 75–103.
- Carbal, A. H., Muñoz, J. C., & Solar, L. C. (2015). Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales ofertados por el ecosistema de manglar ubicado en la Ciénaga de la Virgen. *Cartagena-Colombia. Saber, Ciencia y Libertad*, 10(1), 125–146. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2015v10n1.918>

- Cavazos, T., Salinas, José Antonio Martínez, B., Colorado, G., de Grau, P., Prieto, R. G., Conde Álvarez, A. C., ... Bravo, M. E. (2013). Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productor de la quinta comunicación nacional. Centro de Ciencias de La Atmósfera, UNAM, (January), 1–150.
- Chávez-Jiménez, A., & González-Zeas, D. (2015). El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático. RIBAGUA - Revista Iberoamericana Del Agua, 2(1), 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.04.001>
- Chávez González, H., González Guillén, M. D. J., & Hernández de la Rosa, P. (2018). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 6(27), 8–23. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.277>
- Coetzee, B. W. T., Gaston, K. J., & Chown, S. L. (2014). Local scale comparisons of biodiversity as a test for global protected area ecological performance: A meta-analysis. PLoS ONE, 9(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105824>
- CONANP. (2018). Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de <https://www.gob.mx/conanp/acciones-yprogramas/areas-naturales-protegidas-decretadas>
- Díaz, J. . M. G. (2011). Una revisión sobre los manglares: características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: caso sistema laguna de Topolobampo. Ra Ximhai, 7(3), 355–369.
- Eastman, J. R. (2016). TerraSet Manual. Geospatial Monitoring and Modeling System.
- Eastmond A. & García de Fuentes A. 2011. Contexto Social y Económico. En Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CONABIO, México, 99-104.
- FAO. (2016). El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Fao. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/es>
- Figueroa, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., & Linaje, M. (2011). Evaluation of protected area effectiveness for preventing land use and land cover changes in Mexico. Is an index good enough? Revista Mexicana de Biodiversidad, 82, 951–963.
- García G. G., Méndez G. L., Aguilar C. W. J. & Orellana L. R. 2011. Contexto Físico. En Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CONABIO, México, 17-20.
- García-Domínguez, A., Cámara Cabrales, L. D. C., Van der Wal, J. C., & Martínez Zurimendi, P. (2018). Biomasa en acahuales de tres unidades ecogeográficas del estado de Tabasco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 9(48), 69–91. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.132>

- Gama L., Díaz-López, H. M., Collado, R. Villanueva-García, C., Pacheco-Figueroa, C. P., Valdez-Leal, J., Moguel O. E. J. & Zenteno-Ruíz, C. E. 2019. La vulnerabilidad al cambio climático en los humedales de Pantanos de Centla. En la Biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. III. CONABIO, México, 86-88.
- Gibbs, H. K., Ruesch, A. S., Achard, F., Clayton, M. K., Holmgren, P., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2010). Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(38), 16732–16737. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910275107>
- Hautier, Y., Tilman, D., Isbell, F., Seabloom, E. W., Borer, E. T., & Reich, P. B. (2015). Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity, 348, 3–7.
- Herrador, D. V., Boada i, M. J., Varga, D. L., & Mendizábal, E. R. (2011). Tropical forest recovery and socio-economic change in El Salvador: An opportunity for the introduction of new approaches to biodiversity protection. *Applied Geography*, 31(1), 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.012>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hirales-Cota, M., Espinoza-Avalos, J., Schmook, B., Ruiz-Luna, A., & Ramos-Reyes, R. (2010). Drivers of mangrove deforestation in Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, southeast Mexico. *Ciencias Marinas*, 36(2), 147–159. <https://doi.org/10.7773/cm.v36i2.1653>
- Holl, K. D., Reid, J. L., Chaves-Fallas, J. M., Oviedo-Brenes, F., & Zahawi, R. A. (2017). Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. *Journal of Applied Ecology*, 54, 1091–1099. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12814>
- INEGI. (2005). *Gía para la interpretación de la Cartografía*. INEGI.
- INEGI. (2016). *Diccionario de datos de la red nacional de caminos*.
- INEGI. (2017). *Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación*.
- IPCC. (2013). *Cambio climático 2013: Bases físicas para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes*. (IPCC, Ed.).
- Jacinto-Flores, N. E., Sánchez-González, L. A., & Almazán-Núñez, R. C. (2017). Patrones de distribución y zonas prioritarias para la conservación de la avifauna de la costa del Pacífico de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 960–977. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.038>
- Jones, K. R., Watson, J. E. M., Possingham, H. P., & Klein, C. J. (2016). Incorporating climate change into spatial conservation prioritisation: A review.

- Landgrave, R., & Moreno-Casasola, P. (2012). Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación Ambiental*, 4(1), 19–35. Retrieved from <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/663/humedales.pdf>
- Leverington, F., Costa, K. L., Pavese, H., Lisle, A., & Hockings, M. (2010). A global analysis of protected area management effectiveness. *Environmental Management*, 46(5), 685–698. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9564-5>
- Luna, R. del C. R. (2017). Transformación de la conectividad espacial en tabasco, México. Universidad Juárez Autónoma De Tabasco.
- Magaña, Alejandro Miguel Alberto. 2010. Vegetación y flora del municipio de Paraíso. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. doi:10.18387/polibotanica.42.3.
- Medellín, R.A., et al. 2009. Conservación de especies migratorias y poblaciones transfronterizas, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 459-515.
- Meneses, C. D. (Fao). (2009). Análisis del índice normalizado de la vegetación (NDVI) para detección de degradación de la cubierta forestal en México 2008 – 2009.
- Mercado, A., Galvan, T., Diaz, K., Cespedes, J., Lopez, C., Tello, A., ... Saenz, R. (2016). Identificación de sitios prioritarios para la conservación de la diversidad biológica en el departamento de Iquitos, Perú.
- Montero-Martínez, M. J., Ojeda-Bustamante, W., Santana-Sepúlveda, J. S., Prieto-González, R., & Lobato-Sánchez, R. (2013). Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 4(2), 113–128.
- Moreno-Barajas R., Talavera-Garduño K., Rivera-Morales S. & Hernández-Ramírez N. (2019). Evaluación de la situación actual de las Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. *Quivera, Revista de Estudios Terminales*. 21(2), 113-129.
- Mukul, S. A., & Herbohn, J. (2016). The impacts of shifting cultivation on secondary forests dynamics in tropics: A synthesis of the key findings and spatio temporal distribution of research. *Environmental Science and Policy*, 55, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.005>
- Otavo, S., & Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 924–935. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.041>
- Pineda, N. B. P. P., Bosque, J. S., Gómez, M. D., & Plata, W. R. (2009). Análisis de

- cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geograficas*, 69, 33–52. <https://doi.org/10.14350/rig.18003>
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2–3), 251–268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Redo, D. J., Grau, H. R., Aide, T. M., & Clark, M. L. (2012). Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(23), 8839–8844. <https://doi.org/10.1073/pnas.1201664109>
- Rodrigues, A. S. L., Akçakaya, H. R., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., ... Yan, X. (2004). Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *BioScience*, 54(12), 1092. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[1092:ggaprf\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[1092:ggaprf]2.0.co;2)
- Rosenstock, N., Toranza, C., & Brazeiro, A. (2015). Climate and land-use changes effects on the distribution of a regional endemism: *Melanophryniscus sanmartini* (Amphibia, Bufonidae). *Iheringia. Série Zoologia*, 105(2), 209–216. <https://doi.org/10.1590/1678-476620151052209216>
- Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (1991). The dinosaurs of Transylvania. *National Geographic Research & Exploration*, 7(2), 196–215.
- Soto, P. L., Anzueto M. M. & Quechulpa S. (2011). El acahual mejorado un prototipo agroforestal. México. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).
- Thomas, C. D., Hill, J. K., Anderson, B. J., Bailey, S., Beale, C. M., Bradbury, R. B., ... Yardley, T. (2011). A framework for assessing threats and benefits to species responding to climate change. *Methods in Ecology and Evolution*, 2(2), 125–142. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00065.x>
- Valderrama, L., Troche, C., Rodriguez, M. T., Marquez, D., Vázquez, B., Velázquez, S., ... Ressler, R. (2014). Evaluation of mangrove cover changes in Mexico during the 1970-2005 Period. *Wetlands*, 34(4), 747–758. <https://doi.org/10.1007/s13157-014-0539-9>
- Valdez-Leal, J., Pacheco-Figueroa, C. P., Guadarrama, O. M. A., Gordillo-Chávez, E. J., Santiago-Plata, V. M., Gama L. & Moguel O. E. J. 2019. Las especies Protegidas. En la Biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. III. CONABIO, México, 259-264.
- Vázquez-Navarrete, C. J. & Pereya de la Rosa E. (2019). Sectores económicos. En la Biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol. I. CONABIO, México, 111-116.

- Vázquez-Reyes, L. D., Jiménez-Arcos, V. H., SantaCruz-Padilla, S. A., García-Aguilera, R., Aguirre-Romero, A., Arizmendi, M. del C., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2018). Aves del Alto Balsas de Guerrero: diversidad e identidad ecológica de una región prioritaria para la conservación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3), 873–897. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2314>
- Vega-Vela, V., Muñoz-Robles, C. A., Rodríguez-Luna, E., López-Acosta, J. C., & Serna Lagunes, R. (2018). Análisis de la fragmentación del paisaje de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 227. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1442>
- Velázquez, A., Bocco, G., & Siebe, C. (2015). Cambio de uso del suelo. *Red Temática de CONACYT Sobre Medio Ambiente y Sustentabilidad*, (January).
- Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., ... Watson, J. E. M. (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications*, 7, 1–11. <https://doi.org/10.1038/ncomms12558>
- Vidal Sierra, C.A. 2013. “Análisis espacio-temporal de los humedales naturales de una porción de la subcuenca del río Grijalva”. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Zahawi, R. A., Dandois, J. P., Holl, K. D., Nadwodny, D., Reid, J. L., & Ellis, E. C. (2015). Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. *Biological Conservation*, 186, 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.03.031>
- Zavala, C., J., Palma, L. D., Fernández, C., López, A., y Shirma, E. 2011. Degradación y conservación de suelos en la cuenca del Río Grijalva, Tabasco.
- Zavala-Cruz, J. (2019). Uso del suelo. En *la Biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado*. Vol. I. CONABIO, México, 77-82.

Anexos

Anexo 1.-

Cuadro 1.- 19 Variables climáticas de *WorldClim* 1.4.

Clave	Variable
BIO-1	Temperatura media anual
BIO-2	Intervalo diurno medio (Promedio de la temperatura mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
BIO-3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) (* 100)
BIO-4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar * 100)
BIO-5	Temperatura máxima de más calor Mes
BIO-6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO-7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO-8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

Cuadro 3. Criterios y categorías de la evaluación de la vulnerabilidad de las aves con VICC. Propuesta por Felicísimo, Muñoz, Mateo, & Villalba (2012), en Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático.

Categoría	Vulnerabilidad	IV
A	Crítica	$IV \geq 0,95$
B	Muy alta	$0,85 \leq IV < 0,95$
C	Alta	$0,70 \leq IV < 0,85$
D	Media	$0,40 \leq IV < 0,70$
E	Leve	$0,00 \leq IV < 0,40$
F	Inexistente	$IV < 0,00$

Cuadro 2. Características de los Modelos de Circulación General

Modelo	Institución	País	Características
CNRMCM5	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM-CERFACS)	Francia	El modelo incluye el modelo atmosférico ARPEGE-Climat (v5.2), el modelo oceánico NEMO (v3.2), el esquema de superficie terrestre ISBA, el modelo de hielo marino GELATO (v5) y el modelo de enrutamiento del río TRIP, todo junto El software OASIS (V3). El modelo atmosférico es una versión de "bajo techo", con solo 31 niveles en la troposfera y baja estratosfera hasta 20 hPa. Los modelos se acoplan en un intervalo de tiempo diario (Voldoire, Claudon, Caniaux, Giordani, & Roehrig, 2014).
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	Estados Unidos	Incluye interacciones aerosol-nube, interacciones química-clima y vínculos entre la troposfera y la estratosfera. También se incorporaron actualizaciones al modelo de tierra. Tiene una mayor entrada neta de calor al océano, lo que hace que se caliente más rápido que el modelo anterior. Los sesgos secos se han reducido en América del Sur. (Donner et al., 2011; Griffies et al., 2011).
HADGEM2.ES	Met Office Hadley Centre (MOHC)	Reino Unido	Desarrollado a partir de la versión 6.6 de UM. La vegetación terrestre y el carbono están representados por el modelo dinámico de vegetación global, TRIFFID, que simula la cobertura y el balance de carbono de 5 tipos de vegetación (árbol de hoja ancha, árbol de hoja de aguja, pasto C3, pasto C4 y arbusto) (Nnamdi et al., 2015; https://portal.enes.org/models/earthsystem-models/metoffice-hadley-centre/hadgem2-es).
MPI-ESM-LR.	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	Alemania	El modelo muestra una tendencia a reducir la eficiencia de absorción de calor del océano hacia un clima más cálido y, por lo tanto, la aceleración del calentamiento en los años posteriores (Giorgetta et al., 2013).

Anexo II.-

Cuadro 1.- Matriz de selección de especies Indicadoras, con valores ponderados.

Especie	Estado de Conservación		Endemismo	Distribución	Historia Natural	Vulnerabilidad de Especies	Total
	(NOM-059-SEMARNAT-2010)	UICN 2018.					
<i>Amazona oratrix</i>	2	4	2	4	4	2	18
<i>Meleagris ocellata</i>	1	2	2	4	4	4	16.5
<i>Penelope purpurascens</i>	1	2	1	4	4	4	15
<i>Cardinalis cardinalis</i>	1	4	4	1	4	2	15.5
<i>Ceratopipra mentalis</i>	1	1	1	4	4	4	13.5
<i>Bubo virginianus</i>	1	2	4	1	4	4	15.5
<i>Celeus castaneus</i>	1	1	1	4	4	2	12
<i>Dendrocincla anabatina</i>	1	1	1	4	4	2	12
<i>Jabiru mycteria</i>	1	4	1	2	4	2	13
<i>Onychorhynchus coronatus</i>	1	4	1	2	4	2	13
<i>Sarcoramphus papa</i>	1	4	1	2	4	2	13
<i>Spizaetus ornatus</i>	1	4	1	2	4	2	13
<i>Cairina moschata</i>	1	4	1	2	4	1	12
<i>Dendrocincla homochroa</i>	1	1	1	4	4	2	11.5
<i>Botaurus pinnatus</i>	1	2	1	2	4	4	13
<i>Ramphastos sulfuratus</i>	1	2	1	2	4	4	13
<i>Amazilia yucatanensis</i>	1	1	2	2	4	4	13
<i>Cyanocorax yucatanicus</i>	1	1	2	2	4	4	13
<i>Egretta rufescens</i>	1	1	1	4	1	2	8.5
<i>Amazona albifrons</i>	1	1	1	2	4	4	12
<i>Aramus guarauna</i>	1	2	1	2	4	2	11
<i>Buteogallus anthracinus</i>	1	1	1	2	4	4	12
<i>Chondrohierax uncinatus</i>	1	1	1	2	4	4	12
<i>Eupsittula nana</i>	1	1	1	2	4	4	12
<i>Geranospiza caerulescens</i>	1	2	1	2	4	2	11
<i>Leptodon cayanensis</i>	1	1	1	2	4	4	12
<i>Micrastur semitorquatus</i>	1	1	1	2	4	4	12
<i>Tinamus major</i>	1	2	1	2	4	2	11
<i>Trogon collaris</i>	1	1	1	2	4	4	12

Cuadro 2.- Matriz de selección de especies Indicadoras, de acuerdo a los valores de peso relativo.

Especie	Estado de Conservación		Endemismo	Distribución	Historia Natural	Vulnerabilidad de Especies	Total
	(NOM-059-SEMARNA T-2010)	UICN 2018.					
<i>Amazona oratrix</i>	7.50	20.00	7.50	30.00	10.00	5.00	80.00
<i>Meleagris ocellata</i>	1.88	10.00	7.50	30.00	10.00	10.00	69.38
<i>Penelope purpurascens</i>	1.88	10.00	1.88	30.00	10.00	10.00	63.75
<i>Cardinalis cardinalis</i>	1.88	20.00	15.00	7.50	10.00	5.00	59.38
<i>Ceratopipra mentalis</i>	1.88	2.50	1.88	30.00	10.00	10.00	56.25
<i>Bubo virginianus</i>	1.88	10.00	15.00	7.50	10.00	10.00	54.38
<i>Celeus castaneus</i>	1.88	5.00	1.88	30.00	10.00	5.00	53.75
<i>Dendrocicla anabatina</i>	1.88	5.00	1.88	30.00	10.00	5.00	53.75
<i>Jabiru mycteria</i>	1.88	20.00	1.88	15.00	10.00	5.00	53.75
<i>Onychorhynchus coronatus</i>	1.88	20.00	1.88	15.00	10.00	5.00	53.75
<i>Sarcoramphus papa</i>	1.88	20.00	1.88	15.00	10.00	5.00	53.75
<i>Spizaetus ornatus</i>	1.88	20.00	1.88	15.00	10.00	5.00	53.75
<i>Cairina moschata</i>	1.88	20.00	1.88	15.00	10.00	2.50	51.25
<i>Dendrocicla homochroa</i>	1.88	2.50	1.88	30.00	10.00	5.00	51.25
<i>Botaurus pinnatus</i>	1.88	10.00	1.88	15.00	10.00	10.00	48.75
<i>Ramphastos sulfuratus</i>	1.88	10.00	1.88	15.00	10.00	10.00	48.75
<i>Amazilia yucatanensis</i>	1.88	2.50	7.50	15.00	10.00	10.00	46.88
<i>Cyanocorax yucatanicus</i>	1.88	2.50	7.50	15.00	10.00	10.00	46.88
<i>Egretta rufescens</i>	1.88	5.00	1.88	30.00	1.25	5.00	45.00
<i>Amazona albifrons</i>	1.88	5.00	1.88	15.00	10.00	10.00	43.75
<i>Aramus guarauna</i>	1.88	10.00	1.88	15.00	10.00	5.00	43.75
<i>Buteogallus anthracinus</i>	1.88	5.00	1.88	15.00	10.00	10.00	43.75
<i>Chondrohierax uncinatus</i>	1.88	5.00	1.88	15.00	10.00	10.00	43.75
<i>Eupsittula nana</i>	1.88	5.00	1.88	15.00	10.00	10.00	43.75
<i>Geranoospiza caerulescens</i>	1.88	10.00	1.88	15.00	10.00	5.00	43.75
<i>Leptodon cayanensis</i>	1.88	5.00	1.88	15.00	10.00	10.00	43.75
<i>Micrastur semitorquatus</i>	1.88	5.00	1.88	15.00	10.00	10.00	43.75
<i>Tinamus major</i>	1.88	10.00	1.88	15.00	10.00	5.00	43.75
<i>Trogon collaris</i>	1.88	5.00	1.88	15.00	10.00	10.00	43.75



Figura 1.- Total de registros de presencia de las especies, en el periodo de 1960-2018.

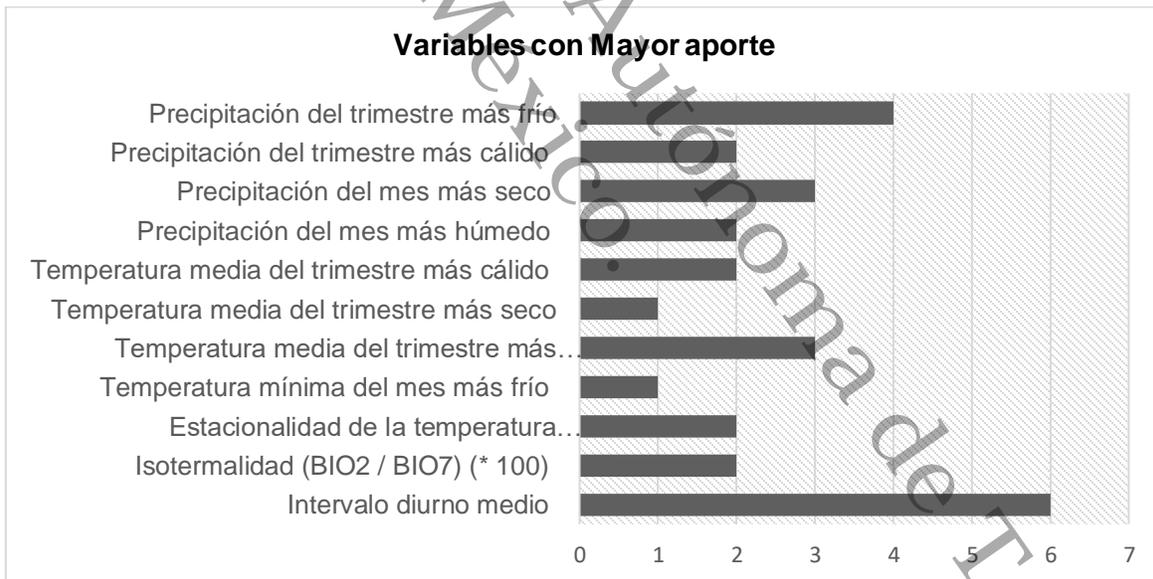


Figura 2.- Variables que contribuyeron más a cada uno de los modelos de distribución

Anexo 3.-

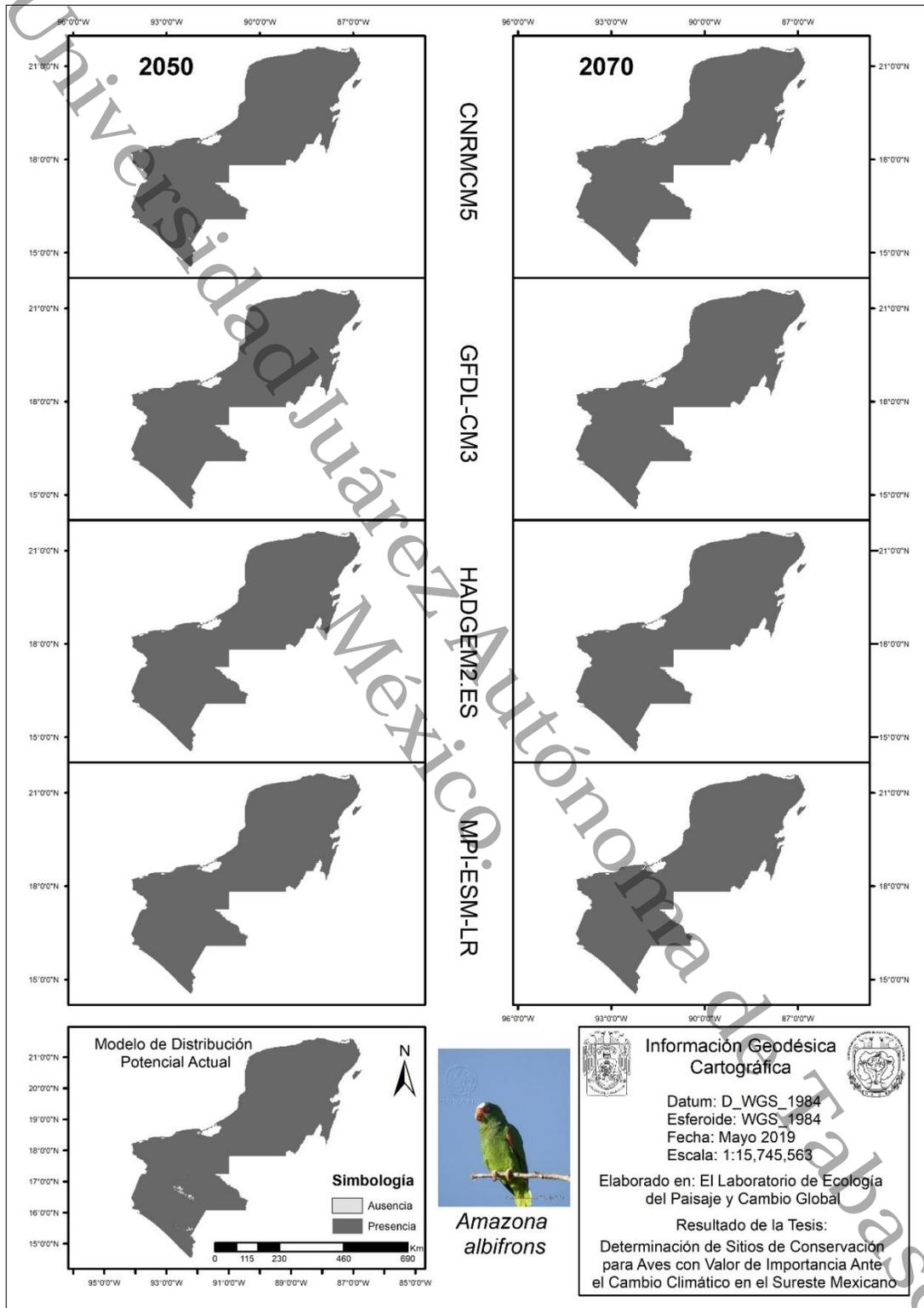


Figura 1.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Amazona albifrons*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

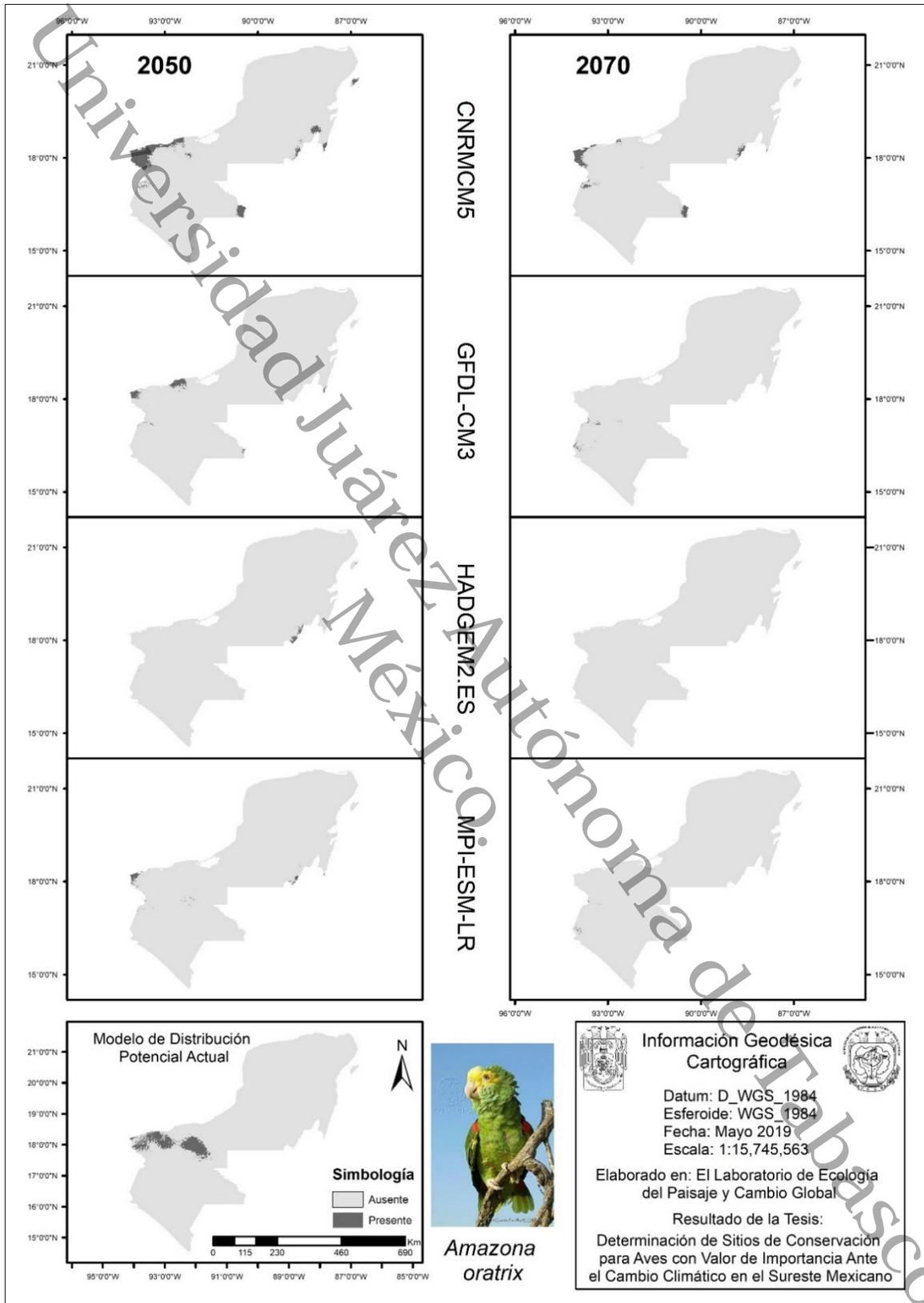


Figura 2.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Amazona oratrix*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

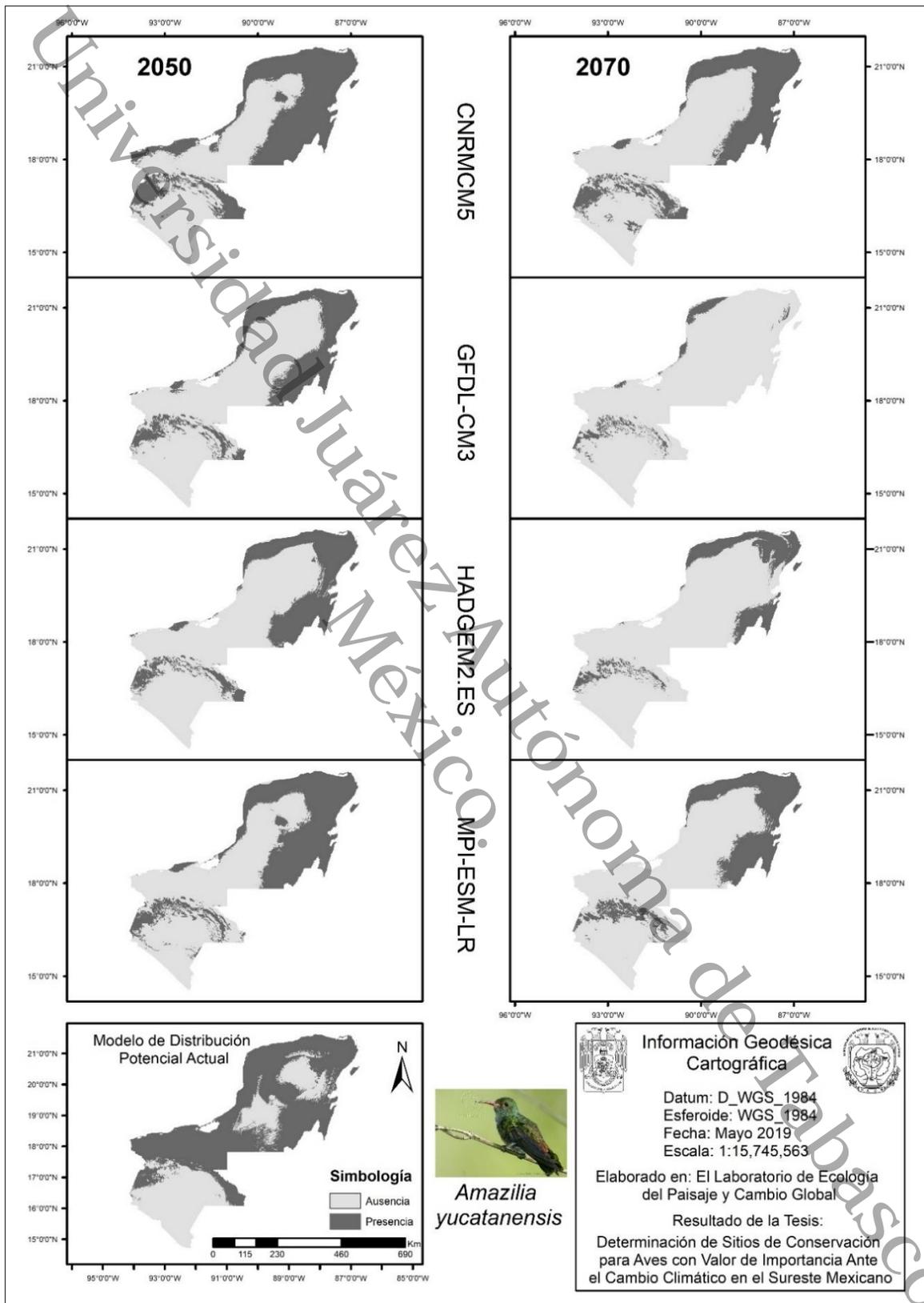


Figura 3.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Amazilia yucatanensis*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

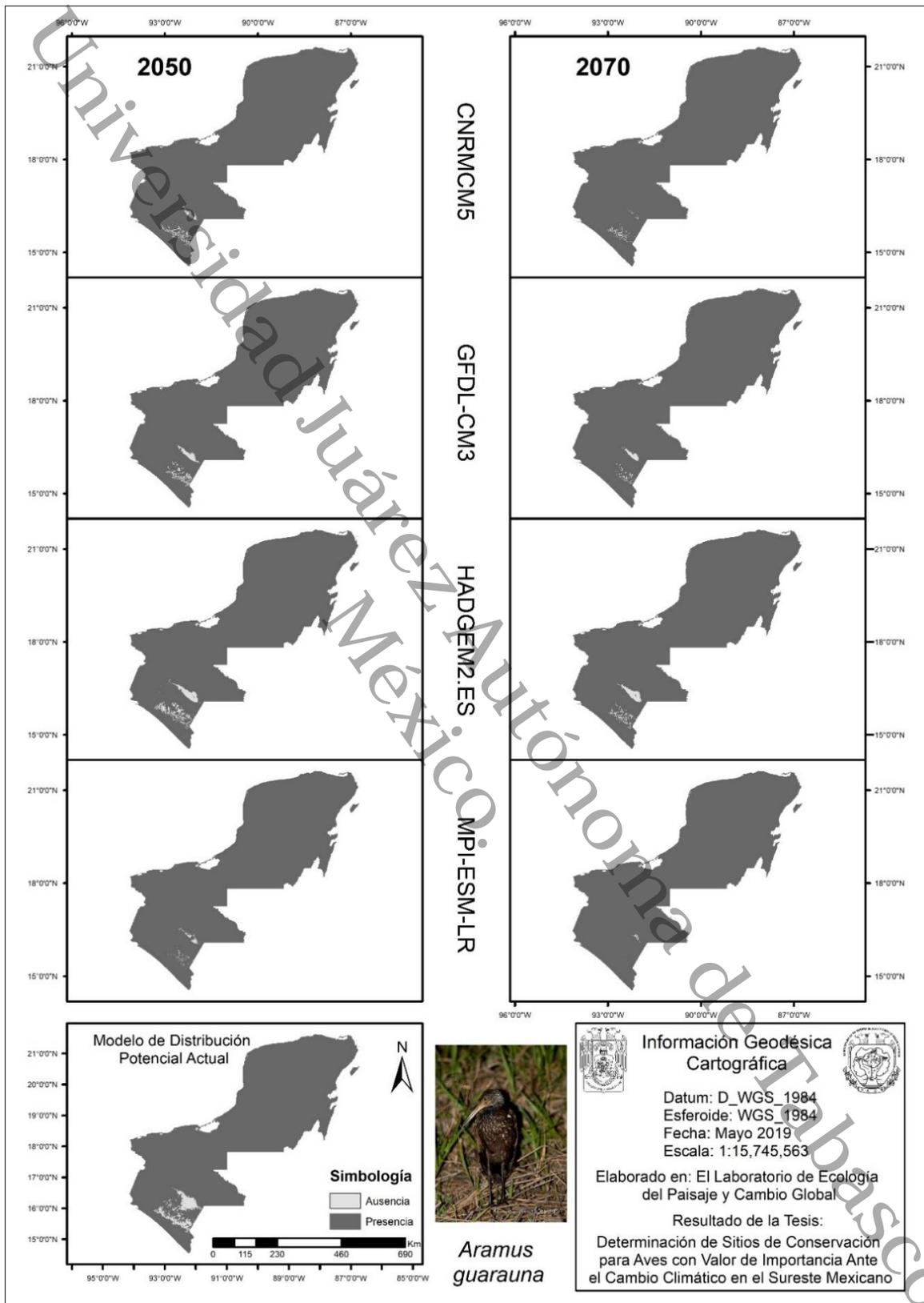


Figura 4.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Aramus guarauna*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

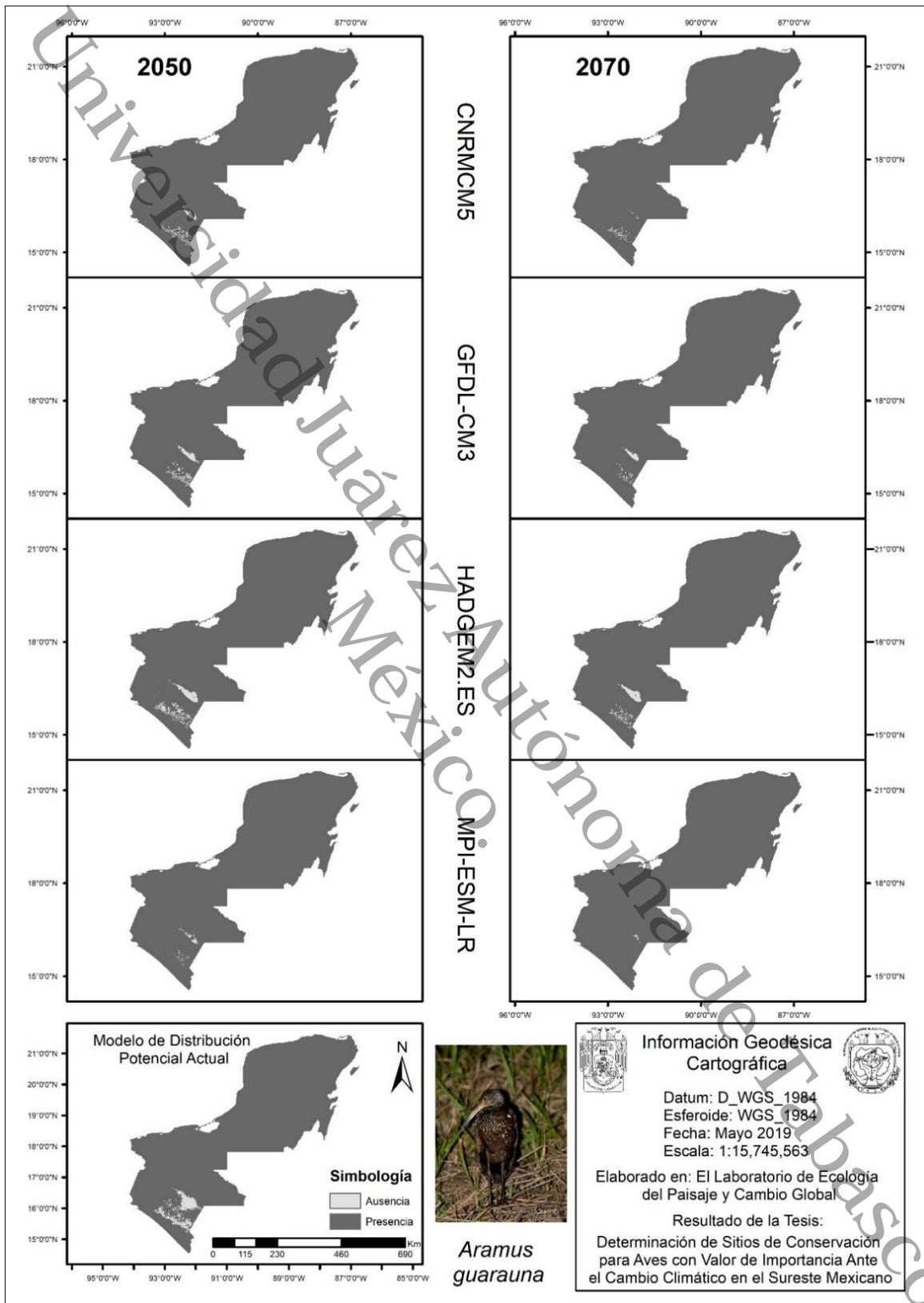


Figura 5.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Botaurus pinnatus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

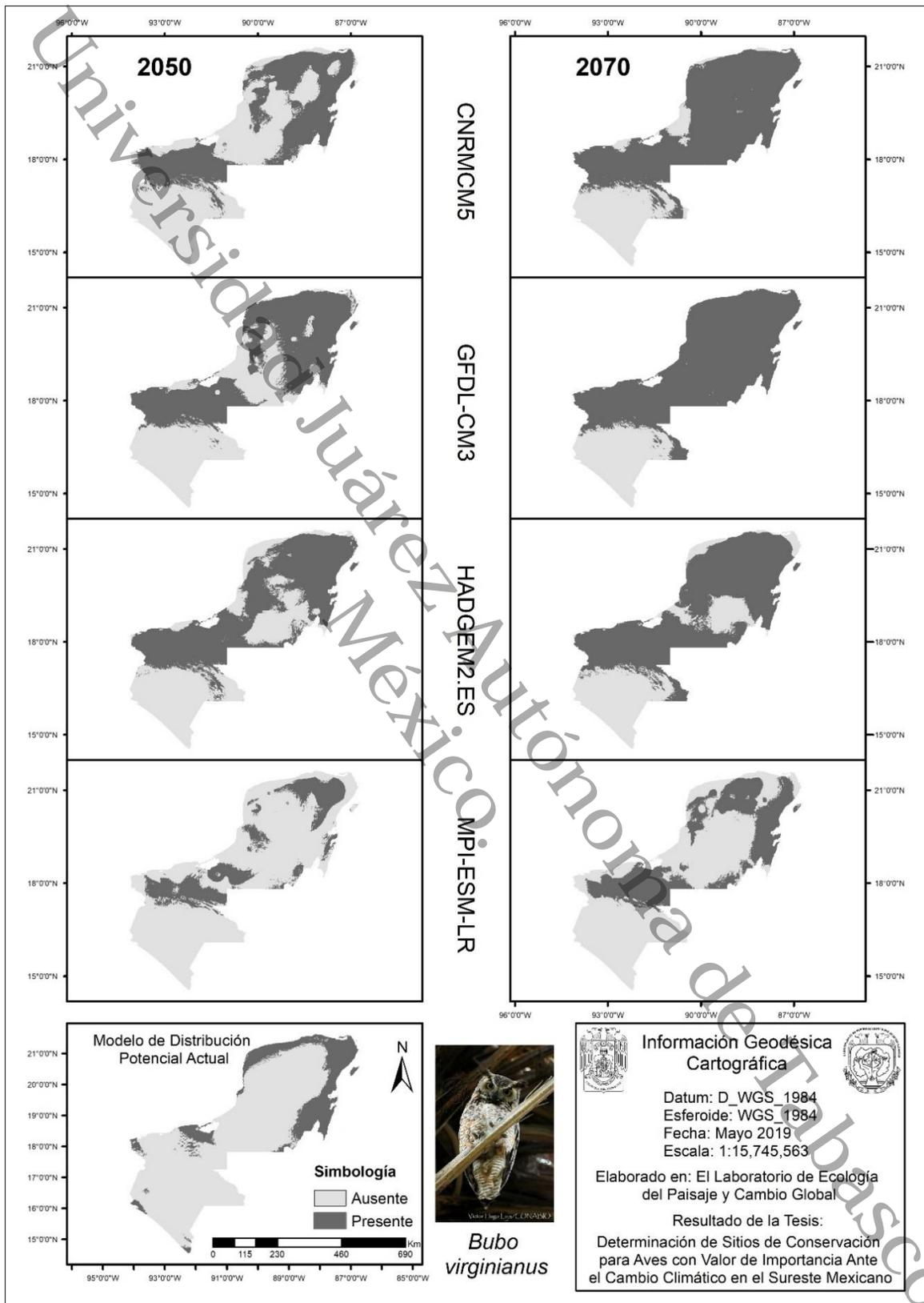


Figura 6.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Bubo virginianus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

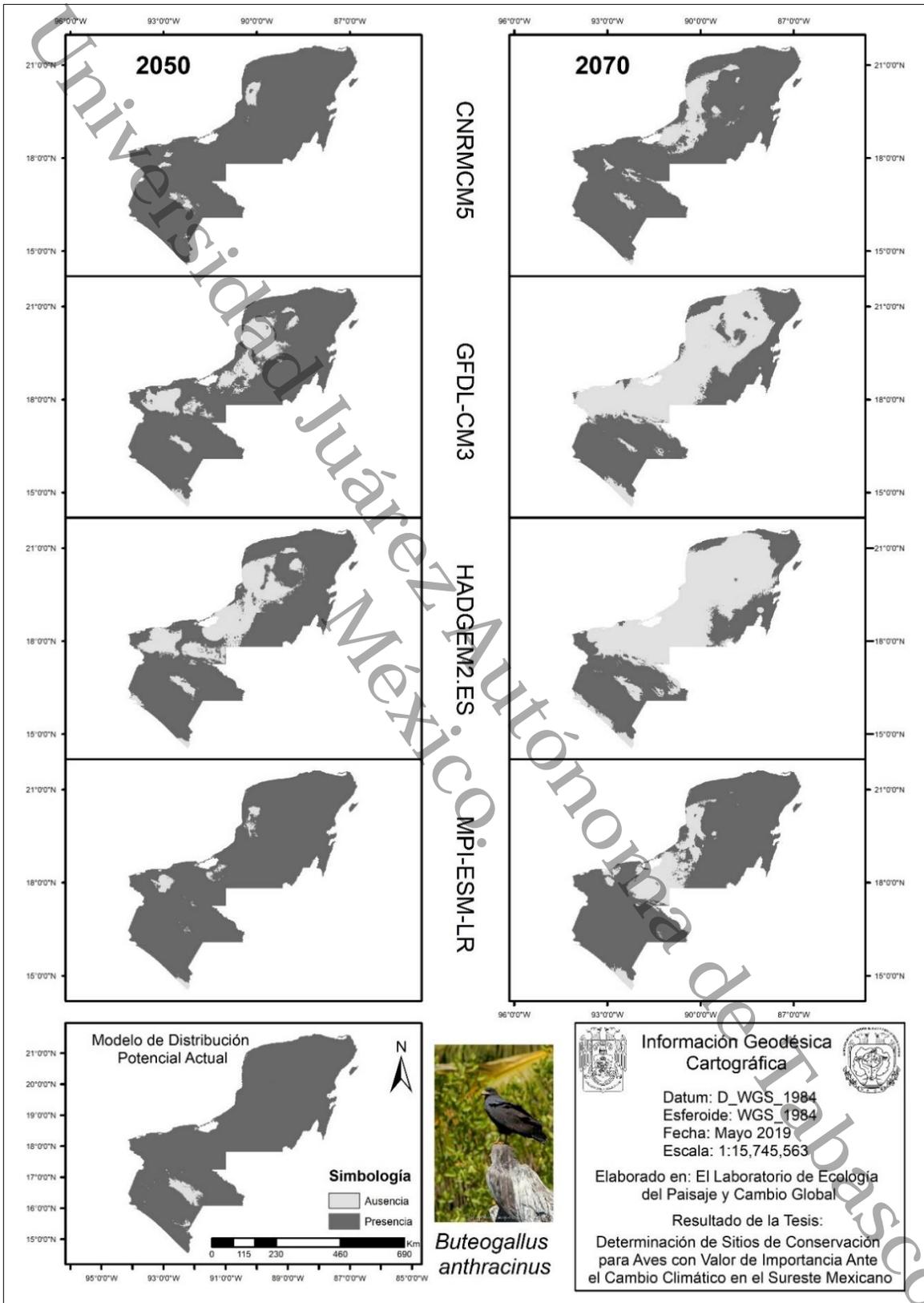


Figura 7.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Buteogallus anthracinus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

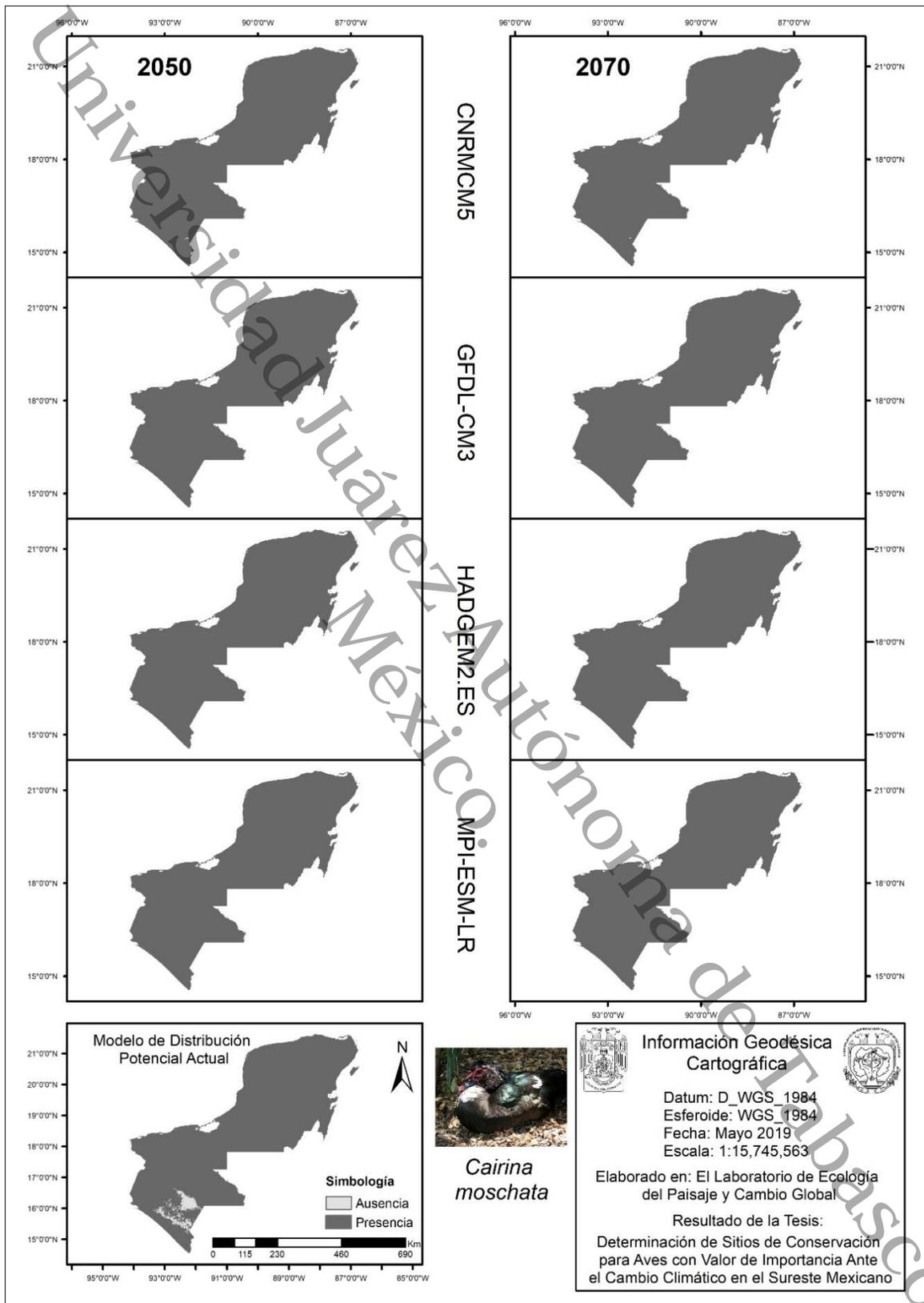


Figura 8.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Cairina moschata*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

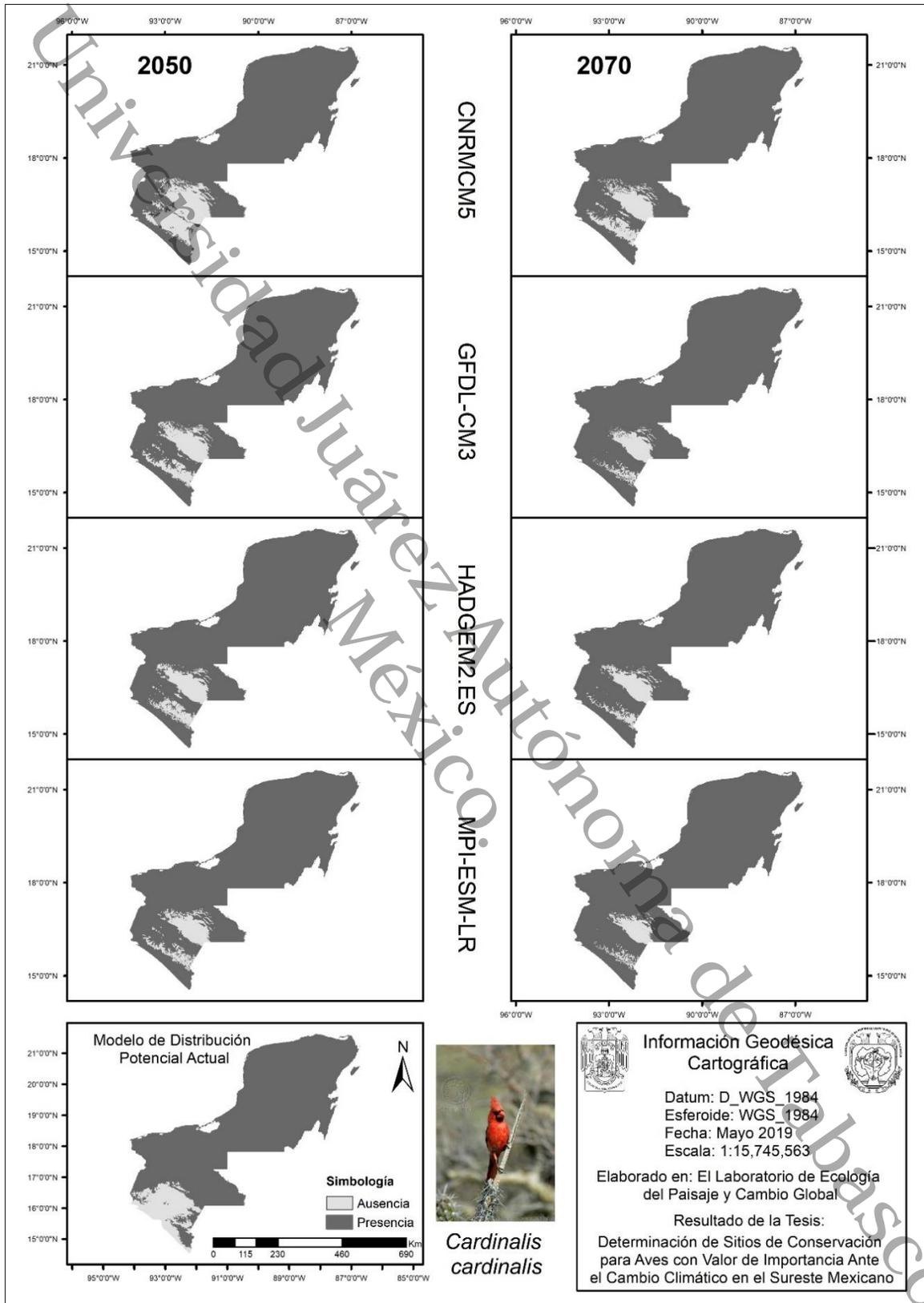


Figura 8.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Cardinalis cardinalis*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

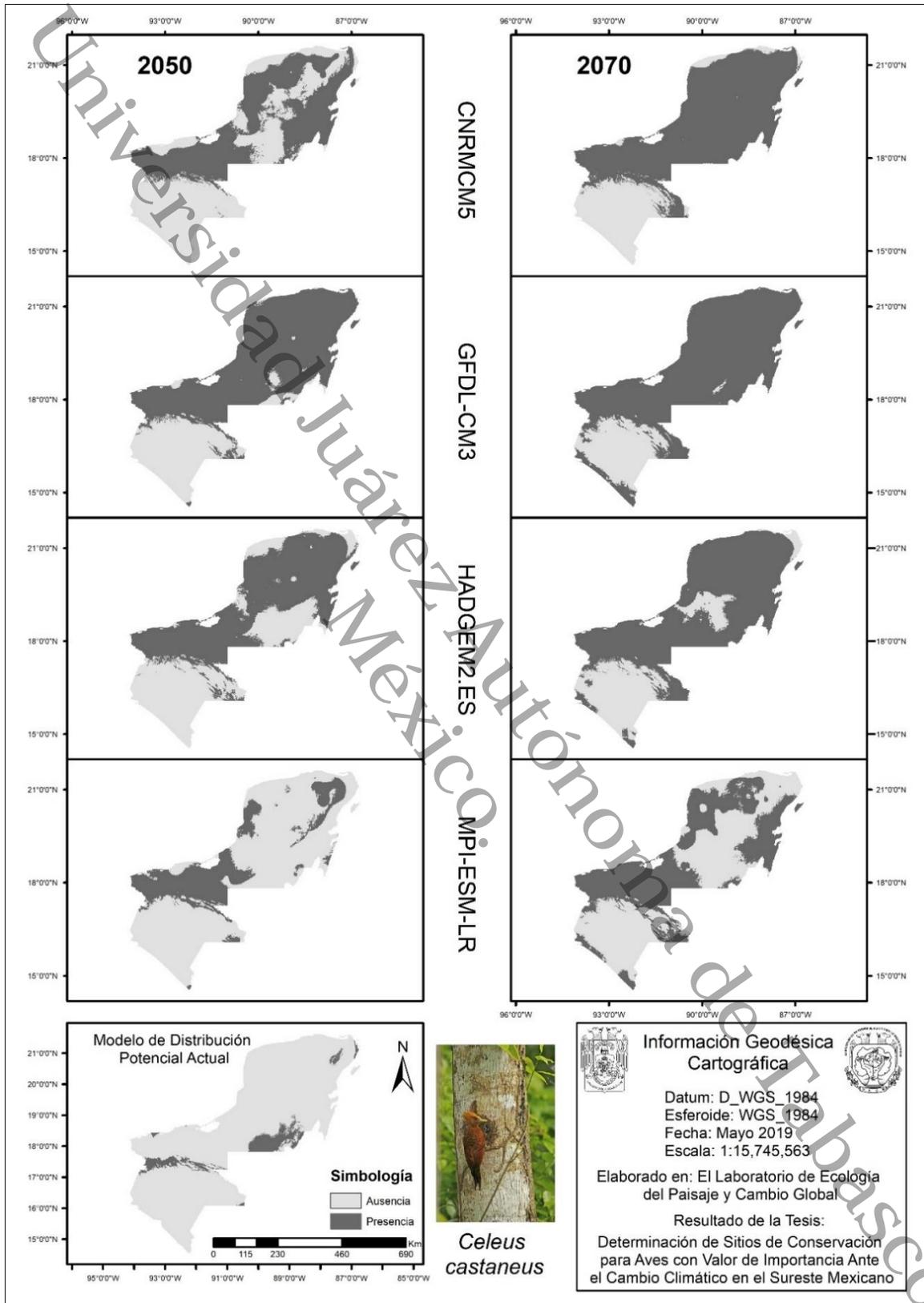


Figura 10.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Celeus castaneus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

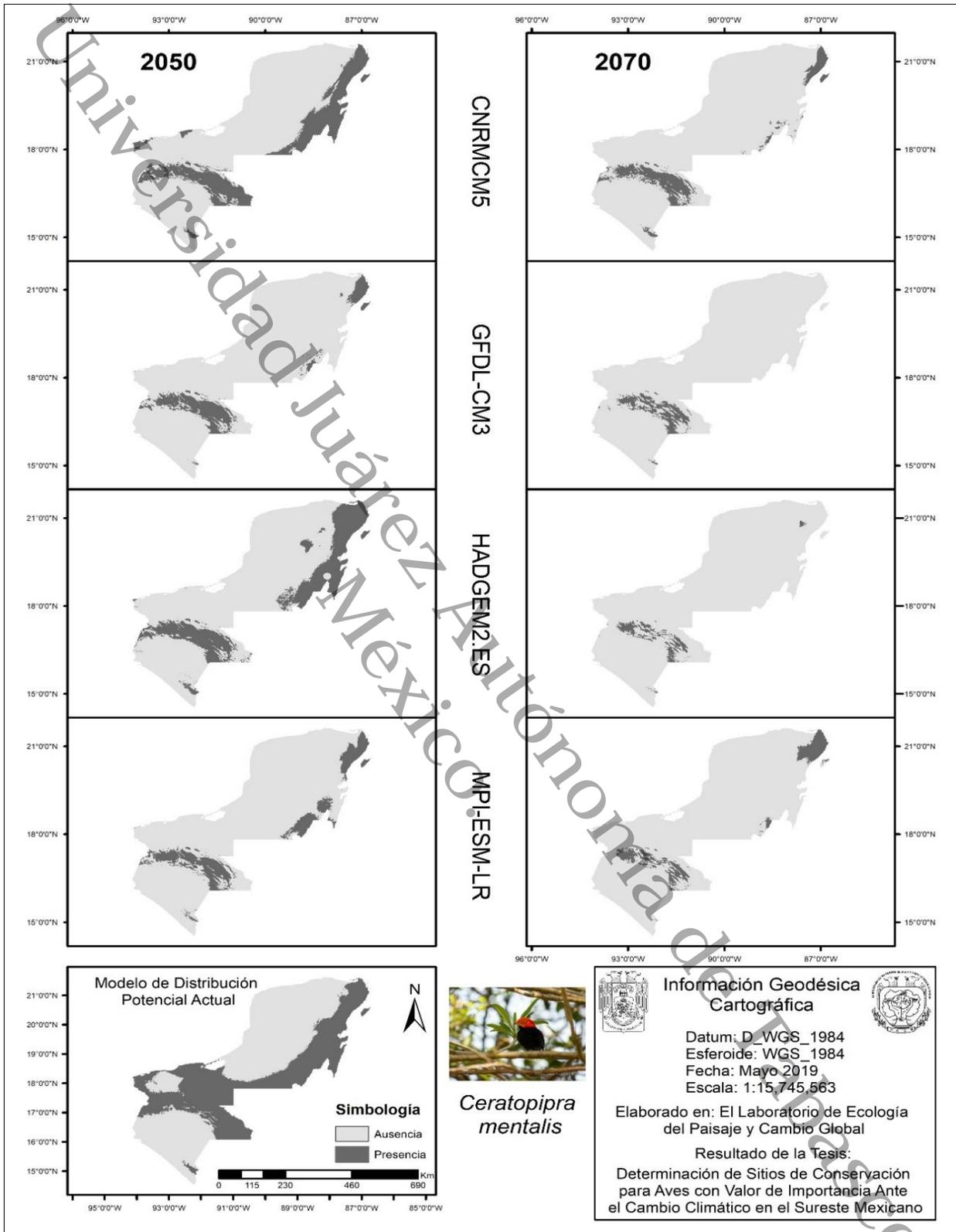


Figura 11.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Ceratopira mentalis*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

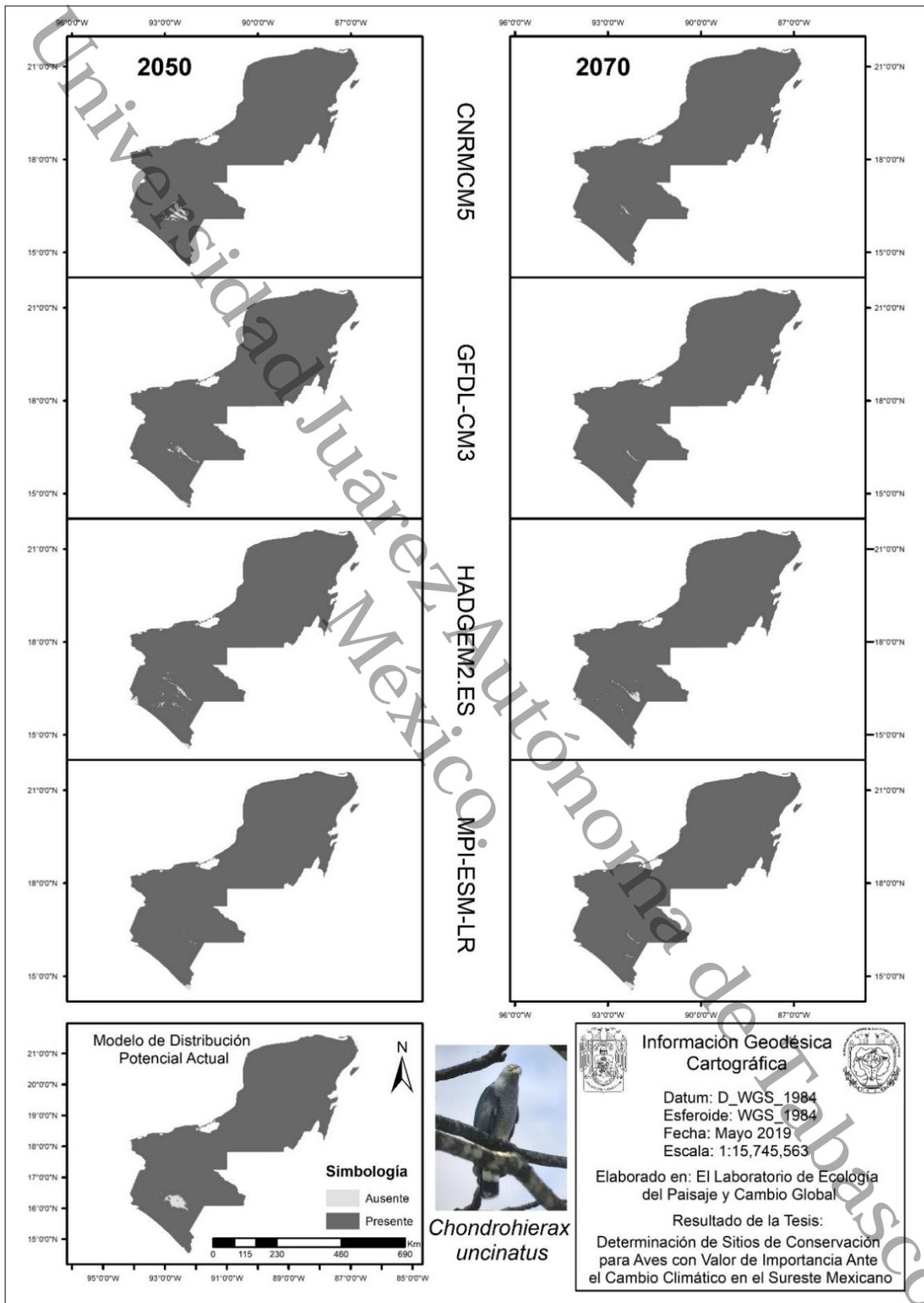


Figura 12.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Chondrohierax uncinatus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

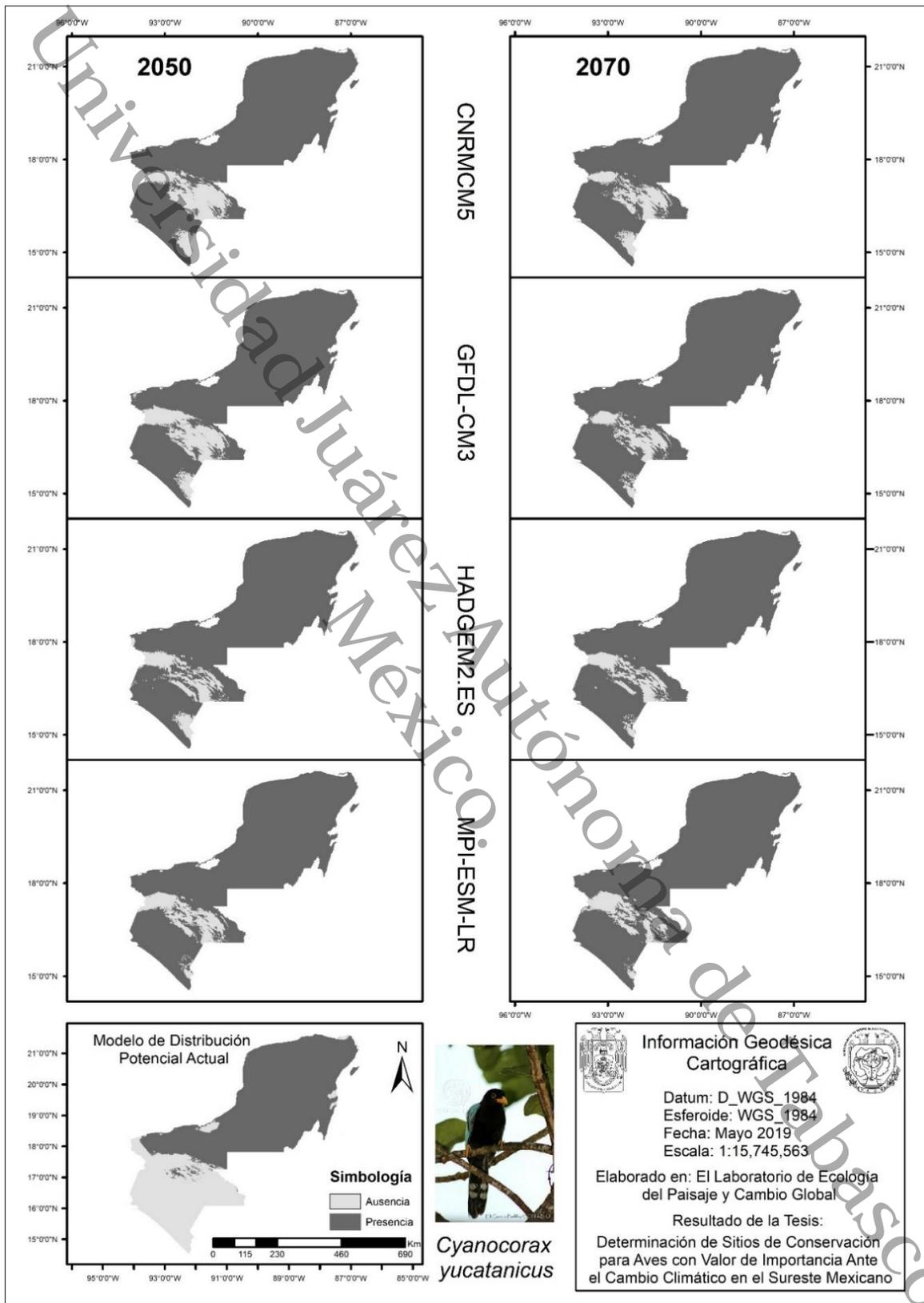


Figura 13.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Cyanocorax yucatanicus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

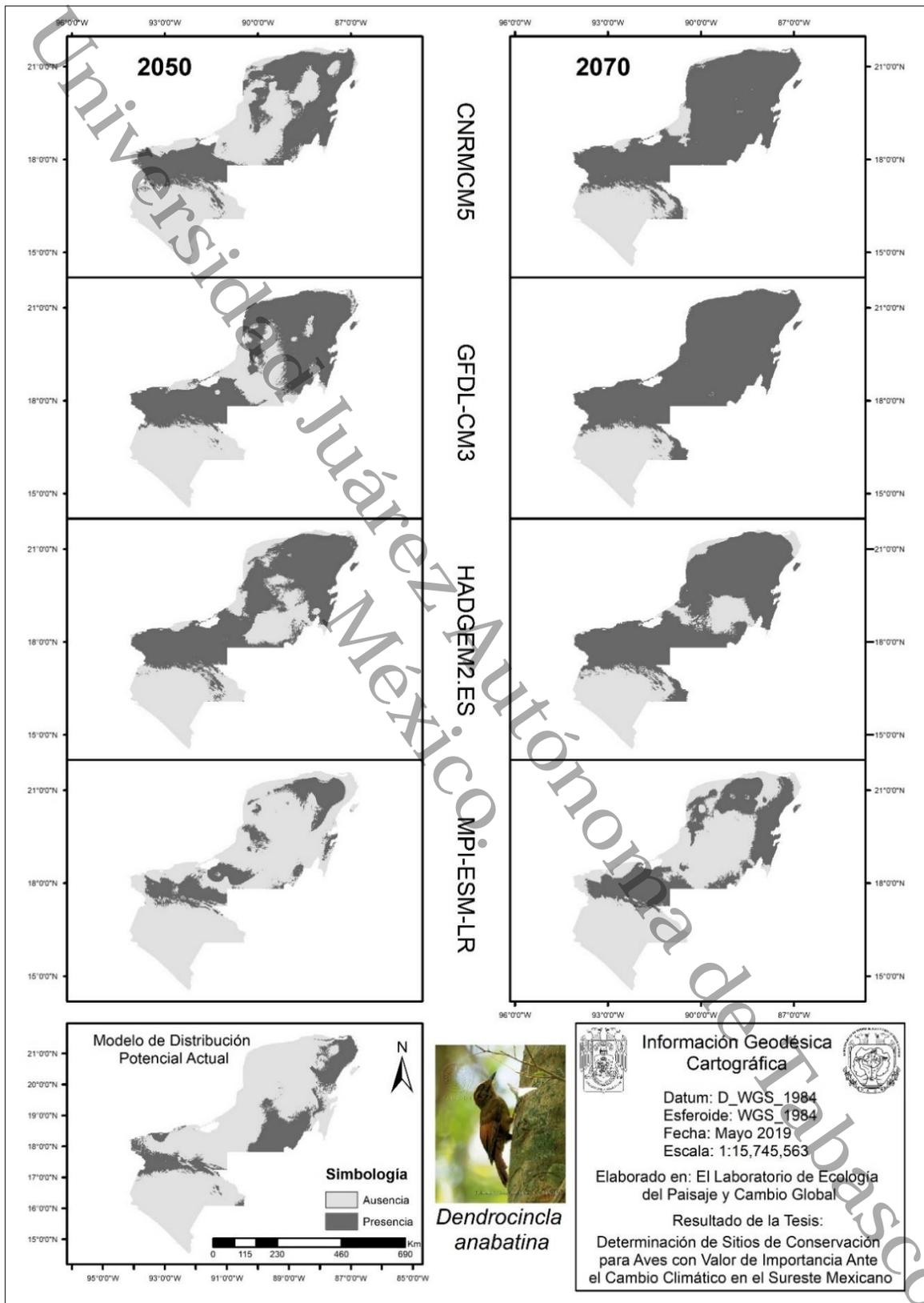


Figura 14.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Dendrocincla anabatina*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

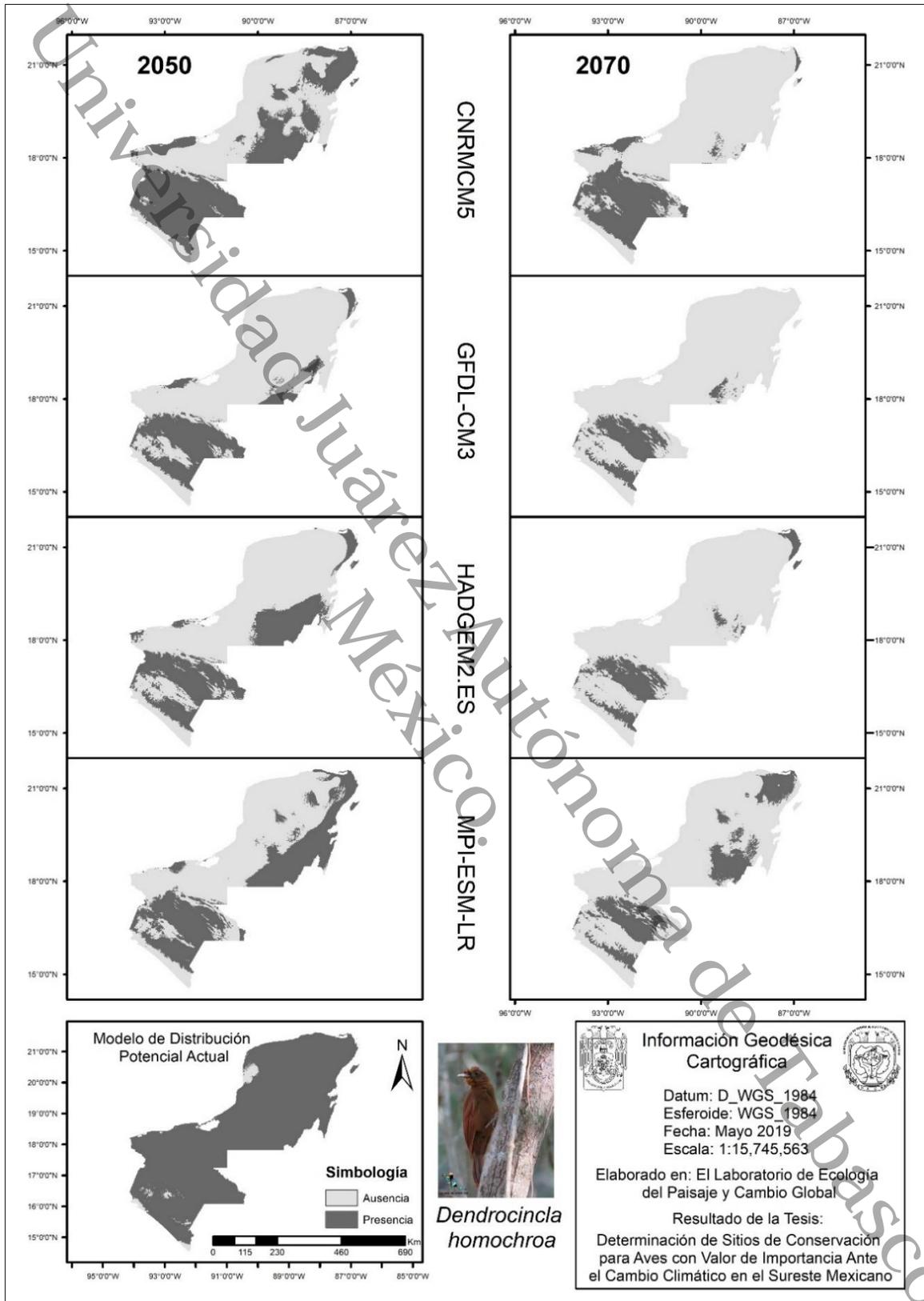


Figura 15.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Dendrocincla homochroa*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

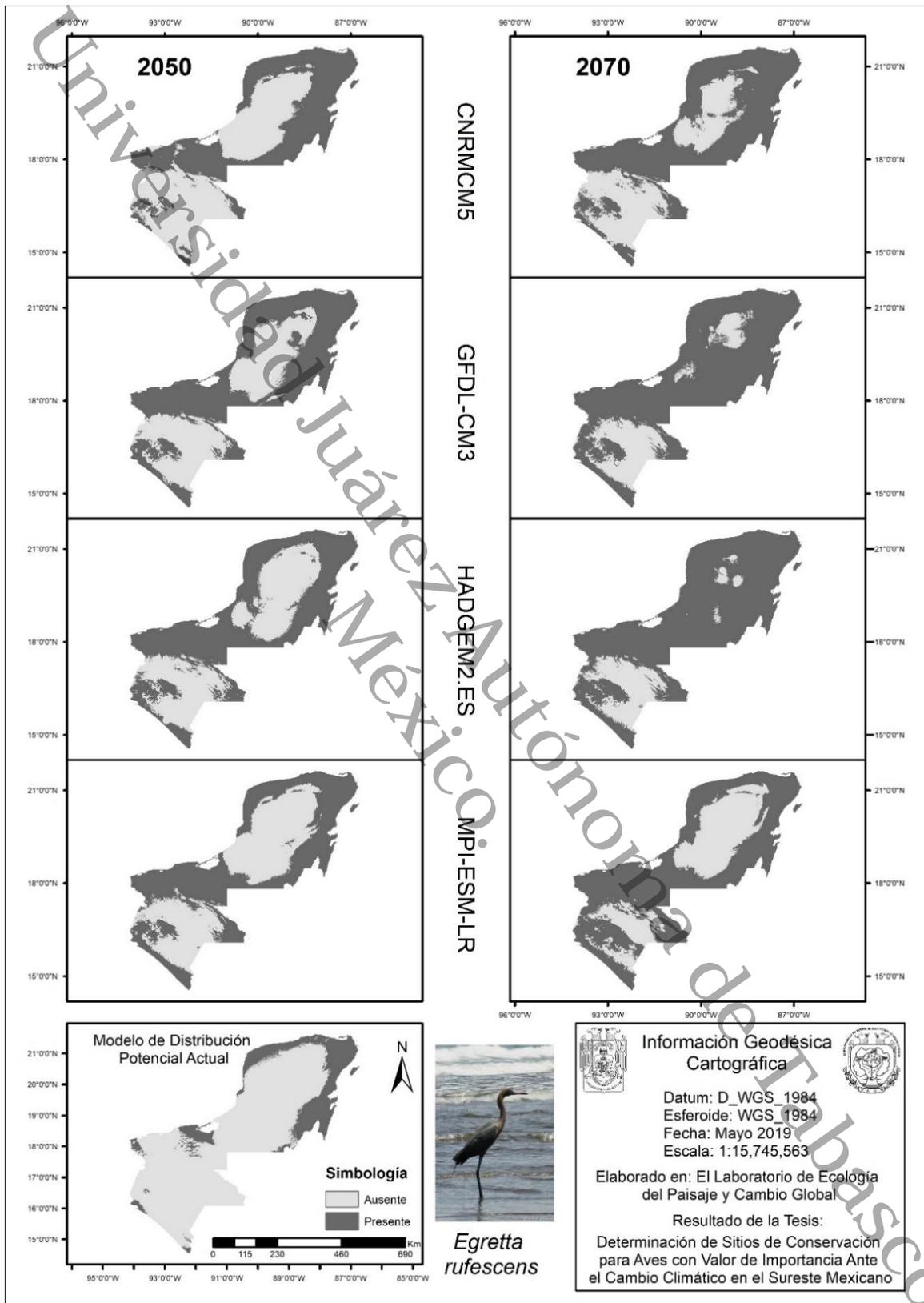


Figura 16.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Egretta rufescens*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

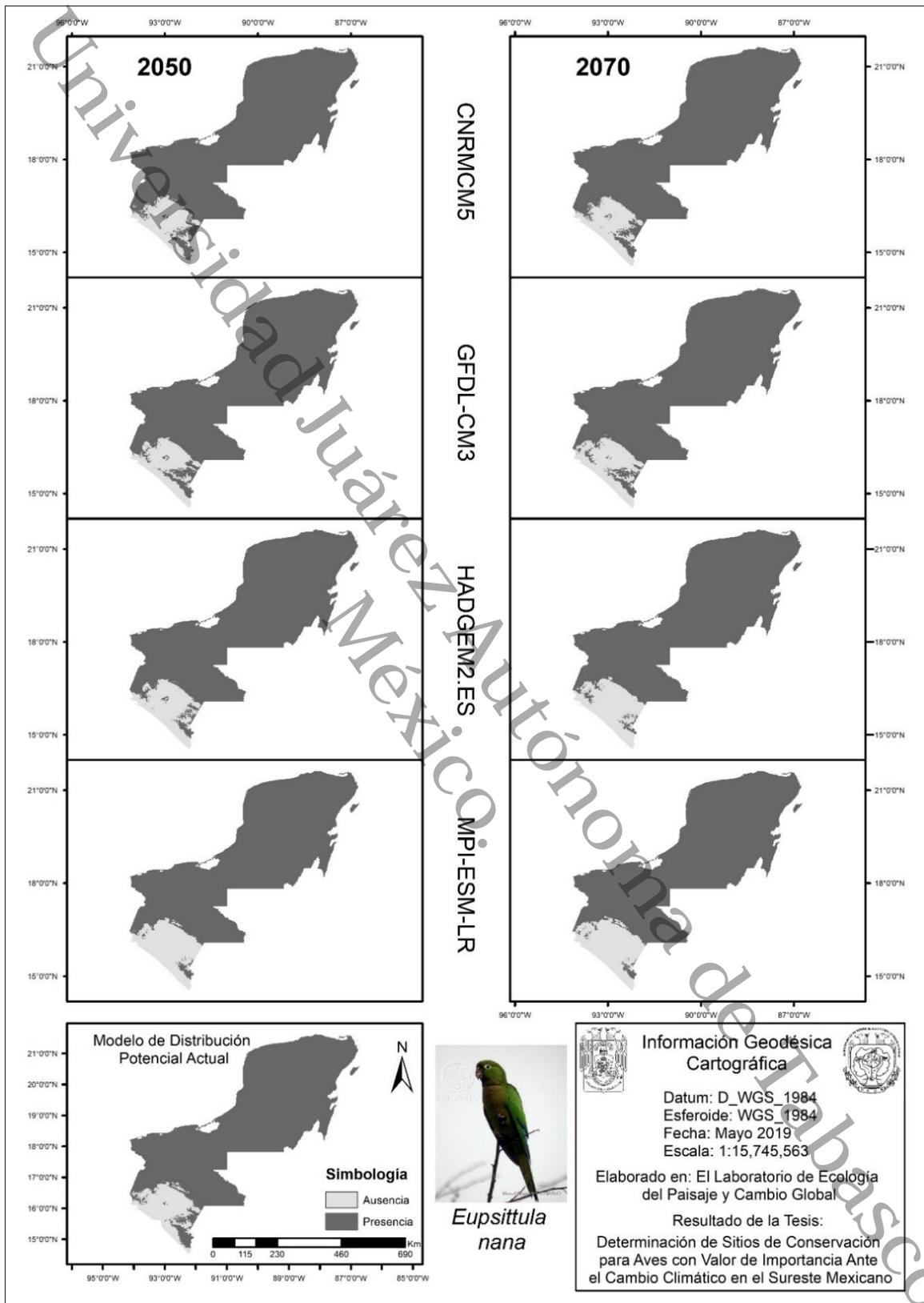


Figura 17.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Eupsittula nana*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

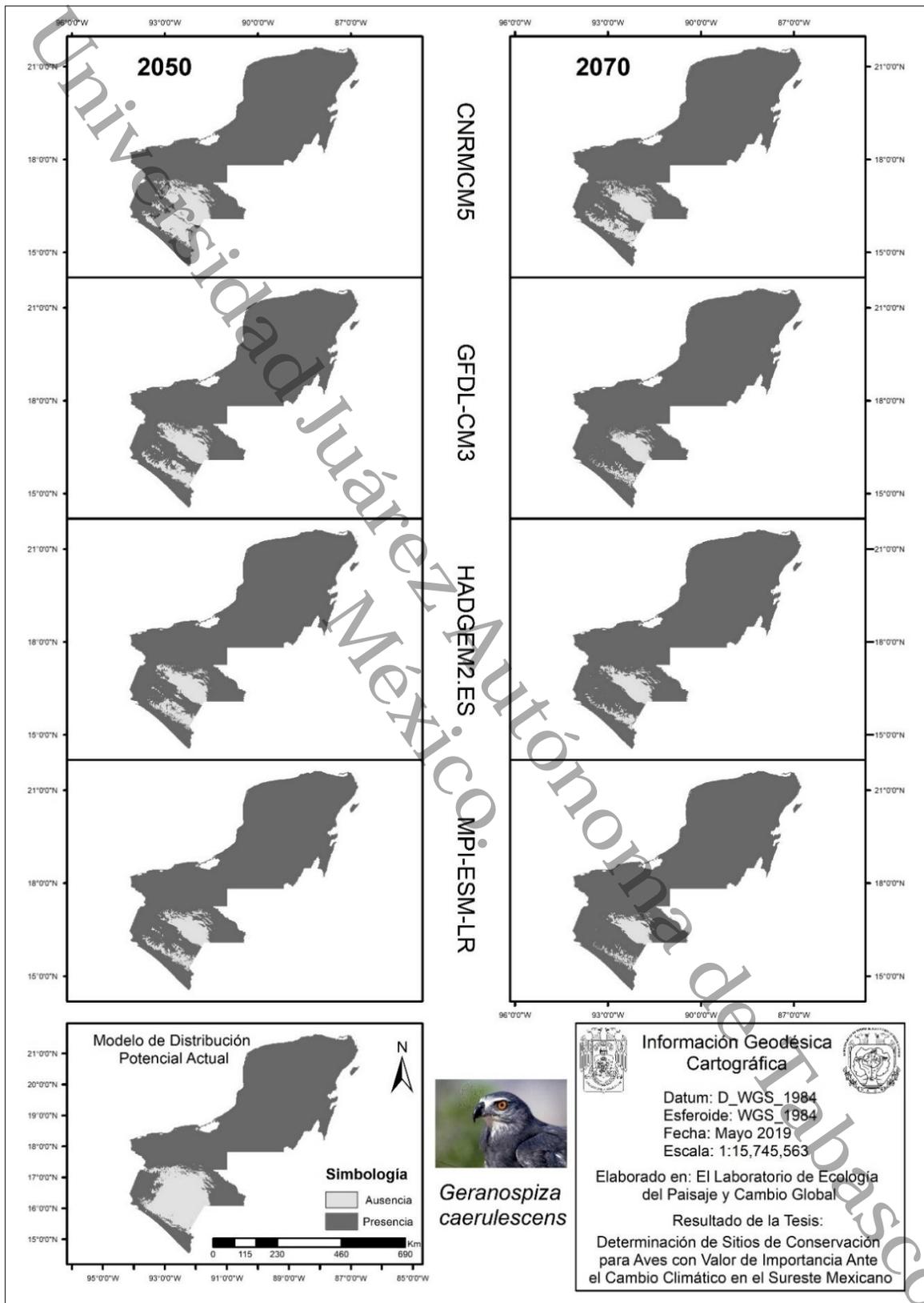


Figura 18.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Geranospiza caerulescens*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

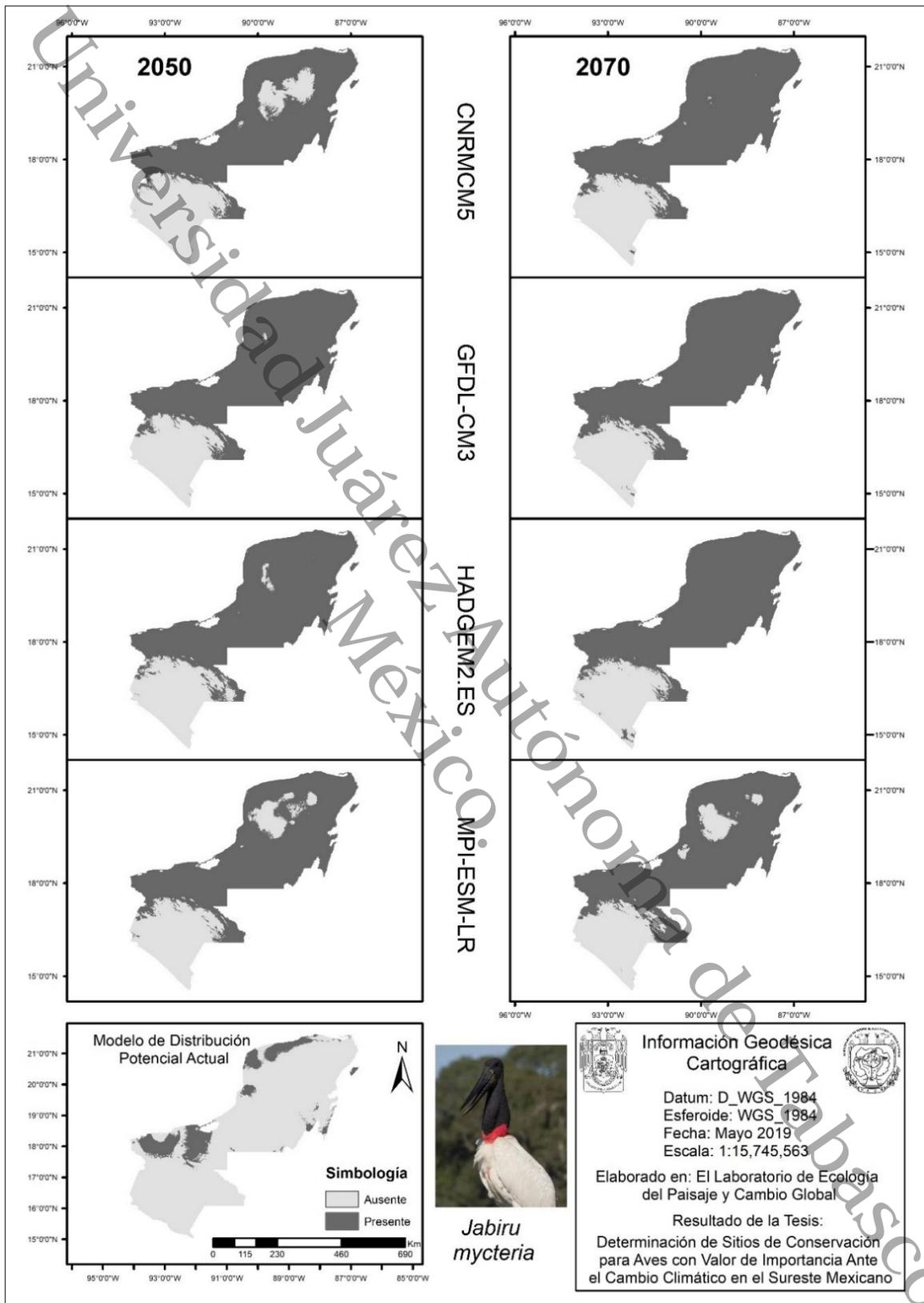


Figura 19.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Jabiru mycteria*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

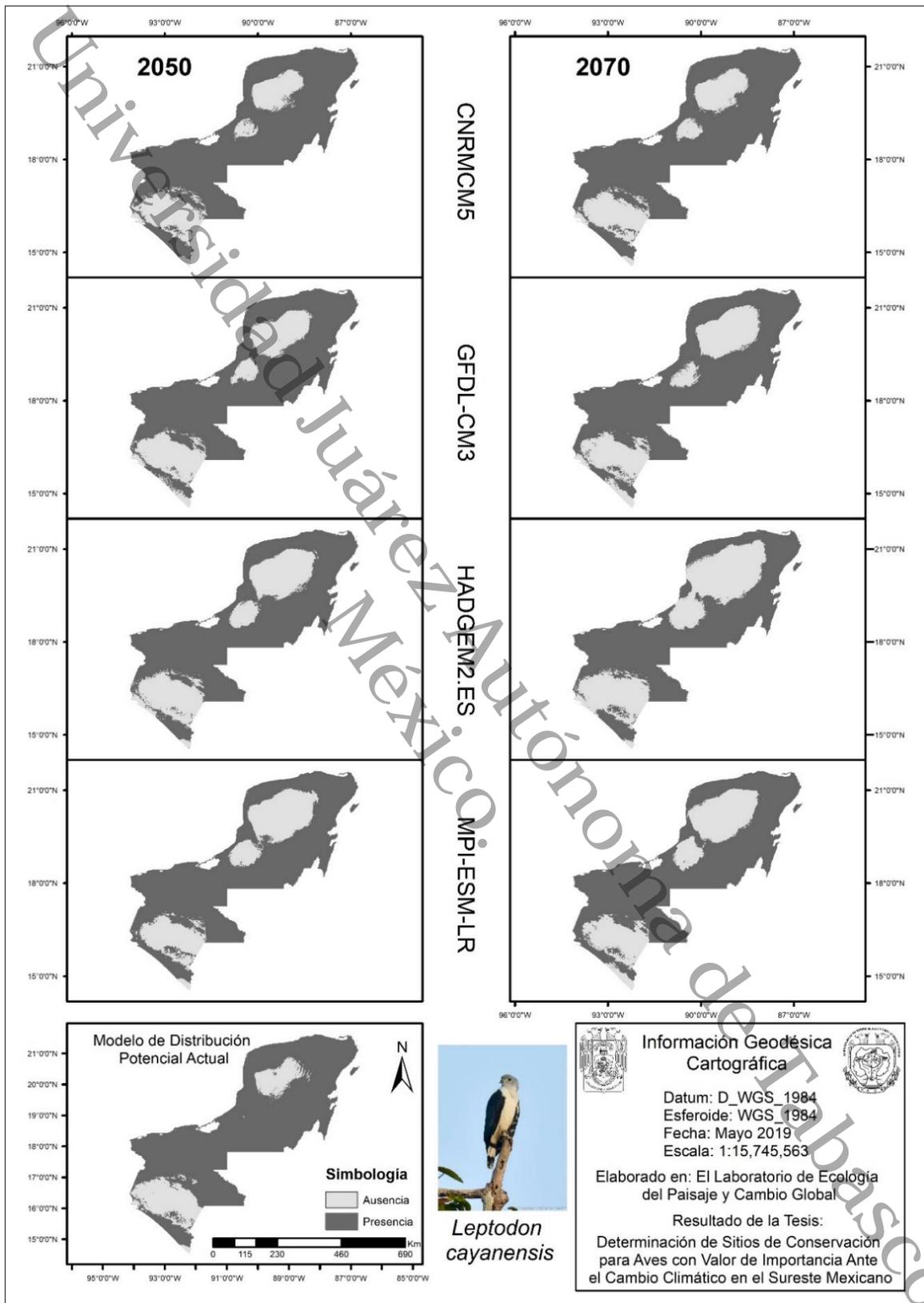


Figura 20.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Leptodon cayanensis*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

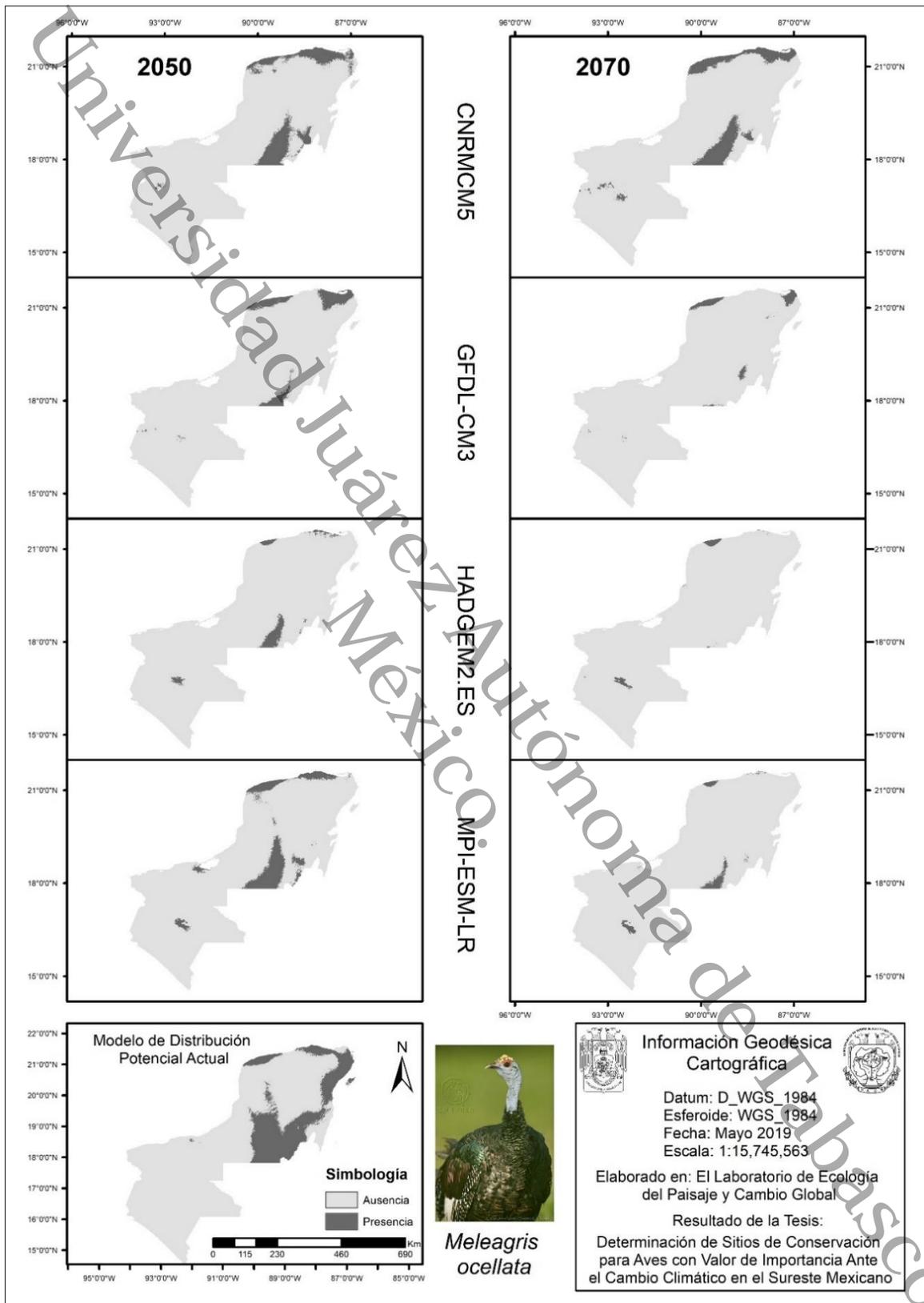


Figura 21.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Meleagris ocellata*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

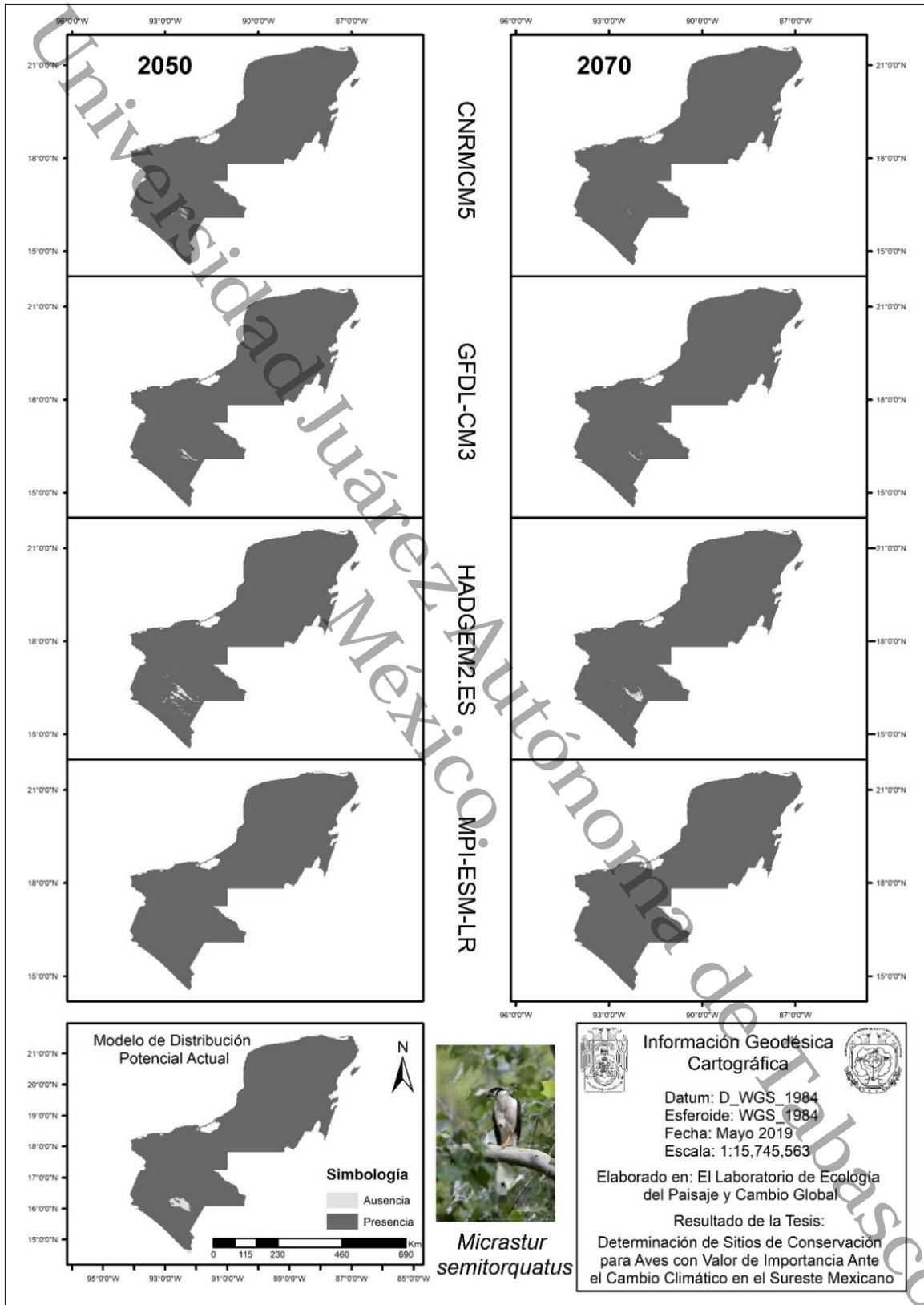


Figura 22.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Micrastur semitorquatus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

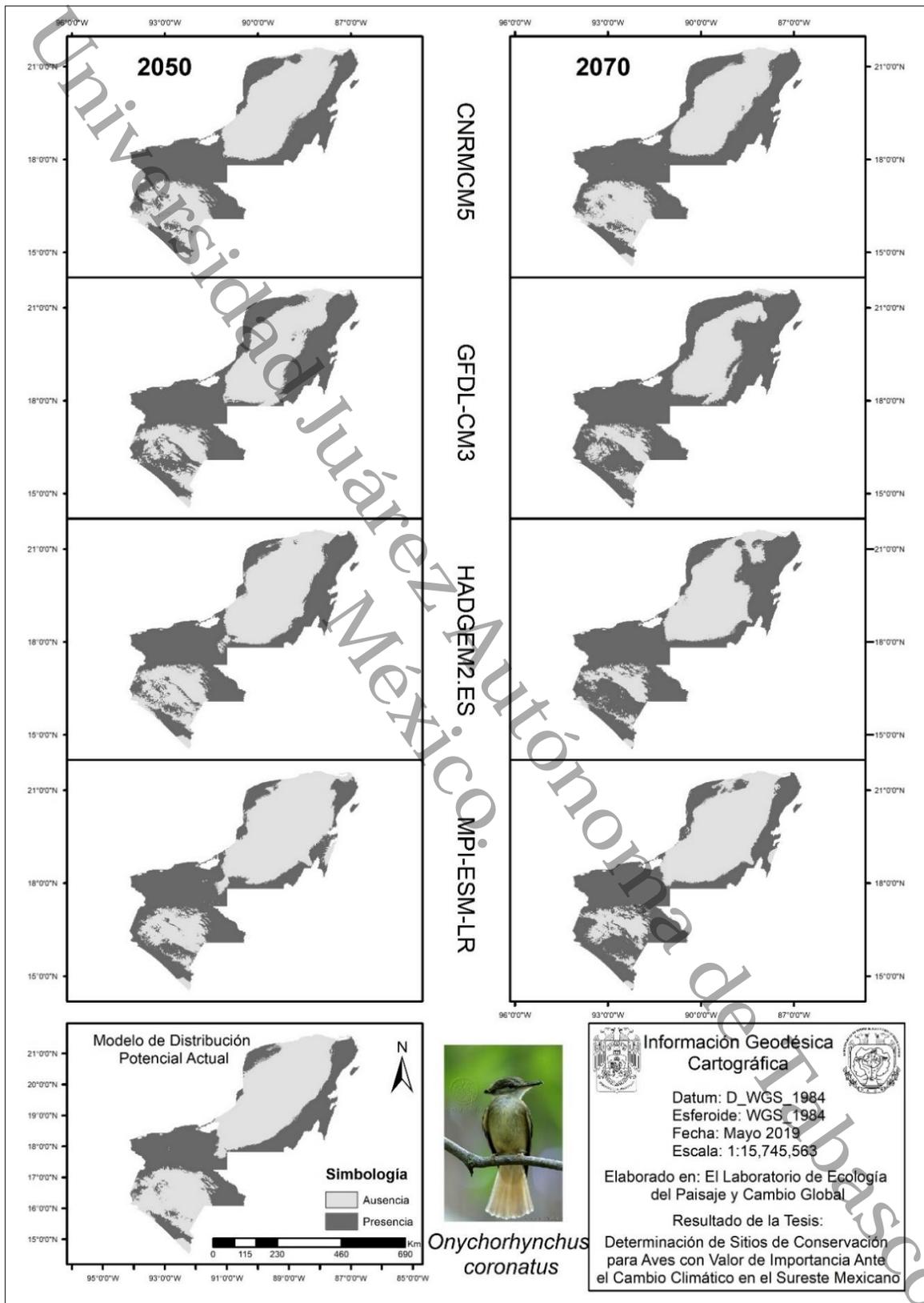


Figura 23.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Onychorhynchus coronatus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

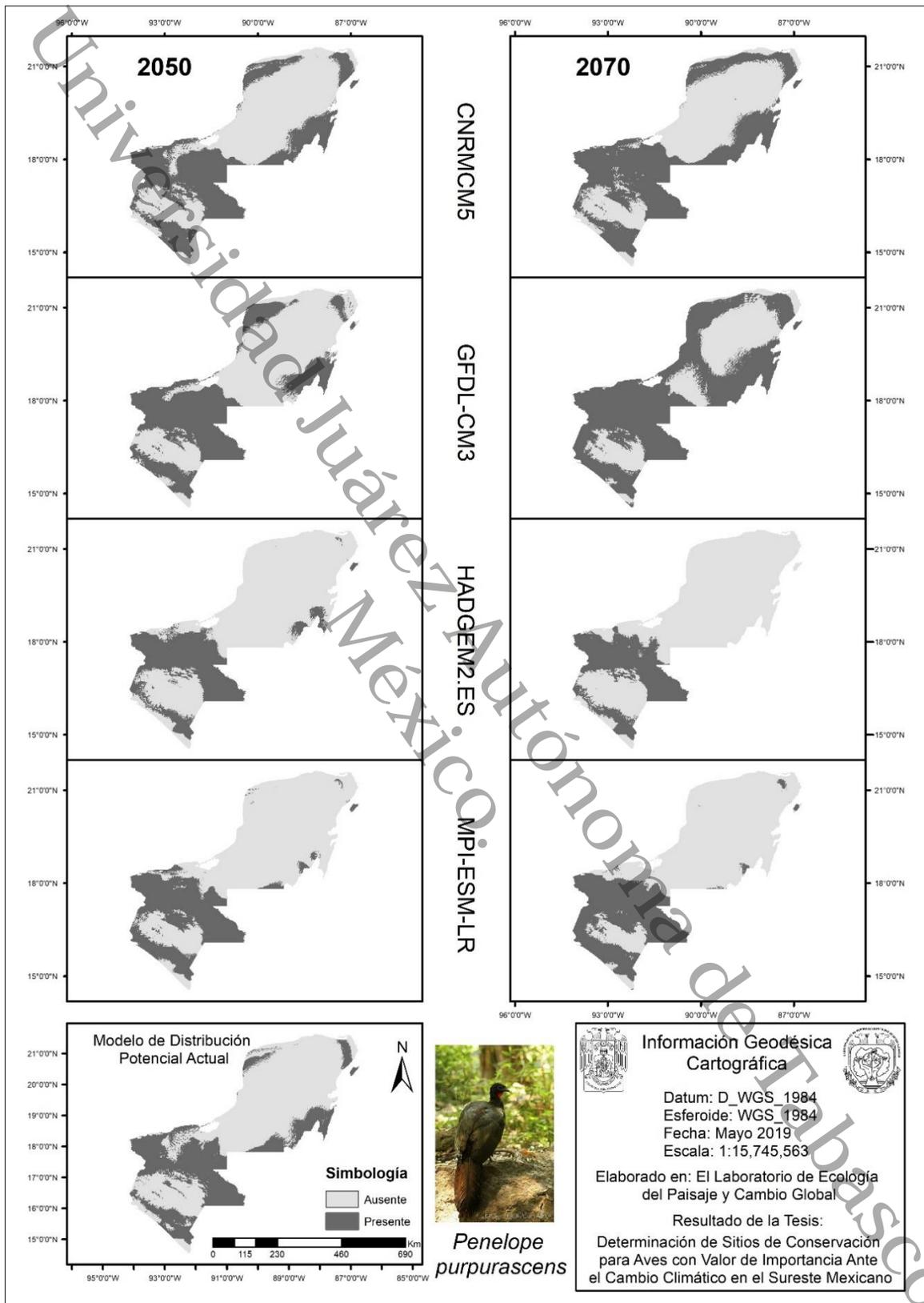


Figura 24.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Penelope purpurascens*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

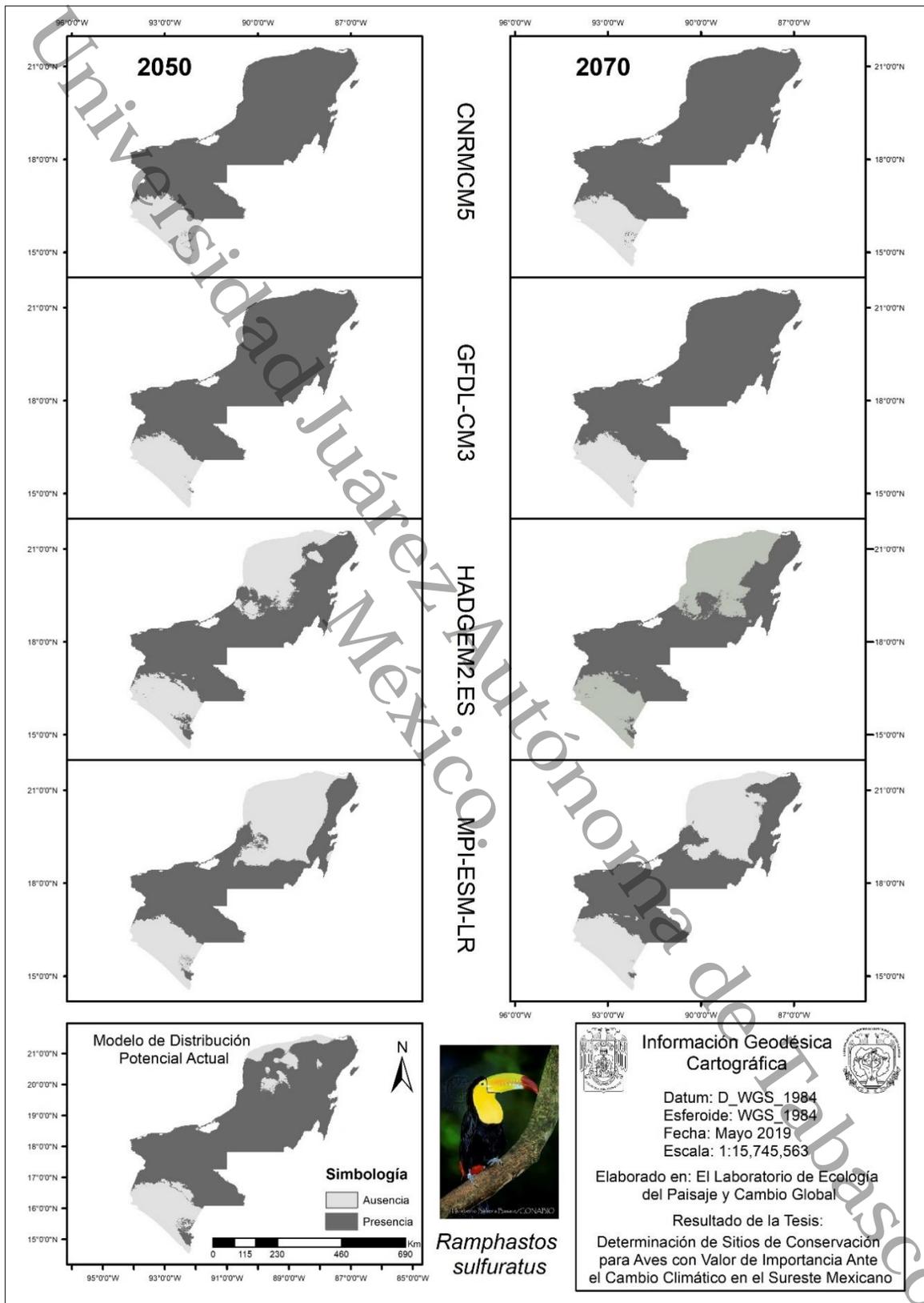


Figura 25.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Ramphastos sulfuratus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

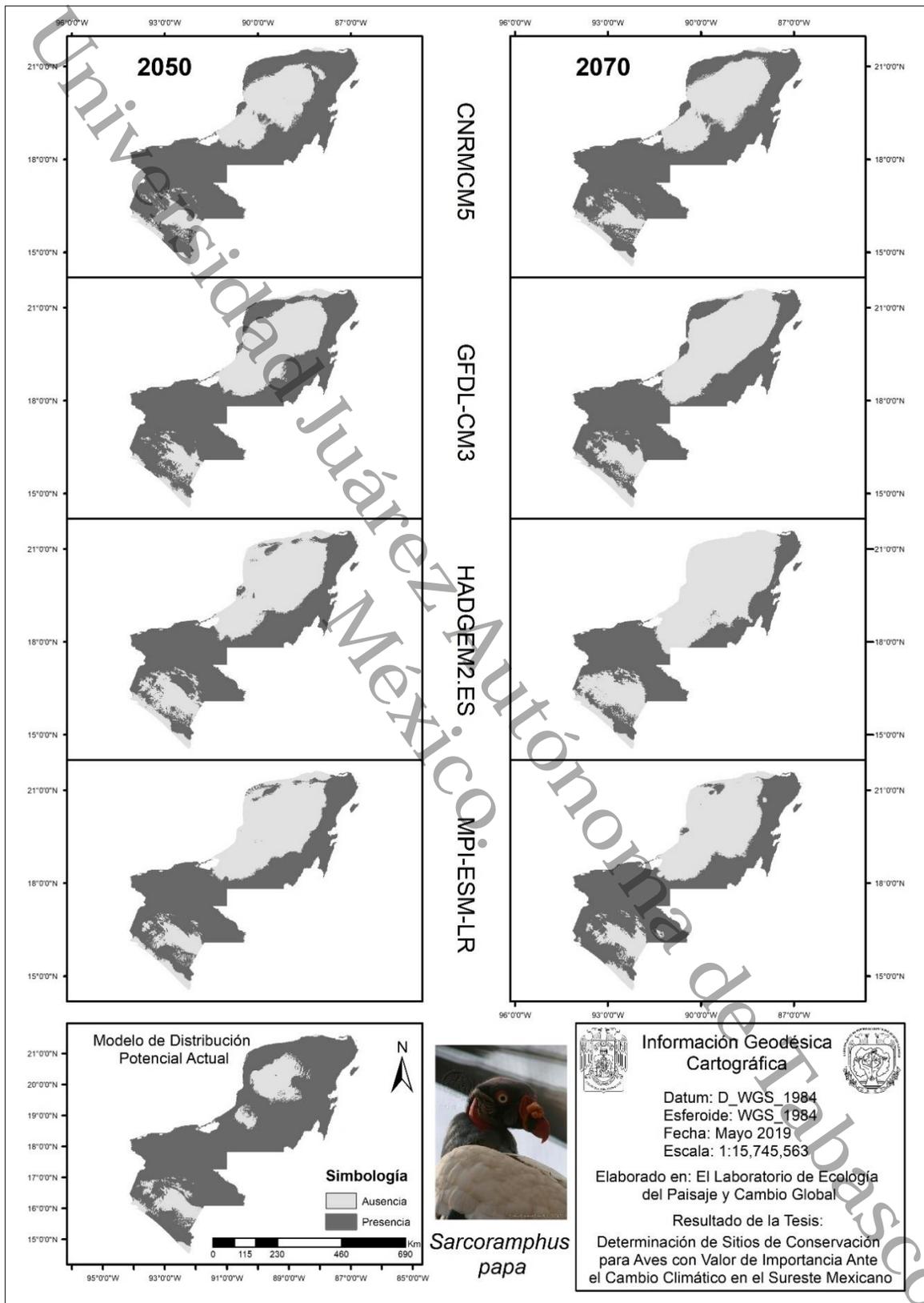


Figura 26.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Sarcoramphus papa*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

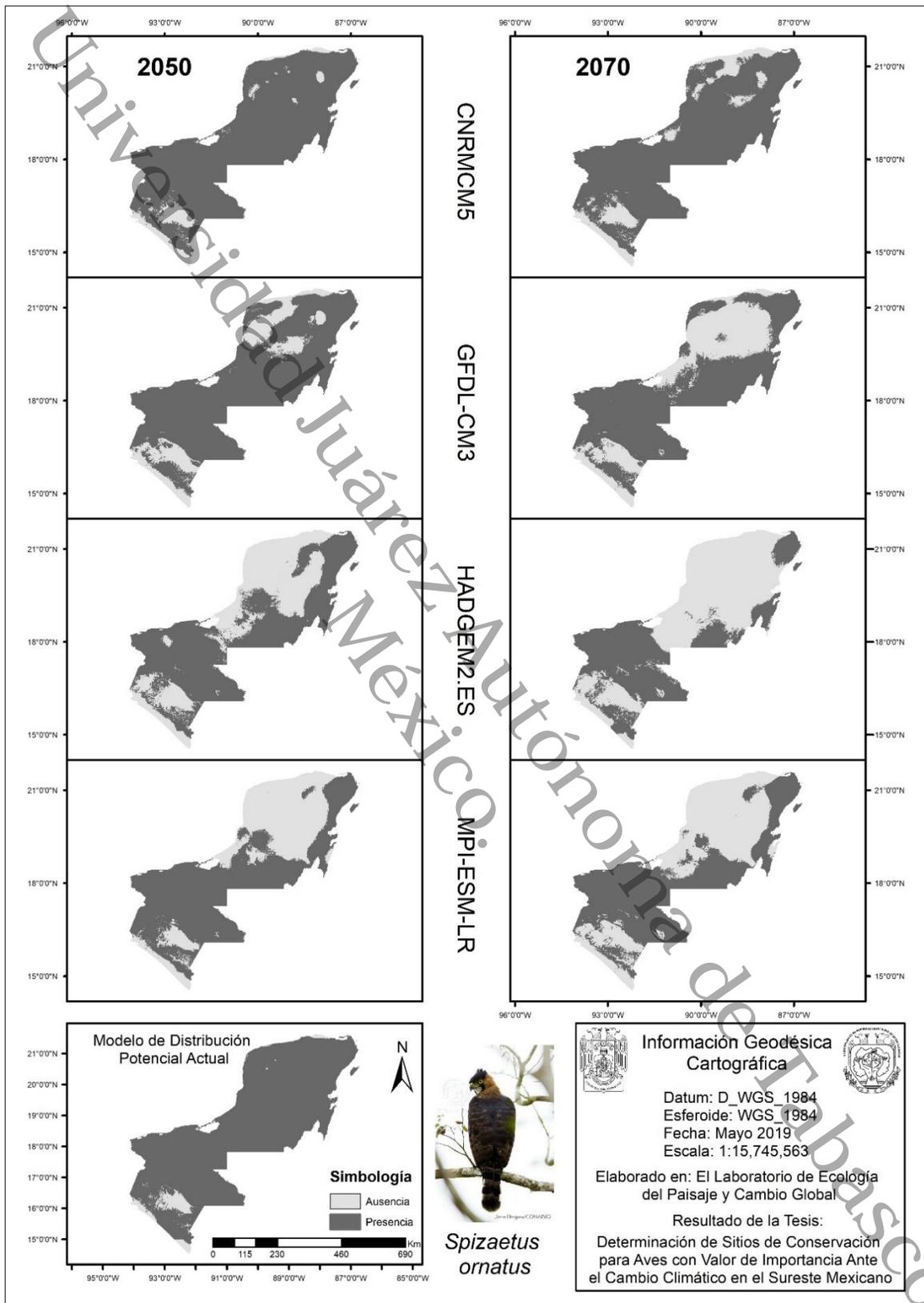


Figura 27.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Spizaetus ornatus*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

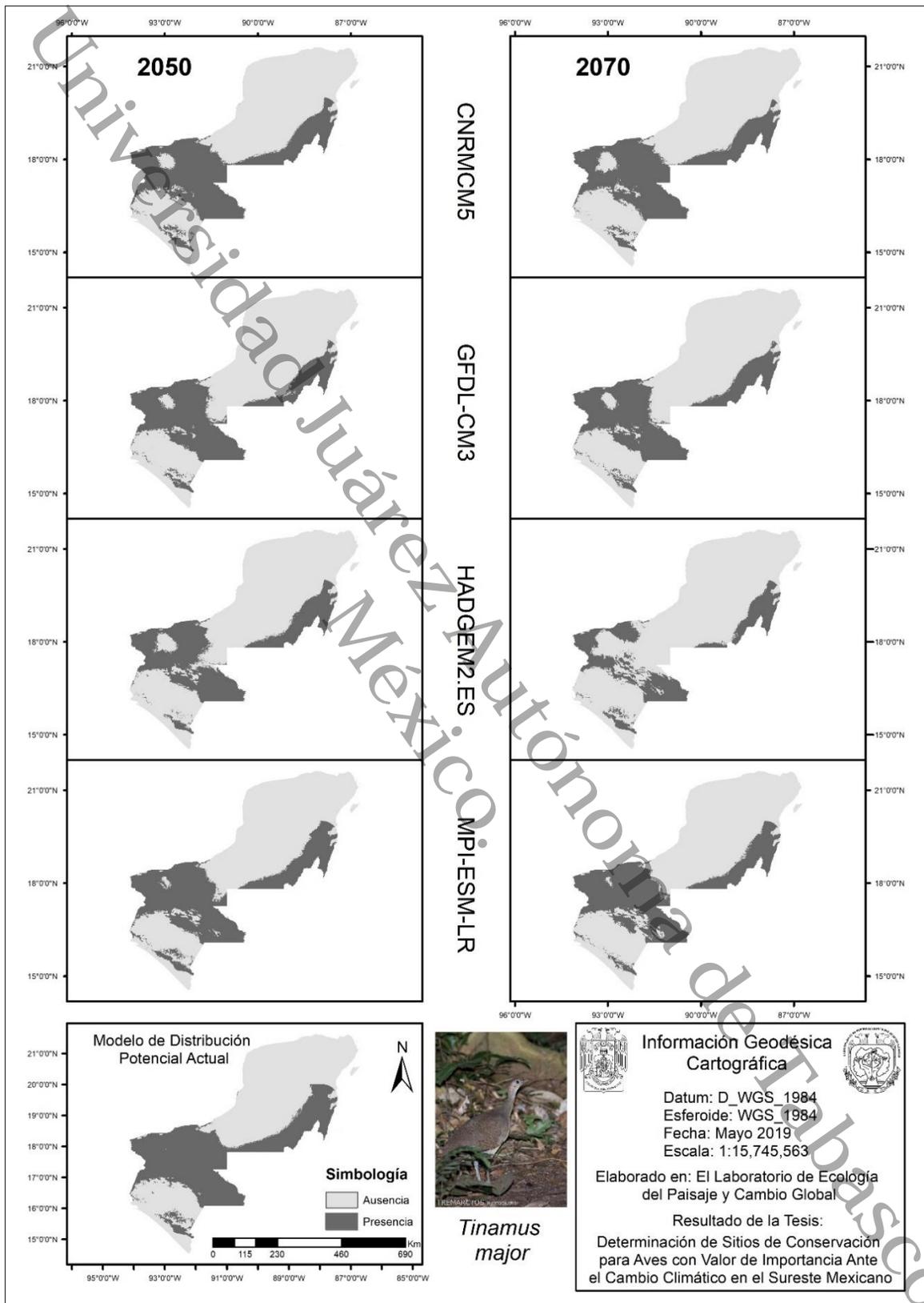


Figura 28.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Tinamus major*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

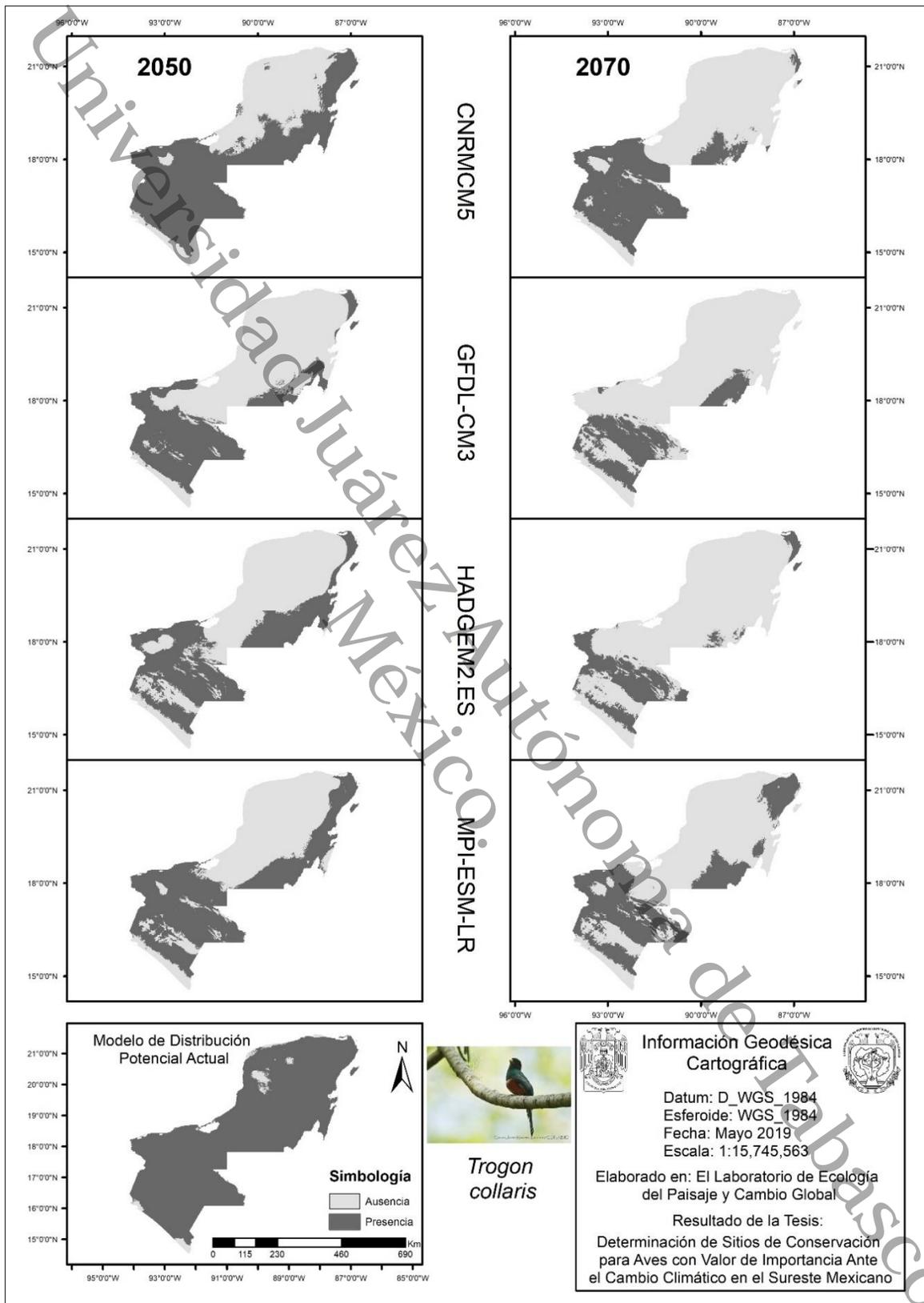


Figura 29.- Mapa de modelos de distribución potencial del *Trogon collaris*, en el escenario RCP8.5, con cuatro MCG para el Sureste de México.

Anexo 4.-

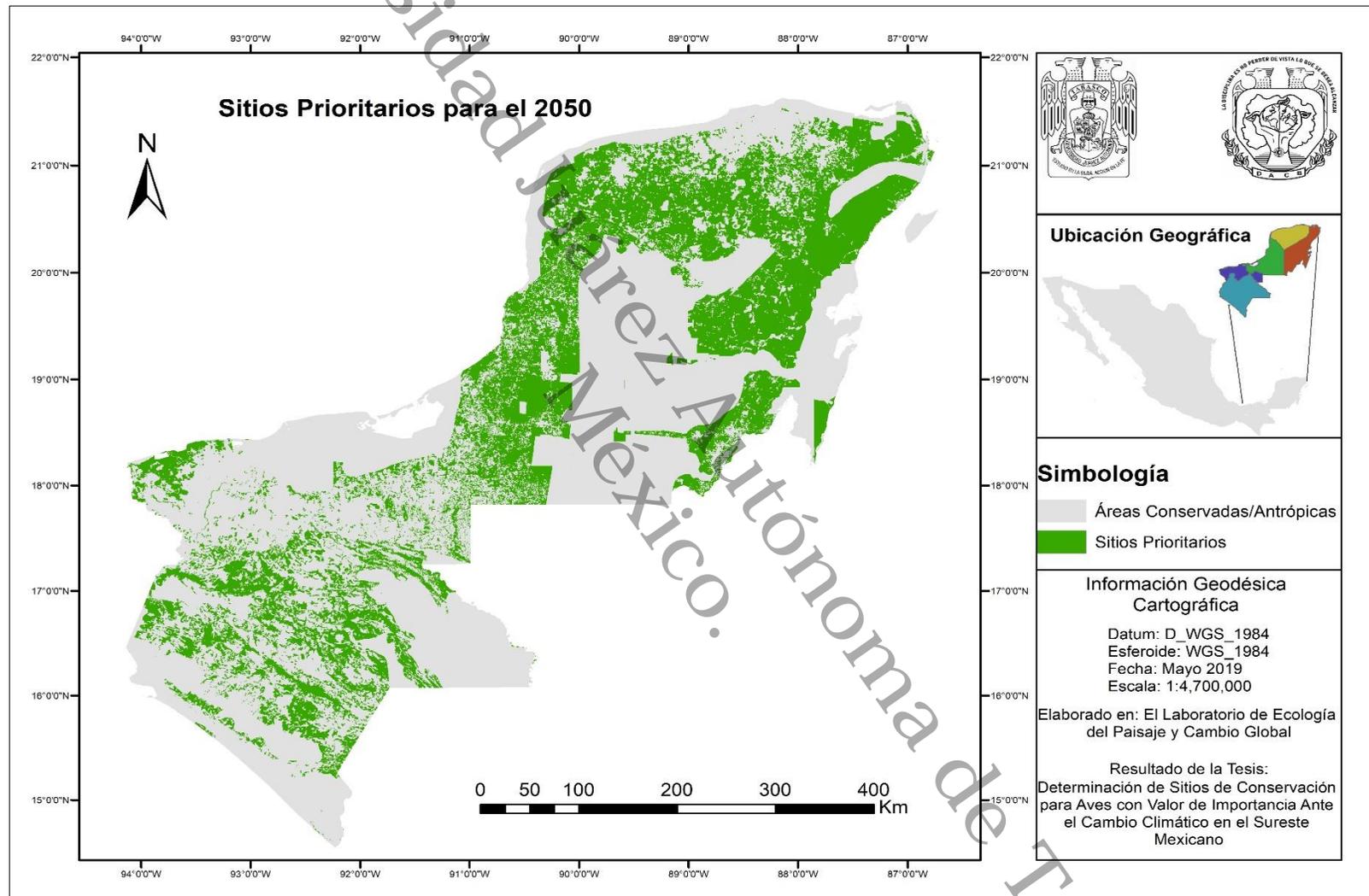


Figura 1.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación de las aves del sureste de México para el 2050.

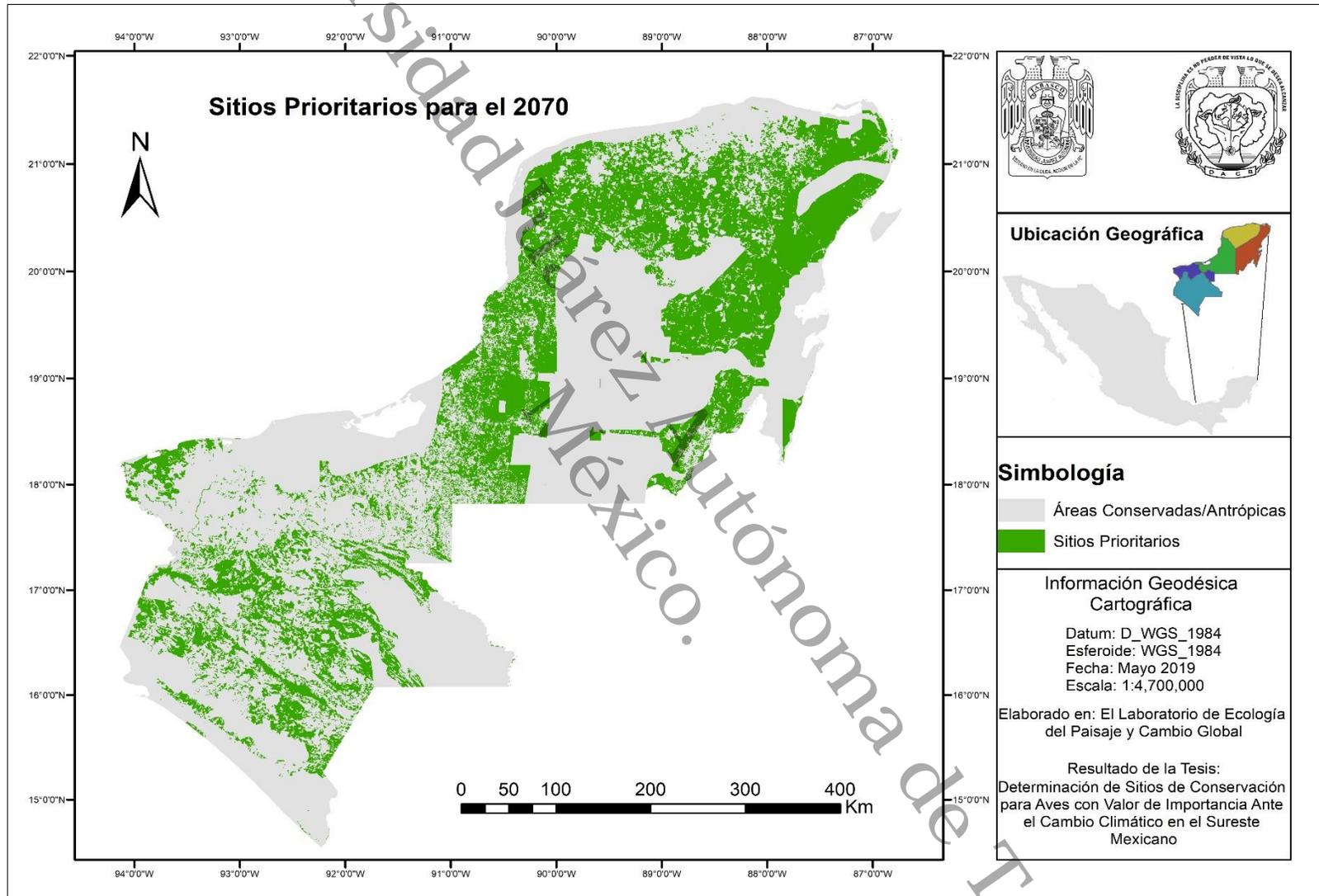


Figura 2.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación de las aves del sureste de México para el 2070.

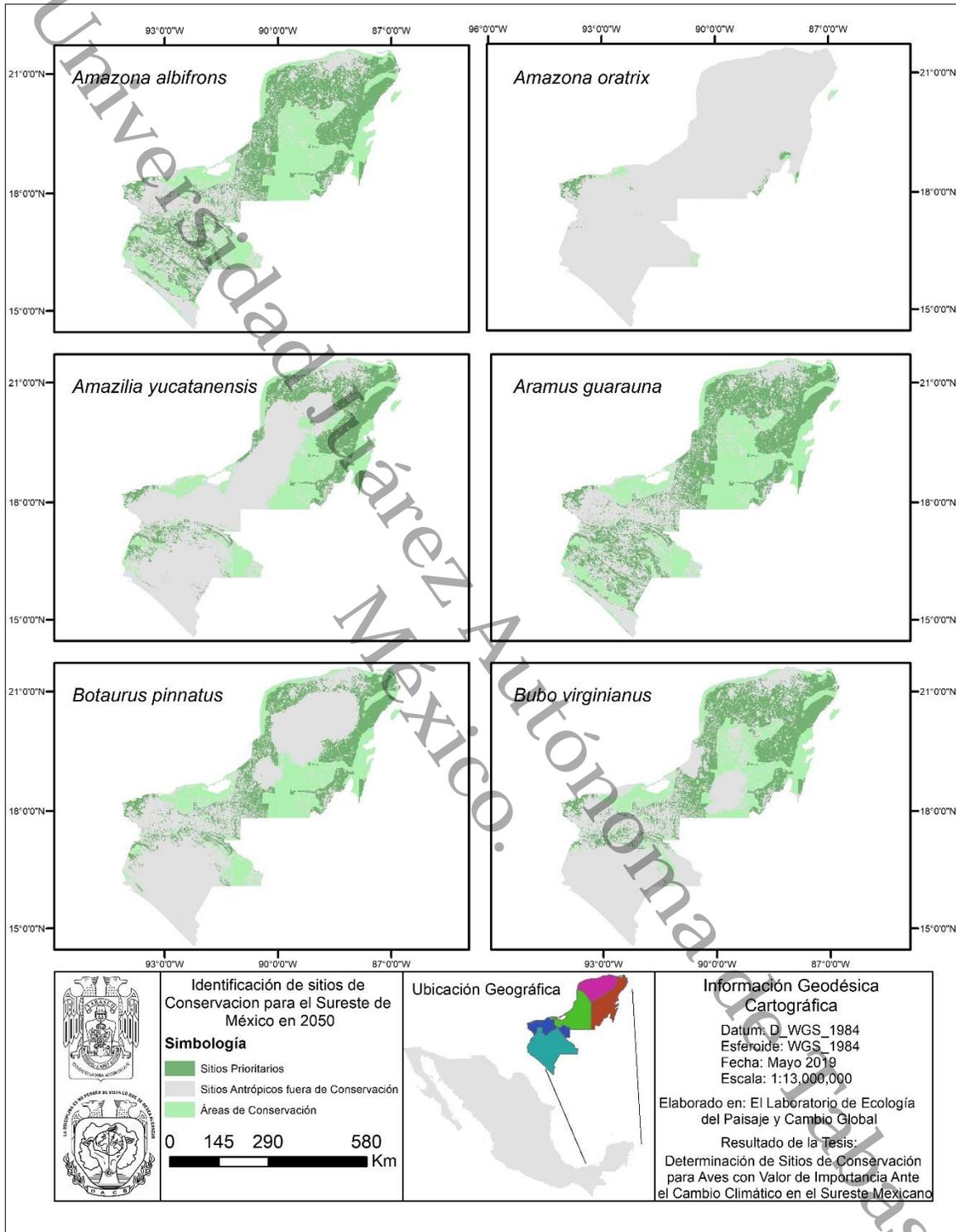


Figura 3.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050.

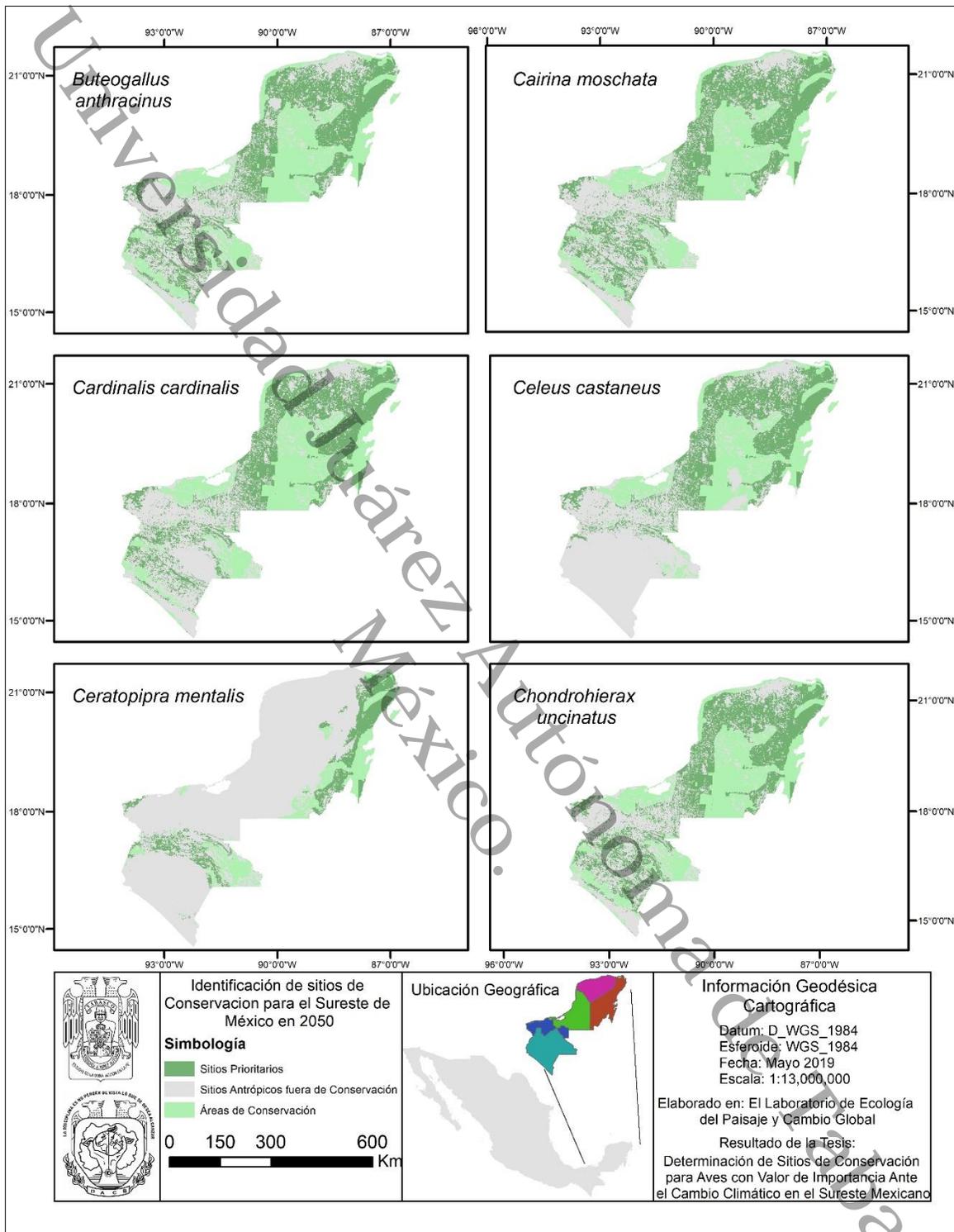


Figura 4.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050.

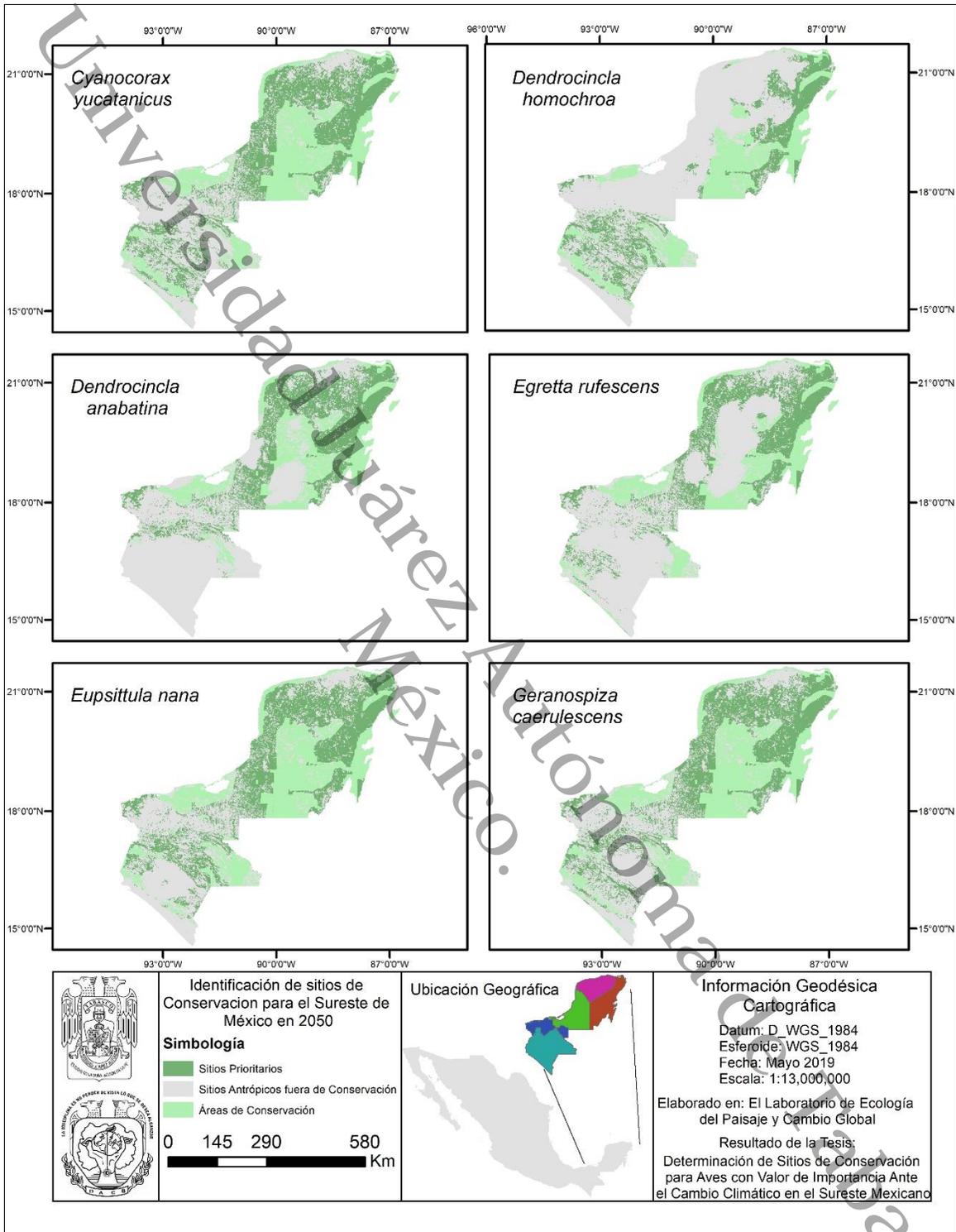


Figura 5.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050.

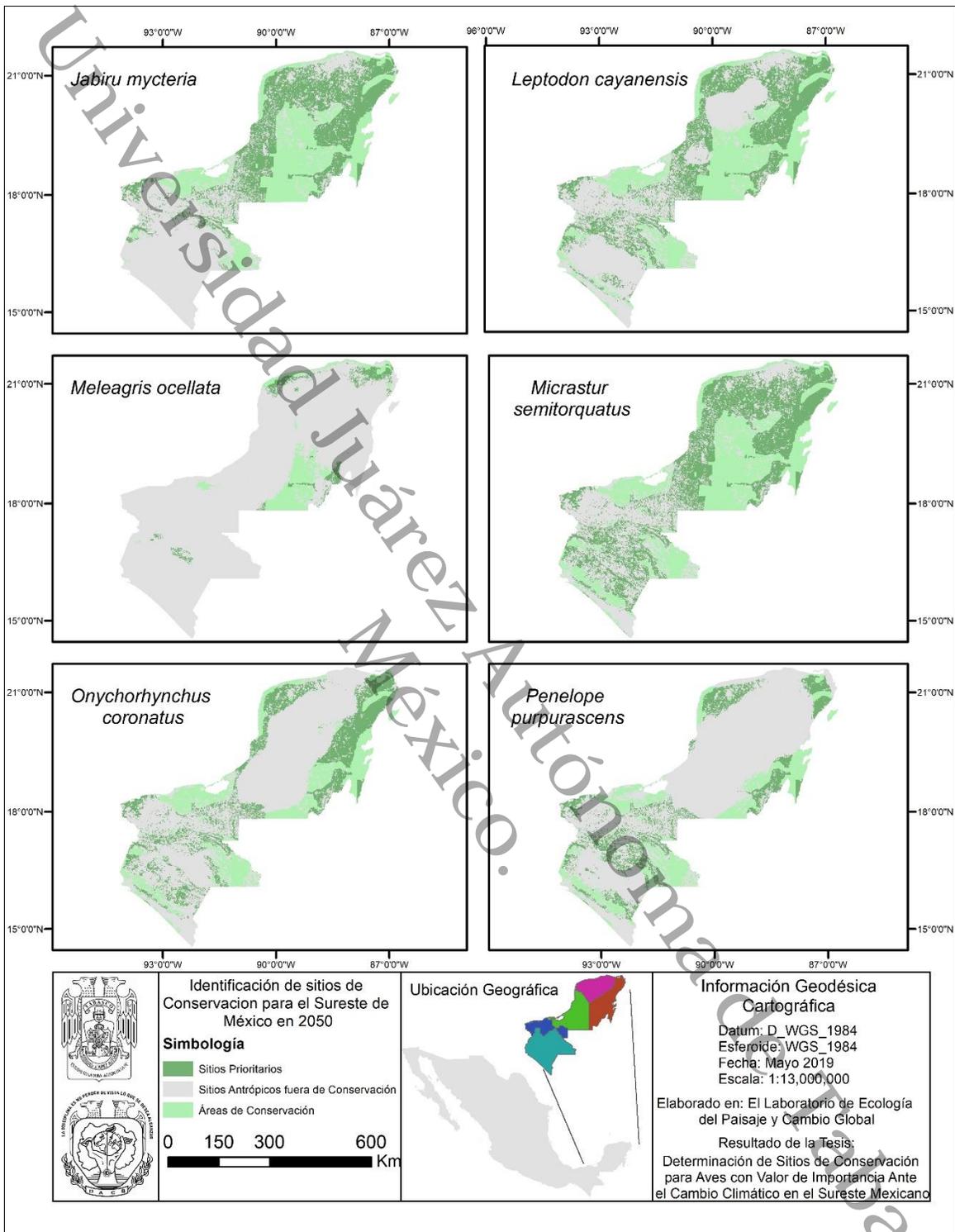


Figura 6.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050.

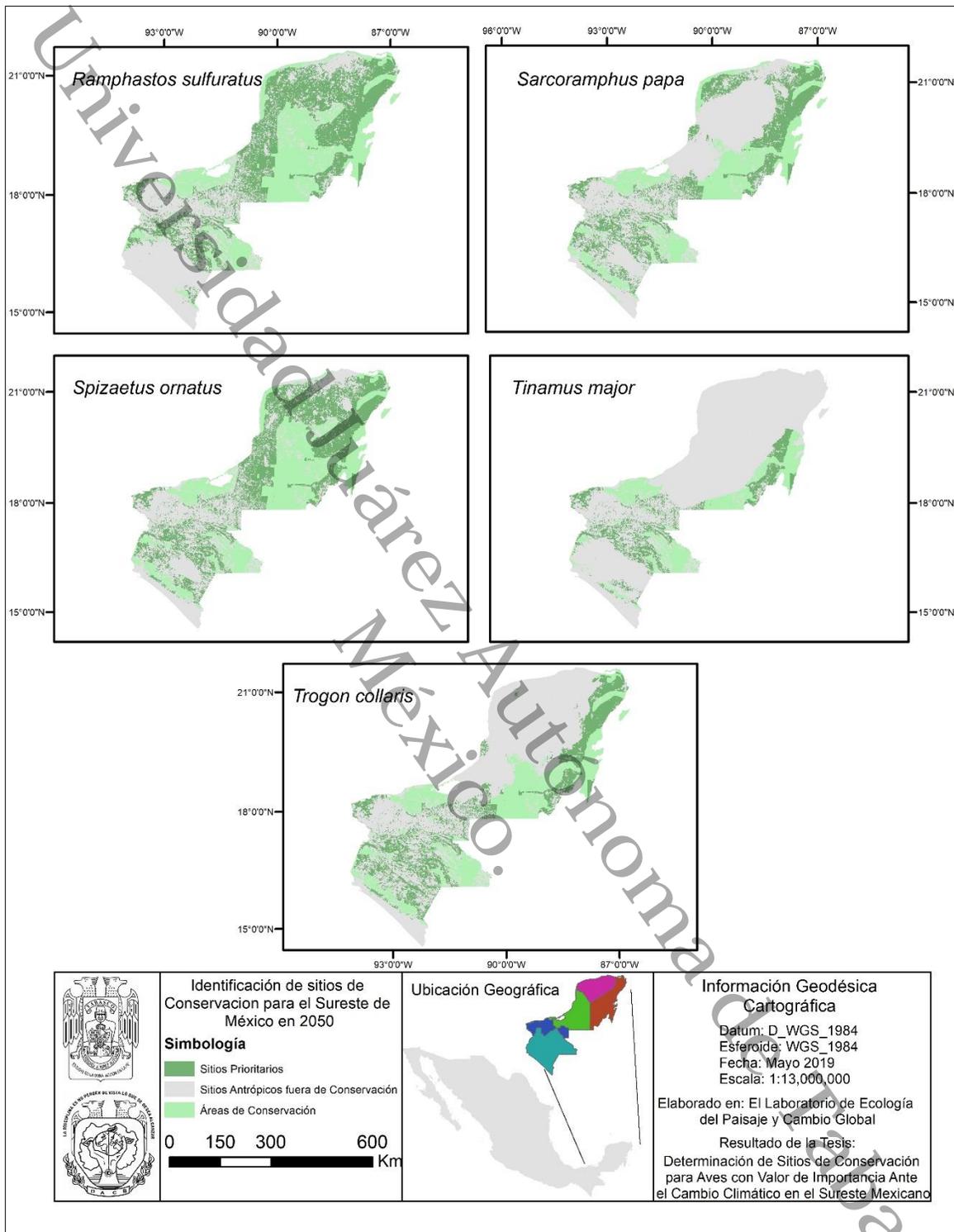


Figura 7.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2050.

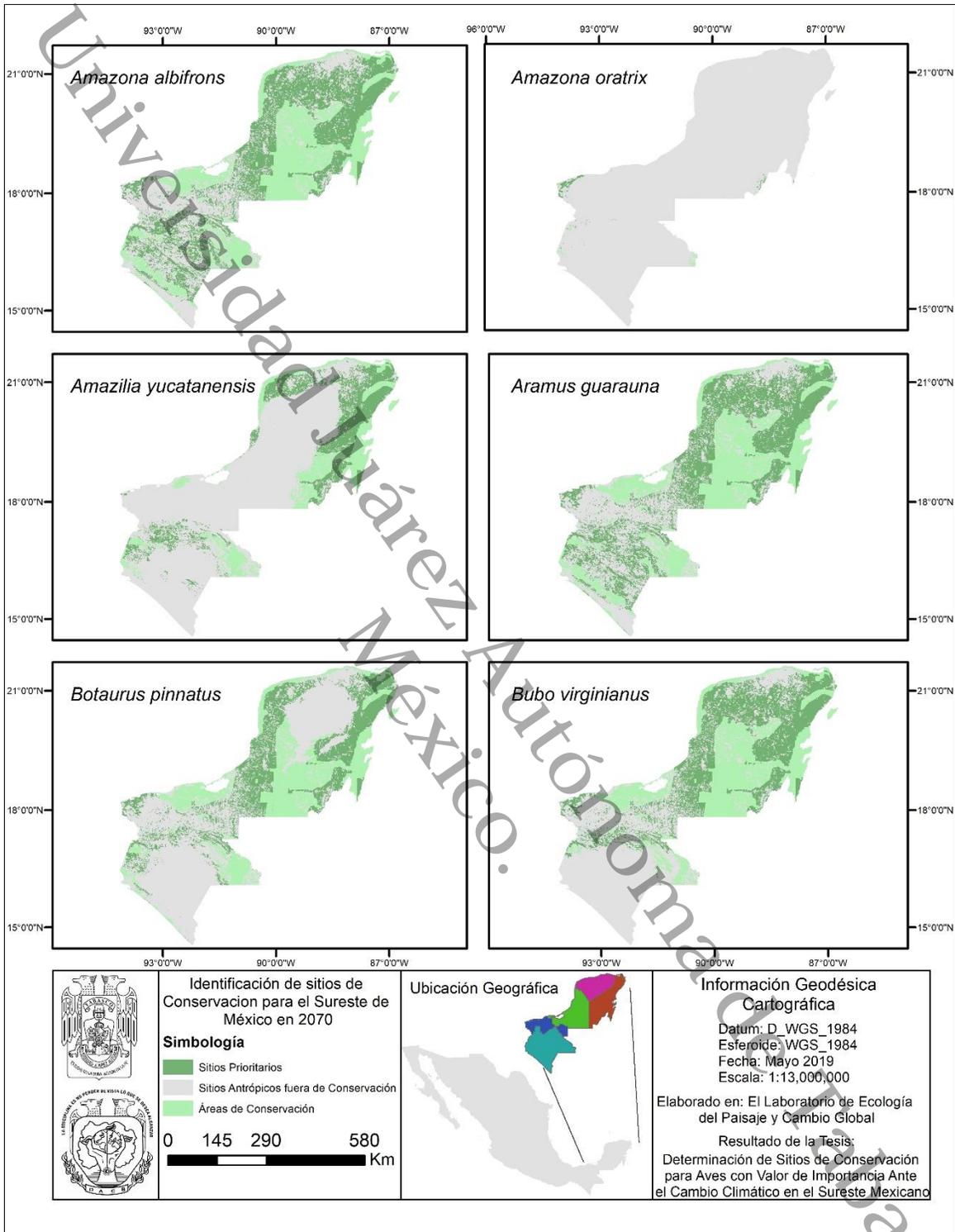


Figura 8.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070.

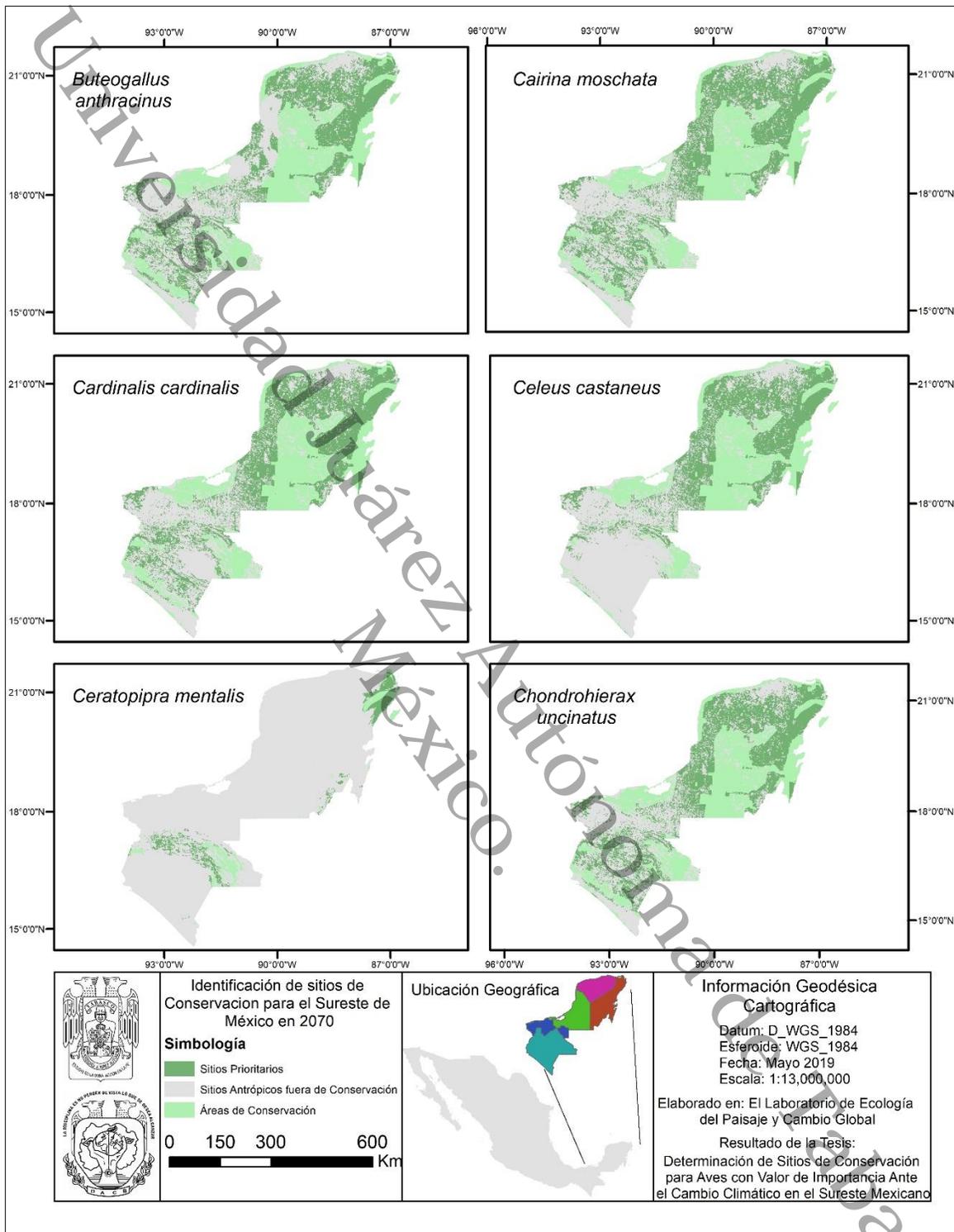


Figura 9.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070.

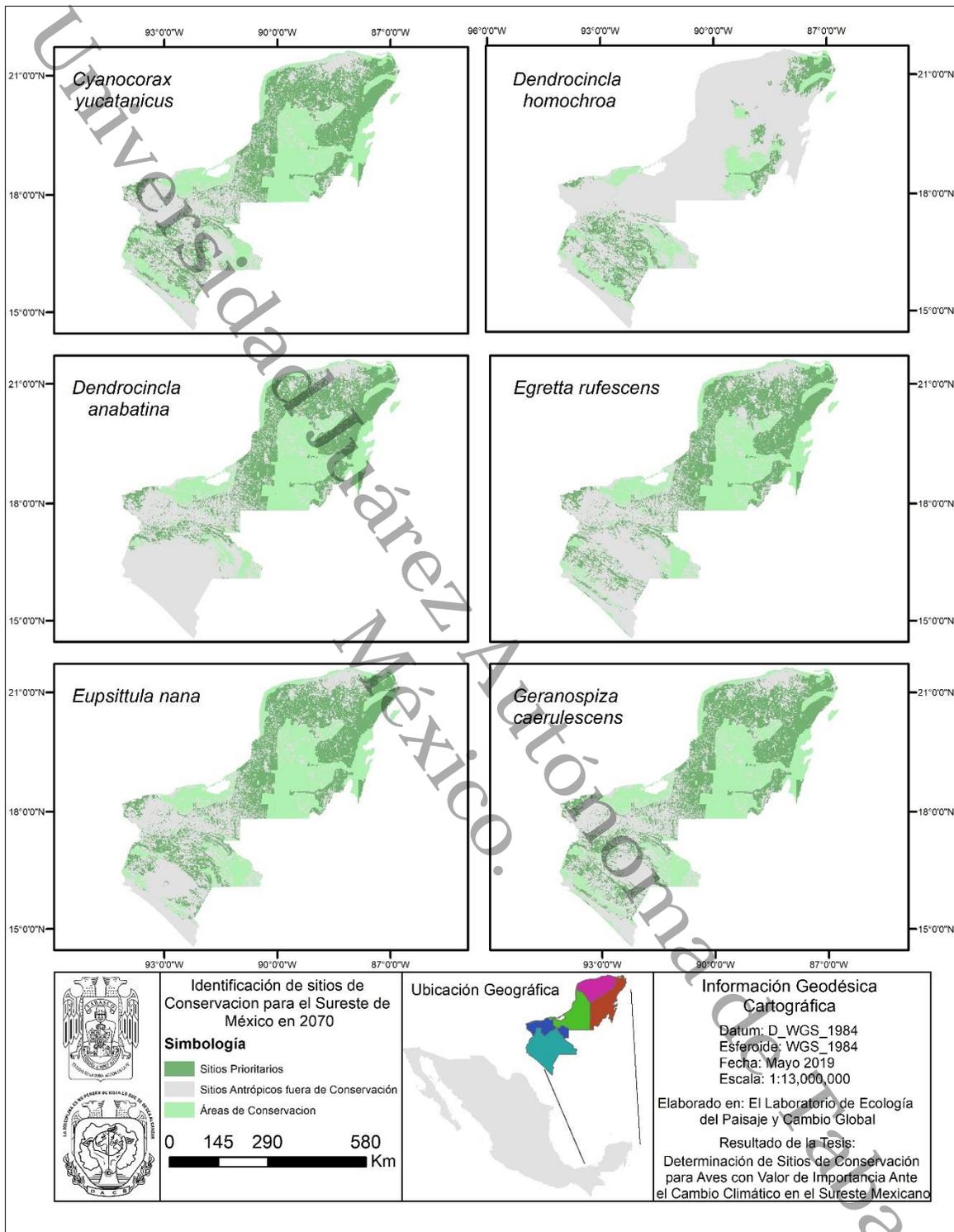


Figura 10.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070.

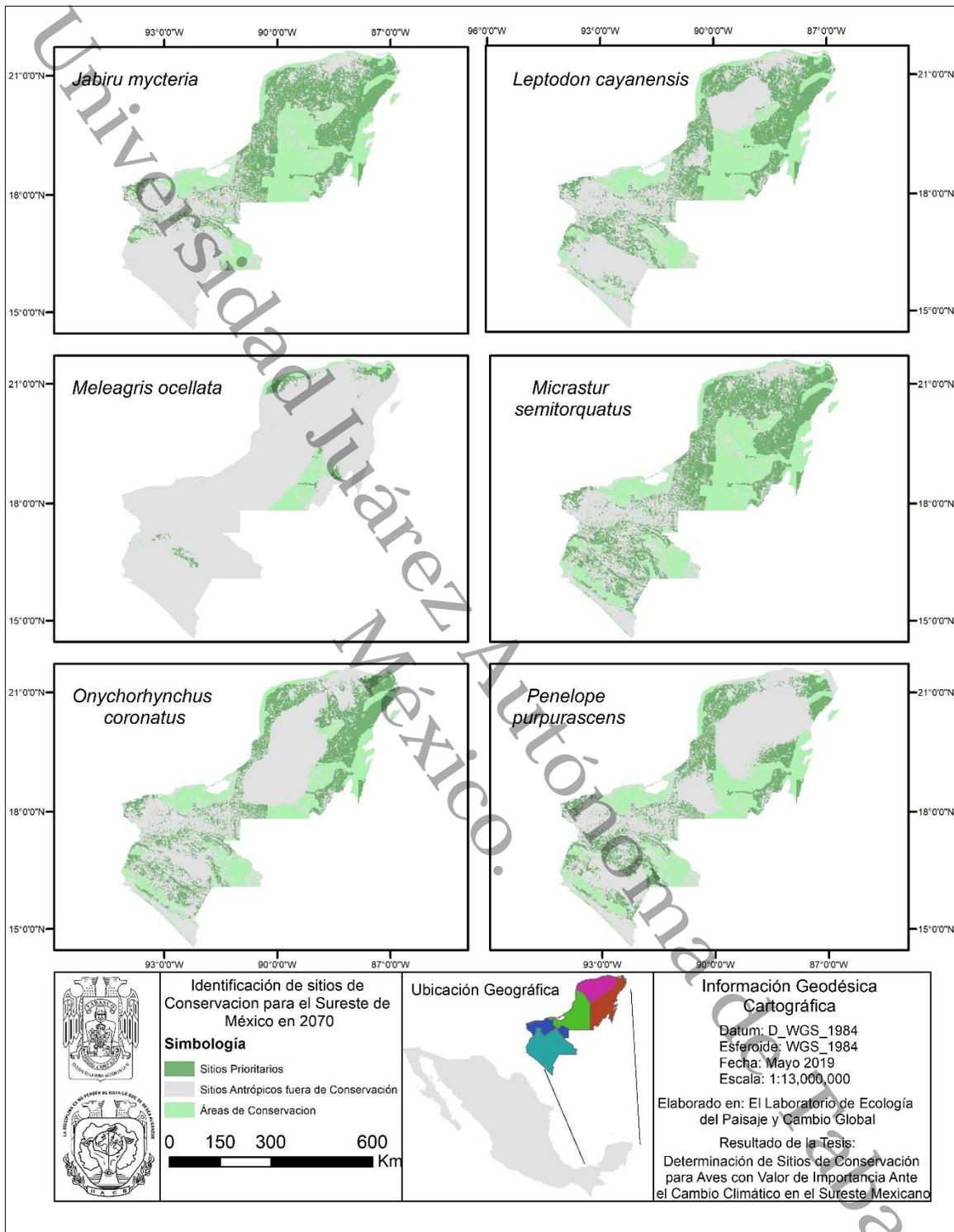


Figura 11.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070.

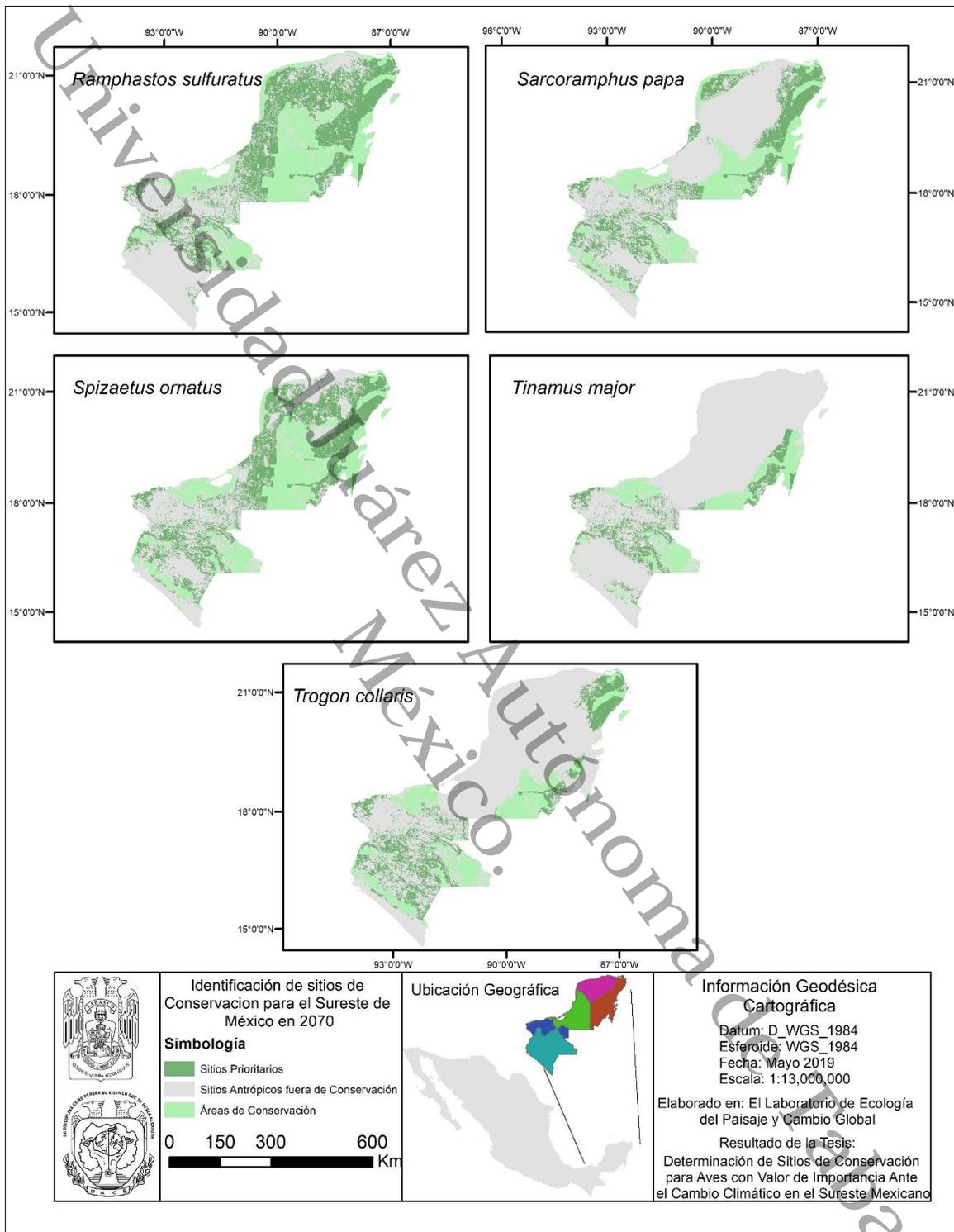


Figura 12.- Identificación de Sitios Prioritarios para la conservación dentro del área de distribución potencial de las aves del sureste de México para el 2070.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Solo la naturaleza hace grandes obras sin esperar
recompensa alguna
Alexandr I. Herzen