



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Ciencias**

**DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS AVES COSTERAS DEL  
ATLÁNTICO MEXICANO PARA DETERMINAR ZONAS  
PRIORITARIAS DE CONSERVACIÓN**

**TESIS**

**Que para obtener el título de:**

**Licenciado en Manejo Sustentable de la Zona Costera**

**Presenta:**

**Luis Octavio Avalos Morales**

**Director de tesis:**

**Dra. Gabriela Mendoza González**

**Mérida, Yucatán 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## RESUMEN

Las aves costeras forman un interesante grupo que habita una vulnerable y estrecha franja de importancia socioecológica entre continente y mar. Con la finalidad de identificar zonas prioritarias de conservación para este grupo, se modeló la distribución potencial de 23 especies migratorias y residentes del Atlántico mexicano, consideradas bajo alguna categoría de conservación. Se utilizó el programa MaxEnt, el cual es un algoritmo de tipo correlativo que determina las relaciones entre variables ambientales y localidades de presencia de las especies. En el presente trabajo se utilizaron un total de 6,547 registros georreferenciados, obtenidos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), particularmente de la base de datos del Sistema Nacional sobre Biodiversidad (SNIB). Fueron utilizadas 26 variables climáticas pertenecientes a la base de datos de Woldclim 2.0. Se definieron nueve provincias costeras para considerar la movilidad de la especie y se generaron mapas consenso de acuerdo a la distribución potencial de aves residentes y migratorias en tres grandes grupos: a) Amplia distribución, b) Golfo de México y península de Yucatán y c) Península de Yucatán. Para las aves en alguna categoría de protección, los resultados indican que las áreas prioritarias de conservación en el golfo de México se encuentran en la porción norte de Tamaulipas, la porción sur-central de Veracruz y la porción este de Tabasco. En la península de Yucatán, se localizan en la porción noreste del estado de Campeche, la porción noreste del estado de Yucatán y las porciones norte y centro del estado de Quintana Roo. Este trabajo pretende contribuir a la generación de conocimiento respecto a las áreas prioritarias de conservación en las costas del Atlántico mexicano, brindando información que permita una gestión orientada a la preservación de los ecosistemas costeros y su aprovechamiento sustentable.

**Palabras claves:** Atlántico mexicano, aves costeras, especies protegidas, modelación de nicho ecológico, distribución de especies, áreas prioritarias de conservación.

## Índice

1. Introducción .....	1
2. Objetivos .....	7
2.1 Objetivo General .....	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
3. Materiales y métodos .....	8
3.1 Área de estudio .....	8
3.2 Datos biológicos .....	10
3.3 Variables ambientales .....	14
3.4 Selección de variables .....	15
3.5 Generación del modelo.....	16
3.6 Evaluación del modelo .....	16
3.7 Áreas prioritarias para la conservación.....	18
4. Resultados .....	19
4.1 Variables ambientales .....	19
4.1.1 Especies residentes .....	19
4.1.2 Amplia distribución .....	20
4.1.3 Golfo de México y península de Yucatán .....	22
4.1.4 Península de Yucatán .....	23
4.2.1 Especies migratorias.....	25
4.3 Áreas de distribución potencial.....	26
4.3.1 Especies residentes .....	26
4.3.2 Especies migratorias.....	27
4.4.3 Áreas prioritarias de conservación.....	28
4.5 Especies residentes .....	28
4.6 Especies migratorias.....	31
5. Discusión .....	39
5.1 Variables ambientales .....	39
5.1.1 Especies residentes .....	39
5.1.2 Especies migratorias.....	39
5.2 Áreas de distribución potencial.....	40
5.3 Áreas prioritarias de conservación.....	40
6. Conclusiones.....	46

7. Bibliografía .....	47
8. Anexo I.....	54
7.1 Variables ambientales de las especies migratorias.....	54
ANEXO II .....	65
7.2 ENMeval .....	65
7.2.1 ENMeval aves residentes .....	65
7.2.2 ENMeval aves migratorias.....	66
ANEXO III .....	70
7.3 Mapas de distribución potencial.....	70
7.3.1 Especies residentes .....	70
7.3.2 Especies migratorias.....	82
ANEXO IV .....	93
7.4 Evaluación de los modelos .....	93
7.4.1 Especies residentes .....	93
7.4.2 Especies migratorias.....	94

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Área de estudio: Atlántico mexicano (Golfo de México y Península de Yucatán). Provincias costeras: I) Golfo de México Norte; II) Golfo de México Norte-Central; III) Golfo de México Eje Neovolcánico; IV) Golfo de México Central; V) Golfo de México Tuxtlas; VI) Golfo de México Sur-Central; VII) Península de Yucatán Occidente,; VIII) Península de Yucatán Caribe Norte; IX) Península de Yucatán Caribe Sur. Tomado de Mendoza-González, en preparación.....	9
<b>Figura 2.</b> Variables de temperatura importantes para el grupo de especies costeras residentes de amplia distribución. BIO1 (a), BIO6 (b). .....	20
<b>Figura 3.</b> Variables de precipitación importantes para el grupo de especies costeras residentes de amplia distribución. BIO12 (a), BIO13 (b), BIO14 (c), BIO17 (d), BIO19 (e). .....	21
<b>Figura 4.</b> Variables de precipitación importantes para el grupo de especies costeras residentes del Golfo de México y la Península de Yucatán. BIO12(a), BIO13 (b), BIO16 (c), BIO18 (d).....	22
<b>Figura 5.</b> Variables de temperatura importantes para el grupo de especies costeras residentes de la península de Yucatán. BIO1 (a), BIO6 (b), BIO8 (c), BIO9 (d). BIO10 (e), BIO11 (f). .....	23
<b>Figura 6.</b> Variables de precipitación importantes para el grupo de especies costeras de la península de Yucatán. BIO12 (a), BIO13 (b), BIO16 (c), BIO17 (d), BIO18 (e), BIO19 (f). .....	24
<b>Figura 8.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves residentes del Golfo de México y la Península de Yucatán. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies del Golfo de México y Península de Yucatán: <i>S. antillarum</i> y <i>D. eliza</i> . .....	29
<b>Figura 9.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves residentes de la Península de Yucatán. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies de la Península de Yucatán: <i>C. yucatanicus</i> , <i>C. forficatus</i> , <i>E. martinica</i> , <i>P. ruber</i> , <i>Z. aurita</i> , <i>T. guttatum</i> y <i>S. zena</i> . ....	30
<b>Figura 10.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de septiembre. El gradiente de colores representa el número de especies migratorias: <i>C. alba</i> , <i>I. exilis</i> , <i>C. nivosus</i> , <i>C. wilsonia</i> , <i>C. niger</i> , <i>E. rufescens</i> , <i>P. haliaetus</i> , <i>P. erythrorhynchos</i> , <i>G. nilotica</i> , <i>H. palliatus</i> , <i>C. canutus</i> . .....	31
<b>Figura 11.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de octubre. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: <i>C. alba</i> , <i>I. exilis</i> , <i>C. nivosus</i> , <i>C. wilsonia</i> , <i>C. niger</i> , <i>E. rufescens</i> , <i>P. haliaetus</i> , <i>P. erythrorhynchos</i> , <i>G. nilotica</i> , <i>H. palliatus</i> , <i>C. canutus</i> . .....	32
<b>Figura 12.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de noviembre. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: <i>C. alba</i> , <i>I. exilis</i> , <i>C. nivosus</i> , <i>C. wilsonia</i> , <i>C. niger</i> , <i>E. rufescens</i> , <i>P. haliaetus</i> , <i>P. erythrorhynchos</i> , <i>G. nilotica</i> , <i>H. palliatus</i> , <i>C. canutus</i> . .....	33
<b>Figura 13.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de diciembre. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: <i>C. alba</i> , <i>I. exilis</i> , <i>C. nivosus</i> , <i>C. wilsonia</i> , <i>C. niger</i> , <i>E. rufescens</i> , <i>P. haliaetus</i> , <i>P. erythrorhynchos</i> , <i>G. nilotica</i> , <i>H. palliatus</i> , <i>C. canutus</i> . .....	34
<b>Figura 14.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de enero. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: <i>C. alba</i> , <i>I. exilis</i> , <i>C. nivosus</i> , <i>C. wilsonia</i> , <i>C. niger</i> , <i>E. rufescens</i> , <i>P. haliaetus</i> , <i>P. erythrorhynchos</i> , <i>G. nilotica</i> , <i>H. palliatus</i> , <i>C. canutus</i> . .....	35

<b>Figura 15.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de febrero. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: <i>C. alba</i> , <i>I. exilis</i> , <i>C. nivosus</i> , <i>C. wilsonia</i> , <i>C. niger</i> , <i>E. rufescens</i> , <i>P. haliaetus</i> , <i>P. erythrorhynchos</i> , <i>G. nilotica</i> , <i>H. palliatus</i> , <i>C. canutus</i> .....	36
<b>Figura 16.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de marzo. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: <i>C. alba</i> , <i>I. exilis</i> , <i>C. nivosus</i> , <i>C. wilsonia</i> , <i>C. niger</i> , <i>E. rufescens</i> , <i>P. haliaetus</i> , <i>P. erythrorhynchos</i> , <i>G. nilotica</i> , <i>H. palliatus</i> , <i>C. canutus</i> .....	37
<b>Figura 17.</b> Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de abril. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: <i>C. alba</i> , <i>I. exilis</i> , <i>C. nivosus</i> , <i>C. wilsonia</i> , <i>C. niger</i> , <i>E. rufescens</i> , <i>P. haliaetus</i> , <i>P. erythrorhynchos</i> , <i>G. nilotica</i> , <i>H. palliatus</i> , <i>C. canutus</i> .....	38
<b>Figura 18.</b> Mapa consenso del estado de la energía eólica del Atlántico mexicano y ANP's. Las Zonas calificadas con alto potencial eólico, son aquellas zonas alejadas de la Red Nacional de Transmisión (RNT) que poseen una alta calidad de viento para generar energía eólica, estas zonas pretenden fungir como directrices en la planeación para la instalación de nueva infraestructura, el gradiente de colores representa las zonas con condiciones aptas para la generación de energía eólica, siendo el color rojo las zonas más aprovechables. Los inventarios de generación eólica representan los sitios con producción de energía en operación. El inventario de potencial probado son los sitios que se encuentran próximos a operar o que están en construcción. Mapa de elaboración propia con datos obtenidos de: El Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (SENER, 2017). .....	42
<b>Figura 19.</b> Mapas consenso de las aves residentes y polígonos de ANP's. A) Amplia distribución, B) Golfo de México y Península de Yucatán, C) Península de Yucatán. El gradiente de colores representa el número de especies, el polígono morado representa las ANP's costeras: 1) Laguna Madre y Delta del Rio Bravo, 2) Los Tuxtlas, 3) Pantanos de Centla, 4) Laguna de Términos, 5) Los Petenes, 6) Ría Celestún, 7) Ría Lagartos, 8) Yum Balam, 9) Manglares de Nichupté, 10) Reserva de la Biosfera Caribe mexicano, 11) Arrecifes de Cozumel, 12) Arrecifes de Sian Kaán. .	43
<b>Figura 20.</b> Mapas consenso de las aves migratorias y polígonos de ANP's: .A) Septiembre, B) Octubre, C) Noviembre, D) Diciembre, E) Enero, F) Febrero, G) Marzo, H) Abril. El gradiente de colores representa el número de especies. El polígono morado representa las ANP's costeras: 1) Laguna Madre y Delta del Rio Bravo, 2) Los Tuxtlas, 3) Pantanos de Centla, 4) Laguna de Términos, 5) Los Petenes, 6) Ria Celestún, 7) Ria Lagartos, 8) Yum Balam, 9) Manglares de Nichupté, 10) Reserva de la Biosfera Caribe mexicano, 11) Arrecifes de Cozumel, 12) Arrecifes de Sian Kaán. ....	44
<b>Figura 21.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>C. alba</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g) .....	54
<b>Figura 22.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>C. canutus</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g) .....	55
<b>Figura 23.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>C. nivosus</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g). .....	56
<b>Figura 24.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>C. wilsonia</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).....	57

<b>Figura 25.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>C. niger</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g). .....	58
<b>Figura 26.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>E. rufescens</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).....	59
<b>Figura 27.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>G. nilotica</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g). .....	60
<b>Figura 28.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>H. palliatus</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).....	61
<b>Figura 29.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>I. exilis</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g). .....	62
<b>Figura 30.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>P. haliaetus</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).....	63
<b>Figura 31.</b> Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie <i>P. erythrorhynchos</i> . Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).....	64
<b>Figura 32.</b> Distribución potencial de <i>P. ajaja</i> . .....	70
<b>Figura 33.</b> Distribución potencial de <i>M. americana</i> .....	71
<b>Figura 34.</b> Distribución potencial de <i>T. mexicanum</i> .....	72
<b>Figura 35.</b> Distribución potencial de <i>S. antillarum</i> . .....	73
<b>Figura 36.</b> Distribución potencial de <i>D. eliza</i> .....	74
<b>Figura 37.</b> Distribución potencial de <i>C. yucatanicus</i> . .....	75
<b>Figura 38.</b> Distribución potencial de <i>C. forficatus</i> . .....	76
<b>Figura 39.</b> Distribución potencial de <i>E. martinica</i> . .....	77
<b>Figura 40.</b> Distribución potencial de <i>P. ruber</i> .....	78
<b>Figura 41.</b> Distribución potencial de <i>Z. aurita</i> . .....	79
<b>Figura 42.</b> Distribución potencial de <i>T. guttatum</i> .....	80
<b>Figura 43.</b> Distribución potencial de <i>S. zena</i> .....	81
<b>Figura 44.</b> Distribución potencial de <i>C. alba</i> . La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. ....	82
<b>Figura 45.</b> Distribución potencial de <i>I. exilis</i> . La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. ....	83
<b>Figura 46.</b> Distribución potencial de <i>C. nivosus</i> . La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. ....	84
<b>Figura 47.</b> Distribución potencial de <i>C. wilsonia</i> . La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. ....	85

- Figura 48.** Distribución potencial de *C. niger*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. .... 86
- Figura 49.** Distribución potencial de *E. rufescens*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. .... 87
- Figura 50.** Distribución potencial de *P. haliaetus*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. .... 88
- Figura 51.** Distribución potencial de *P. erythrorhynchos*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. .... 89
- Figura 52.** Distribución potencial de *G. nilotica*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. .... 90
- Figura 53.** Distribución potencial de *H. palliatus*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. .... 91
- Figura 54.** Distribución potencial de *C. canutus*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias. .... 92

## 1. Introducción

La zona costera ha sido identificada como uno de los ambientes que posee los ecosistemas más diversos y productivos del planeta (IPCC, 2001). La zona costera (incluyendo el sistema costero y marino) ofrece numerosos bienes y servicios ecosistémicos, por lo cual se considera a esta porción de gran importancia para la humanidad (Martínez *et al.*, 2007). Entre los principales beneficios a la humanidad destacan: generar el 25% de la productividad primaria, el 95% de la productividad pesquera, el 80% de producción de carbonatos, 50% de la desnitrificación y el 90% de la mineralización de sedimentos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Asimismo, varios ecosistemas costeros, como los manglares, playas y dunas contribuye en la regulación del clima y ofrece protección a los continentes ante desastres naturales como los huracanes, las inundaciones y la erosión (Martínez *et al.*, 2007). Además, concentra el 40% de la población humana del planeta entre los 100 kilómetros desde la línea de costa (IOC/UNESCO, IMO, FAO, UNDP, 2011).

México posee 11,122 kilómetros de línea de costa distribuidos en 17 estados costeros, dentro de los cuales se encuentran ecosistemas como los estuarios, manglares, humedales, lagunas costeras, arrecifes y dunas costeras (Lara-Lara *et al.*, 2008). Al ser un país con grandes áreas costeras depende en gran medida de las actividades económicas que ahí se realizan (SEMARNAT, 2015). Durante el periodo comprendido entre 2003 y 2013 los estados de la costa del país contribuyeron con el 43% del Producto Interno Bruto (del cual los estados del Caribe y el Golfo de México contribuyeron con el 20% y los estados del pacifico con el 23%) (SEMARNAT, 2015). Además, existe una tendencia orientada a una alta ocupación de asentamientos humanos en la zona costera, lo que podría aumentar la proporción aportada al Producto Interno Bruto en el futuro. En el año 2010 se reportaron 51 900 847 habitantes en la zona costera del país, siendo 7.25 millones de personas más que en el año 2000 (CIMARES, 2011). Las proyecciones de CONAPO (2006) indican que para el año 2030 la población aumentará a los 55 millones en la zona costera del país. No obstante, la migración hacia las costas ha sido identificada como responsable de la pérdida de ecosistemas por el cambio de uso de suelo que requiere y por la demanda de recursos locales para el desarrollo de infraestructura o de actividades productivas como la ganadería y agricultura (SEMARNAT, 2016). La introducción de especies invasoras y la contaminación ambiental también son otros factores que la han afectado ampliamente (Challenger *et al.*, 2009) y en la actualidad la instalación de aerogeneradores (Zaldúa, 2012).

La energía eólica, como método de energía renovable fue reportada como la de mayor crecimiento a nivel mundial (Stewart *et al.*, 2005). Entre los años 2005 y 2015 el país presentó el mayor crecimiento en capacidad instalada con el 104.7% anual (SENER, 2016).

Se ha identificado que la instalación y operación de los aerogeneradores para la producción de energía eólica podría llegar a comprometer la conservación de la biodiversidad, ya que causa efectos adversos sobre numerosas especies, siendo las aves y los murciélagos los grupos más afectados (Erickson *et al.*, 2001; Atienza *et al.*, 2008).

Los principales impactos ambientales generados por la instalación y funcionamiento de los aerogeneradores son: las colisiones y la pérdida o destrucción del hábitat (Atienza *et al.*, 2008). Las colisiones se originan a partir de la falta de capacidad de las aves de esquivar las aspas de los aerogeneradores o sus elementos asociados como el cableado eléctrico (Zaldúa, 2012). Las colisiones dependerán de la experiencia de los organismos para evadir los aerogeneradores y su habituación a ellos (Madsen & Boertmann, 2008), así como de la abundancia y densidad de los individuos ya que la mortalidad aumenta conforme aumenta la densidad (Barrios & Rodriguez, 2004; Stewart *et al.*, 2005).

Por otro lado, la pérdida o destrucción del hábitat por fragmentación generados por la instalación de aerogeneradores producen un mayor impacto en las aves que por eventos de colisiones (Kuvlesky *et al.*, 2007), debido a que la instalación de aerogeneradores en zonas no perturbadas supone la fragmentación y la pérdida directa e indirecta del hábitat. Entre los factores identificados como impactos en las aves costeras por instalación de aerogeneradores se encuentran: el ruido durante la instalación, mantenimiento y funcionamiento de los aerogeneradores, la construcción de caminos y carreteras para acceder a los aerogeneradores, instalación de líneas de transmisión eléctrica y construcción de edificios (Kuvlesky *et al.*, 2007; Zaldúa, 2012).

Se ha identificado que las especies con más riesgo son las especies de aves acuáticas, como: las costeras, los gansos, las rapaces y las aves migratorias, debido a que poseen una visión binocular reducida que les genera puntos ciegos en su campo de visión (Zaldúa, 2012). La instalación de aerogeneradores en la zona costera vulnera en gran medida a las especies de aves que se distribuyen ahí, debido a que la cercanía a cuerpos de agua incrementa el riesgo de muerte por colisión (Erickson *et al.*, 2001), lo que supone que las aves se desplacen a otras localidades debido a los impactos generados a partir de la instalación de aerogeneradores (Larsen & Madsen, 2000; Madsen & Boertmann, 2008). Los valores de desplazamiento para algunas especies van desde los 100 a 200 metros (Larsen & Madsen, 2000; Madsen & Boertman, 2008) hasta los 800 metros (Drewitt &

Langston, 2006). Los aerogeneradores también pueden afectar la distribución de las aves, funcionando como una barrera que impide el libre flujo en rutas de vuelo que eran habituales para la especie (Walker *et al.*, 2005; Drewitt & Langston, 2006).

Las aves en la zona costera proveen numerosas funciones y servicios ecosistémicos, como: contribuir a la reforestación a través de la dispersión de semillas, descomposición de materia orgánica, contribuir a la depredación de vertebrados e invertebrados que podrían convertirse en plaga, polinizan las flores de varias especies de plantas, transportan nutrientes (Sodhi *et al.*, 2011), y sirven de alimento para consumo humano (Sekercioglu, 2006). Asimismo, se reconocen como especies sombrilla (Lambeck, 1997), ya que sus requerimientos engloban las necesidades de otras especies y grupos taxonómicos. Es por lo anterior, que al conservar a las aves se conserva también a otras especies (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2011). A su vez, son identificadas como especies clave debido a la importancia de sus funciones ecológicas (Stolen *et al.*, 2004) y que pueden servir como indicadores de salud del ecosistema, ya que algunas especies son muy susceptibles a cambios mínimos en el entorno y su ausencia puede indicar algún grado de perturbación en el ambiente (Bryce & Hughes 2002), como en el caso de los humedales (Green & Figuerola, 2003) y sistemas estuarinos (Stolen *et al.*, 2014).

Además las aves poseen un gran valor cultural e histórico para México, la conservación de aves en el país se remonta al siglo XVI en los tiempos del emperador Moctezuma, quien se sabe que mantenía y protegía un aviario (Sahagún, 1829), asimismo las aves se encuentran en nuestra música, folklore, son ampliamente utilizadas como mascotas y están presentes en nuestra bandera nacional, también son bien reconocidas por la gente y pueden atraer el apoyo popular, por lo que se consideran insignias para la conservación (Ogden *et al.*, 2014).

México posee alrededor de 1 123 especies de aves, lo que representa el 11% en comparación con las 10 500 especies reportadas a nivel mundial, es el octavo lugar en riqueza avifaunística de entre los países megadiversos del mundo (Navarro *et al.*, 2014). Se ha identificado que los estados costeros del Atlántico mexicano concentran la mayor riqueza de especies de aves del país, (Llorente-Bousquets & Oegueda, 2008; Navarro *et al.*, 2014). No obstante, también se ha identificado que las poblaciones de las especies de aves del país están declinando (Ortiz-Pulido *et al.*, 2016), el país posee entre el 26% al 33% de su avifauna en alguna categoría de conservación nacional o internacional (Navarro *et al.*, 2014).

Los ecosistemas presentes en la zona costera son frágiles, llegando a tener como consecuencia la pérdida de los servicios ecosistémicos que ofrecen una vez que son modificados por actividades

antropogénicas (Mendoza-González *et al.*,2012). Además, se ha identificado que en los países tropicales donde se concentra la mayor biodiversidad, también existe una mayor degradación ambiental (Malcolm & Ray, 2000). México al ser considerado un país megadiverso (SEMARNAT, 2016) es necesario contar con una línea base que pueda definir el estado de la biodiversidad del país para poder realizar propuestas de manejo de recursos naturales.

La conservación mundial de las porciones de territorio y de los recursos que residen en ellos se plantea formalmente con la creación de las Áreas Naturales Protegidas. Estas se definen como las zonas del territorio en la que la nación ejerce algún grado de jurisdicción sobre ambientes naturales que no han sido significativamente alterados por el ser humano, o que se ha identificado que requieren de algún grado de preservación o de restauración (CONANP, 2016). Mundialmente la conservación de porciones de territorio a partir de las Áreas Naturales Protegidas se comienza con el decreto para la creación de la primer Área Natural Protegida denominada Parque Nacional Yellowstone en el año 1872, en México comienza con el decreto de Área Natural Protegida Desierto de los Leones en el año 1876. En la actualidad México cuenta con un total de 182 Áreas Naturales Protegidas con una extensión de 90,839,521 hectáreas (CONANP, 2018), las cuales representan el 32.93% del territorio nacional (CONANP, 2016; CONANP, 2018).

No obstante, algunas de estas Áreas Naturales Protegidas no cumplen con el objetivo de conservación (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2011, uno de los criterios es que no se tiene una buena representación de las especies y de los ecosistemas que se pretende conservar (Arriaga, 2009). Además, existe un alto costo económico asociado la conservación de las Áreas Naturales Protegidas (Margules & Pressey, 2000). Es por lo anterior que se deben establecer prioridades para la conservación con criterios dirigidos a disminuir la extinción y disminución de poblaciones, reducir los conflictos de la conservación y preservar los servicios ecosistémicos (Ceballos *et al.*, 2005), por lo que se ha propuesto identificar zonas prioritarias para la conservación (Razola *et al.*, 2006).

Existen distintos métodos y criterios para la selección de las zonas prioritarias de conservación, entre ellos están los de identificar con base en algún criterio de tipo ambiental o biológico, por ejemplo, las localidades “hotspot” (incluye alta riqueza de especies, algún grado de endemismo o especies amenazadas por actividades antropogénicas) (Dobson *et al.*, 1997; Razola *et al.*, 2006; Ceballos *et al.*, 2009). Entre los criterios más utilizados a nivel mundial para la priorización de áreas de conservación además de los “hotspots”, se encuentran las áreas de endemismo de aves (BirdLife International, 1999), los sitios cero extinciones (Ceballos *et al.*,2009) y las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (AICAS) (BirdLife International, 1999). México en 2009 reportaba 152 regiones terrestres prioritarias con una extensión de 515,558 km<sup>2</sup>, 70 regiones

marinas prioritarias en la zona costera y oceánica con una extensión de 1,378,620 km<sup>2</sup> (Arriaga *et al.*, 2009), 3 localidades hotspots con una cobertura de 1,885,088 km<sup>2</sup>, 21 áreas de endemismo de las aves con una cobertura de 936,020 km<sup>2</sup>, con 415 sitios identificados para el criterio de cero extinciones (Ceballos *et al.*, 2009) y con 219 AICAs con una cobertura de 309,655 km<sup>2</sup> (Arriaga *et al.*, 2009)

Las aves son el taxón comúnmente más utilizado para establecer prioridades de conservación (Brooks *et al.*, 2001, Navarro-Sigüenza *et al.*, 2011), probablemente debido a que es uno de los grupos taxonómicos más estudiados (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2011).

Las AICAs como criterio cuantitativo es quizá el método que ha sido más utilizado a nivel mundial para definir sitios de conservación prioritaria (Eken *et al.*, 2004). Este método desde 1980 ha contribuido aproximadamente en 48 países para la conservación del territorio y las aves (Eken *et al.*, 2004), su objetivo es el de proteger espacios geográficos capaces de mantener poblaciones de aves a largo plazo (Arriaga *et al.*, 2009).

Los principios en los que se basa la elección de las AICAs como zonas prioritarias de conservación están sustentados en la idea de que, al decretarse, se está protegiendo en gran medida a otros grupos taxonómicos (Brooks *et al.*, 2001) por ejemplo los vertebrados terrestres (Brooks *et al.*, 2001). Los criterios en los que se basan para la elección de zonas prioritarias de conservación son: la protección de especies amenazadas mundial o nacionalmente, especies de distribución restringida, especies que tienen preferencias reproductivas en un bioma determinado y áreas con una alta riqueza de especies (Birdlife International, 1999; Brooks *et al.*, 2001; Arriaga *et al.*, 2009).

El criterio biológico de la alta riqueza de especies puede ser identificado modelando la distribución potencial a partir del análisis del nicho ecológico de las especies (Peterson *et al.*, 2011; Mendoza-González *et al.*, 2016). Para obtener mapas de la riqueza de especies, se puede modelar la distribución potencial para cada especie y posteriormente sumar los mapas resultantes realizando un “stack” (Ferrier & Guisan, 2006; Calabrese *et al.*, 2014). En la actualidad estos modelos son reconocidos como una herramienta para realizar análisis para la conservación de las especies (Calabrese *et al.*, 2014).

El concepto de nicho ecológico tiene múltiples interpretaciones debido a la historia de su evolución (Peterson, 2001). Este concepto comienza definiéndose como los requerimientos climáticos y de hábitat para una especie (Grinnell, 1917). Posteriormente Elton (1927) lo define como las funciones que cumple un animal dentro de una comunidad. Estas definiciones del concepto de nicho ecológico

suponen la primera causa de ambigüedad en el término, debido a que Grinnell se refiere a los requerimientos en escala geográfica y Elton a impactos en escalas locales (Peterson *et al.*, 2011).

Más tarde surge el concepto de Hutchinson (1957), el cual define al nicho ecológico como el hipervolumen de variables ambientales, de las cuales cada punto corresponde a una localidad con condiciones ambientales que permiten a las especies existir, además de mantener una tasa poblacional mayor a cero (Hutchinson, 1957). Las variables ambientales con las que se construye el hipervolumen son denominadas “scenopoéticas” y por definición se refieren a aquellas que no son consumidas por los organismos, por ejemplo, las variables climáticas (Peterson *et al.*, 2011).

Los modelos de nicho analizan registros de presencia y variables scenopoéticas por medio de algoritmos para realizar una aproximación a un espacio n multidimensional que representa las condiciones ambientales favorables para una especie. Este espacio puede ser proyectado en un mapa con el fin de predecir zonas geográficas con condiciones ambientales favorables para la presencia de las especies (Peterson, 2001; Navarro *et al.*, 2003).

El presente trabajo consta de la elaboración de mapas de la distribución potencial a través del análisis del nicho ecológico de las especies de aves costeras, esto con el fin de realizar propuestas para determinar zonas de conservación prioritarias. Las especies de aves seleccionadas para el análisis fueron aquellas que realizan actividades de alimentación o reproducción en la costa, que se encuentran en alguna categoría de conservación de la NOM-059-SEMARNAT o en la IUCN y que cumplieran con un número mínimo de 30 registros.

## **2. Objetivos**

### 2.1 Objetivo General

Proponer zonas prioritarias de conservación para las especies de aves costeras del Atlántico mexicano mediante el análisis de su distribución potencial.

### 2.2 Objetivos específicos

Modelar la distribución potencial de aves costeras residentes y migratorias en la zona de interés de manera individual.

Identificar las áreas potenciales con alta riqueza de especies de aves costeras residentes y migratorias del Atlántico mexicano.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Área de estudio

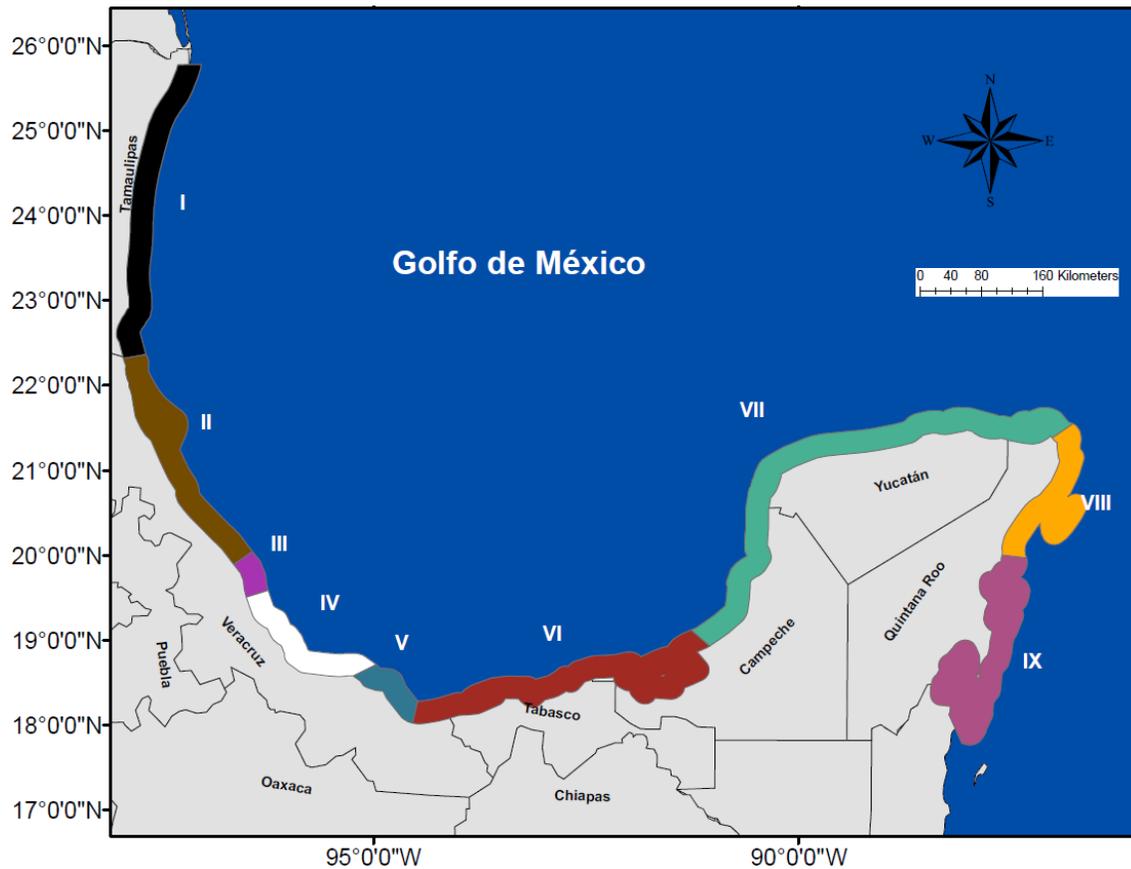
México se localiza en el continente americano, colinda al norte con los Estados Unidos de América y al sur con Guatemala y Belice. Su extensión territorial es de 1,958,201 km<sup>2</sup>, de los cuales 1,953,128 km<sup>2</sup> son de superficie continental y 5,073 km<sup>2</sup> son de superficie insular. (INEGI, 1991).

El Atlántico mexicano tiene una extensión de 3,294 kilómetros (SEMARNAT, 2010), e incluye 6 estados costeros: Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Las fronteras que dividen el litoral del Atlántico mexicano son: en la porción norte se divide con los Estados Unidos por el Rio Bravo en el golfo de México y en el sur con Guatemala por el rio Hondo y la Bahía de Chetumal (SEMARNAT, 2010).

Las características de la costa del Atlántico mexicano varían según su latitud y longitud, en términos edafológicos se puede dividir en dos porciones: el golfo de México y la Península de Yucatán (Moreno-Casasola & Espejel, 1986). El Golfo de México tiene su origen geológico durante el periodo terciario, posee distintos ríos que desembocan en la costa y en lagunas costeras aportando sedimentos, su tipo de arena varia y es de color cuarzo tenue para la porción norte colindante con Estados Unidos y de color oscuro para la zona centro y sur de Veracruz debido a su origen volcánico, en el norte de Tabasco y Campeche tiene de nuevo arena color cuarzo (Moreno-Casasola & Espejel, 1986). La Península de Yucatán tiene su origen geológico a finales del periodo Terciario pero continua emergiendo (Moreno-Casasola & Espejel, 1986), respecto al tipo de arena que presenta se sabe que para el norte de Campeche y Yucatán es de tipo calcáreo con fragmentos de conchas, mientras que la costa de Quintana Roo posee una arena fina con fragmentos de coral, una característica determinante de la Península de Yucatán es que no posee ríos superficiales sino que posee corrientes subterráneas que emergen con agua dulce en la zona costera a manera de ojos de agua (Moreno-Casasola & Espejel, 1986).

La distribución de las aves costeras del Atlántico mexicano está determinada por distintos factores como: las interacciones bióticas, capacidad de dispersión y condiciones ambientales. Entre dichas variables se ha identificado que las condiciones ambientales son una variable clave para explicar la ocurrencia y abundancia de las especies de aves (Jiménez-Valverde *et al.*, 2011), por lo que se espera que para la costa del Atlántico mexicano existan regiones con mayor concentración de aves que en otras. La figura 1 representa una categorización de provincias costeras para el Atlántico mexicano en las cuales se proyectarán los registros de las especies de aves costeras para determinar

la amplitud de la distribución geográfica con que cuentan los registros, dichas provincias fueron generadas con base en las características físicas (por ejemplo, topografía), ambientales (temperatura y precipitación) y biogeográficas (Subprovincias fisiográficas y regiones florísticas) (Cuadro 1).



**Figura 1.** Área de estudio: Atlántico mexicano (Golfo de México y Península de Yucatán). Provincias costeras: I) Golfo de México Norte; II) Golfo de México Norte-Central; III) Golfo de México Eje Neovolcánico; IV) Golfo de México Central; V) Golfo de México Tuxtlas; VI) Golfo de México Sur-Central; VII) Península de Yucatán Occidente; VIII) Península de Yucatán Caribe Norte; IX) Península de Yucatán Caribe Sur. Tomado de Mendoza-González, en preparación.

Cuadro 1. Características de las provincias costeras del Atlántico mexicano, la temperatura (°C) y precipitación (mm) son valores promedio. Simbología del tipo de suelo: Silicio (Si), Carbonato de Calcio (Cal) (Modificado Mendoza-González *et al.*, 2013).

Provincia	Ubicación	Precipitación	Temperatura	Tipo de suelo	Topografía (altura/profundidad)
I	Golfo de México Norte	954.41	23.69	Si, Cal	3m/80m
II	Golfo de México Norte-Central	1325.95	24.51	Si	20m/3000m
III	Golfo de México Eje Neovolcánico	1230.69	24.65	Si	20m/3000m
IV	Golfo de México Central	1736.15	25.69	Si	20m/3000m
V	Golfo de México Tuxtlas	2720.28	24.14	Si	20m/3000m
VI	Golfo de México Sur-Central	1714.42	26.26	Si	3m/50m
VII	Península de Yucatán Occidente	1032.06	25.91	Cal	3m/400m
VIII	Península de Yucatán Caribe Norte	1153.06	25.66	Cal	3m/50-300m
IX	Península de Yucatán Caribe Sur	1319.19	26.04	Cal	3m/50-300m

### 3.2 Datos biológicos

Los puntos de registros para las especies de aves costeras se obtuvieron de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), particularmente de la base de datos del Sistema Nacional sobre Biodiversidad (SNIB). Con esta información se realizó un primer filtro de especies mediante un análisis espacial utilizando ArcMap versión 10.3.1. Se delimitó un buffer de 10 kilómetros desde la línea de costa hacia tierra adentro, para delimitar a las especies con registros dentro de la zona costera. Posteriormente se realizó una depuración de datos en la que se seleccionaron las especies de aves que cumplieran con los siguientes criterios: que realizaran actividades de alimentación o reproducción en la costa, que presentaran algún grado de endemismo o que se encontraran en alguna categoría de conservación dentro de la NOM-059-SEMARNAT o en

la IUCN (Cuadro 2). Se seleccionó un total de 23 especies de aves costeras, de las cuales 11 fueron especies de aves consideradas residentes según Berlanga y colaboradores (2015), y 12 especies de aves migratorias con residencia únicamente durante la temporada del invierno mexicano (septiembre - abril) (Berlanga *et al.*, 2015).

**Cuadro 2.** Especies de aves residentes y migratorias y su categoría de conservación según la NOM-059 y IUCN. Simbología: # = número de registros, CR= en peligro crítico, NT= casi amenazado, LC= preocupación menor, A= amenazada, P= en peligro de extinción, Pr= sujeta a protección especial. Las especies que son residentes (Berlanga et al., 2015) se encuentran resaltadas con negritas.

Especie	# de registros	IUCN			NOM 059		
		CR	NT	LC	A	P	Pr
<i>Calidris alba</i>	681			*			
<i>Calidris canutus</i>	44		*				
<i>Campylorhynchus yucatanicus</i>	226		*			*	
<i>Charadrius nivosus</i>	154		*		*		
<i>Charadrius wilsonia</i>	309			*			
<i>Chlidonias niger</i>	118			*			
<i>Egretta rufescens</i>	402		*				*
<i>Gelochelidon nilotica</i>	210			*			
<i>Haematopus palliatus</i>	137			*			
<i>Ixobrychus exilis</i>	72			*			*
<b><i>Mycteria americana</i></b>	404			*			*
<i>Pandion haliaetus</i>	962			*			
<b><i>Platalea ajaja</i></b>	480			*			
<b><i>Sternula antillarum</i></b>	200						*
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	455			*			

<i>Chlorostilbon forficatus</i>	198			*			
<i>Doricha eliza</i>	285		*			*	
<i>Elaenia martinica</i>	123			*			
<i>Phoenicopterus ruber</i>	374				*		
<i>Spindalis zena</i>	108			*			
<i>Tigrisoma mexicanum</i>	275			*			*
<i>Toxostoma guttatum</i>	<b>159</b>	*				*	
<i>Zenaida aurita</i>	171			*			*

Posteriormente, la selección de especies fue categorizada en tres grupos con base en la geografía de los registros, con lo cual se obtuvieron 3 grupos basados en las provincias costeras (Figura 1 y cuadro 3): las especies con amplia distribución (grupo 1) presentes en todas las provincias, las especies con distribución parcial en las provincias del Golfo de México y la península de Yucatán (grupo 2) y las especies con distribución únicamente en las provincias de la península de Yucatán (grupo 3) (Cuadro 3).

Se construyó una base de datos para cada especie en la cual se depuraron los registros que se encontraran fuera de la distribución conocida. Una especie puede presentar puntos de presencia fuera de su distribución conocida o puede no presentar registros en su área de distribución, esto debido a factores como: muestreos incompletos, sesgos en el muestreo, especies que son crípticas o raras, especies con una alta capacidad de dispersión (Hirzel y Le Lay, 2008) como a distintos errores en la georreferenciación, por ejemplo, un GPS mal calibrado o la inexperiencia del colector (Peterson *et al.*, 2004). Con esta información se construyó una base de datos final con los registros de aves georreferenciados.

**Cuadro 3.** Listado de las especies de aves agrupadas a partir de su distribución geográfica conocida (registros): especies con amplia distribución (grupo 1), las especies con distribución en el Golfo de México y la península de Yucatán (grupo 2) y especies con distribución únicamente en la península de Yucatán (grupo 3). Las especies residentes se encuentran resaltadas en negritas. Simbología de la distribución geográfica conocida: I) Golfo de México Norte, II) Golfo de México Norte-Central, III) Golfo de México Eje Neovolcánico, IV) Golfo de México Central, V) Golfo de México Tuxtlas, VI) Golfo de México Sur-Central, VII) Península de Yucatán Occidente, VIII) Península de Yucatán Caribe Norte, IX) Península de Yucatán Caribe Sur.

Grupo	Especie	Familia	Distribución geográfica conocida									
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1	<i>C. alba</i>	Scolopacidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>I. exilis</i>	Ardeidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>C. nivosus</i>	Charadriidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>C. wilsonia</i>	Charadriidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>C. niger</i>	Laridae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>E. rufescens</i>	Ardeidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>P. haliaetus</i>	Pandionidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>P. erythrorhynchos</i>	Pelecanidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<b><i>P. ajaja</i></b>	<b>Threskiornithidae</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
	<b><i>M. americana</i></b>	<b>Ciconiidae</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
	<b><i>T. mexicanum</i></b>	<b>Ardeidae</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
2	<i>G. nilotica</i>	Laridae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	<i>H. palliatus</i>	Haematopodidae	x	x	x	x		x	x	x		
	<i>C. canutus</i>	Scolopacidae	x			x	x	x	x	x		
	<b><i>S. antillarum</i></b>	<b>Laridae</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>		<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	
	<b><i>D. eliza</i></b>	<b>Trochilidae</b>		<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>			<b>x</b>	<b>x</b>		
3	<b><i>C. yucatanicus</i></b>	<b>Troglodytidae</b>								<b>x</b>	<b>x</b>	
	<b><i>E. martinica</i></b>	<b>Tyrannidae</b>								<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
	<b><i>C. forficatus</i></b>	<b>Trochilidae</b>								<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
	<b><i>P. ruber</i></b>	<b>Phoenicopteridae</b>								<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
	<b><i>Z. aurita</i></b>	<b>Columbidae</b>								<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
	<b><i>T. guttatum</i></b>	<b>Mimidae</b>										<b>x</b>
	<b><i>S. zena</i></b>	<b>Spindalidae</b>										<b>x</b>

### 3.3 Variables ambientales

Para delimitar ambientalmente el nicho ecológico de las especies se utilizaron variables climáticas, las cuales fueron obtenidas de la base de datos mundial del proyecto “Worldclim 2.0” (Fick & Hijmans, 2017). Este proyecto ofrece mapas de tipo anuales y mensuales de tipo raster, los mapas anuales (utilizados para el MNE de las especies residentes) contienen 19 variables bioclimáticas (Cuadro 4) y los mapas mensuales (utilizados para el MNE de las especies migratorias) contienen 7 variables para cada mes (Cuadro 5), de los cuales se utilizaron las variables para la temporada del invierno mexicano (Septiembre - Abril) ya que este periodo comprende los meses en los que las aves habitan las costas del Atlántico mexicano (Berlanga *et al.*, 2015) (Cuadros 4 y 5). Los mapas se descargaron en formato Tiff y posteriormente se transformaron al formato ASCII para su posterior análisis en Maxent. La resolución espacial utilizada en este estudio fue de ~1 km<sup>2</sup>.

**Cuadro 4.** Variables anuales Bioclimáticas utilizadas para el MNE de las aves residentes.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
<b>BIO1</b>	Temperatura media anual
<b>BIO2</b>	Media del rango de la temperatura diurna (max temp – min temp)
<b>BIO3</b>	Isotermalidad (BIO2 / BIO7)(*100)
<b>BIO4</b>	Temporalidad de la temperatura (desviación estándar*100)
<b>BIO5</b>	Temperatura máxima del mes más caliente
<b>BIO6</b>	Temperatura mínima del mes más frío
<b>BIO7</b>	Rango de temperatura anual (BIO5 - BIO6)
<b>BIO8</b>	Temperatura media del trimestre más húmedo
<b>BIO9</b>	Temperatura media del trimestre más seco
<b>BIO10</b>	Temperatura media del trimestre más caliente
<b>BIO11</b>	Temperatura media del trimestre más frío
<b>BIO12</b>	Precipitación total anual
<b>BIO13</b>	Precipitación del mes más húmedo
<b>BIO14</b>	Precipitación del mes más seco
<b>BIO15</b>	Temporalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
<b>BIO16</b>	Precipitación del trimestre más húmedo
<b>BIO17</b>	Precipitación del trimestre más seco
<b>BIO18</b>	Precipitación del trimestre más caliente
<b>BIO19</b>	Precipitación del trimestre más frío

Cuadro 5. Variables climáticas mensuales utilizadas para el MNE de las aves migratorias.

<b>Nombre de la variable</b>
Temperatura mínima
Temperatura máxima
Temperatura promedio
Precipitación
Presión del vapor
Velocidad del viento
Radiación solar

### 3.4 Selección de variables

De las variables ambientales previamente mencionadas se seleccionaron aquellas con mayor influencia en la distribución geográfica para cada especie (Peterson & Nakazawa, 2008). Lo anterior debido a que el número de variables incluidas en la modelación de nicho ecológico afecta en gran medida el resultado (Peterson *et al.*, 2011), por ejemplo, un alto número de variables incluidas tiende a sobreajustar el modelo, lo que da como resultado que la distribución geográfica resultante sea una mala representación (Peterson & Nakazawa, 2008; Peterson *et al.*, 2011).

La forma en que se eligieron las variables se presenta a continuación:

1; Análisis de componentes principales (PCA): Es uno de los métodos más comunes para identificar variables correlacionadas, discrimina entre variables por medio de la varianza entre los datos (Dormann *et al.*, 2013). Se realizará un PCA para todas las variables ambientales por especie.

2; Correlación de Spearman: Se realizó un análisis de la correlación entre cada par de variables, con la finalidad de eliminar la redundancia de datos, se eliminaron aquellas variables que presentaron un valor de  $r > 0.7$ .

3; Prueba Jackknife: Este método se realiza al generar el modelo, excluye una variable a la vez para ver su influencia en la predicción de la distribución geográfica y su colinealidad (Baldwin, 2009). Se realizó la prueba Jackknife y se seleccionó aquellas variables que afectaron significativamente la distribución de las especies de aves costeras.

4; Análisis de contribución de las variables: El programa Maxent provee un análisis de la proporción de la contribución ofrecida por cada variable al resultado del modelo. Se consideró el análisis de contribución de variables para complementar los métodos previamente mencionados.

### 3.5 Generación del modelo

Con los datos de registros biológicos depurados, las variables ambientales en formato ASCII y con la capacidad de dispersión de la especie (la “M”) definida para cada especie, se generó el modelo de distribución potencial a partir del software Maxent versión 3.4.1. La configuración de los parámetros seleccionados como criterios para generar el modelo fueron evaluados previamente mediante un análisis en el software R mediante la paquetería “ENMeval” (anexo II), el cual separa automáticamente los datos de entrenamiento y de calibración mediante seis métodos distintos (jackknife, randomfold, user, block, checkerboard1, checkerboard2) y posteriormente ejecuta modelos de nicho mediante la plataforma de Maxent calculando distintas métricas de evaluación del modelo, con la finalidad de ayudar a seleccionar el modelo que resulte con mayor poder predictivo (Muscarella *et al.*, 2014).

En el presente trabajo se utilizó el método “block” para partir geográficamente los datos y calcular la geografía potencial (Muscarella *et al.*, 2014).

Para las especies migratorias, se obtuvo de igual manera los modelos de distribución potencial por mes (de septiembre a abril) y posteriormente se sumaron por especie, utilizando una calculadora ráster en el Software Arcmap.

Los mapas de distribución potencial fueron transformados en mapas binarios de presencia (1) y ausencia (0). El criterio de corte utilizado en los mapas binarios fue el de “Minimum training presence”, ya que la base de datos fue validada por expertos taxónomos.

### 3.6 Evaluación del modelo

Se realizó una evaluación de los modelos por medio de atributos ofrecidos por el programa Maxent, con el fin de determinar la relevancia del modelo (Baldwin, 2009). Mediante las métricas del área bajo la curva ROC, se indica la capacidad del modelo para predecir presencias e identificar correctamente las ausencias de la especie. Este método utiliza un porcentaje del total de registros de la especie previo a modelar para entrenamiento y otra para validación (Cuadro 6). Los valores comprendidos en el área bajo la curva varían del 0 al 1, siendo el valor de 1 como un modelo con un excelente poder predictivo, 0.5 un valor que refleja una predicción similar a lo predicho

aleatoriamente y un valor de 0 que es peor que lo aleatorio (Baldwin, 2009), por lo que valores mayores a 0.7 fueron considerados como valores con buen poder predictivo.

Cuadro 6. Porcentaje de validación y número de registro por especie.

<b>Grupo</b>	<b>Especie</b>	<b>Número de registros</b>	<b>Porcentaje de validación (%)</b>
1. Amplia distribución	<i>C. alba</i>	681	20%
	<i>I. exilis</i>	72	15%
	<i>C. nivosus</i>	154	20%
	<i>C. wilsonia</i>	309	20%
	<i>C. niger</i>	118	20%
	<i>E. rufescens</i>	402	20%
	<i>P. haliaetus</i>	962	20%
	<i>P. erythrorhynchos</i>	455	20%
	<i>P. ajaja</i>	480	20%
	<i>M. americana</i>	404	20%
<i>T. mexicanum</i>	275	20%	
2. Golfo de México y Península de Yucatán	<i>G. nilotica</i>	210	20%
	<i>H. palliatus</i>	137	20%
	<i>C. canutus</i>	44	10%
	<i>S. antillarum</i>	200	20%
	<i>D. eliza</i>	285	20%
3. Península de Yucatán	<i>C. yucatanicus</i>	226	20%
	<i>E. martinica</i>	123	20%
	<i>C. forficatus</i>	198	20%
	<i>P. ruber</i>	374	20%
	<i>Z. aurita</i>	171	20%
	<i>T. guttatum</i>	159	20%
	<i>S. zena</i>	108	15%

### 3.7 Áreas prioritarias para la conservación

La obtención de las áreas prioritarias para la conservación se realizó mediante la compilación (stacking) de los mapas de distribución potencial para cada especie (Ferrier & Guisan, 2006; Calabrese et al., 2014). Lo anterior con la finalidad de identificar las zonas geográficas con mayor riqueza de especies de aves costeras. Los resultados de las especies residentes se presentaron y describieron utilizando su agrupación según la geografía conocida (Cuadro 3), las especies migratorias se presentan en mapas por mes de residencia incluyendo a todas las especies. Las áreas propuestas como zonas prioritarias de conservación, se presentan en las regiones coloreadas en verde, siendo estas las que poseen mayor riqueza de especies.

## 4. Resultados

### 4.1 Variables ambientales

#### 4.1.1 Especies residentes

De las especies de aves consideradas residentes en el Atlántico mexicano, el grupo de la Península de Yucatán resultó con el mayor número de variables importantes (Cuadro 7).

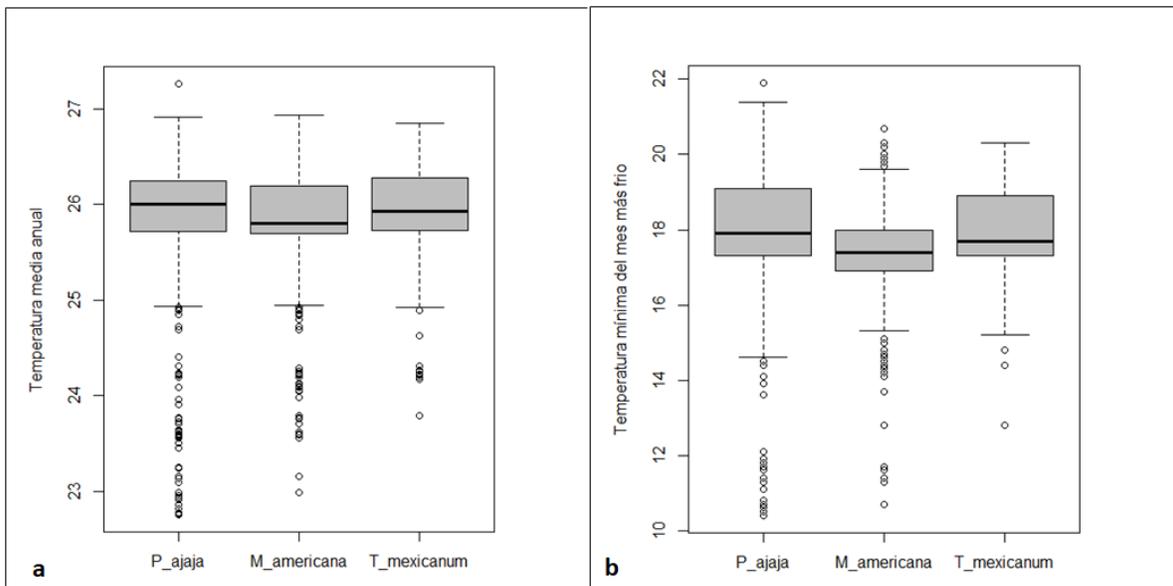
**Cuadro 7.** Valores máximos y mínimos de las variables utilizadas en el modelado de distribución potencial de las especies de aves residentes en el Atlántico mexicano. En negritas se resaltan las variables que fueron importantes para más de 4 especies.

	Amplia distribución			Golfo de México y la península de Yucatán			Península de Yucatán		
	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estandar	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estandar	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estandar
<b>BIO1</b>	<b>27.3</b>	<b>22.8</b>	<b>0.7</b>	27.3	22.8	0.8	<b>26.6</b>	<b>24.2</b>	<b>0.2</b>
<b>BIO2</b>				12.7	6.6	1.3	12.4	6.7	1.3
<b>BIO3</b>	72.3	33.2	7.1	71.0	33.2	7.4	70.9	47.9	2.7
<b>BIO4</b>	516.2	144.1	65.8	515.4	157.5	73.8	371.1	155.5	11.0
<b>BIO5</b>				35.2	30.7	0.7	34.9	31.3	0.7
<b>BIO6</b>	<b>21.9</b>	<b>10.4</b>	<b>1.8</b>	20.1	10.5	1.8	<b>20.3</b>	<b>14.1</b>	<b>1.0</b>
<b>BIO7</b>				23.6	11.3	2.1			
<b>BIO8</b>				28.5	24.7	0.4	<b>28.0</b>	<b>26.5</b>	<b>0.3</b>
<b>BIO9</b>	27.7	17.1	1.5	27.6	17.1	1.4	<b>25.8</b>	<b>22.2</b>	<b>0.2</b>
<b>BIO10</b>				29.0	27.0	0.4	<b>28.5</b>	<b>27.0</b>	<b>0.2</b>
<b>BIO11</b>	25.0	15.8	1.6	24.7	15.7	1.7	<b>24.4</b>	<b>19.1</b>	<b>0.3</b>
<b>BIO12</b>	<b>3032.0</b>	<b>596.0</b>	<b>417.2</b>	<b>1769.0</b>	<b>594.0</b>	<b>261.4</b>	<b>1467.0</b>	<b>594.0</b>	<b>334.1</b>
<b>BIO13</b>	<b>519.0</b>	<b>114.0</b>	<b>77.3</b>	<b>348.0</b>	<b>113.0</b>	<b>51.6</b>	<b>243.0</b>	<b>113.0</b>	<b>52.0</b>
<b>BIO14</b>	<b>67.0</b>	<b>8.0</b>	<b>11.7</b>	64.0	8.0	9.4	41.0	8.0	8.6
<b>BIO15</b>				107.8	45.9	14.5	103.1	45.6	8.1
<b>BIO16</b>	1357.0	271.0	207.1	<b>937.0</b>	<b>270.0</b>	<b>143.2</b>	<b>650.0</b>	<b>270.0</b>	<b>129.9</b>
<b>BIO17</b>	<b>240.0</b>	<b>30.0</b>	<b>41.8</b>	229.0	30.0	33.4	<b>150.0</b>	<b>32.0</b>	<b>40.6</b>
<b>BIO18</b>	756.0	180.0	115.0	<b>597.0</b>	<b>180.0</b>	<b>98.0</b>	<b>480.0</b>	<b>203.0</b>	<b>87.0</b>
<b>BIO19</b>	<b>520.0</b>	<b>33.0</b>	<b>80.7</b>	396.0	33.0	49.6	<b>267.0</b>	<b>44.0</b>	<b>71.7</b>

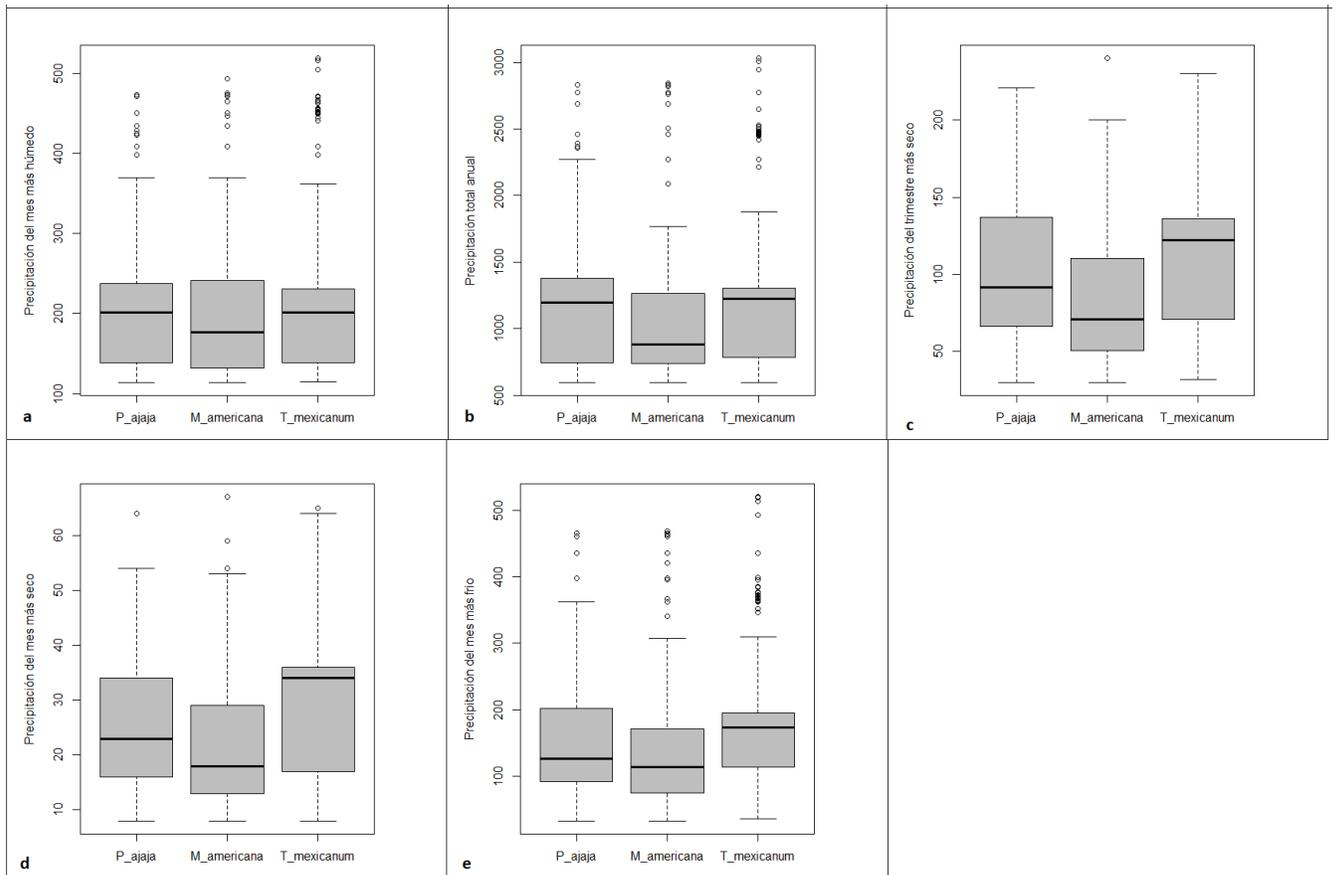
A continuación, se desglosan las variables que resultaron importantes para cada grupo de especies de aves costeras.

#### 4.1.2 Amplia distribución

Para el grupo de amplia distribución 7 variables fueron consideradas importantes por ser influyentes para las 3 especies, de las cuales 2 se relacionan con temperatura: temperatura media anual (BIO1) y temperatura mínima del mes más frío (BIO6) (Figura 2), y 5 con precipitación: precipitación total anual (BIO12), precipitación del mes más húmedo (BIO13) precipitación del mes más seco (BIO14), precipitación del trimestre más seco (BIO17), precipitación del mes más frío (BIO19) (Figura 3).



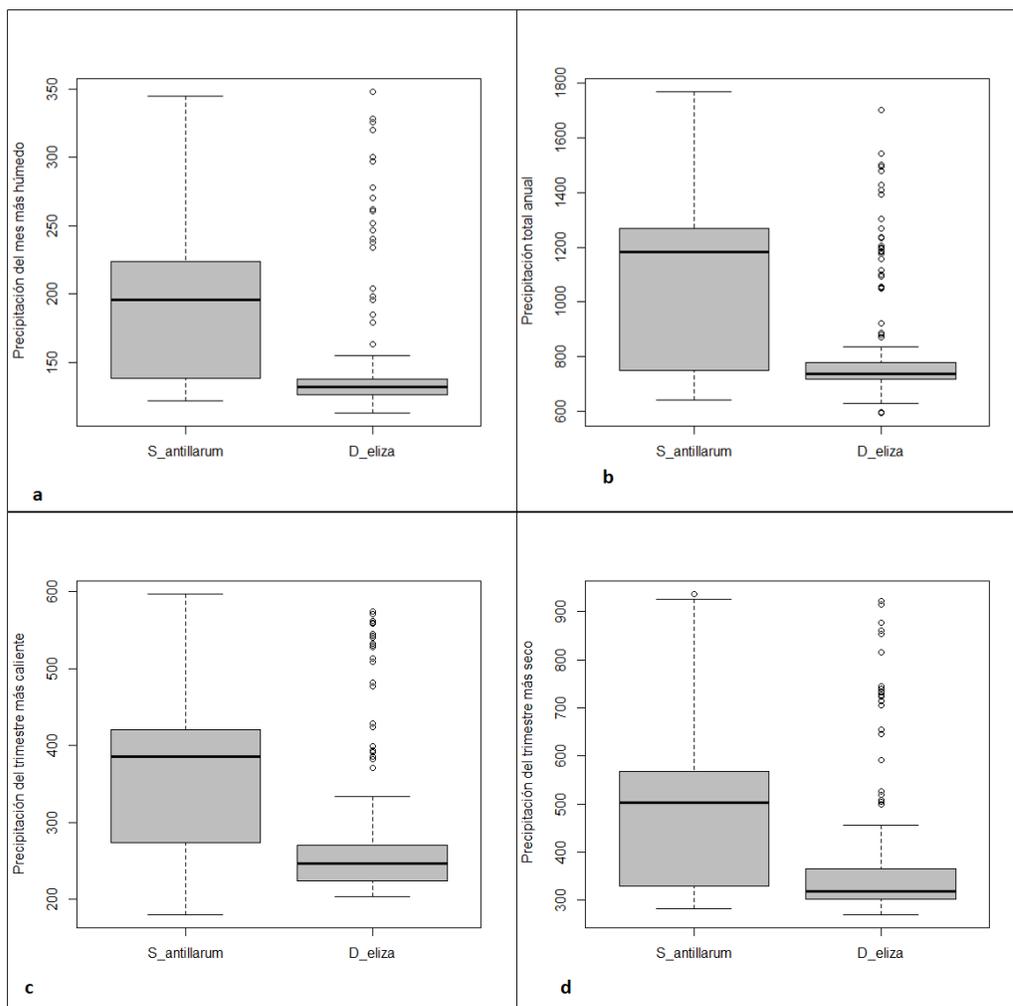
**Figura 2.** Variables de temperatura importantes para el grupo de especies costeras residentes de amplia distribución. BIO1 (a), BIO6 (b).



**Figura 3.** Variables de precipitación importantes para el grupo de especies costeras residentes de amplia distribución. BIO12 (a), BIO13 (b), BIO14 (c), BIO17 (d), BIO19 (e).

### 4.1.3 Golfo de México y península de Yucatán

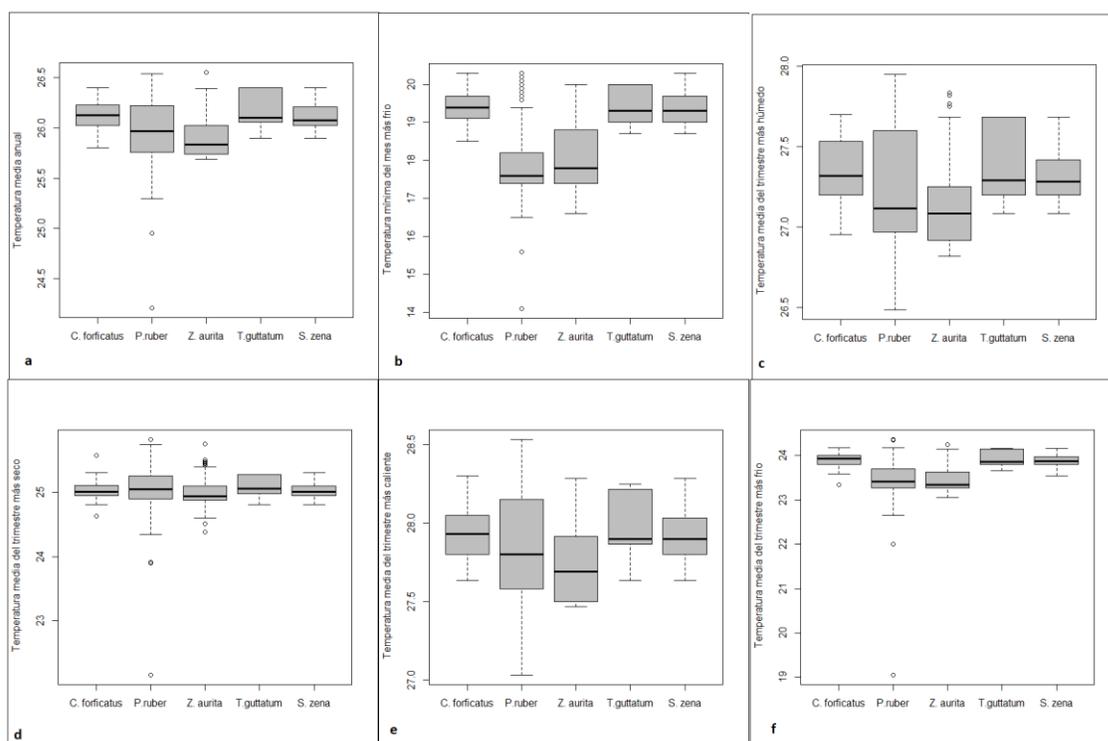
Las variables más importantes en este grupo están relacionadas con precipitación: precipitación total anual (BIO12), precipitación del mes más húmedo (BIO13), precipitación del trimestre más húmedo (BIO16) y precipitación del mes más caliente (BIO18) (Figura 4).



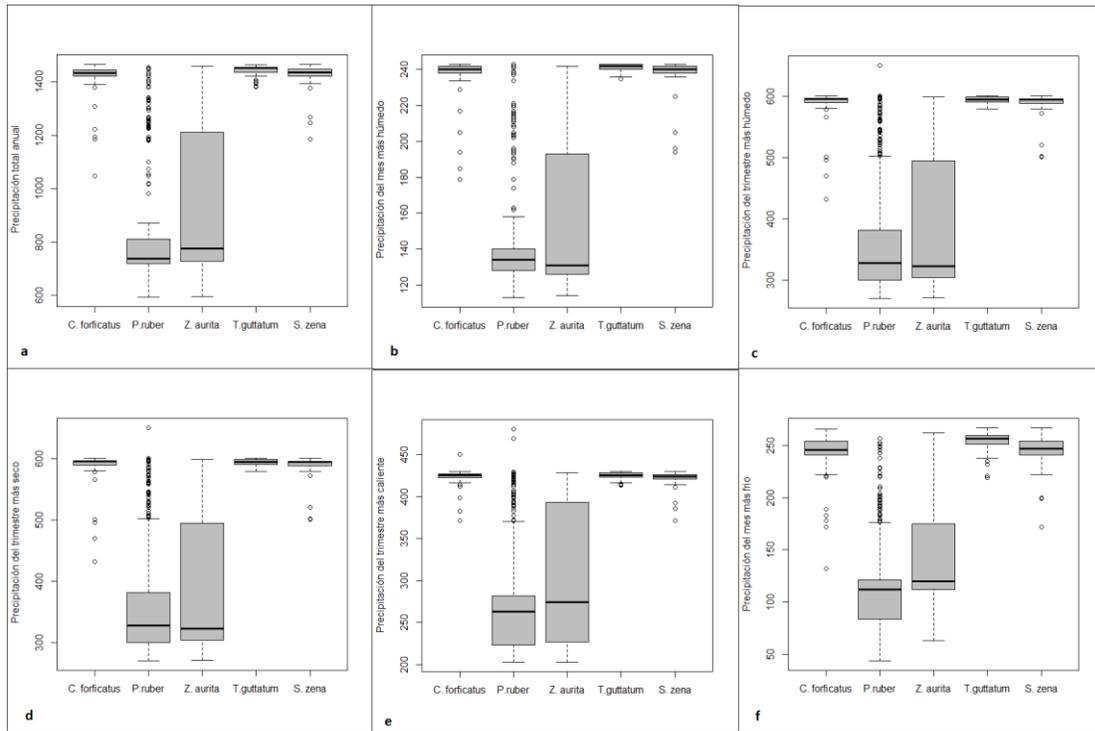
**Figura 4.** Variables de precipitación importantes para el grupo de especies costeras residentes del Golfo de México y la Península de Yucatán. BIO12(a), BIO13 (b), BIO16 (c), BIO18 (d).

#### 4.1.4 Península de Yucatán

Para este grupo 12 variables resultaron importantes, de las cuales 6 se relacionan con temperatura: Temperatura media anual (BIO1), temperatura mínima del mes más frío (BIO6), temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8), temperatura media del trimestre más seco (BIO9), temperatura media del trimestre más caliente (BIO10), temperatura media del trimestre más frío (BIO11) (Figura 5) y 6 con precipitación: precipitación total anual (BIO12), precipitación del mes más húmedo (BIO13), precipitación del trimestre más húmedo (BIO16), precipitación del trimestre más seco (BIO17), precipitación del trimestre más caliente (BIO18), precipitación del mes más frío (BIO19) (Figura 6).



**Figura 5.** Variables de temperatura importantes para el grupo de especies costeras residentes de la península de Yucatán. BIO1 (a), BIO6 (b), BIO8 (c), BIO9 (d), BIO10 (e), BIO11 (f).



**Figura 6.** Variables de precipitación importantes para el grupo de especies costeras de la península de Yucatán. BIO12 (a), BIO13 (b), BIO16 (c), BIO17 (d), BIO18 (e), BIO19 (f).

#### 4.2.1 Especies migratorias

A continuación, se presentan los resultados de las variables ambientales en el modelado de nicho ecológico para las aves migratorias.

Como se puede apreciar en el cuadro 8, la variable con mayor desviación estándar entre las especies de amplia distribución fue la radiación solar con un valor de  $\pm 2,479.7$ . A su vez, para las especies del Golfo de México y la Península de Yucatán, la variable con mayor desviación estándar fue también la radiación solar con un valor de  $\pm 2,485.5$  (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Valores máximos y mínimos de las variables utilizadas en el modelado de nicho ecológico de las especies de aves migratorias en el Atlántico mexicano. Simbología: val max: valor máximo, val min: valor mínimo, desv est:  $\pm$  desviación estándar.

<b>VARIABLES</b>	<b>Amplia distribución</b>			<b>Golfo de México y la península de Yucatán</b>		
	<b>val max</b>	<b>val min</b>	<b>desv est</b>	<b>val max</b>	<b>val min</b>	<b>desv est</b>
<b>Velocidad del viento</b>	6.1	2.2	0.6	6.1	2.4	0.6
<b>Presión del vapor</b>	3.1	1.4	0.3	3.0	1.4	0.4
<b>Temperatura mínima</b>	25.7	10.3	2.3	24.6	10.3	2.8
<b>Temperatura máxima</b>	34.4	18.5	2.4	34.3	18.6	3.1
<b>Radiación solar</b>	21437.0	9742.0	2479.7	21299.0	9877.0	2485.5
<b>Precipitación</b>	516.0	8.0	74.5	501.0	8.0	64.4
<b>Temperatura promedio</b>	28.9	14.6	2.2	28.4	14.6	2.9

Las gráficas de cada variable para cada especie de ave migratoria pueden verse en el Anexo 1

### 4.3 Áreas de distribución potencial

A continuación, se presentan los resultados obtenidos respecto al modelado de nicho ecológico de las especies de aves costeras. Para ver los mapas de la distribución potencial de las especies residentes y migratorias del Atlántico mexicano (Anexo III).

#### 4.3.1 Especies residentes

Como se puede apreciar en el cuadro 9, el estado de Quintana Roo fue el que obtuvo la mayor riqueza de especies de aves costeras (en alguna categoría de conservación), siendo este el único estado que resultó con presencia de todas las aves residentes.

**Cuadro 9.** Distribución potencial de las aves costeras residentes del Atlántico mexicano según su distribución por estado costero. El grupo 1 corresponde a las aves de amplia distribución, el 2 a las del Golfo de México y el 3 a las de la península de Yucatán.

Grupo	Especie	Costas de los estados con distribución (parcial/general/nula) de la especie					
		Tamaulipas	Veracruz	Tabasco	Campeche	Yucatán	Quintana Roo
1	<i>P. ajaja</i>	General	Parcial	Parcial	General	General	General
	<i>M. americana</i>	General	General	Parcial	Parcial	General	General
	<i>T. mexicanum</i>	Parcial	Parcial	General	General	General	General
2	<i>S. antillarum</i>	General	Parcial	Parcial	General	General	General
	<i>D. eliza</i>	Nula	Parcial	Nula	Parcial	Parcial	Parcial
3	<i>C. yucatanicus</i>	Nula	Nula	Nula	Parcial	General	Parcial
	<i>C. forficatus</i>	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Parcial
	<i>E. martinica</i>	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Parcial
	<i>P. ruber</i>	Nula	Nula	Nula	Parcial	General	Parcial
	<i>Z. aurita</i>	Nula	Nula	Nula	Parcial	General	Parcial
	<i>T. guttatum</i>	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Parcial
	<i>S. zena</i>	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Parcial

### 4.3.2 Especies migratorias

Como se puede apreciar en el cuadro 10, las especies de aves migratorias con residencia en invierno (septiembre-abril) resultaron presentes en todos los estados costeros del Atlántico mexicano.

**Cuadro 10.** Distribución potencial de las aves costeras migratorias del Atlántico mexicano según su distribución por estado costero. El grupo 1 corresponde a las aves de amplia distribución, el 2 a las del Golfo de México y el 3 a las de la península de Yucatán.

Grupo	Especie	Costas de los estados con distribución (parcial/general/nula) de la especie					
		Tamaulipas	Veracruz	Tabasco	Campeche	Yucatán	Quintana Roo
1	<i>C. alba</i>	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	General	General
	<i>I. exilis</i>	Parcial	General	General	Parcial	General	Parcial
	<i>C. nivosus</i>	Parcial	Parcial	General	General	General	Parcial
	<i>C. wilsonia</i>	General	General	General	Parcial	General	Parcial
	<i>C. niger</i>	General	General	Parcial	Parcial	General	General
	<i>E. rufescens</i>	General	Parcial	General	Parcial	General	General
	<i>P. haliaetus</i>	General	General	General	Parcial	General	General
2	<i>P. erythrorhynchos</i>	General	Parcial	General	Parcial	General	Parcial
	<i>G. nilotica</i>	General	Parcial	General	Parcial	General	Parcial
	<i>H. palliatus</i>	General	Parcial	Parcial	Parcial	General	Parcial
	<i>C. canutus</i>	General	Parcial	Parcial	Parcial	General	Parcial

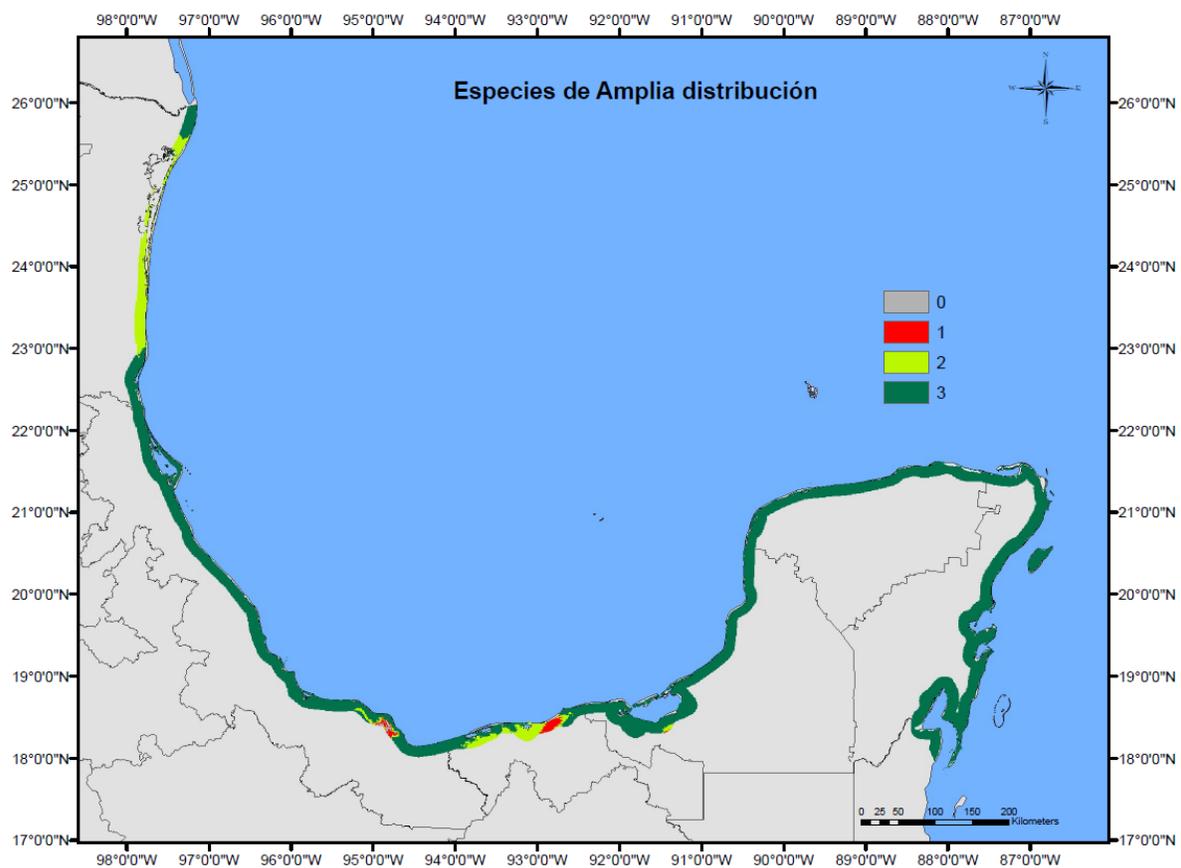
Para apreciar a detalle los mapas de la distribución potencial por especie (Anexo III).

#### 4.4.3 Áreas prioritarias de conservación

A continuación, se presentan los resultados obtenidos respecto a las áreas prioritarias de conservación para las aves costeras residentes y migratorias de Atlántico mexicano.

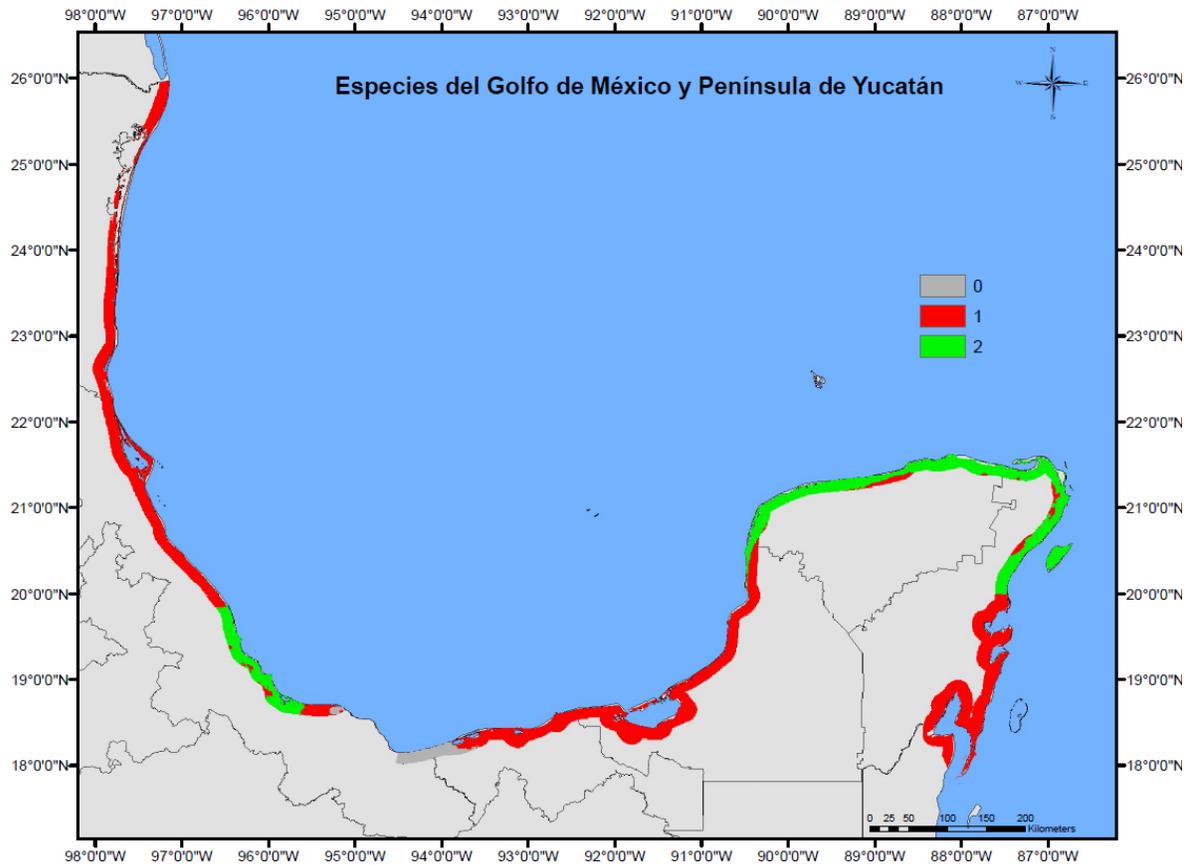
#### 4.5 Especies residentes

Las especies de amplia distribución (*P. ajaja*, *M. americana* y *T. mexicanum*) resultaron tener condiciones ambientales favorables en la porción que abarca desde el centro del Golfo de México hasta la Península de Yucatán, también se observan parches en el estado de Tamaulipas (Figura 7).



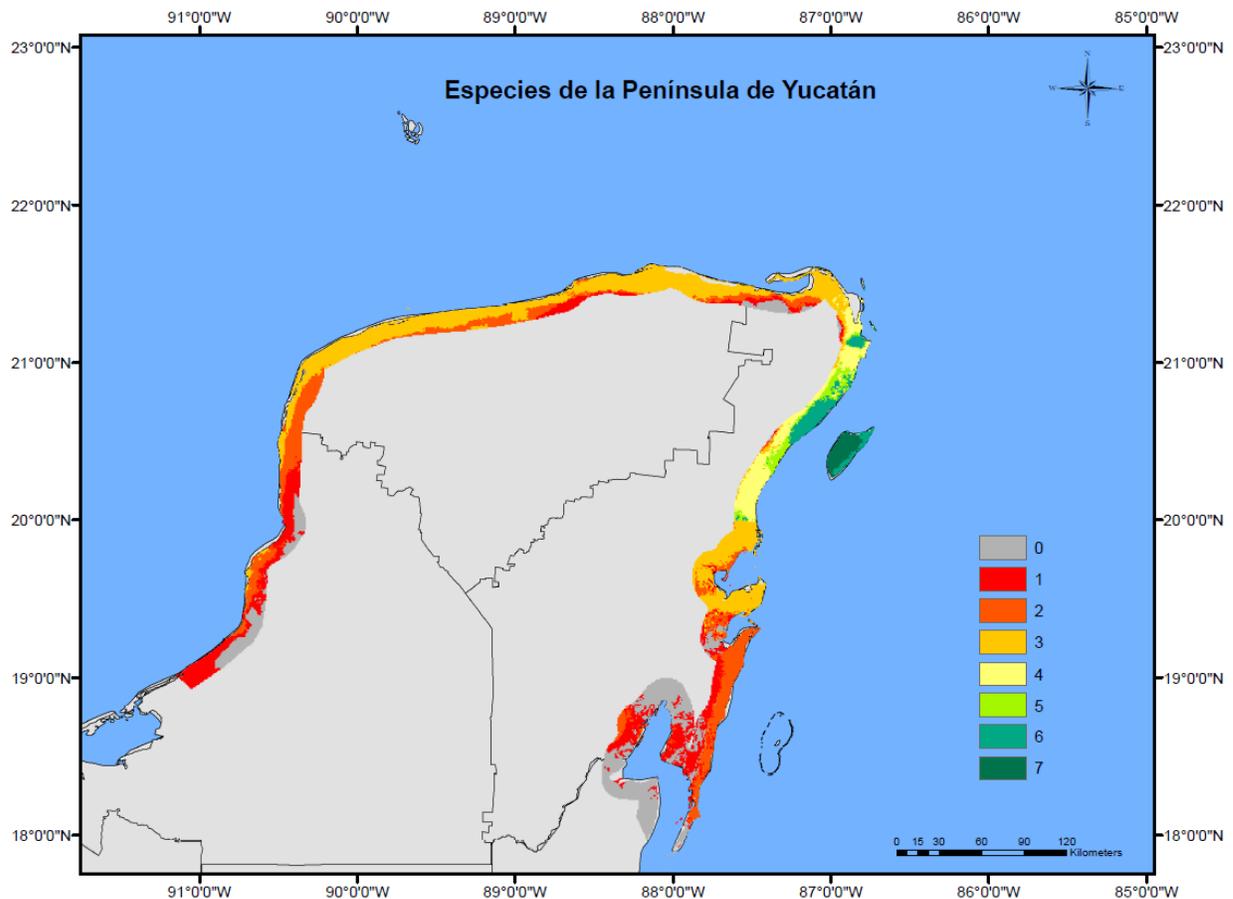
**Figura 7.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves residentes con Amplia distribución. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies de amplia distribución: *P. ajaja*, *M. americana* y *T. mexicanum*

Las condiciones ambientales favorables para las especies del Golfo de México y la península de Yucatán (*S. antillarum* y *D.eliza*), se presentaron principalmente en la porción central del estado de Veracruz (entre latitudes 20 grados norte y 19 grados norte) y en la porción que consta desde el Estado de Yucatán hasta la mitad del estado de Quintana Roo (latitud 20 grados norte)(Figura 8).



**Figura 7.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves residentes del Golfo de México y la Península de Yucatán. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies del Golfo de México y Península de Yucatán: *S. antillarum* y *D. eliza*.

Con respecto a las especies de la Península de Yucatán (*C.yucatanicus*, *E. martinica*, *C. forficatus*, *P. ruber*, *Z. aurita*, *T. guttatum* y *S.zena*), se obtuvo que las condiciones ambientales favorables abarcaron la porción central del Estado de Quintana Roo, incluyendo a la Isla de Cozumel (Figura 9).

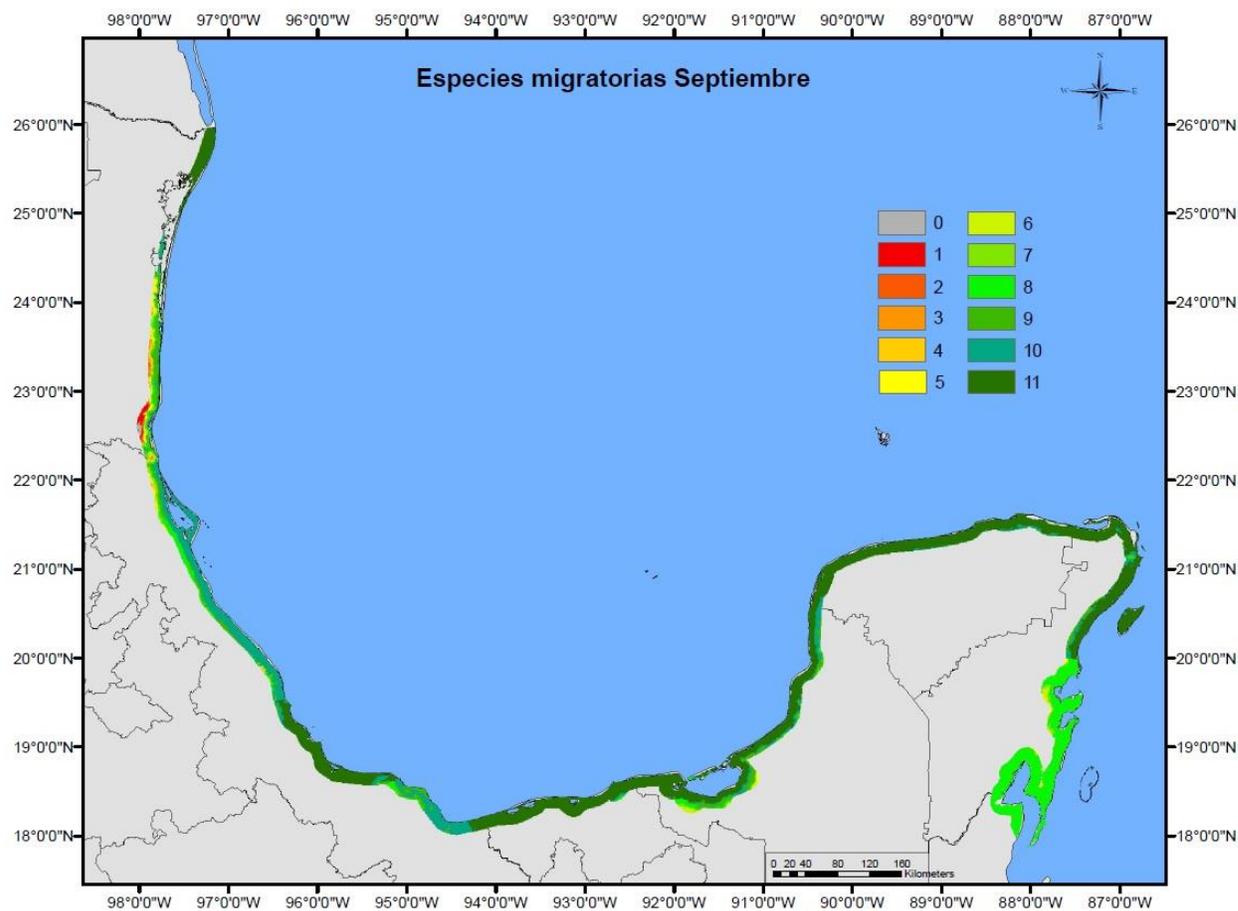


**Figura 8.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves residentes de la Península de Yucatán. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies de la Península de Yucatán: *C. yucatanicus*, *C. forficatus*, *E. martinica*, *P. ruber*, *Z. aurita*, *T. guttatum* y *S. zena*.

## 4.6 Especies migratorias

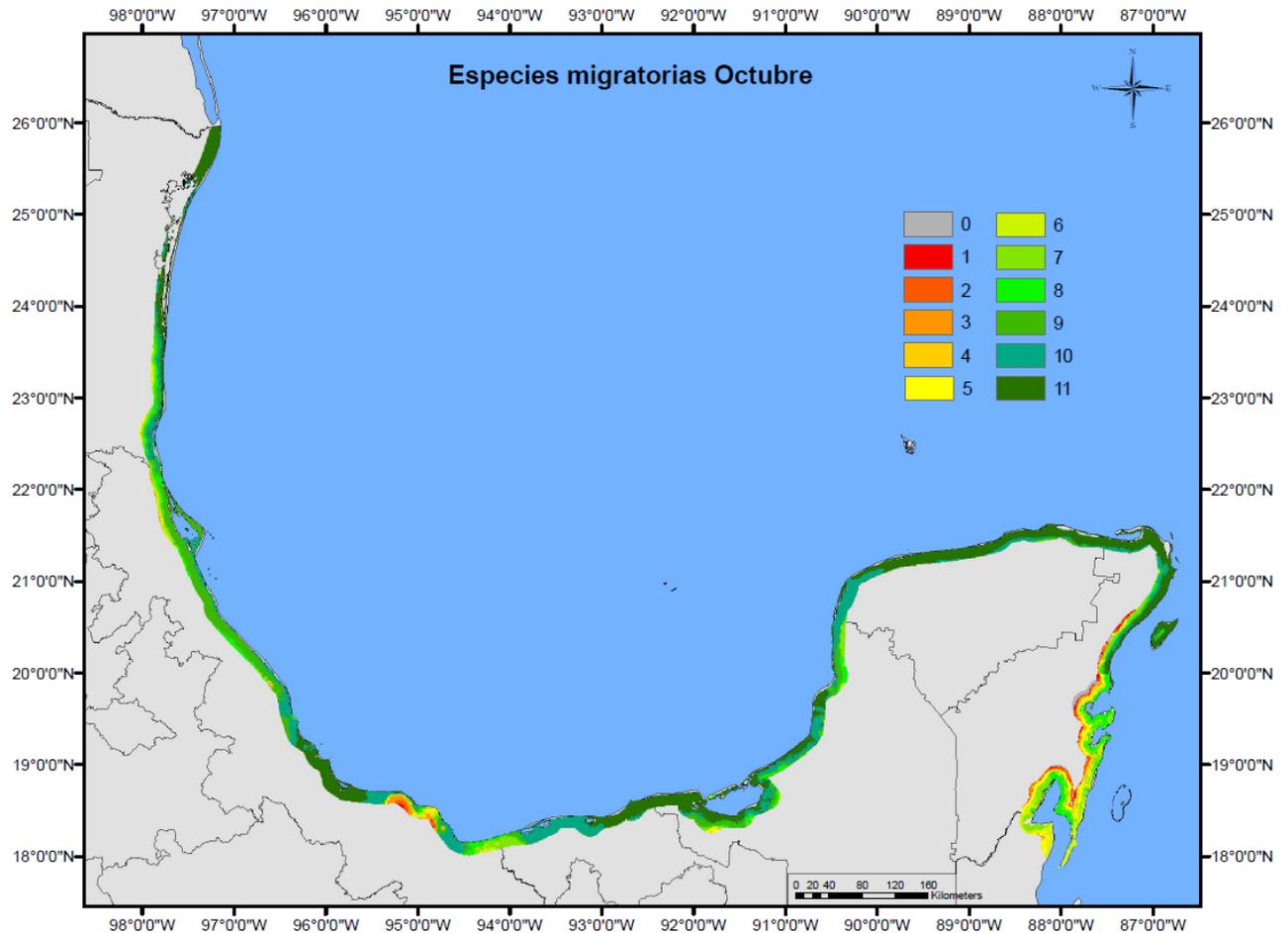
A continuación, se presentan los resultados de las áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias que residen en las costas del Atlántico mexicano durante el invierno (septiembre-abril).

Las áreas prioritarias de conservación del mes septiembre resultaron abarcar la costa norte del estado de Tamaulipas, la región centro-sur de Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y la porción norte de Quintana Roo (Figura 10).



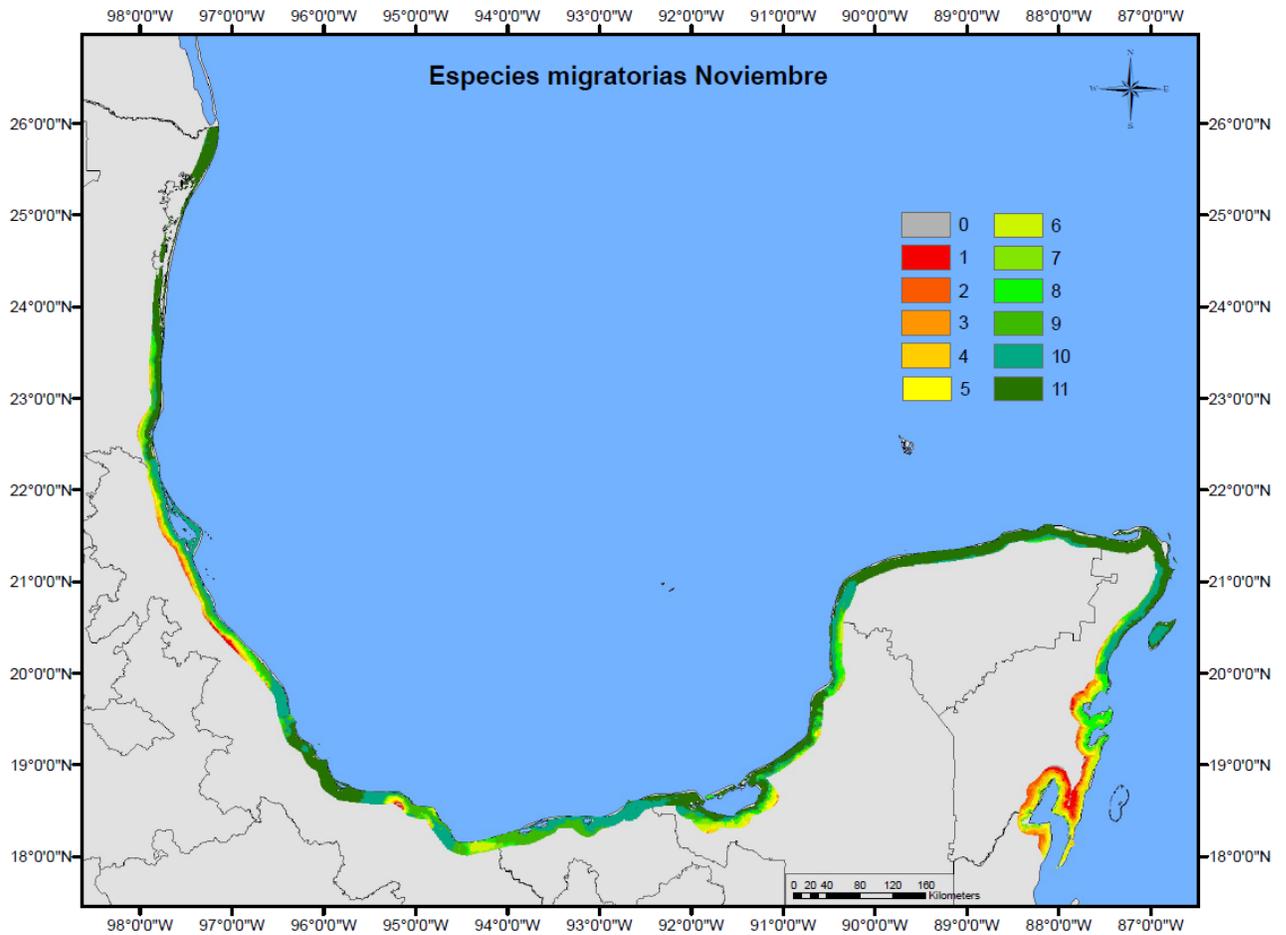
**Figura 9.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de septiembre. El gradiente de colores representa el número de especies migratorias: *C. alba*, *I. exilis*, *C. nivosus*, *C. wilsonia*, *C. niger*, *E. rufescens*, *P. haliaetus*, *P. erythrorhynchos*, *G. nilotica*, *H. palliatus*, *C. canutus*.

Las áreas prioritarias para la conservación, considerando los datos correspondientes al mes de octubre abarcaron: el norte de Tamaulipas, la porción centro-sur de Veracruz, Tabasco, la parte este de Campeche y algunos parches en el centro-oeste, la parte central de Yucatán y la porción norte del Quintana Roo (Figura 11).



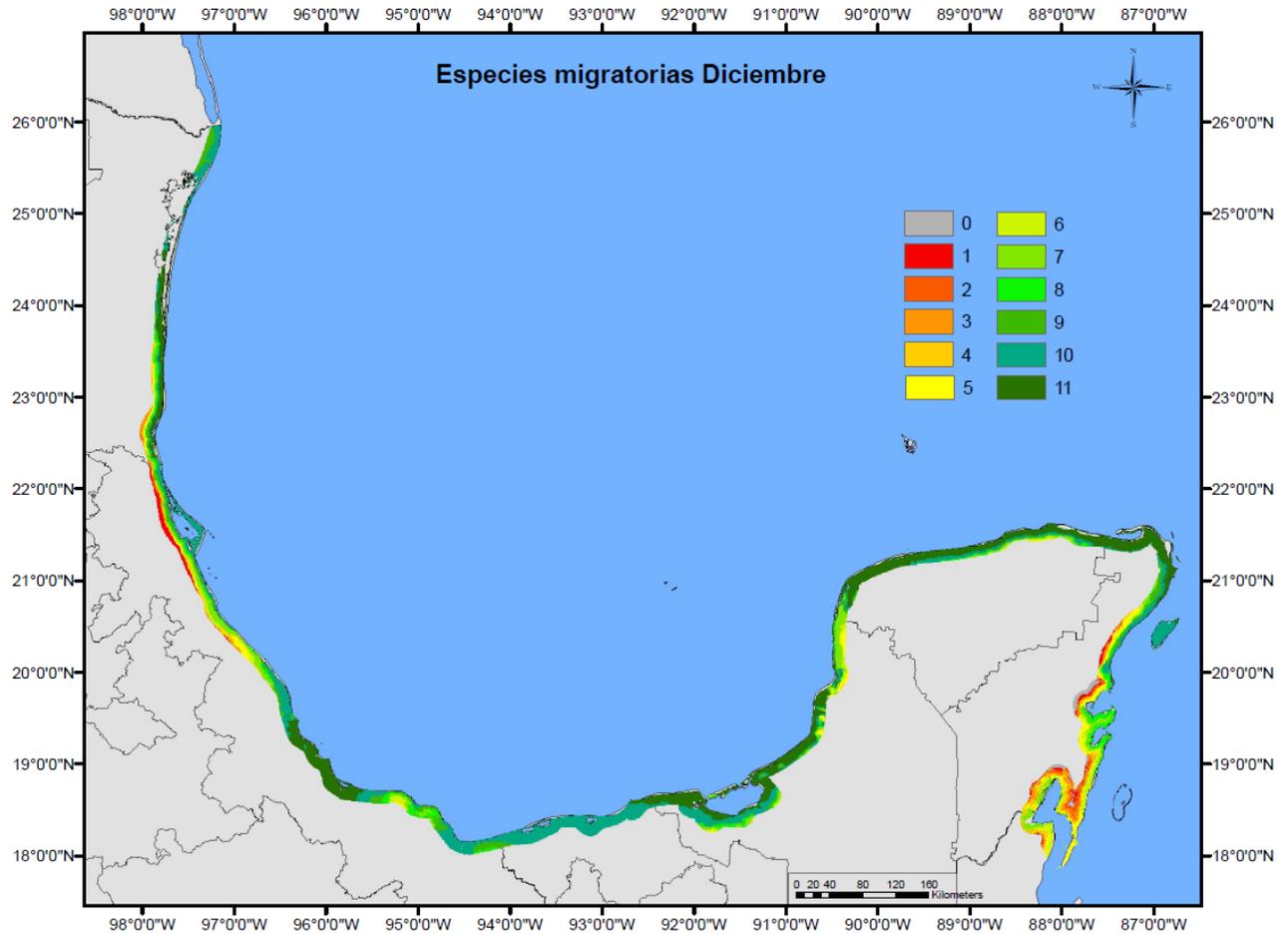
**Figura 10.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de octubre. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: *C. alba*, *I. exilis*, *C. nivosus*, *C. wilsonia*, *C. niger*, *E. rufescens*, *P. haliaetus*, *P. erythrorhynchos*, *G. nilotica*, *H. palliatus*, *C. canutus*.

Para el mes de noviembre, las áreas prioritarias de conservación abarcaron los estados de: Tamaulipas, la parte central-sur de Veracruz, Campeche en su porción más próxima a la costa, Yucatán y la porción norte de Quintana Roo (Figura 12).



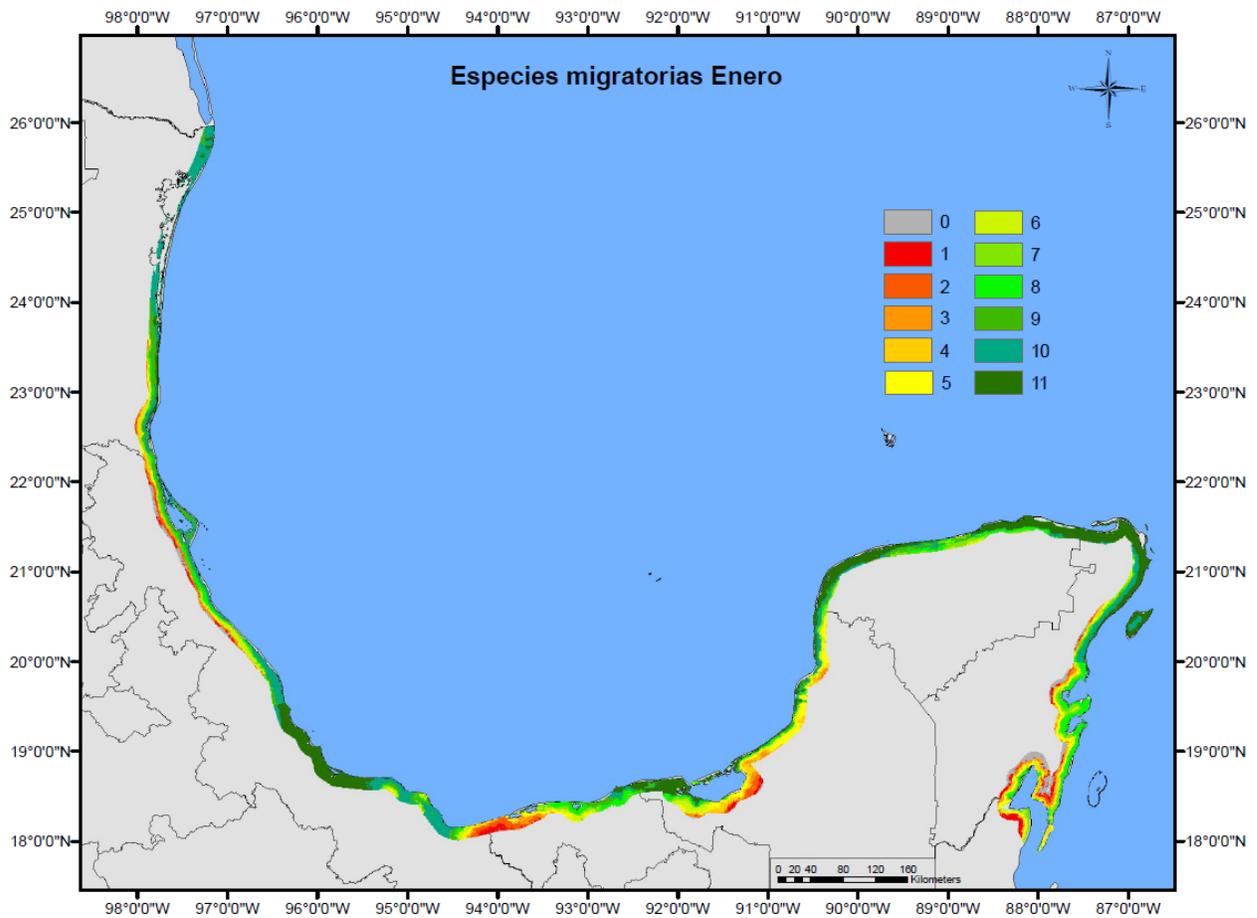
**Figura 11.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de noviembre. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: *C. alba*, *I. exilis*, *C. nivosus*, *C. wilsonia*, *C. niger*, *E. rufescens*, *P. haliaetus*, *P. erythrorhynchos*, *G. nilotica*, *H. palliatus*, *C. canutus*.

Para diciembre, las zonas prioritarias de conservación abarcaron el centro- sur de Tamaulipas, la porción sur-central de Veracruz, algunos parches en la costa de Campeche, Yucatán y la parte norte de Quintana Roo (Figura 13).



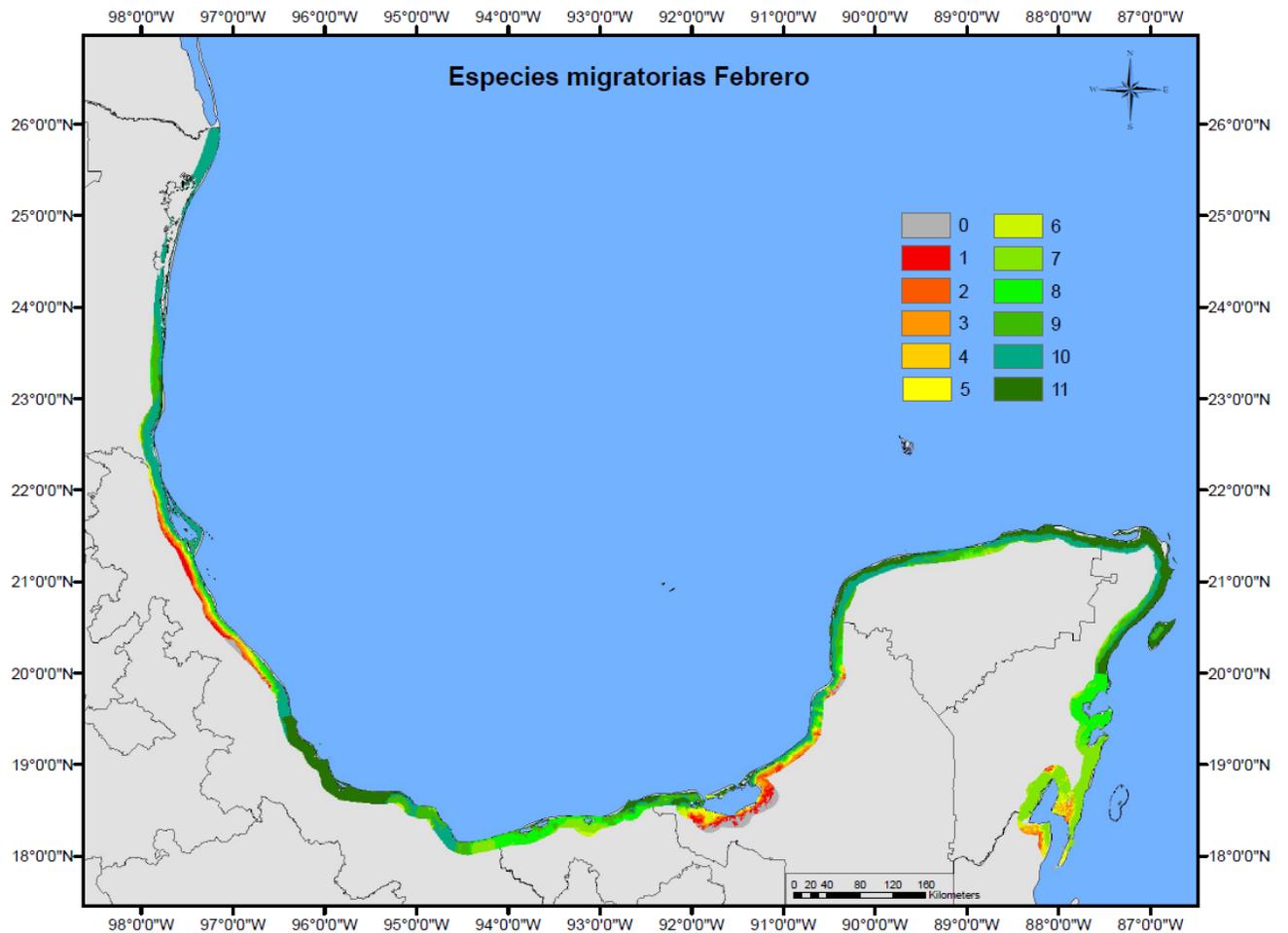
**Figura 12.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de diciembre. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: *C. alba*, *I. exilis*, *C. nivosus*, *C. wilsonia*, *C. niger*, *E. rufescens*, *P. haliaetus*, *P. erythrorhynchos*, *G. nilotica*, *H. palliatus*, *C. canutus*.

Las áreas prioritarias de conservación para el mes de enero resultaron abarcar pequeños parches en la porción sur de Tamaulipas, la porción sur-central de Veracruz, la porción oeste de Campeche, algunos parches al este y oeste de Yucatán y la porción norte de Quintana Roo (Figura 14).



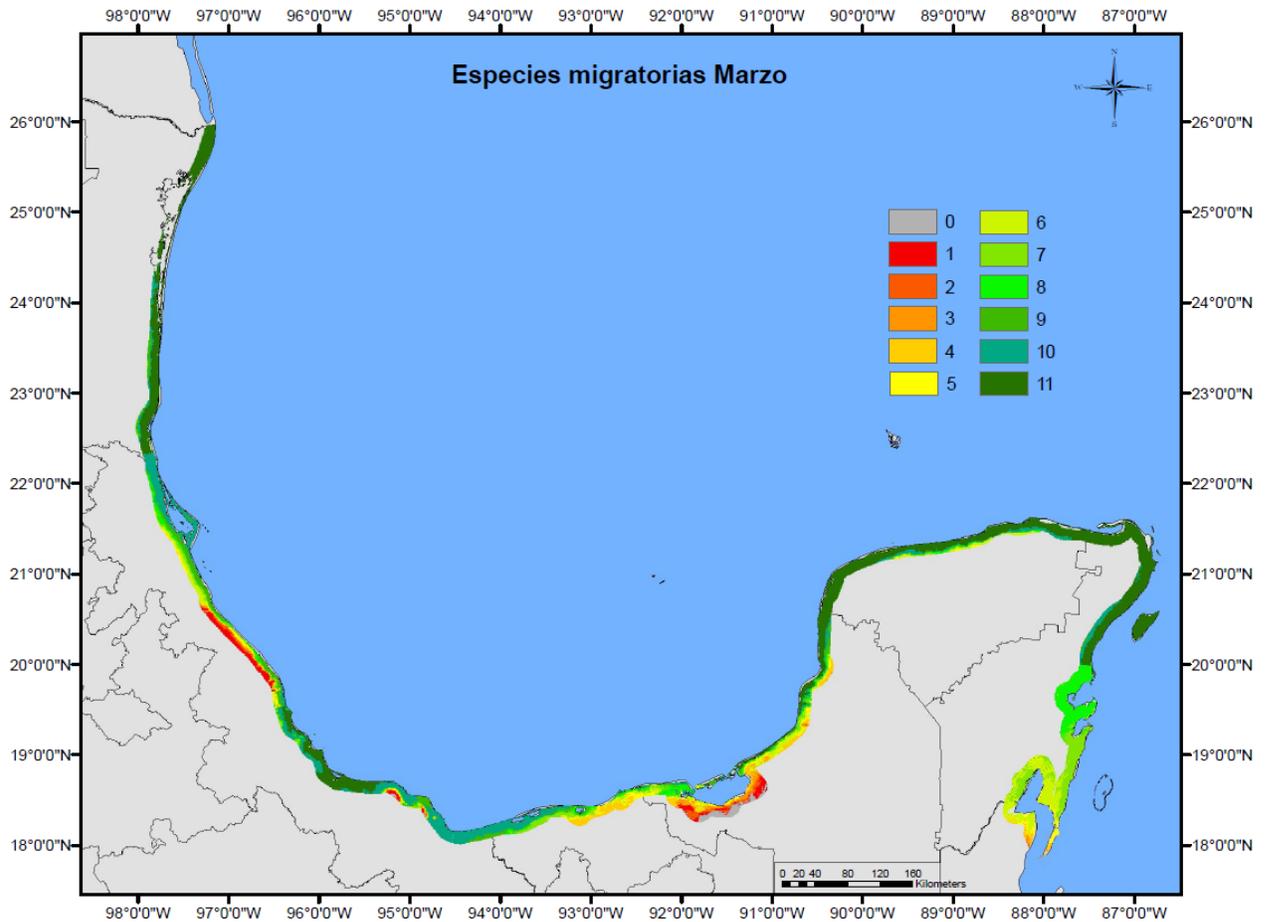
**Figura 13.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de enero. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: *C. alba*, *I. exilis*, *C. nivosus*, *C. wilsonia*, *C. niger*, *E. rufescens*, *P. haliaetus*, *P. erythrorhynchos*, *G. nilotica*, *H. palliatus*, *C. canutus*.

Las áreas prioritarias de conservación para el mes de febrero, resultaron abarcar el centro- sur de Veracruz, algunos parches al oeste de Campeche, algunos parches al oeste y este de Yucatán y las porciones norte y centro del estado de Quintana Roo (Figura 15).



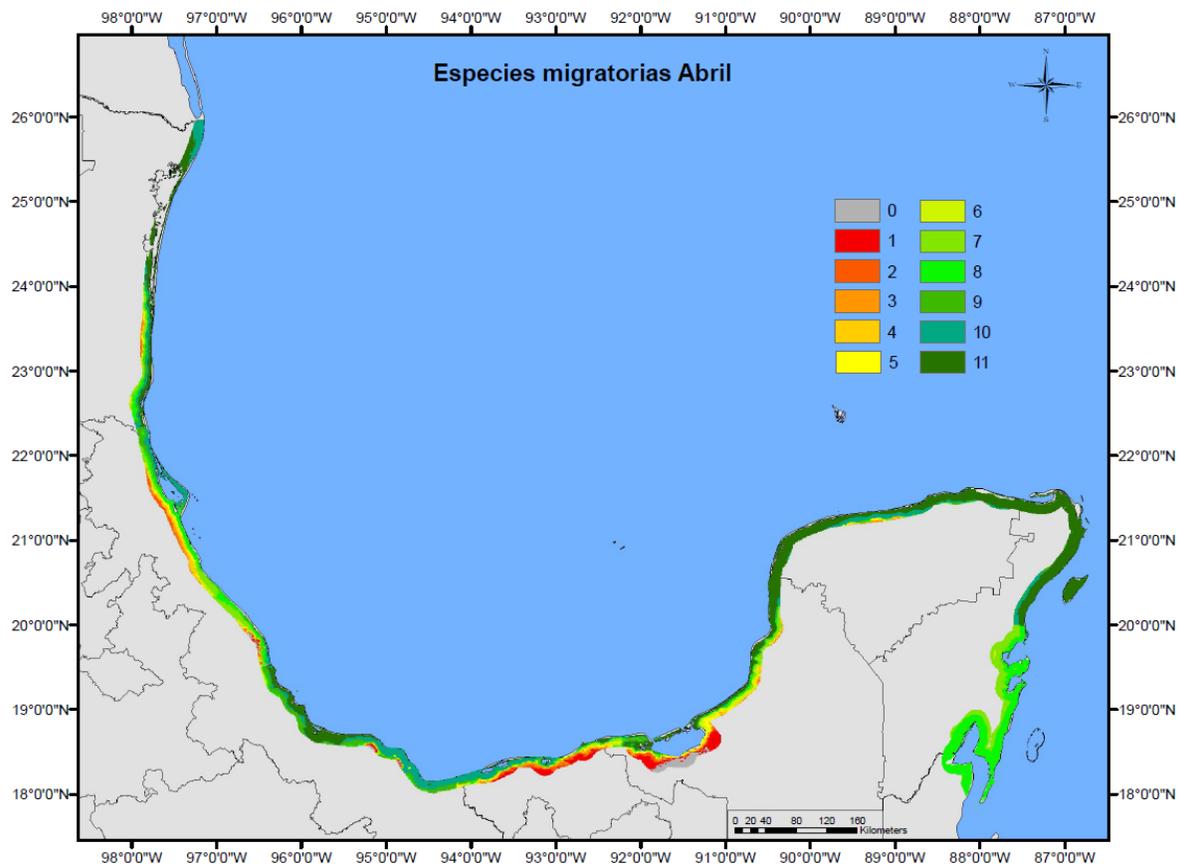
**Figura 14.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de febrero. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: *C. alba*, *I. exilis*, *C. nivosus*, *C. wilsonia*, *C. niger*, *E. rufescens*, *P. haliaetus*, *P. erythrorhynchos*, *G. nilotica*, *H. palliatus*, *C. canutus*.

Las áreas prioritarias de conservación del mes de marzo, abarcaron el estado de Tamaulipas, la porción centro-sur de Veracruz, la porción este nor-este de Campeche, Yucatán y la porción nor-central de Quintana Roo (Figura 16).



**Figura 15.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de marzo. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: *C. alba*, *I. exilis*, *C. nivosus*, *C. wilsonia*, *C. niger*, *E. rufescens*, *P. haliaetus*, *P. erythrorhynchos*, *G. nilotica*, *H. palliatus*, *C. canutus*.

Para el mes de abril, las áreas prioritarias de conservación abarcaron pequeños parches en Tamaulipas, la porción centro-sur de Veracruz, algunas porciones a lo largo de la costa de Campeche, Yucatán y la porción nor-central de Quintana Roo (Figura 17).



**Figura 16.** Áreas prioritarias de conservación para las especies de aves migratorias del Golfo de México y la Península de Yucatán del mes de abril. El gradiente de colores representa el número de especies. Especies migratorias: *C. alba*, *I. exilis*, *C. nivosus*, *C. wilsonia*, *C. niger*, *E. rufescens*, *P. haliaetus*, *P. erythrorhynchos*, *G. nilotica*, *H. palliatus*, *C. canutus*.

## 5. Discusión

### 5.1 Variables ambientales

#### 5.1.1 Especies residentes

Las condiciones ambientales en las que habita el grupo de aves residentes en el Golfo de México y la Península de Yucatán presentaron la menor variabilidad ambiental, con respecto a las áreas de distribución de los otros grupos de aves residentes (tanto las de amplia distribución como las restringidas a la Península de Yucatán). Éste fue el grupo que presentó el menor número de variables importantes (4) y los intervalos más amplios para las variables importantes (Cuadro 7). El grupo con mayor variabilidad ambiental resultó ser el restringido a la Península de Yucatán, el cual obtuvo 12 variables importantes (Cuadro 7).

Lo anterior podría deberse a que las aves son altamente influenciadas por el clima (Crick, 2004) y al tener una gran capacidad de movilidad, al evitar barreras geográficas, pueden considerarse dentro de lo que se denomina: “el mundo de Hutchinson” (Hutchinson, 1957). El mundo de Hutchinson explica la distribución de aquellos organismos que por su alta capacidad de movilidad son capaces de encontrar las condiciones ambientales ideales en las cuales habitar y desempeñarse (Hutchinson, 1957), en algunos casos existen algunas especies que toleran condiciones ambientales heterogéneas (Crick, 2004).

#### 5.1.2 Especies migratorias

Respecto a las variables utilizadas en el modelado de distribución potencial para las especies de aves migratorias, resultó que ambos grupos de aves (de amplia distribución y las restringidas al Golfo de México y a la Península de Yucatán) presentaron valores mínimos y máximos muy similares, de igual manera la desviación estándar (Cuadro 8). Los valores resultaron muy similares probablemente debido a que las especies migran al mismo espacio geográfico dentro del Atlántico mexicano.

Las variables ambientales podrían influir en la distribución de las especies migratorias; los valores de las variables de temperatura, por ejemplo, muestran para todas las aves un comportamiento similar (Anexo 1), ya que arriban a las costas mexicanas en septiembre durante el último mes más cálido y migran a otros territorios en abril de nuevo ante valores altos de temperatura, lo que podría indicar que su distribución se ve afectada por dicha variable.

## 5.2 Áreas de distribución potencial

Los resultados con respecto a la distribución potencial de las aves residentes y migratorias son la representación geográfica de los sitios más adecuados para dichas especies, en términos de las variables utilizadas (Boria *et al.*, 2014; Peterson *et al.*, 2011). Se argumenta que dichas variables fueron adecuadas para el modelado de la distribución potencial, basándonos en los valores obtenidos en las curvas ROC (Anexo IV) y el análisis ENMeval. La curva ROC es uno de los métodos más utilizados para evaluar la precisión de modelos sobre la distribución de las especies, y su precisión se basa en valores de área bajo la curva (AUC) (Raes & Steege, 2007), siendo valores de AUC iguales a 0.5 a 0.7 clasificados como un mal modelo y de 0.7 a 0.1 como un buen modelo (Manel *et al.*, 2002). El método ENMeval genera modelos de distribución potencial y ofrece distintas métricas de evaluación, con la finalidad de discriminar los modelos con mal desempeño y facilitar la producción de buenos modelos (Muscarella *et al.*, 2014).

Los resultados de la distribución potencial se vieron influenciados por las altas, bajas densidades, o la ausencia de los puntos de ocurrencia a lo largo del Atlántico mexicano, lo anterior debido a aquellas regiones sin registros que, sí cuentan con la presencia de una especie en medio silvestre, no son consideradas como una presencia en el algoritmo MaxEnt, y el resultado de la distribución potencial podría tener sesgo (de Oliveira *et al.*, 2014; Boria *et al.*, 2014). Se ha documentado que el sesgo en los resultados puede estar relacionado con la calidad del muestreo, por ejemplo: si fue realizado únicamente en sitios fácilmente accesibles, por fallas en la identificación de las especies o el registro de poblaciones sumidero (Peterson *et al.*, 2011; Dorazio, 2014).

Aún con estas limitantes se argumenta que los modelos tienen un alto poder predictivo, debido a que el método de ENMeval ofrece una solución a los problemas de sesgo en el muestreo (Muscarella *et al.*, 2014). Además de que las curvas ROC resultaron tener valores altos de confiabilidad, reportando como valor mínimo de AUC de 0.79 para las especies residentes y de 0.78 para especies migratorias (Anexo IV).

La delimitación de la distribución conocida, se realizó considerando la opinión de expertos en aves costeras. Lo anterior, permitió regionalizar e incluir información biogeográfica relevante al modelado de nicho como sugieren Peterson y colaboradores (2011).

## 5.3 Áreas prioritarias de conservación

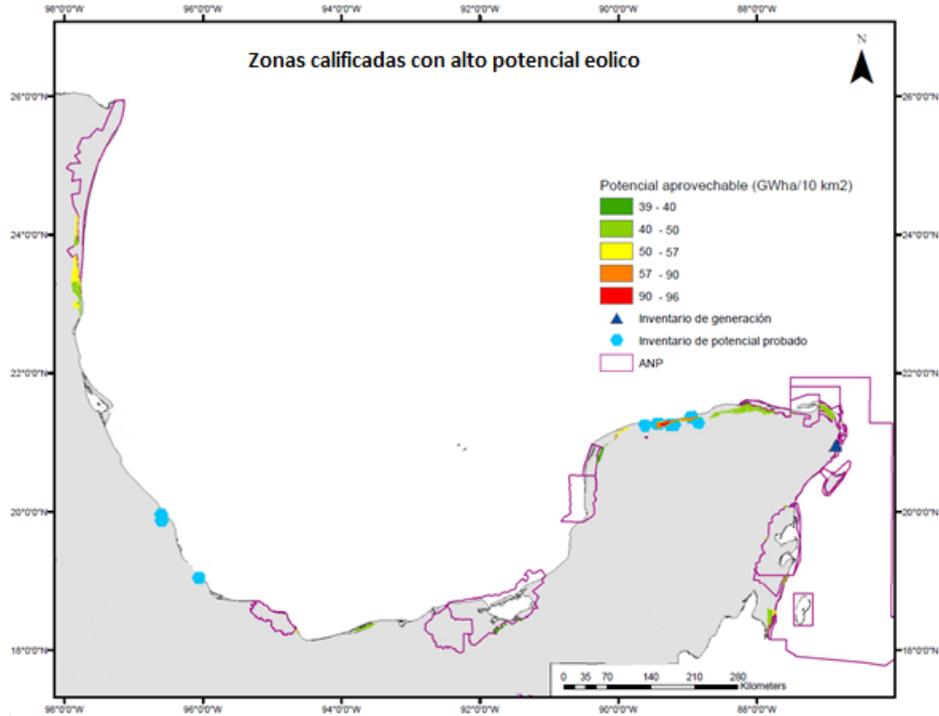
Respecto a las áreas prioritarias de conservación, se obtuvieron distintas áreas consideradas como relevantes debido a su alta riqueza de especies. Las zonas más relevantes para las especies de aves resultaron ser las costas del Golfo de México y la Península de Yucatán (Figuras 7-17). Lo anterior concuerda con hallazgos previos, los cuales describen la biodiversidad de aves en México y sitúan al igual que en el presente estudio, las zonas con la mayor concentración de especies a lo largo de la costa del Golfo de México y la Península de Yucatán (Ramírez-Bastida *et al.*, 2008; Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014). A su vez, otros autores han reportado al Golfo de México como una de las regiones más importantes a nivel mundial respecto a las aves migratorias, debido a la alta concentración de especies que alberga durante la temporada de migración (Gallardo *et al.*, 2004).

Las especies de aves costeras consideradas en el presente trabajo se encuentran incluidas en alguna categoría de conservación y son consideradas clave debido a la función ecológica que cumplen. Además de servir como indicadores de la salud del ecosistema (Bryce & Hughes 2002; Velarde *et al.*, 2004; Stolen *et al.*, 2004), la mayoría son depredador tope por lo que controlan las poblaciones de los organismos de los que se alimentan; dentro de sus principales presas se encuentran los invertebrados (por lo que regulan ciertas especies consideradas plaga) y algunos vertebrados. También modifican su entorno y moldean la vegetación de los hábitats en los que se desempeñan por medio de la dispersión de nutrientes y semillas a través de sus excretas (Sodhi *et al.*, 2011; Lascelles *et al.*, 2016).

La distribución de las aves costeras está altamente influenciada por el clima (Crick, 2004). No obstante, se ha reportado que los impactos causados por el humano influyen en la persistencia de las aves, generando su desplazamiento, la disminución de sus poblaciones, extinciones locales o la extinción de especies (Gallardo *et al.*, 2004; Sodhi *et al.*, 2011; Lascelles *et al.*, 2016). En el Atlántico mexicano se han considerado como principales impactos a las aves costeras: el cambio de régimen del uso de suelo, el uso de pesticidas y actividades agrícolas, la creación de asentamientos humanos, la fragmentación del hábitat, la extracción de petróleo y sus derivados (Gallardo, 2004; Lascelles *et al.*, 2016) y actualmente la instalación de aerogeneradores.

Se ha reportado que la instalación y operación de aerogeneradores para la producción de energía eólica tiene efectos negativos en la biodiversidad, siendo uno de los grupos taxonómicos más afectados junto con los murciélagos (Erickson *et al.*, 2001; Atienza *et al.*, 2011; Zaldúa, 2012). Entre los principales impactos se encuentran: la colisión y la pérdida del hábitat (Atienza *et al.*, 2011), siendo esta última considerada como la que más afecta la diversidad de aves (Kuvlesky *et al.*, 2007), debido a factores como: ruido durante la instalación, mantenimiento y funcionamiento de los aerogeneradores, la construcción de caminos y carreteras para acceder a los aerogeneradores, instalación de líneas de transmisión eléctrica y construcción de edificios (Kuvlesky *et al.*, 2007; Zaldúa, 2012). Es por lo anterior que la instalación de parques eólicos o de aerogeneradores en la zona costera debe tener un diseño orientado a disminuir los impactos directos e indirectos que tienen sobre la avifauna (Exo *et al.*, 2003; Zwart *et al.*, 2016), algunas consideraciones que deben tomar son: una buena localización (respetando ANP's y ordenamientos territoriales), realizar estudios de impacto ambiental previos a la instalación, el monitoreo de la avifauna durante la operación, y en lo posible la restauración de hábitats aledaños a la zona impactada por la construcción de aerogeneradores (Zaldúa, 2012).

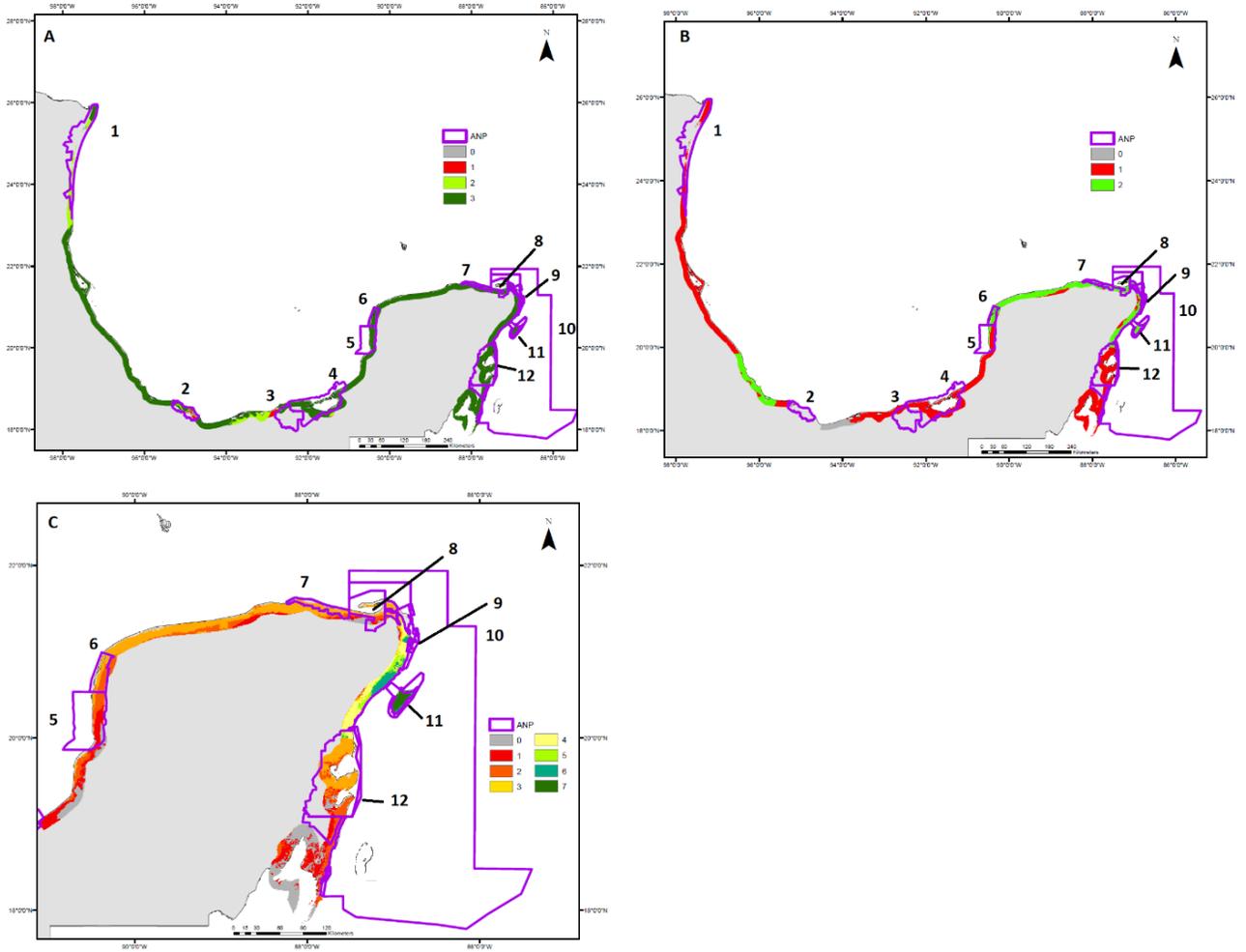
Actualmente, los aerogeneradores instalados en la zona costera del Atlántico mexicano se encuentran solo en la Península de Yucatán (SENER, 2017). No obstante, el desarrollo de la energía por aerogenerador en el país ha reportado un crecimiento de hasta el 86% anual entre los años 2004 y 2017 (Uribe *et al.*, 2018). Mientras que para el año 2018 el país contaba con 46 parques eólicos en 10 estados, en el año 2020 se prevé la instalación de 20 más (SENER, 2016, Figura 18). Se ha reportado que actualmente en los estados de Veracruz y Yucatán se realiza la instalación de infraestructura para generar energía por aerogeneradores y que los estados de Tamaulipas, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo se consideran para la instalación futura de aerogeneradores, ya que poseen condiciones adecuadas para la generación de energía eólica (SENER, 2017) (Figura 14).



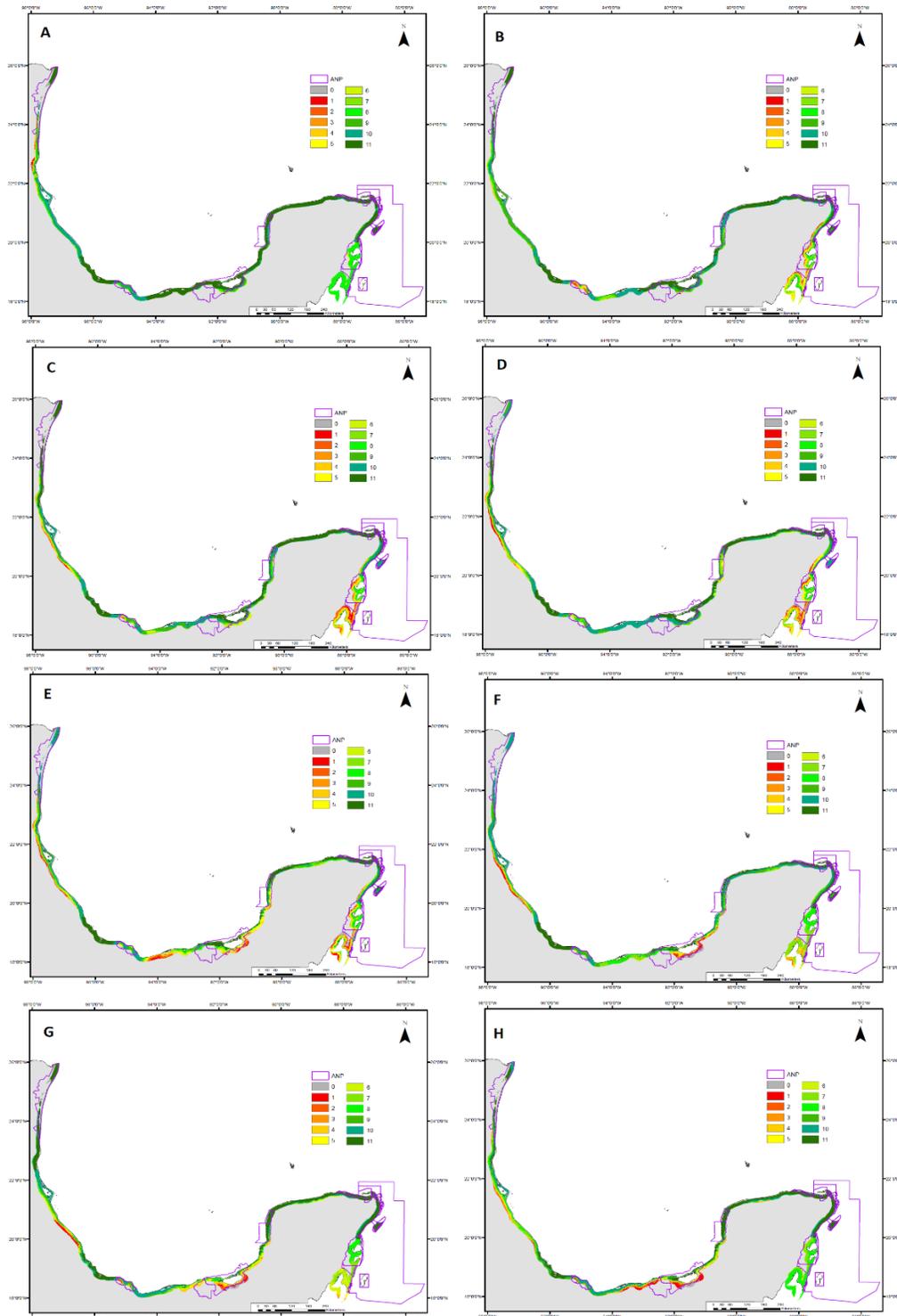
**Figura 17.** Mapa consenso del estado de la energía eólica del Atlántico mexicano y ANP's. Las Zonas calificadas con alto potencial eólico, son aquellas zonas alejadas de la Red Nacional de Transmisión (RNT) que poseen una alta calidad de viento para generar energía eólica, estas zonas pretenden fungir como directrices en la planeación para la instalación de nueva infraestructura, el gradiente de colores representa las zonas con condiciones aptas para la generación de energía eólica, siendo el color rojo las zonas más aprovechables. Los inventarios de generación eólica representan los sitios con producción de energía en operación. El inventario de potencial probado son los sitios que se encuentran próximos a operar o que están en construcción. Mapa de elaboración propia con datos obtenidos de: El Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (SENER, 2017).

Con respecto a las Áreas Naturales Protegidas, se encontró que algunas de ellas se traslapan con las zonas prioritarias de conservación propuestas (Figuras 19 y 20).

No obstante, autores como Martínez y colaboradores (2014) han indicado que solo el 7% de los municipios costeros del país se encuentran dentro de algún ANP. Por lo que estos ecosistemas no cuentan con ningún grado de protección ante actividades humanas, como la instalación de aerogeneradores. Existen porciones de zonas prioritarias de conservación propuestas que no sobrelapan con alguna ANP, por ejemplo, la porción sur de Tamaulipas, el norte de Veracruz y una porción del estado de Yucatán, zonas que podrían fungir como hábitat para especies de aves residentes y migratorias (Figuras 12 y 13). A su vez, dentro de estas zonas sin protección del carácter ANP, se encuentran algunas de las zonas más favorables para la generación de energía por aerogenerador, por ejemplo, la zona costera de la Península de Yucatán (Figura 14), siendo esta zona una de las que concentran la mayor cantidad de aves costeras migratorias y residentes pertinentes a este estudio.



**Figura 18.** Mapas consenso de las aves residentes y polígonos de ANP's. A) Amplia distribución, B) Golfo de México y Península de Yucatán, C) Península de Yucatán. El gradiente de colores representa el número de especies, el polígono morado representa las ANP's costeras: 1) Laguna Madre y Delta del Rio Bravo, 2) Los Tuxtlas, 3) Pantanos de Centla, 4) Laguna de Términos, 5) Los Petenes, 6) Ría Celestún, 7) Ría Lagartos, 8) Yum Balam, 9) Manglares de Nichupté, 10) Reserva de la Biosfera Caribe mexicano, 11) Arrecifes de Cozumel, 12) Arrecifes de Sian Kaán.



**Figura 19.** Mapas consenso de las aves migratorias y polígonos de ANP's: .A) Septiembre, B) Octubre, C) Noviembre, D) Diciembre, E) Enero, F) Febrero, G) Marzo, H) Abril. El gradiente de colores representa el número de especies. El polígono morado representa las ANP's costeras: 1) Laguna Madre y Delta del Rio Bravo, 2) Los Tuxtlas, 3) Pantanos de Centla, 4) Laguna de Términos, 5) Los Petenes, 6) Ria Celestún, 7) Ria Lagartos, 8) Yum Balam, 9) Manglares de Nichupté, 10) Reserva de la Biosfera Caribe mexicano, 11) Arrecifes de Cozumel, 12) Arrecifes de Sian Kaán.

Es por lo anterior que identificar zonas prioritarias de conservación para la flora y fauna previo a la instalación de infraestructura asociada a los aerogeneradores es de gran importancia. Otras consideraciones podrían ser: la realización de más estudios sobre la distribución de la avifauna costera mexicana y el establecer las zonas prioritarias de conservación en las costas del Atlántico mexicano dentro de territorios con algún régimen como Áreas Naturales de Protección, con la finalidad de conservar el estado de los ecosistemas costeros.

## 6. Conclusiones

- Las áreas potenciales para la conservación de aves costeras residentes en el Golfo de México, puesto que presentan valores altos de riqueza de especies, se ubican en el norte de Tamaulipas y la porción central de Veracruz. En la Península de Yucatán se ubican en el Estado de Yucatán y la porción nor-central de Quintana Roo.
- Las áreas potenciales para la conservación de aves costeras migratorias que presentan valores altos de riqueza de especies, se ubican en la porción norte de Tamaulipas y en la porción central de Veracruz. En la Península de Yucatán, se ubican en pequeños parches dentro del estado de Campeche, en el estado de Yucatán y la porción nor-central de Quintana Roo.
- Las evaluaciones de los modelos de distribución potencial mostraron buen poder predictivo, presentando valores de AUC de entre 0.79 y 0.97 para las aves residentes y entre 0.72 y 0.98 para las aves migratorias.
- Las áreas prioritarias de conservación para las aves costeras del Golfo de México, se localizan en el norte de Tamaulipas y la porción central de Veracruz. Para la Península de Yucatán en los estados de: Yucatán y la porción norcentral de Quintana Roo.

## 7. Bibliografía

- Arriaga, L., Galindo, C., Herrmann, H., C. E. S., César, C., & Víctor, C. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. In *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (Vol. II, pp. 433–457). México: CONABIO.
- Atienza, J. C., Martín-Fierro, I., Infante, O., & Valls, J. (2008). *Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos*. Madrid: SEO/Birdlife.
- Baldwin, R. A. (2009). Use of Maximum Entropy Modeling in Wildlife Research. *Entropy*, *11*, 854–866. <https://doi.org/10.3390/e11040854>
- Barrios, L., & Rodríguez, A. (2004). Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology*, *41*, 72–81.
- Berlanga, H., Calderón Parra, R., Gómez de Silva, H., Ortega Álvarez, R., Rodríguez Contreras, V., Sánchez González, L. A., & Vargas Canales, V. M. (2015). *Aves de México : lista actualizada de especies y nombres comunes* (primera ed). México DF: CONABIO. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.118761>
- BirdLife International. (1999). *Áreas Importantes para la Conservación de las Aves de América del Norte*. Canada: CCA.
- Boria, R. A., Olson, L. E., Goodman, S. M., & Anderson, R. P. (2014). Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling*, *275*, 73–77.
- Brooks, T., Balmford, A., Burgess, N., Hansen, L. A., Moore, J., Rahbek, C., & Wondrafrash, M. (2001). Conservation priorities for birds and biodiversity: do East African Important Bird Areas represent species diversity in other terrestrial vertebrate groups?. *Ostrich*.
- Bryce, S. A., Hughes, R. M., & Kaufmann, P. R. (2002). Development of a Bird Integrity Index: Using Bird Assemblages as Indicators of Riparian Condition. *Environmental Management*, *30*(2), 294–310. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2702-y>
- Calabrese, J. M., Certain, G., Kraan, C., & Dormann, C. F. (2014). Stacking species distribution models and adjusting bias by linking them to macroecological models. *Global Ecology and Biogeography*, *23*(1), 99–112. <https://doi.org/10.1111/geb.12102>
- Ceballos, G., Díaz, E., Espinoza, H., Flores, Ó., García, A., Martínez, L., & Santos, G. (2009). Zonas críticas y de alto riesgo para la conservación de la biodiversidad de México. In *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (Vol. II, pp. 575–600). México: CONABIO.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Soberon, J., Salazar, I., & Fay, J. P. (2005). Global Mammal Conservation : What Must We Manage? *Science*, *309*, 603–607.

- Challenger, A., Dirzo, R., Juan, L., Mendoza, E., Lira-Noriega, A., & Cruz, I. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. In *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (pp. 37–73). Mexico: CONABIO.
- CIMARES. (2011). *Política Nacional de mares y costas de México. Política Nacional de mares y costas de México* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CONAPO. (2006). *Proyecciones de la población de México 2005-2050*. Mexico, D.F.: CONAPO.
- CONANP. (2016). Áreas Naturales Protegidas. <http://www.conanp.gob.mx/regionales/>. Consultado: Julio 27, 2018.
- CONANP. (2018). 100 años de conservación en México: Áreas Naturales Protegidas de México. Mexico.
- Crick, H. Q. P. (2004). The impact of climate change on birds. *Ibis*, *146*(1), 48–56.
- de Oliveira, G., Rangel, T. F., Lima-Ribeiro, M. S., Terribile, L. C., & Diniz-Filho, J. A. F. (2014). Evaluating, partitioning, and mapping the spatial autocorrelation component in ecological niche modeling: a new approach based on environmentally equidistant records. *Ecography*, *37*(7), 637–647. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00564.x>
- Dobson, A. P., Rodriguez, J. P., Roberts, W. M., & Wolcove, D. . (1997). Distribution of Endangered Species in the United States. *Science*, *275*, 550–553. <https://doi.org/10.1126/science.275.5299.550>
- Dorazio, R. M. (2014). Accounting for imperfect detection and survey bias in statistical analysis of presence-only data. *Global Ecology and Biogeography*, *23*(12), 1472–1484. <https://doi.org/10.1111/geb.12216>
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Lautenbach, S. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, *36*(1), 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Drewitt, A. L., & Langston, R. H. W. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis*, *148*, 29–42.
- Eken, Gü., Bennun, L., Brooks, T. M., Darwall, W., Fishpool, L. D. C., Foster, M., ... Tordoff, A. (2004). Key Biodiversity Areas as Site Conservation Targets. *Bioscience*, *54*(12), 1110–1118.
- Elton, C. (1927). *Animal Ecology*. London.: Sidgwick and Jackson.
- Erickson, W. P., Johnson, G. D., Strickland, M. D., Young, D. P., Sernka, K. J., & Good, R. E. (2001). *Avian Collisions with Wind Turbines : A Summary of Existing Studies and Comparisons to Other Sources of Avian Collision Mortality in the United States*. Washington, D.C.
- Exo, K.-M., Huppopp, O., & Garthe, S. (2003). Birds and offshore wind farms: a hot topic in marine ecology. *Wader Study Group Bull*, *100*(April), 50–53.

- Ferrier, S., & Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, 43(3), 393–404. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01149.x>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Gallardo, J. ., Velarde, E., & Arreola, R. (2004). Birds of the Gulf of Mexico and the priority áreas for their conservation. In M. Caso, I. Pisanty, & E. Ezcurra (Eds.), *Enviromental Analisis of the Gulf of Mexico* (pp. 180–195). Mexico: Texas: Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies.
- Green, A., & Figuerola, J. (2003). Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales. In *Ecología, manejo y conservación de los humedales* (pp. 47–60).
- Grinnell, J. (1917). The niche-relationships of the California Thrasher. *AUK*, 34, 427–433.
- Hirzel, A. H., & Le Lay, G. (2008). Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology*, 45(5), 1372–1381. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x>
- Hutchinson, E. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415–427.
- INEGI. (1991). *Datos básicos de la geografía de México*.
- IOC, UNESCO, IMO, FAO, & UNDP. (2011). *A Blueprint for Ocean and Coastal Sustainability*. Paris.
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*. New York: Cambridge.
- Jiménez-Valverde, A., Barve, N., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Nakazawa, Y., Papeş, M., ... Peterson, A. T. (2011). Dominant climate influences on North American bird distributions. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 114–118. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00574.x>
- Kuvlesky, W. P., Brennan, L. A., morrison, M. L., boydston, K. K., Ballard, B. M., & Bryant, F. C. (2007). Wind Energy Development and Wildlife Conservation: Challenges and Opportunities. *Journal of Wildlife Management*, 71(8), 2487–2498. <https://doi.org/10.2193/2007-248>
- Lambeck, R. J. (1997). Focal Species: A Multi-Species Umbrella for Nature Conservation. *Conservation Biology*, 11(4), 849–856.
- Lara-Lara, J. R., Arreola, J. A., Calderón, A., Camacho, V., de la Lanza, G., Escofet, A., ... Zertuche, J. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. In *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (Vol. I, pp. 109–134). México: CONABIO.

- Larsen, J. K., & Madsen, J. (2000). Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*): A landscape perspective. *Landscape Ecology*, *15*, 755–764.
- Lascelles, B., Rice, J., Tarzia, M., & Wanless, R. (2016). *Seabirds. The First Global Integrated Marine Assessment - World Ocean Assessment*. United Nations.
- Llorente-Bousquets, J., & Oegueda, S. (2008). Estado del conocimiento de la biota. In *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (Vol. 1, pp. 283–322). México: CONABIO.
- Madsen, J., & Boertmann, D. (2008). Animal behavioral adaptation to changing landscapes: spring-staging geese habituate to wind farms. *Landscape Ecology*, *23*(9), 1007–1011. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9269-9>
- Malcolm, J. A. Y. R., & Ray, J. C. (2000). Influence of Timber Extraction Routes on Central African Small-Mammal Communities, Forest Structure, and Tree Diversity. *Conservation Biology*, *14*(6), 1623–1638.
- Manel, S., Williams, H. C., & Ormerod, S. J. (2002). Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology*, *38*(5), 921–931. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00647.x>
- Margules, C. R., & Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, *405*(6783), 243–253. <https://doi.org/10.1038/35012251>
- Martínez, M., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., Infante-Mata, D y Rodríguez-Revelo, N. (2014). Diagnóstico de las dunas costeras de México. SEMARNAT-CONAFOR.
- Martínez, M. L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., & Landgrave, R. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, *63*(2–3), 254–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.022>
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Rojas-Soto, O. R., Vázquez, G., & Gallego-Fernández, J. B. (2013). Ecological niche modeling of coastal dune plants and future potential distribution in response to climate change and sea level rise. *Global Change Biology*, *19*(8), 2524–2535. <https://doi.org/10.1111/gcb.12236>
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Lithgow, D., Pérez-Maqueo, O., & Simonin, P. (2012). Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. *Ecological Economics*, *82*, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.018>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Current state and Trends, Volume 1*. Washington, DC: Millennium Ecosystem Assessment All.
- Moreno-casasola, P., & Espejel, I. (1986). Classification and ordination of coastal sand dune vegetation along the GnU and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio*, *66*, 147–182.
- Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M., & Anderson, R. P. (2014). ENMeval: An R package for conducting spatially independent

- evaluations and estimating optimal model complexity for <sc>Maxent</sc> ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(11), 1198–1205. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12261>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(February), 853–858.
- 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, 476–495. <https://doi.org/10.7550/rmb.41882>
- Navarro-sigüenza, A. G., Lira-noriega, A., Arizmendi, del C., Berlanga, H., Koleff, P., Garcia-Moreno, J., & Peterson, T. (2011). Áreas de conservación para las aves de México: integrando criterios de priorización. In *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país mega diverso* (pp. 109–131). Mexico, D.F.: CONABIO.
- Navarro-sigüenza, A. G., Peterson, T., Nakazawa, Y. J., & Liebig-Fossas, I. (2003). Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. *Researchgate*, 1, 115–122.
- Ogden, J. C., Baldwin, J. D., Bass, O. L., Browder, J. A., Cook, M. I., Frederick, P. C., ... Lorenz, J. J. (2014). Waterbirds as indicators of ecosystem health in the coastal marine habitats of Southern Florida: 2. Conceptual ecological models. *Ecological Indicators*, 44, 128–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.008>
- Ortiz-pulido, R., Alcántara-carbajal, J. L., Cueva, H. De, Martínez-gómez, J., Escalante, P., Parramartínez, S. M. De, ... Arroyo, F. (2016). Conservación de aves en México , una instantánea de 2015. *Huitzil*, 17(2), 234–238.
- Peterson, A. T., & Nakazawa, Y. (2008). Environmental data sets matter in ecological niche modelling: an example with *Solenopsis invicta* and *Solenopsis richteri*. *Global Ecology and Biogeography*, 17(0), 135–144. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00347.x>
- Peterson, A. T. (2001). Predicting species ' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor*, 103(0), 599–605. [https://doi.org/10.1650/0010-5422\(2001\)103](https://doi.org/10.1650/0010-5422(2001)103)
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martinez-Meyer, E., Nakamura, M., & Bastos-Araújo, M. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*.
- Peterson, T., Navarro-Sigüenza, A. G., & Pereira-Scachetti, R. (2004). Detecting errors in biodiversity data based on collectors 'itineraries. *Bulletin of the British Ornithologists*, 142(2), 143–150.
- Raes, N., & Steege, H. (2007). A null-model for significance testing of presence-only species distribution models. *Ecography*, 30(0), 727–736. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05041.x>
- Ramírez-Bastida, P., Navarro-Sigüenza, A. G., & Peterson, A. T. (2008). Aquatic bird distributions in Mexico: designing conservation approaches quantitatively. *Biodiversity and Conservation*, 17(10), 2525–2558. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9398-0>

- Razola, I., Benayas, J. M. R., Montaña, E. De, & Cayuela, L. (2006). Selección de áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 15(2), 34–41.
- Ricketts, T. H., Dinerstein, E., Boucher, T., Brooks, T. M., Butchart, S. H. M., Hoffmann, M., ... Wikramanayake, E. (2006). Pinpointing and preventing imminent extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(51), 18497–18501. <https://doi.org/10.1073/pnas.0509060102>
- Sahagún, B. de. (1829). *Historia General de Las Cosas De Nueva España*. Mexico: Alejandro Valdés.
- Sekercioglu, C. H. (2006). Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(8), 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.05.007>
- SEMARNAT. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015*.
- SEMARNAT (2015). Política Nacional de mares y costas de México. *Comisión Intersecretarial Para El Manejo Sustentable de Mares y Costas*.
- SEMARNAT. (2010). *Atlas Geográfico*.
- SENER.(2017). El Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL) <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>, revisado el 18/05/2019.
- SENER. (2016). *Prospectiva de Energías Renovables*.
- Sodhi, N. S., Sekercioglu, C. H., Barlow, J., & Robinson, S. K. (2011). The State of Tropical Bird Biodiversity. In *Conservation of Tropical Birds* (pp. 1–26). <https://doi.org/10.1002/9781444342611>
- Stewart, G. ., Pullin, A. S., & Coles, C. F. (2005). *Effects of wind turbines on bird abundance* (Vol. CEE review).
- Stolen, E. D., Breininger, D. R., & Frederick, P. (2004). Using Waterbirds as Indicators in Estuarine Systems : Successes and Perils. In *Estuarine indicators* (pp. 409–422). <https://doi.org/10.1201/9781420038187.ch26>
- Uribe-rivera, M. A., Guevara-carrizales, A. A., & Ruiz-campos, G. (2018). Mortalidad incidental de aves passeriformes en un parque eólico del noroeste de México. *Huitzil*, 20(1), 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.28947/hrmo.2019.20.1.377>
- Velarde, E., Ezcurra, E., Cisneros-mata, M. A., & Lavin, M. (2004). Seabird ecology, El Nino anomalies, and prediction of sardine fisheries in the Gulf of California. *Ecological Applications*, 14(2), 607–615. <https://doi.org/10.1890/02-5320>
- Walker, D., Mcgrady, M., Mccluskie, A., Madders, M., & Mcleod, D. (2005). Resident Golden Eagle ranging behaviour before and after construction of a windfarm in Argyll Resident Golden Eagle ranging behaviour before and after construction of a windfarm in Argyll. *Scottish Birds*, 25(0), 24–40.

Zaldúa, N. (2012). *Principales impactos del desarrollo eólico sobre la avifauna : Síntesis de la revisión de bibliografía internacional de referencia*. Uruguay.

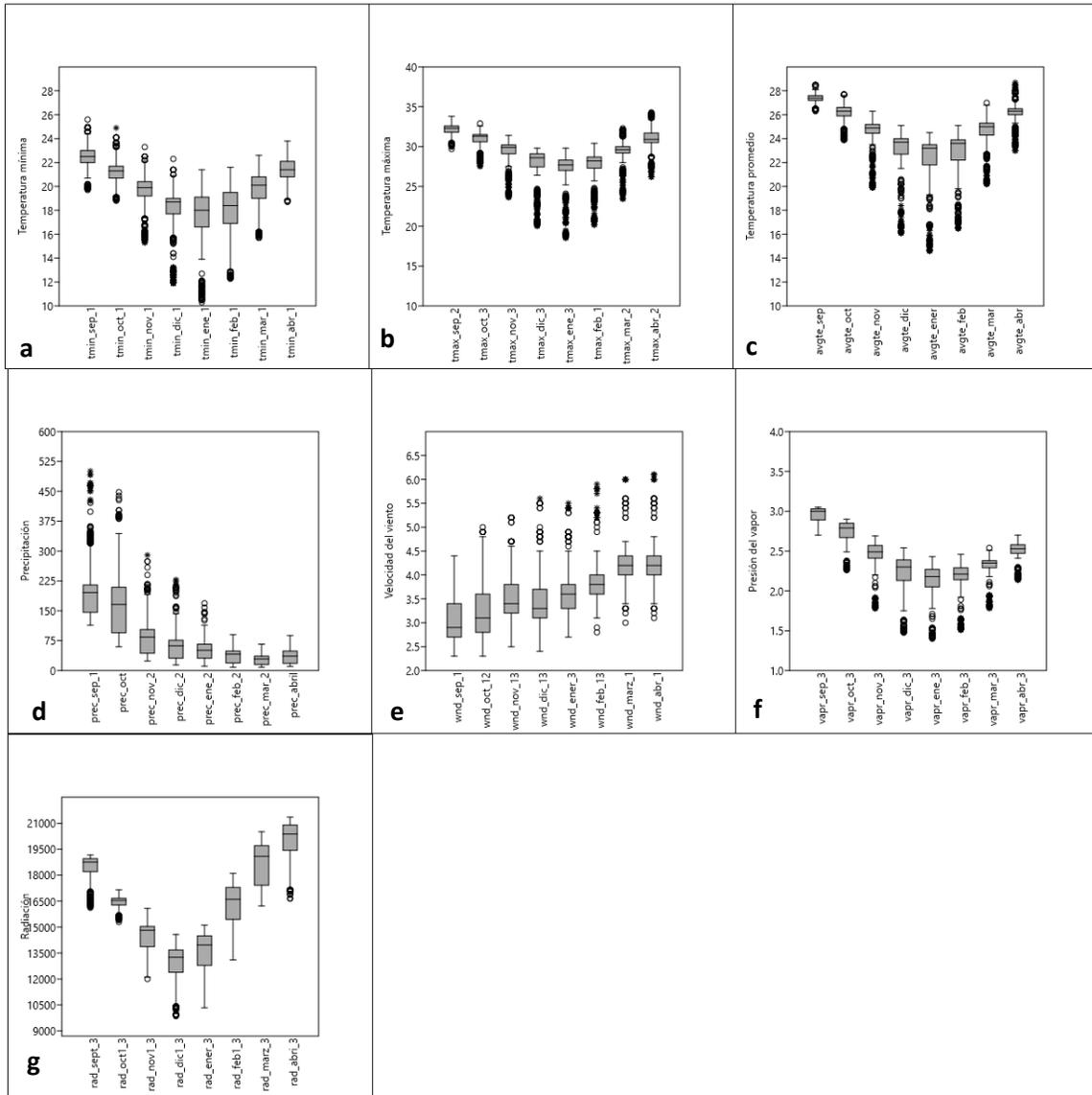
Zwart, M. C., Mckenzie, A. J., Minderman, J., & Whittingham, M. J. (2016). *Conflicts Between Birds and On-Shore Wind Farms*. (Angelici, Ed.), *Springer International*. Switzerland: Springer International. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22246-2>

## 8. Anexo I

### 7.1 Variables ambientales de las especies migratorias

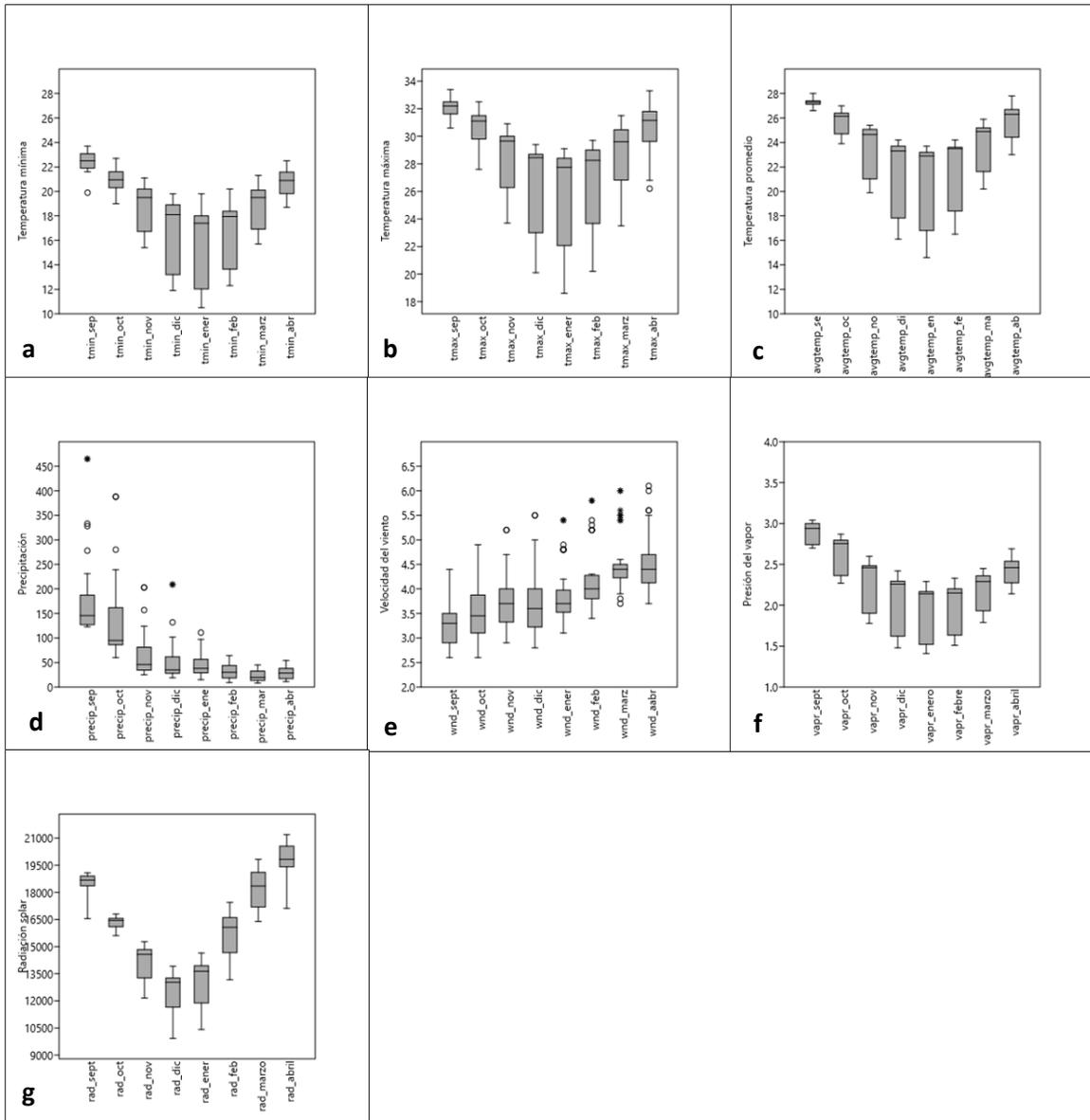
A continuación, se presenta un análisis de cajas y bigotes para las variables más importantes de las especies migratorias que permiten analizar la variabilidad ambiental de la región de estudio entre septiembre y abril.

#### *C. alba*



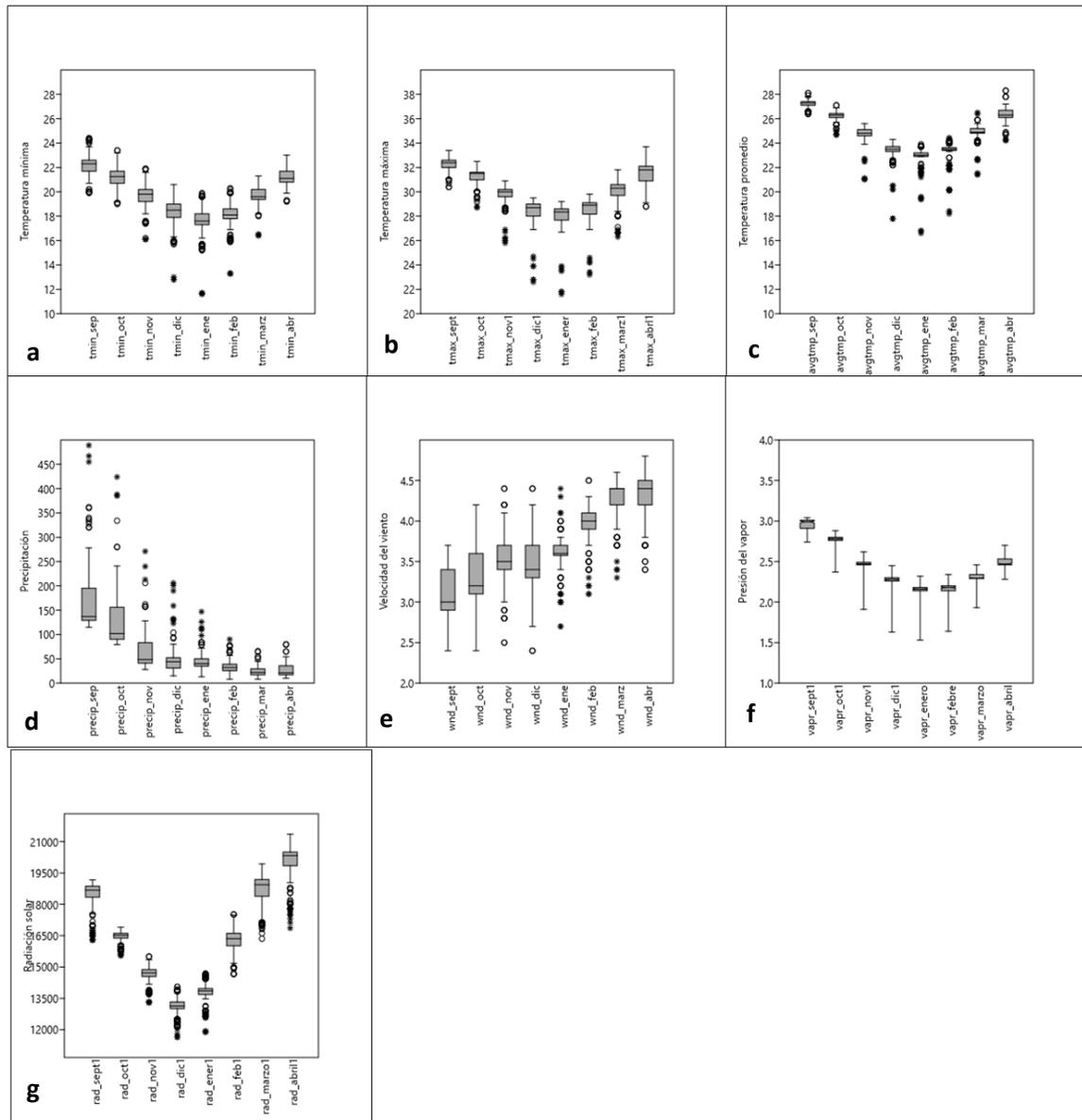
**Figura 20.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *C. alba*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g)

*C. canutus*



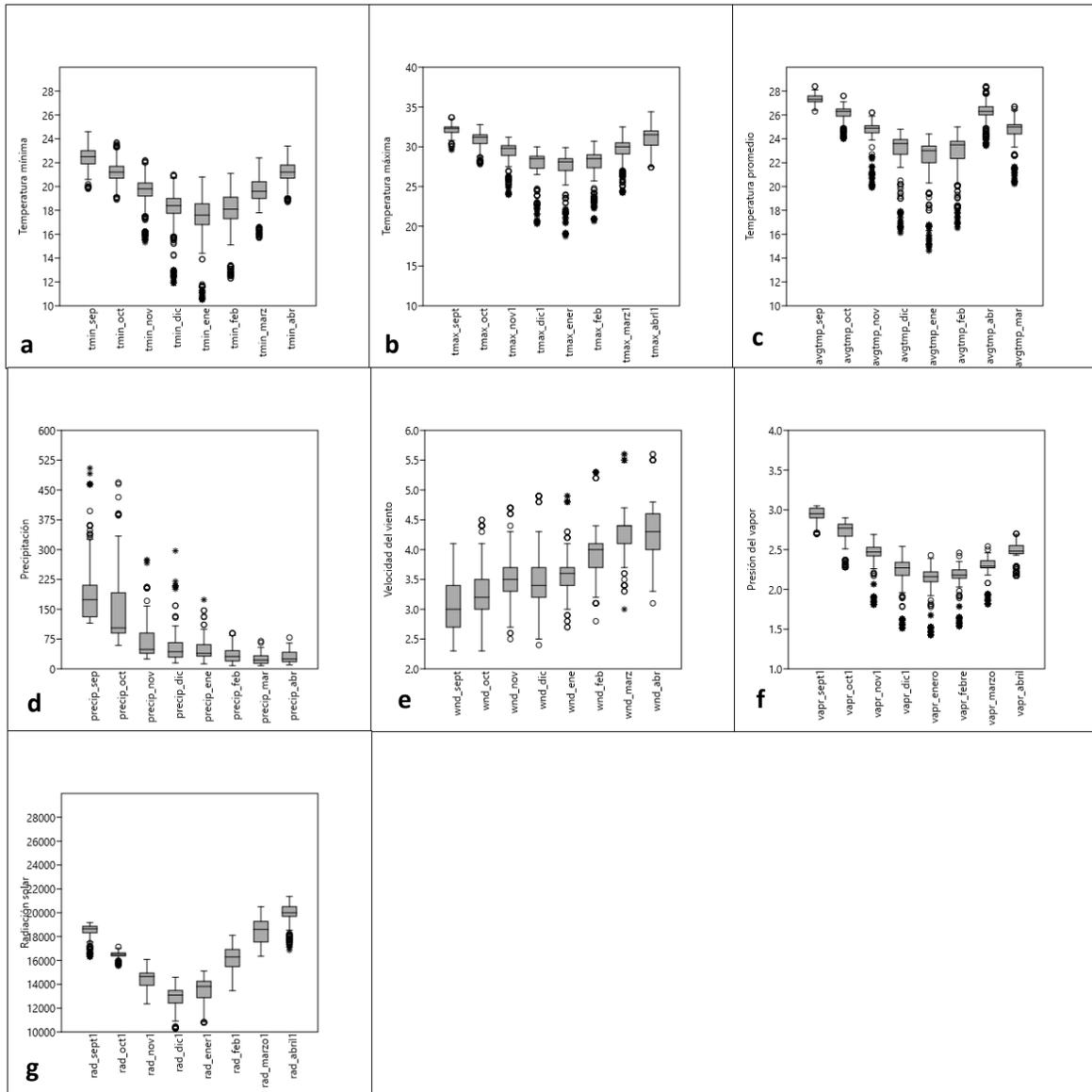
**Figura 21.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *C. canutus*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g)

*C. nivosus*



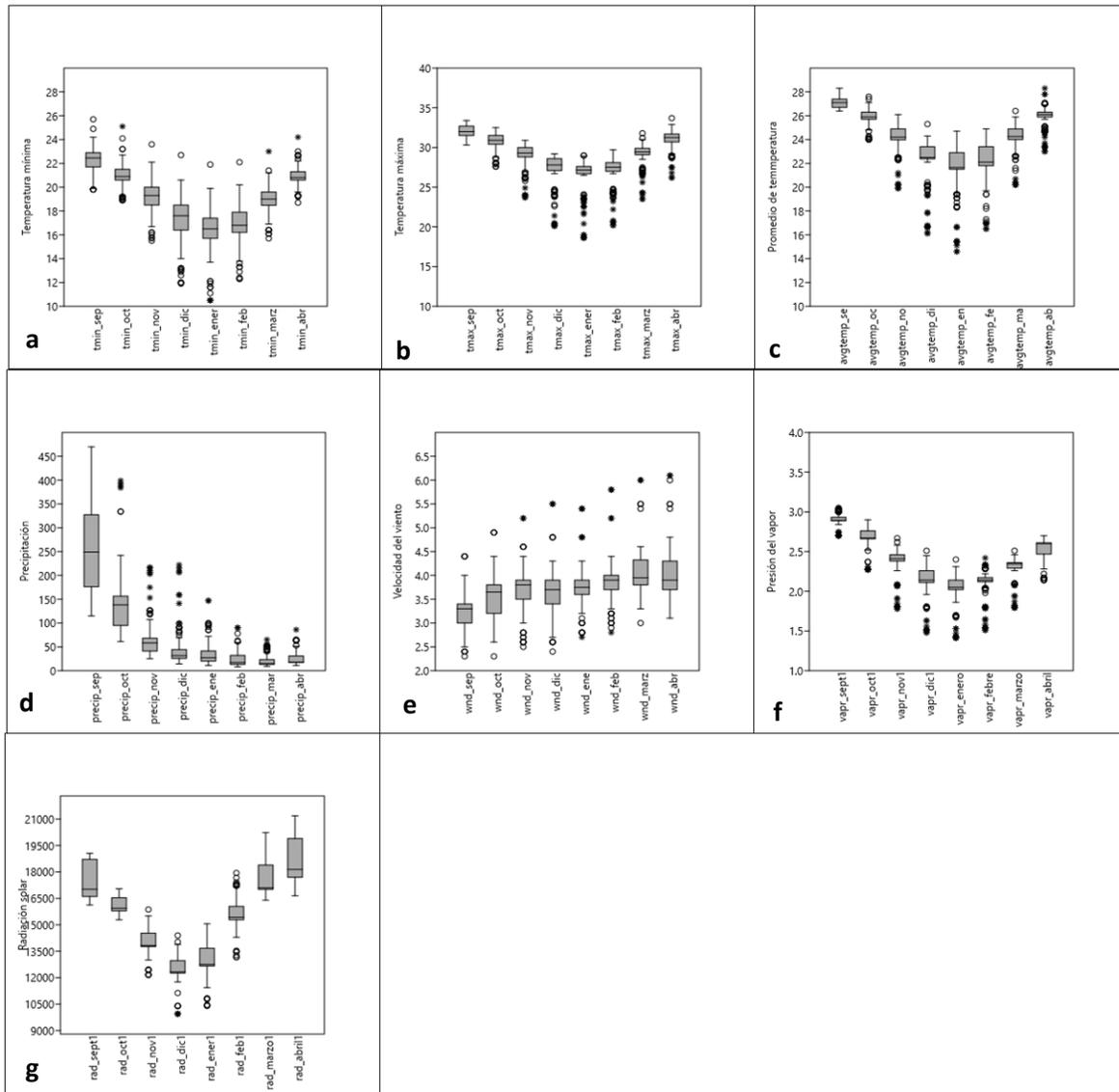
**Figura 22.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *C. nivosus*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).

*C. wilsonia*



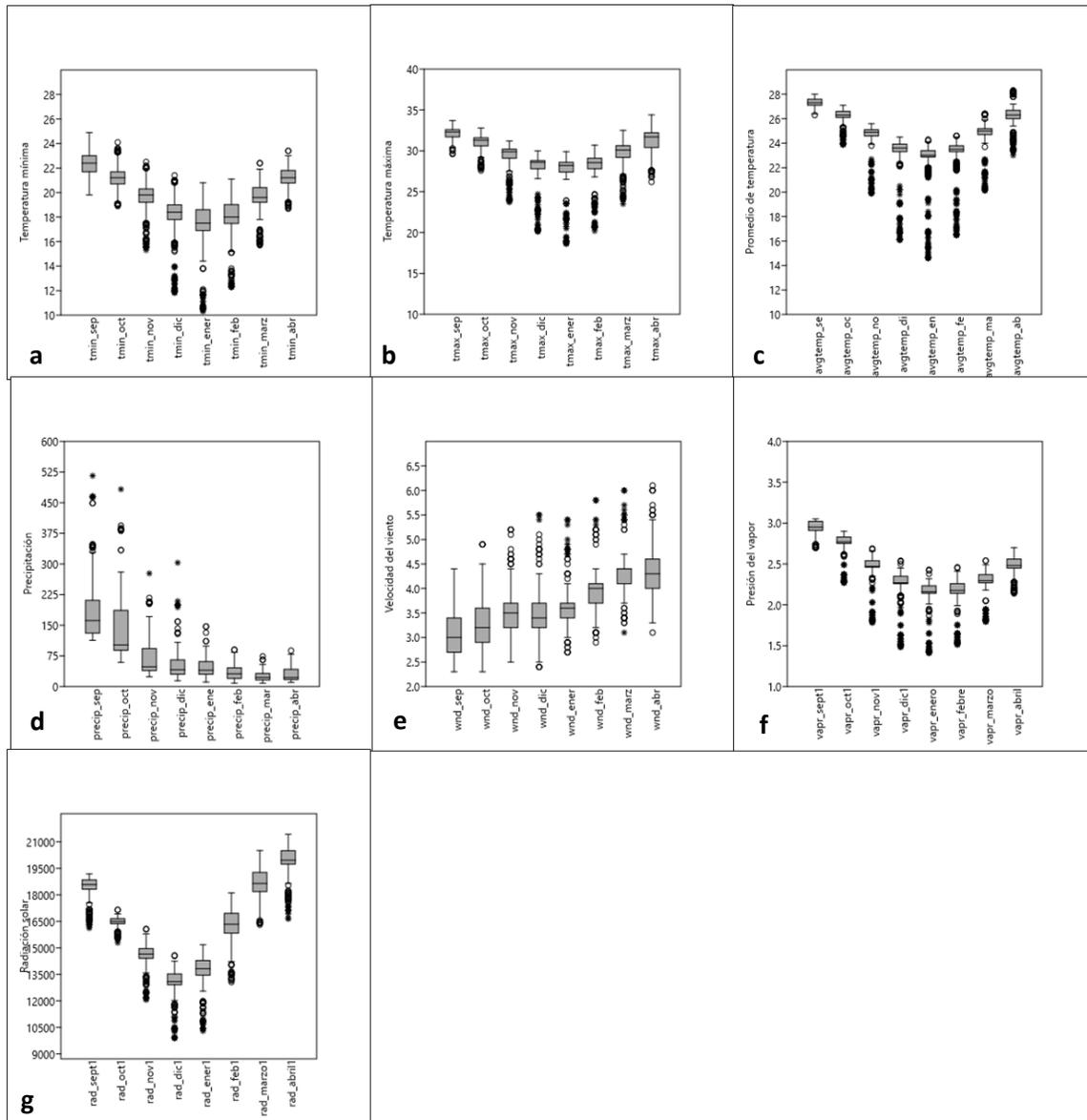
**Figura 23.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *C. wilsonia*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).

*C. niger*



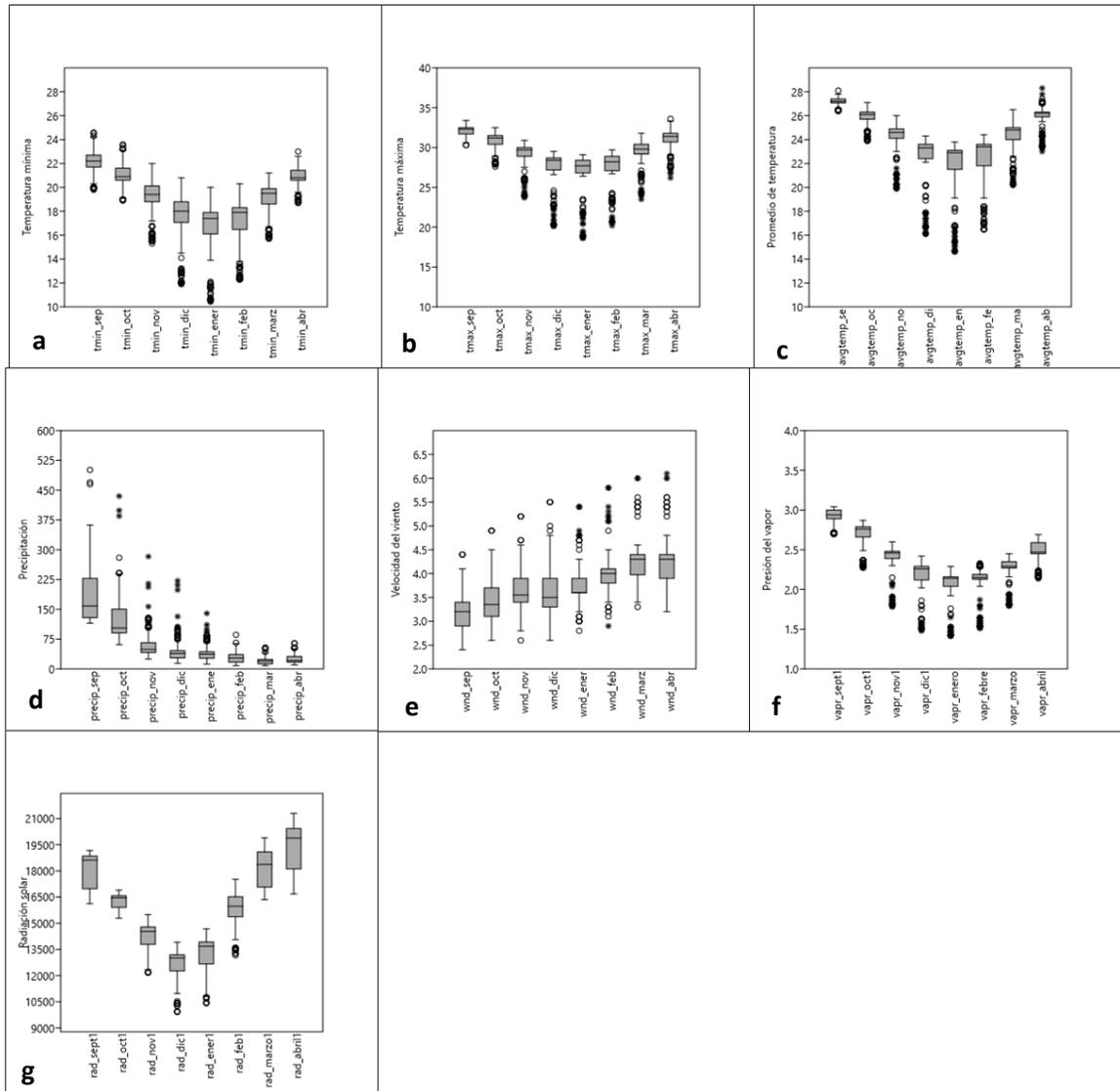
**Figura 24.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *C. niger*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).

*E. rufescens*



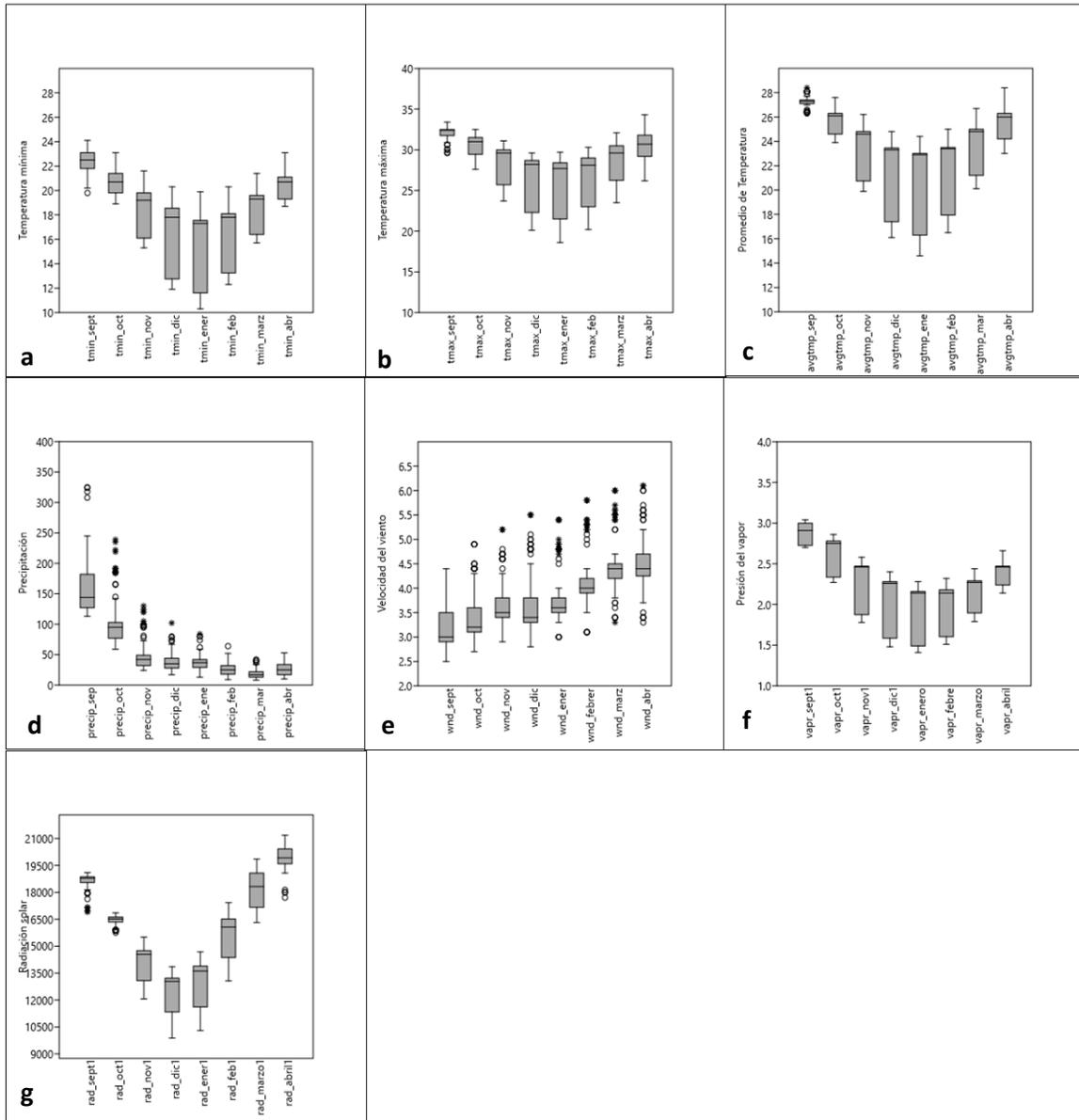
**Figura 25.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *E. rufescens*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).

*G. nilotica*



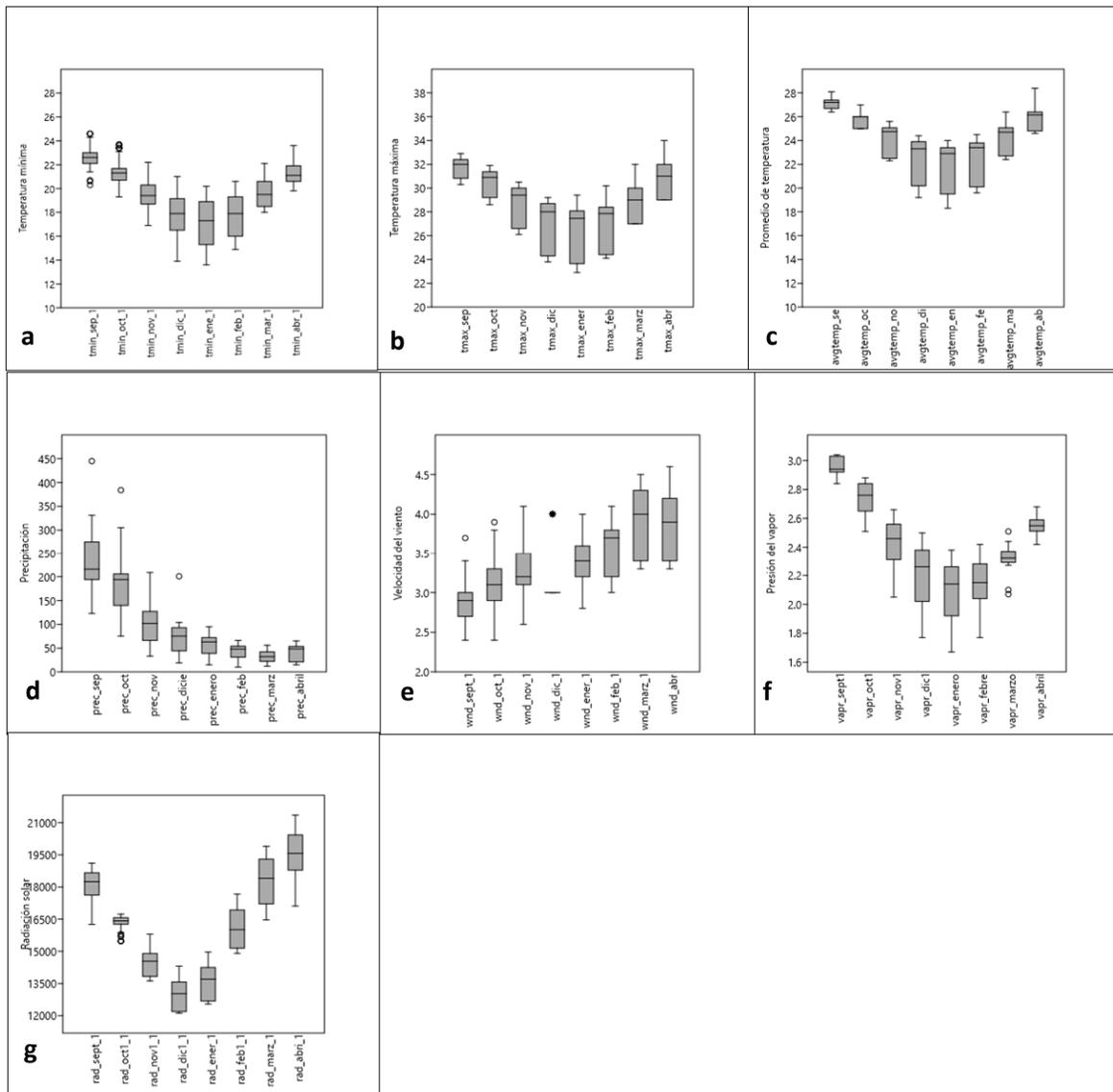
**Figura 26.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *G. nilotica*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).

*H. palliatus*



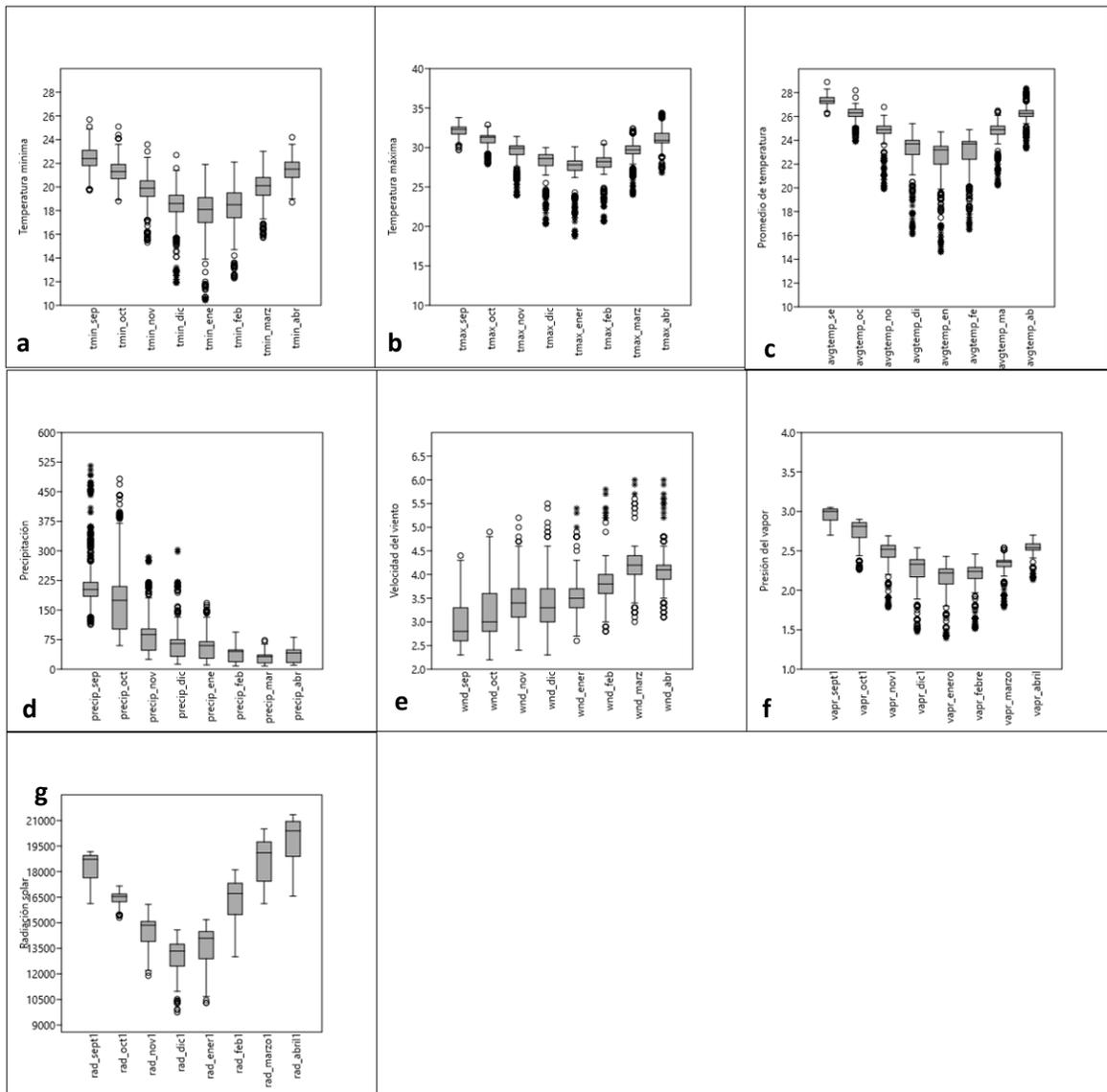
**Figura 27.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *H. palliatus*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).

*I. exilis*



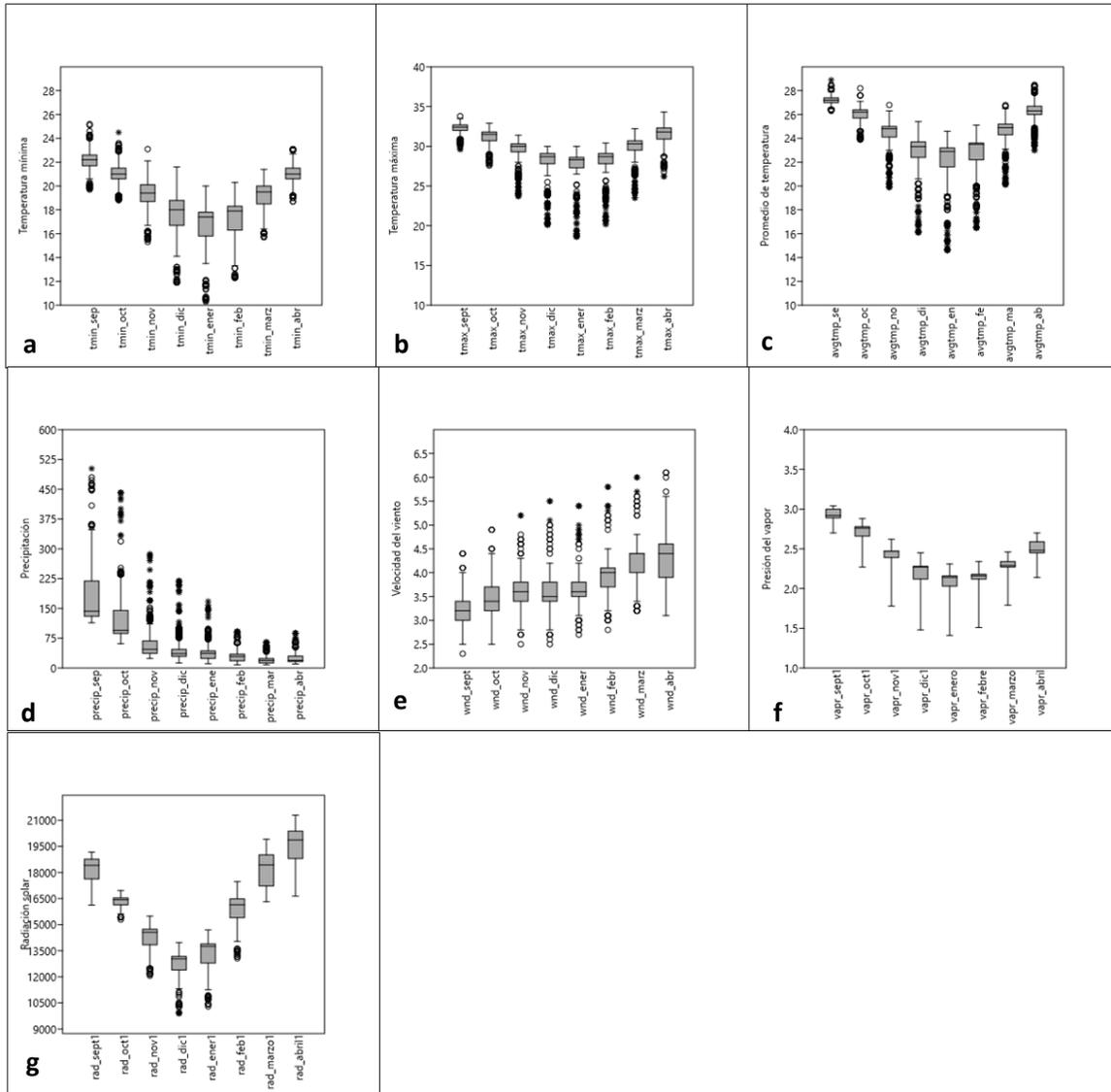
**Figura 28.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *I. exilis*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).

*P. haliaetus*



**Figura 29.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *P. haliaetus*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).

*P. erythrorhynchos*



**Figura 30.** Variables climáticas utilizadas para el modelado de nicho ecológico de la especie *P. erythrorhynchos*. Temperatura mínima (a), temperatura máxima (b), temperatura promedio (c), precipitación (d), velocidad del viento (e), presión del vapor (f), radiación solar (g).

## ANEXO II

### 7.2 ENMeval

#### 7.2.1 ENMeval aves residentes

Cuadro 11. Resultados del análisis ENMeval para las especies residentes.

<b>Especie</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>C. yucatanicus</i>	H	4
<i>C. forficatus</i>	L	4
<i>D. eliza</i>	H	4
<i>E. martinica</i>	LQH	4
<i>M. americana</i>	L,Q	0.5
<i>P. ruber</i>	LQ	1
<i>P. ajaja</i>	LQ	0.5
<i>S. zena</i>	LQHP	2.5
<i>S. antillarum</i>	LQHP	3.5
<i>T. mexicanum</i>	LQ	0.5
<i>T. guttatum</i>	LQH	2
<i>Z. aurita</i>	LQH	3.5

## 7.2.2 ENMeval aves migratorias

Cuadro 12. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *C. alba*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>C. alba</i>	Septiembre	LQHP	4
	Octubre	H	3
	Noviembre	LQ	0.5
	Diciembre	LQH	4
	Enero	LQ	0.5
	Febrero	H	2.5
	Marzo	LQH	1.5
	Abrill	LQH	3.5

Cuadro 13. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *C. canutus*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>C. canutus</i>	Septiembre	LQH	4
	Octubre	LQH	2
	Noviembre	LQH	2
	Diciembre	H	2
	Enero	LQH	3.5
	Febrero	LQH	2.5
	Marzo	LQH	2.5
	Abrill	LQHP	2

Cuadro 14. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *C. nivosus*.

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>C. nivosus</i>	Septiembre	LQH	2.5
	Octubre	H	1
	Noviembre	LQH	1.5
	Diciembre	H	0.5
	Enero	H	2.5
	Febrero	H	2.5
	Marzo	LQH	2.5
	Abrill	LQ	0.5

Cuadro 15. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *C. wilsonia*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>C. wilsonia</i>	Septiembre	LQH	2.5
	Octubre	H	1.5
	Noviembre	H	2.5
	Diciembre	LQH	2.5
	Enero	LQH	4
	Febrero	H	3.5
	Marzo	H	3.5
	Abrill	LQH	1

Cuadro 16. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *C. niger*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>C. niger</i>	Septiembre	LQHP	3
	Octubre	LQH	3.5
	Noviembre	LQH	2.5
	Diciembre	LQH	2.5
	Enero	H	2
	Febrero	LQHP	3
	Marzo	LQHP	4
	Abrill	LQHP	3.5

Cuadro 17. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *E. rufescens*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>E. rufescens</i>	Septiembre	LQH	1.5
	Octubre	LQHP	2.5
	Noviembre	H	3
	Diciembre	H	2
	Enero	H	3.5
	Febrero	H	1.5
	Marzo	LQH	3.5
	Abrill	LQH	2.5

Cuadro 18. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *G. nilotica*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>G. nilotica</i>	Septiembre	H	1.5
	Octubre	LQHP	3
	Noviembre	LQHP	2
	Diciembre	H	2
	Enero	H	2
	Febrero	LQH	1
	Marzo	LQH	3
	Abrill	LQHP	3

Cuadro 19. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *H. palliatus*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>H. palliatus</i>	Septiembre	H	4
	Octubre	LQH	1.5
	Noviembre	LQHPT	2
	Diciembre	LQH	2
	Enero	LQHP	1.5
	Febrero	LQHPT	2
	Marzo	LQHPT	2
	Abrill	LQH	1

Cuadro 20. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *I. exilis*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>I. exilis</i>	Septiembre	LQ	0.5
	Octubre	H	3.5
	Noviembre	LQHP	4
	Diciembre	LQHPT	2
	Enero	H	1
	Febrero	H	0.5
	Marzo	H	2
	Abrill	LQHP	1.5

Cuadro 21. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *P. haliaetus*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>P. haliaetus</i>	Septiembre	LQ	0.5
	Octubre	LQHP	1.5
	Noviembre	H	1.5
	Diciembre	LQH	3.5
	Enero	H	2.5
	Febrero	LQHP	1.5
	Marzo	LQHP	3.5
	Abrill	LQHP	2.5

Cuadro 22. Resultados del análisis ENMeval para la especie migratoria *P. erythrorhynchos*

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Features</b>	<b>Múltiplo de regularización</b>
<i>P. erythrorhynchos</i>	Septiembre	LQHP	2.5
	Octubre	LQH	2
	Noviembre	LQHP	1.5
	Diciembre	LQHP	2
	Enero	LQH	4
	Febrero	H	2
	Marzo	H	1
	Abrill	H	4

## ANEXO III

### 7.3 Mapas de distribución potencial

#### 7.3.1 Especies residentes

A continuación, se presentan los mapas de distribución potencial para las especies de aves costeras, residentes del Atlántico mexicano.

**Especies de amplia distribución:**

*P. ajaja*

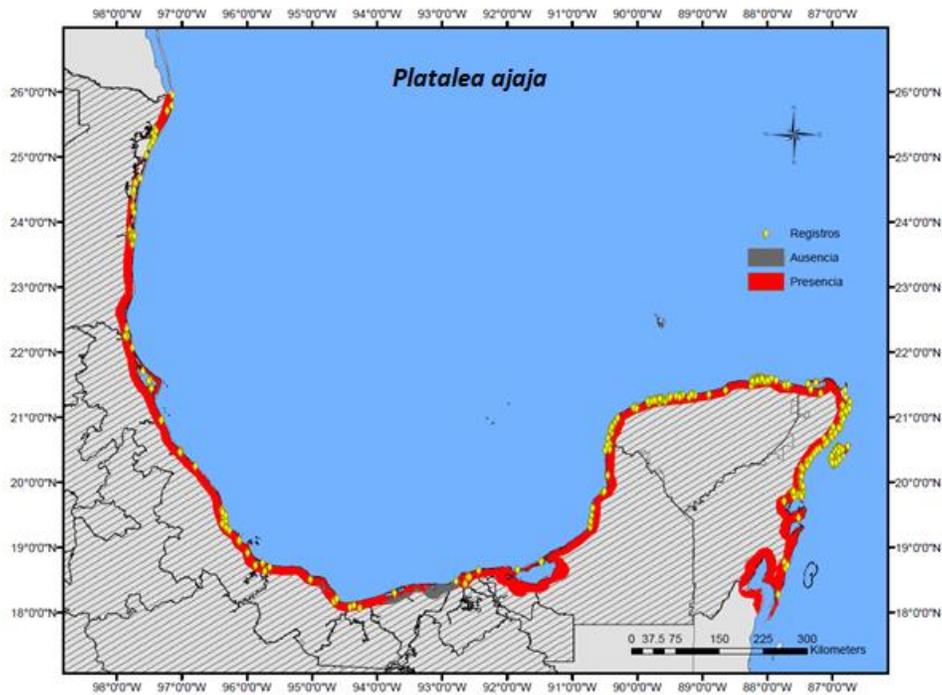


Figura 31. Distribución potencial de *P. ajaja*.

*M. americana*

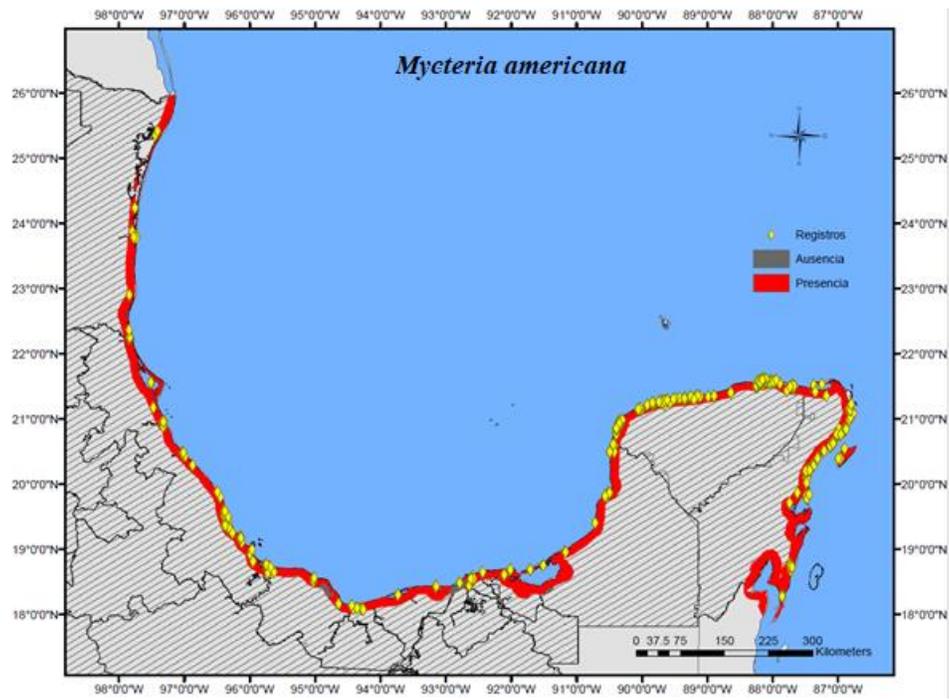


Figura 32. Distribución potencial de *M. americana*.

*T. mexicanum*

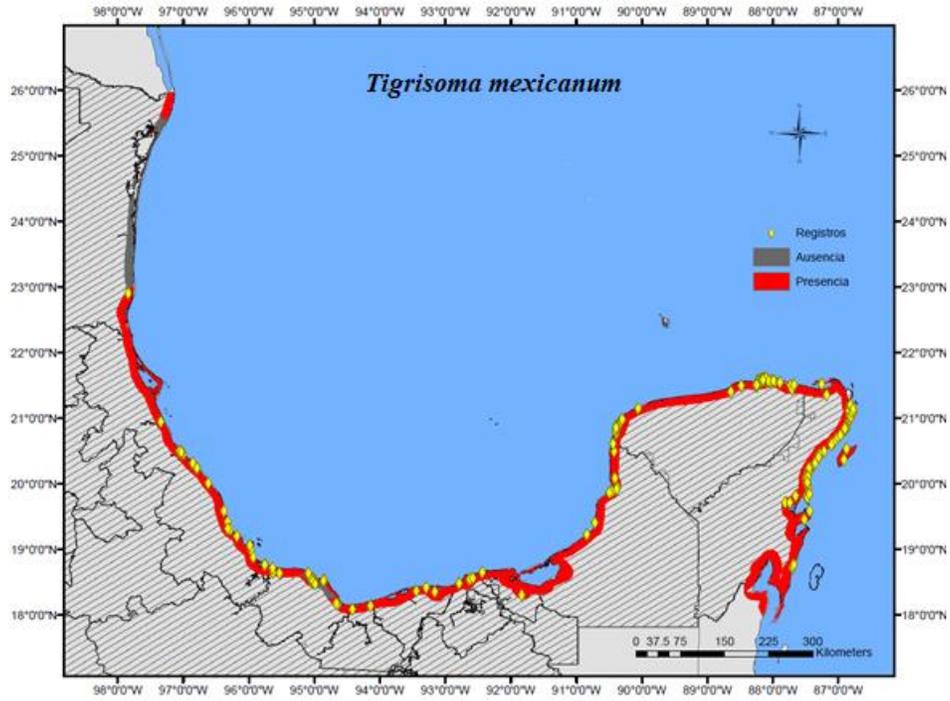


Figura 33. Distribución potencial de *T. mexicanum*.

## Especies del Golfo de México y la Península de Yucatán:

### *S. antillarum*

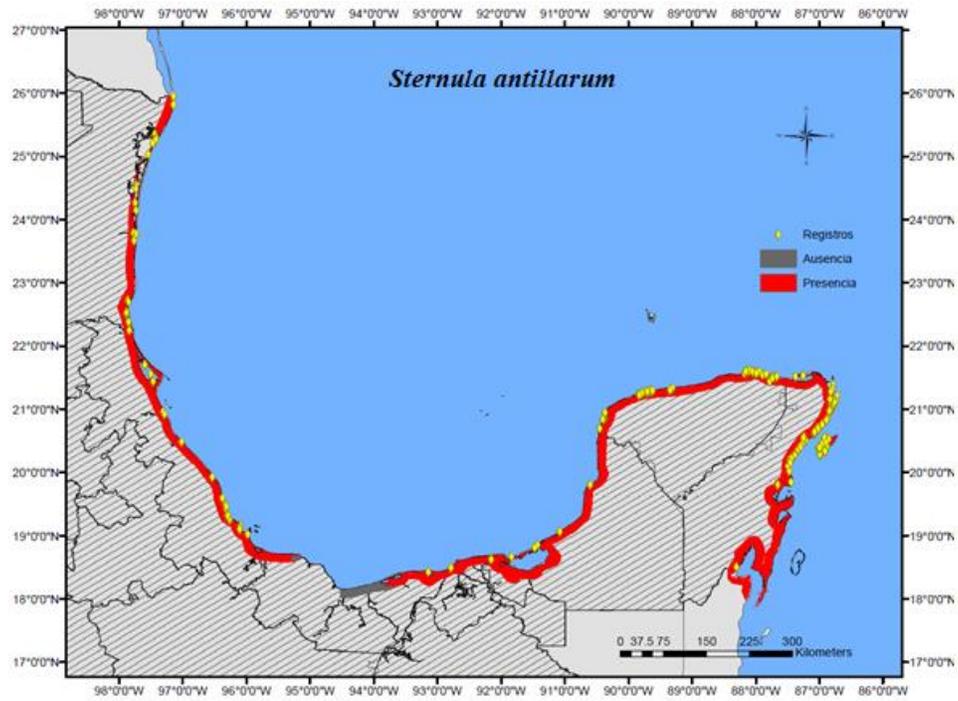


Figura 34. Distribución potencial de *S. antillarum*.

*D. eliza*

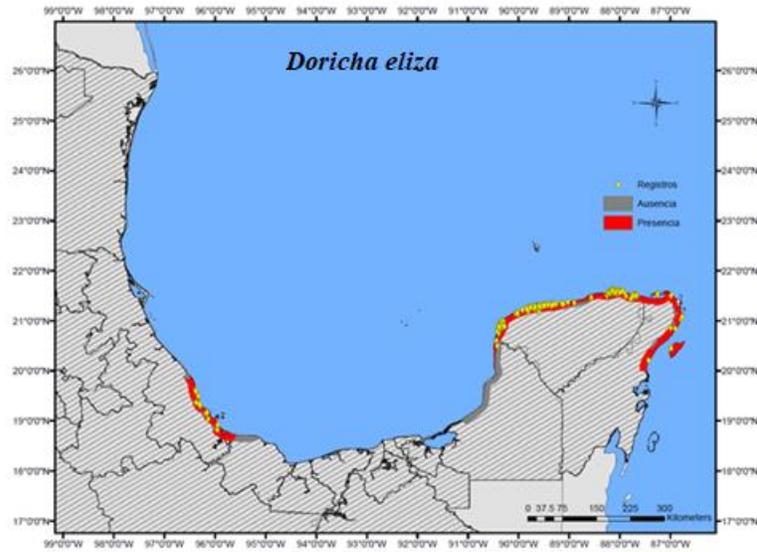


Figura 35. Distribución potencial de *D. eliza*.

## Especies de la Península de Yucatán:

### *C. yucatanicus*

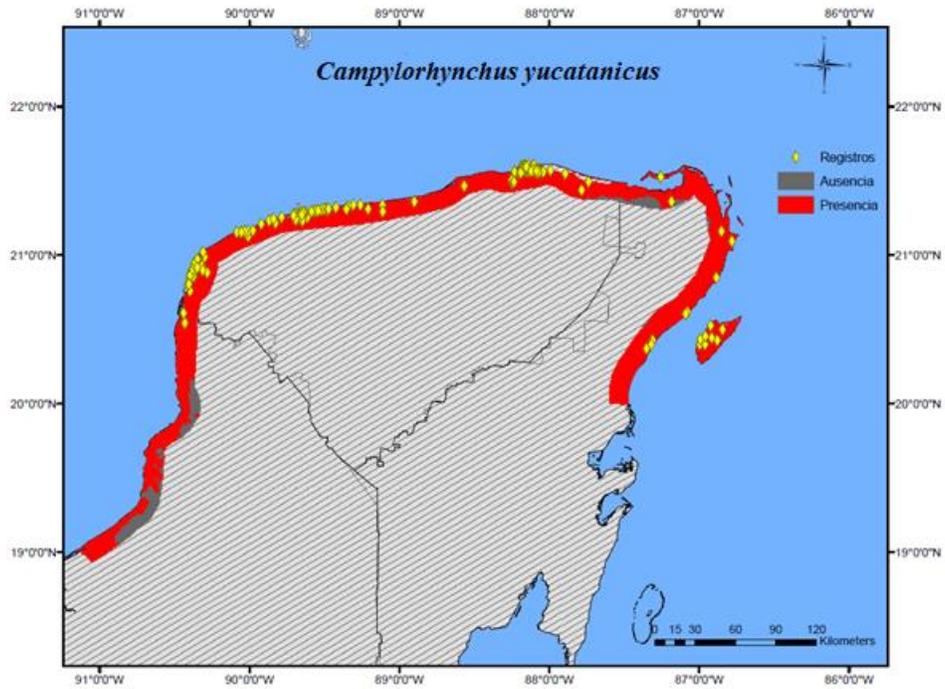


Figura 36. Distribución potencial de *C. yucatanicus*.

*C. forficatus*

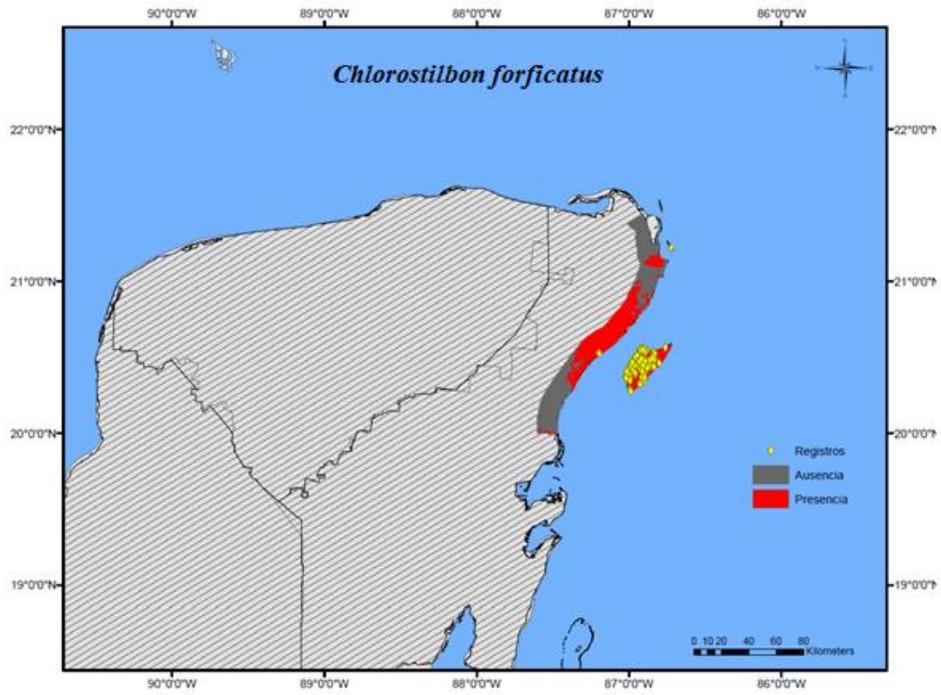


Figura 37. Distribución potencial de *C. forficatus*.

*E. martinica*

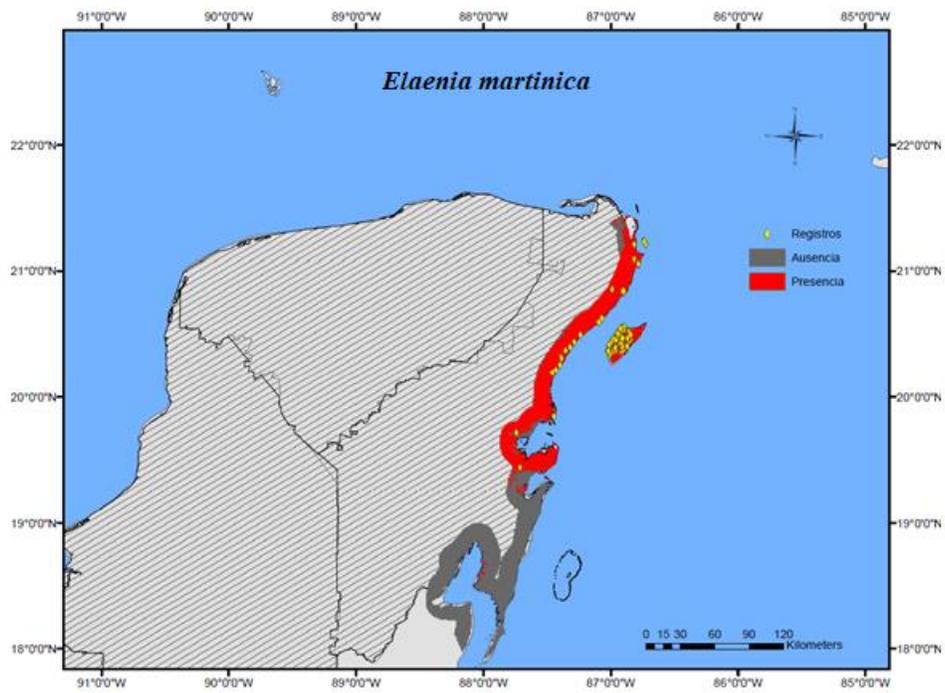


Figura 38. Distribución potencial de *E. martinica*.

*P. ruber*

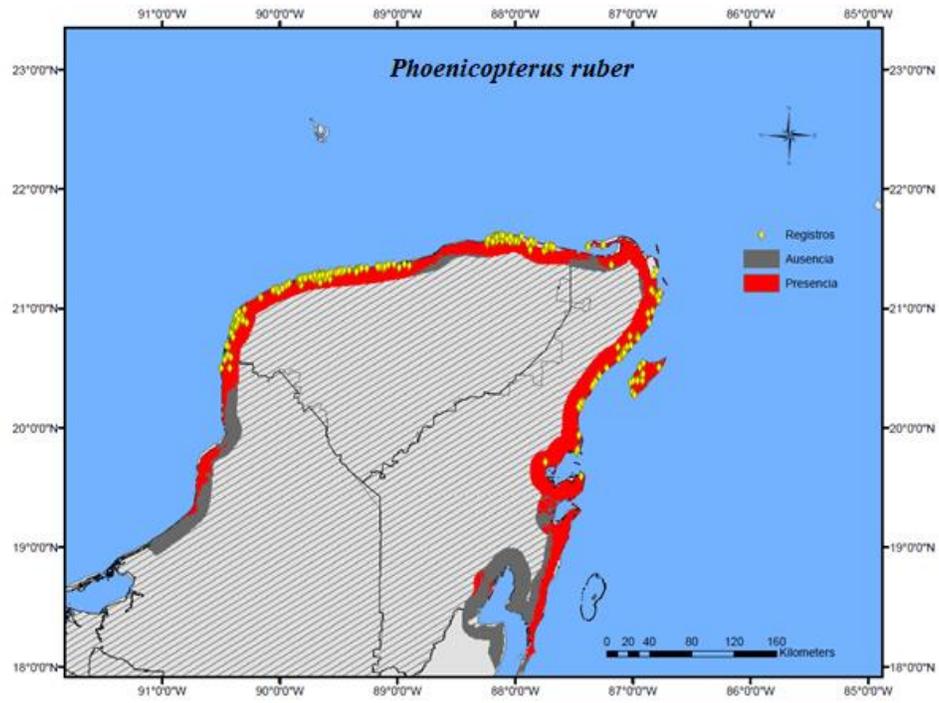


Figura 39. Distribución potencial de *P. ruber*.

*Z. aurita*

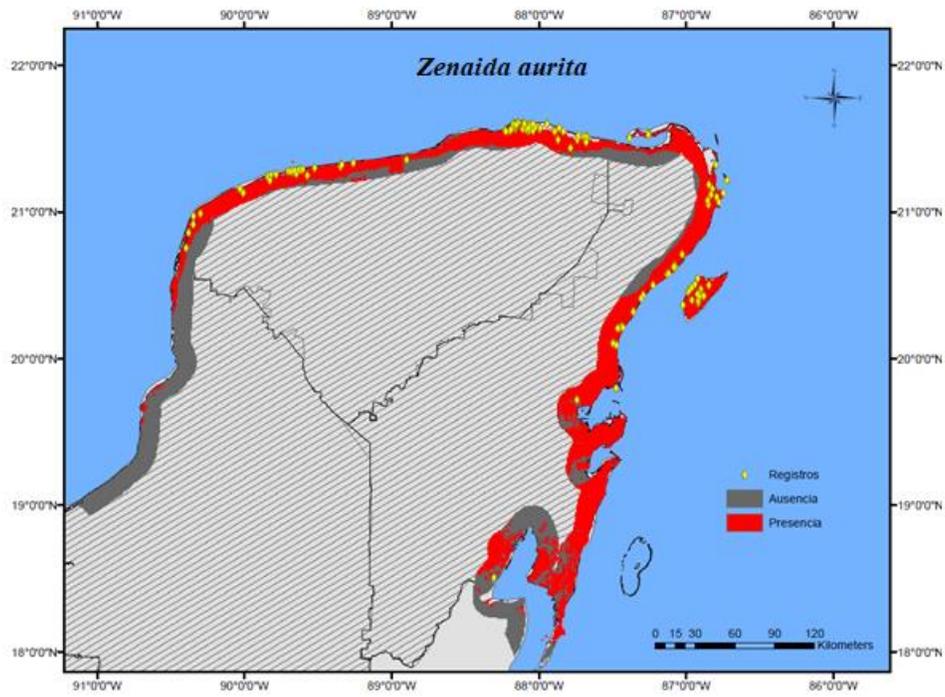


Figura 40. Distribución potencial de *Z. aurita*.

*T. guttatum*

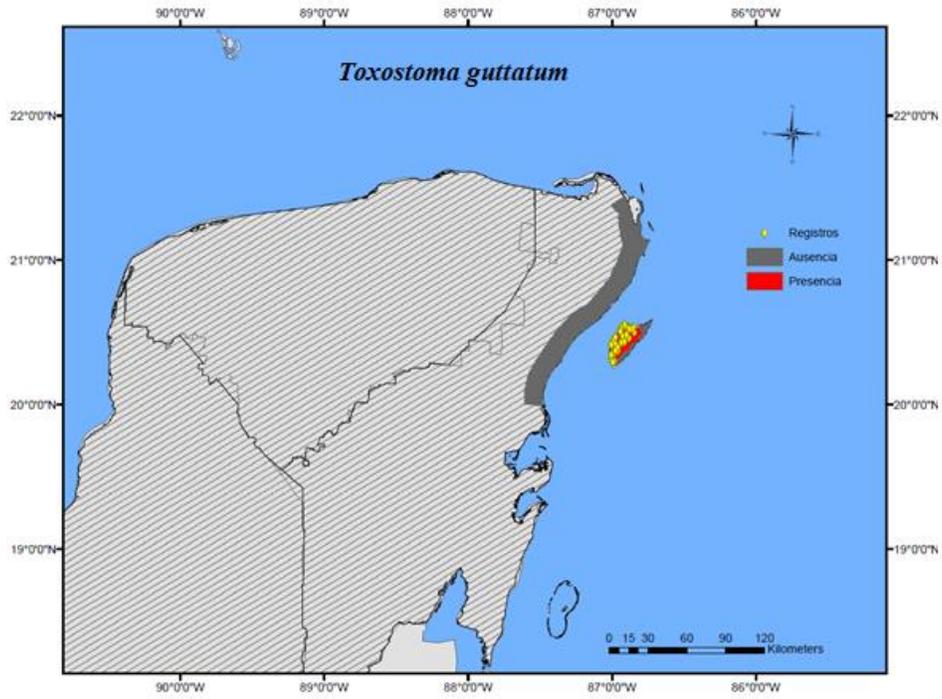
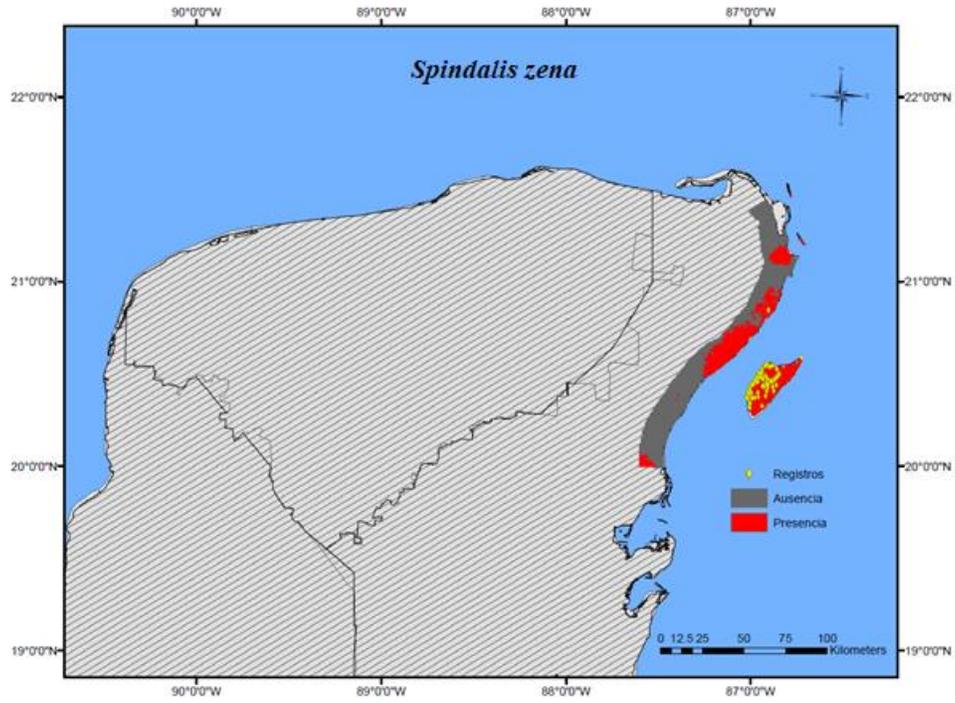


Figura 41. Distribución potencial de *T. guttatum*.

*S. zena*



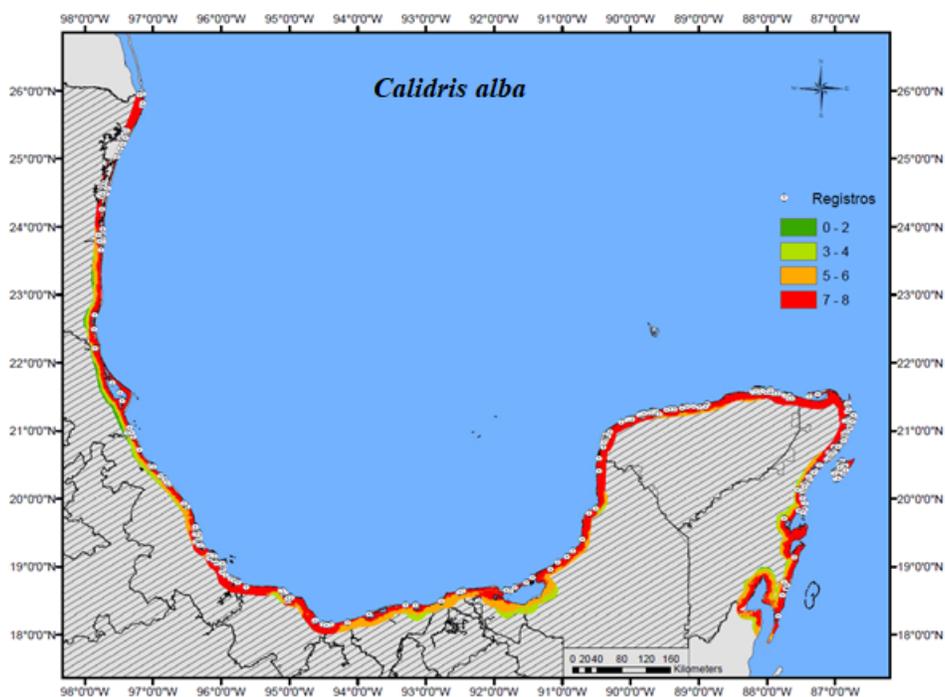
**Figura 42.** Distribución potencial de *S. zena*.

### 7.3.2 Especies migratorias

A continuación, se presentan los mapas de distribución potencial para las especies de aves migratorias en invierno (todas coinciden en el periodo Septiembre-Abril).

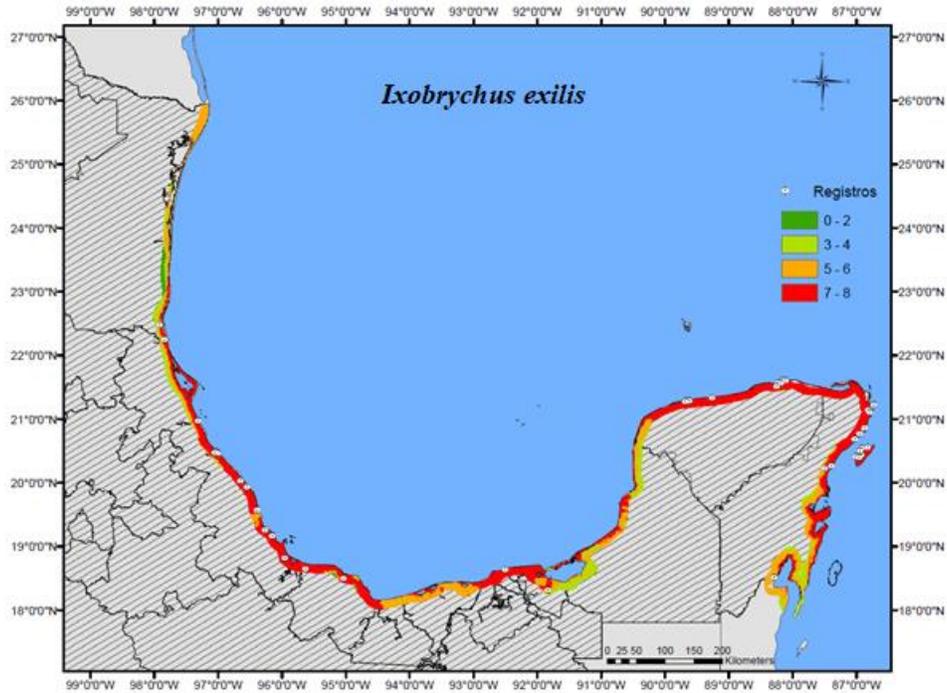
#### Especies de amplia distribución:

##### *C. alba*



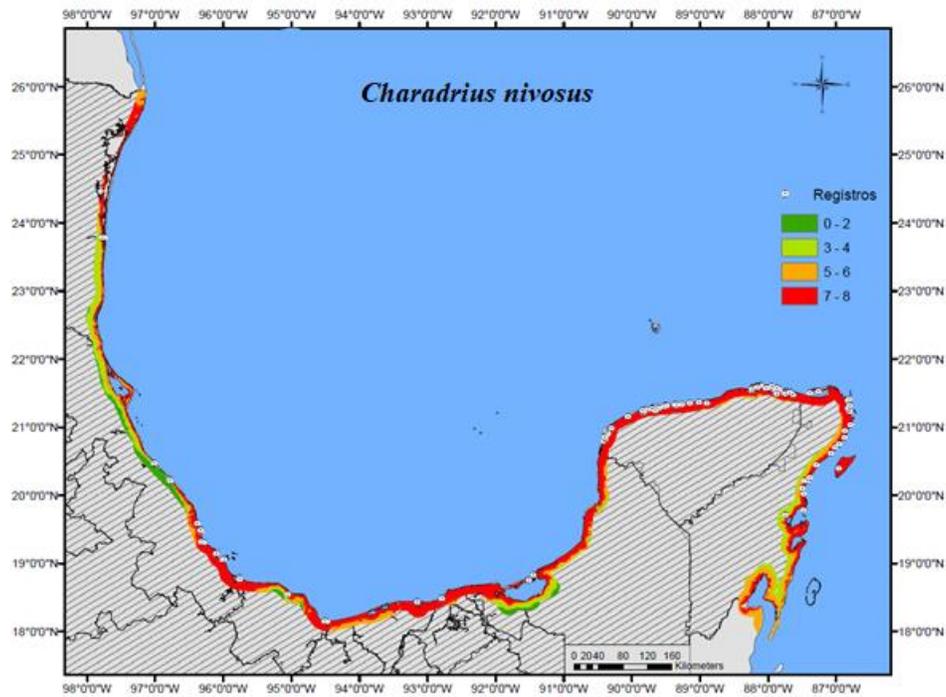
**Figura 43.** Distribución potencial de *C. alba*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

*I. exilis*



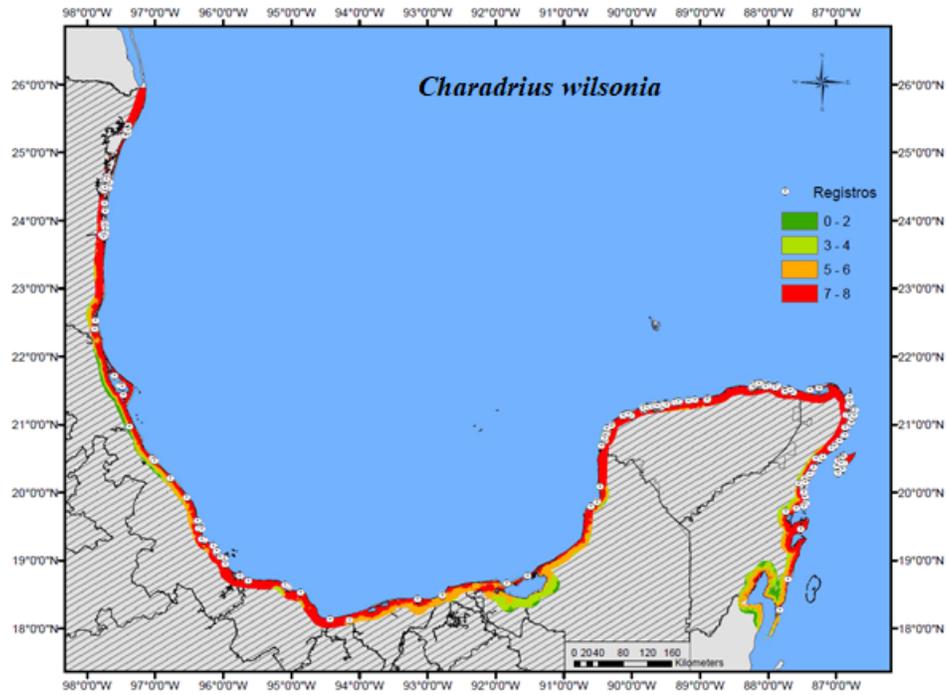
**Figura 44.** Distribución potencial de *I. exilis*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

*C. nivosus*



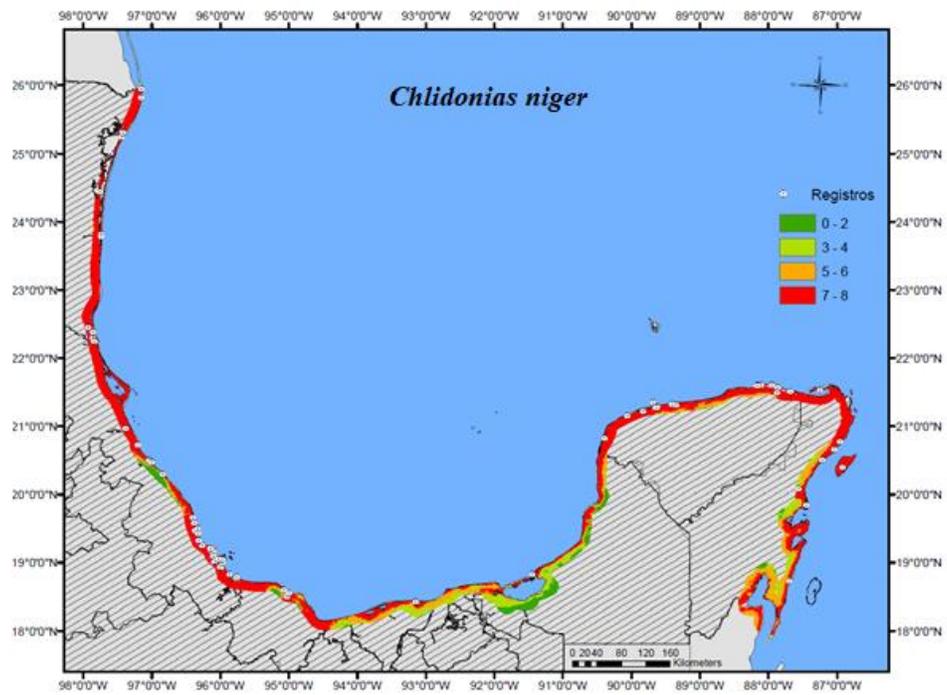
**Figura 45.** Distribución potencial de *C. nivosus*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

*C. wilsonia*



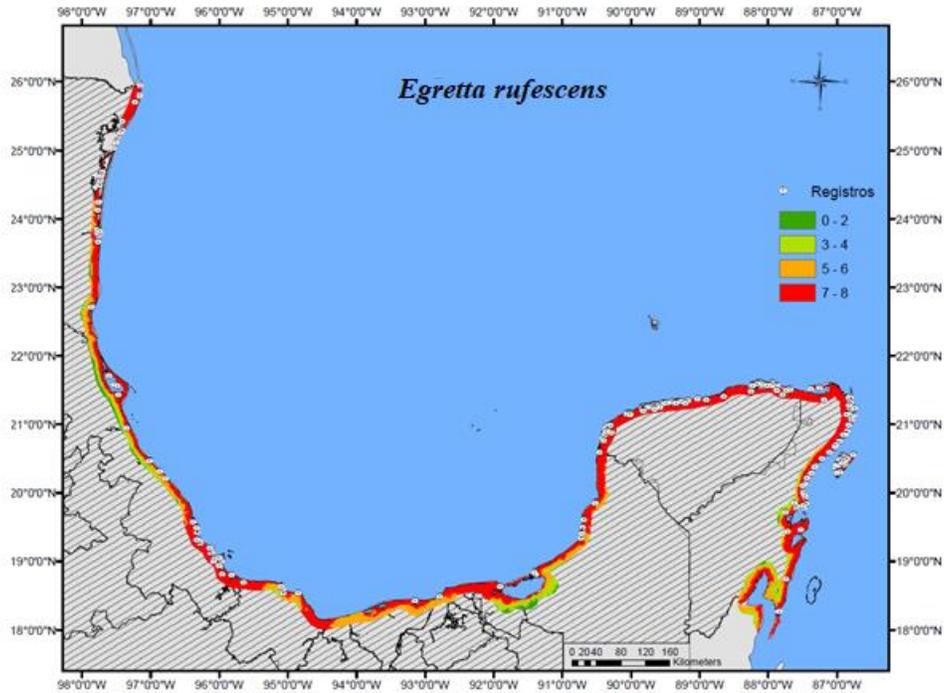
**Figura 46.** Distribución potencial de *C. wilsonia*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

*C. niger*



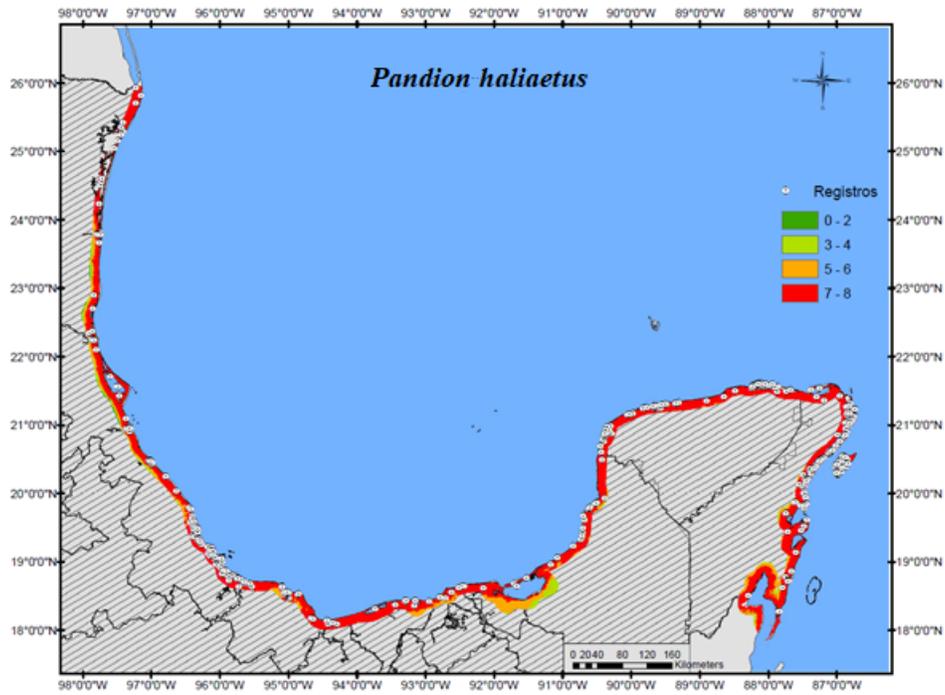
**Figura 47.** Distribución potencial de *C. niger*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

*E. rufescens*



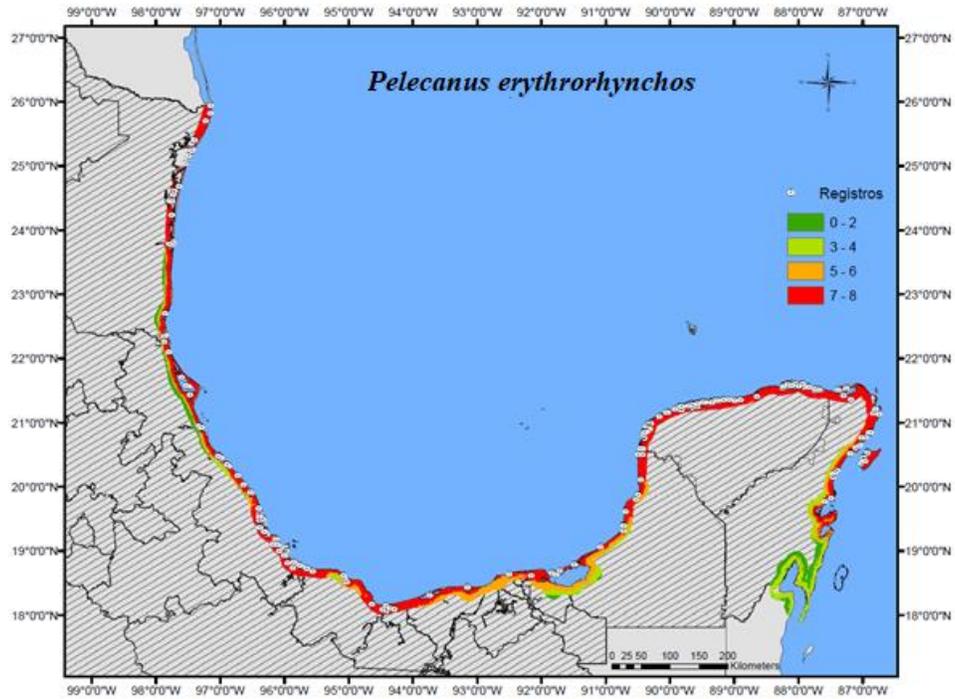
**Figura 48.** Distribución potencial de *E. rufescens*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

*P. haliaetus*



**Figura 49.** Distribución potencial de *P. haliaetus*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

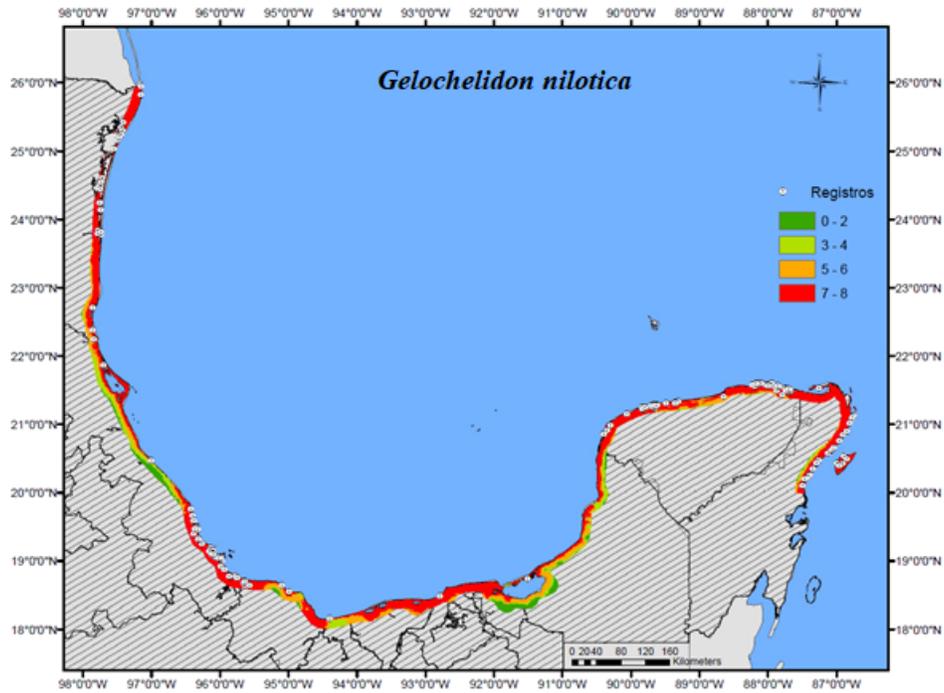
*P. erythrorhynchos*



**Figura 50.** Distribución potencial de *P. erythrorhynchos*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

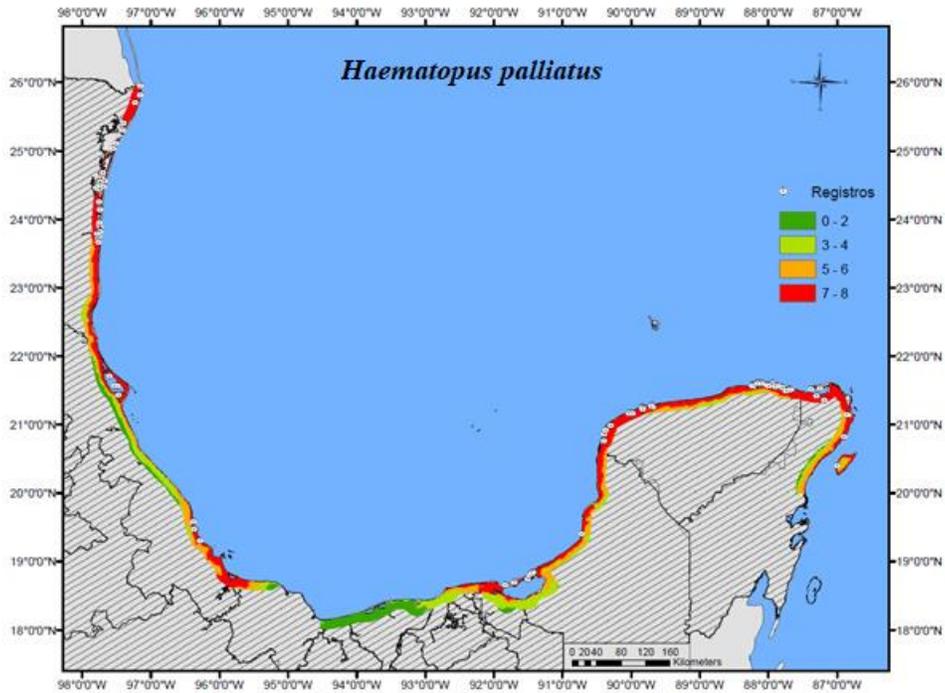
## Especies del Golfo de México y la Península de Yucatán

### *G. nilotica*



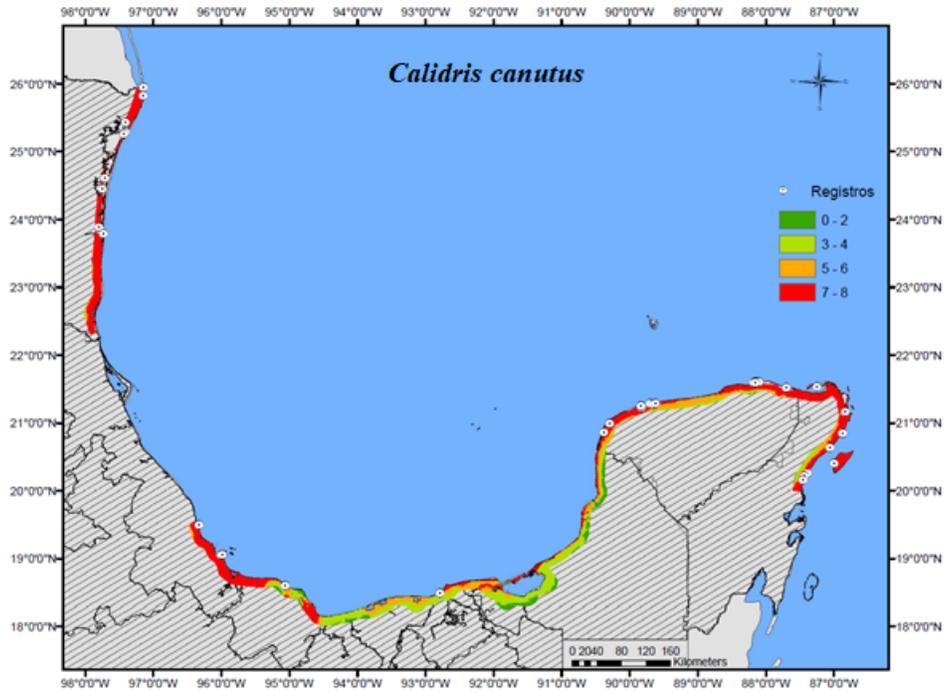
**Figura 51.** Distribución potencial de *G. nilotica*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

*H. palliatus*



**Figura 52.** Distribución potencial de *H. palliatus*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

*C. canutus*



**Figura 53.** Distribución potencial de *C. canutus*. La escala de colores representa el número de presencias obtenidas al sumar la distribución potencial por mes de las aves migratorias. El verde oscuro representa el menor número de presencias, el rojo el mayor número de presencias.

## ANEXO IV

### 7.4 Evaluación de los modelos

#### 7.4.1 Especies residentes

**Cuadro 23.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

<b>Especie</b>	<b>Training data AUC</b>	<b>Test data AUC</b>
<i>C. forficatus</i>	0.94	0.95
<i>C. yucatanicus</i>	0.90	0.95
<i>D. eliza</i>	0.90	0.93
<i>E. martinica</i>	0.97	0.97
<i>M. americana</i>	0.79	0.82
<i>P. ajaja</i>	0.81	0.86
<i>P. ruber</i>	0.92	0.93
<i>S. zena</i>	0.95	0.96
<i>S. antillarum</i>	0.86	0.87
<i>T. guttatum</i>	0.95	0.97
<i>T. mexicanum</i>	0.83	0.86
<i>Z. aurita</i>	0.92	0.93

## 7.4.2 Especies migratorias

**Cuadro 24.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

Especie	Mes	Training data AUC	Test data AUC
<i>C. alba</i>	Septiembre	0.82	0.81
	Octubre	0.83	0.82
	Noviembre	0.78	0.72
	Diciembre	0.82	0.8
	Enero	0.82	0.83
	Febrero	0.86	0.87
	Marzo	0.87	0.87
	Abril	0.85	0.85

**Cuadro 25.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

Especie	Mes	Training data AUC	Test data AUC
<i>C. nivosus</i>	Septiembre	0.92	0.89
	Octubre	0.92	0.83
	Noviembre	0.89	0.79
	Diciembre	0.92	0.8
	Enero	0.91	0.82
	Febrero	0.91	0.82
	Marzo	0.9	0.82
	Abril	0.9	0.82

**Cuadro 26.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

Especie	Mes	Training data AUC	Test data AUC
<i>E. rufescens</i>	Septiembre	0.85	0.82
	Octubre	0.84	0.84
	Noviembre	0.85	0.85
	Diciembre	0.84	0.84
	Enero	0.86	0.86
	Febrero	0.87	0.85
	Marzo	0.86	0.84
	Abril	0.87	0.86

**Cuadro 27.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Training data AUC</b>	<b>Test data AUC</b>
<i>C. wilsonia</i>	Septiembre	0.85	0.83
	Octubre	0.85	0.86
	Noviembre	0.86	0.86
	Diciembre	0.84	0.86
	Enero	0.86	0.87
	Febrero	0.86	0.85
	Marzo	0.87	0.85
	Abril	0.9	0.87

**Cuadro 28.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Training data AUC</b>	<b>Test data AUC</b>
<i>C. niger</i>	Septiembre	0.81	0.85
	Octubre	0.83	0.8
	Noviembre	0.85	0.85
	Diciembre	0.83	0.77
	Enero	0.88	0.85
	Febrero	0.86	0.84
	Marzo	0.85	0.84
	Abril	0.87	0.84

**Cuadro 29.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Training data AUC</b>	<b>Test data AUC</b>
<i>I. exilis</i>	Septiembre	0.8	0.84
	Octubre	0.83	0.87
	Noviembre	0.82	0.91
	Diciembre	0.82	0.9
	Enero	0.87	0.96
	Febrero	0.9	0.95
	Marzo	0.81	0.85
	Abril	0.83	0.91

**Cuadro 30.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Training data AUC</b>	<b>Test data AUC</b>
<i>P. haliaetus</i>	Septiembre	0.79	0.81
	Octubre	0.83	0.83
	Noviembre	0.83	0.81
	Diciembre	0.8	0.78
	Enero	0.85	0.82
	Febrero	0.86	0.83
	Marzo	0.84	0.81
	Abril	0.84	0.83

**Cuadro 31.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Training data AUC</b>	<b>Test data AUC</b>
<i>P. erythrorhynchos</i>	Septiembre	0.85	0.84
	Octubre	0.86	0.85
	Noviembre	0.87	0.86
	Diciembre	0.84	0.85
	Marzo	0.88	0.87
	Febrero	0.87	0.86
	Enero	0.85	0.86
	Abril	0.82	0.83

**Cuadro 32.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Training data AUC</b>	<b>Test data AUC</b>
<i>C. canutus</i>	Septiembre	0.82	0.95
	Octubre	0.86	0.94
	Noviembre	0.88	0.94
	Diciembre	0.85	0.82
	Enero	0.85	0.83
	Febrero	0.9	0.98
	Marzo	0.89	0.96
	Abril	0.88	0.95

**Cuadro 33.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Training data AUC</b>	<b>Test data AUC</b>
<i>G. nilotica</i>	Septiembre	0.88	0.87
	Octubre	0.85	0.89
	Noviembre	0.85	0.89
	Diciembre	0.85	0.87
	Enero	0.89	0.91
	Febrero	0.91	0.91
	Marzo	0.89	0.93
	Abril	0.89	0.92

**Cuadro 34.** Resultado de la curva de ROC. Valores de AUC.

<b>Especie</b>	<b>Mes</b>	<b>Training data AUC</b>	<b>Test data AUC</b>
<i>H. palliatus</i>	Septiembre	0.89	0.9
	Octubre	0.92	0.89
	Noviembre	0.93	0.87
	Diciembre	0.93	0.88
	Enero	0.94	0.89
	Febrero	0.93	0.89
	Marzo	0.93	0.93
	Abrill	0.94	0.95