

1-1-2018

Relación espacial entre el loro orejiamarillo *Ognorynchus icterotis* y la palma de cera *Ceroxylon quindiuense*, en escenarios de cambio climático

Miguel Angel López López
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia>

Citación recomendada

López López, M. A. (2018). Relación espacial entre el loro orejiamarillo *Ognorynchus icterotis* y la palma de cera *Ceroxylon quindiuense*, en escenarios de cambio climático. Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/25>

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Escuela de Ciencias Básicas y Aplicadas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Biología by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

RELACIÓN ESPACIAL ENTRE EL LORO OREJIAMARILLO (*Ognorhynchus icterotis*) Y LA PALMA DE CERA (*Ceroxylon quindiuense*), EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.

MIGUEL ANGEL LÓPEZ LÓPEZ

**Universidad De La Salle
Departamento de Ciencias Básicas
Bogotá D.C., Colombia**

2018

RELACIÓN ESPACIAL ENTRE EL LORO OREJIAMARILLO (*Ognorhynchus icterotis*) Y LA PALMA DE CERA (*Ceroxylon quindiuense*), EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.

MIGUEL ANGEL LÓPEZ LÓPEZ
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIÓLOGO

DIRECTOR
OSCAR JAVIER RAMOS REAL. Dr. sc. nat.

Universidad De La Salle
Departamento de Ciencias Básicas
Programa de Biología
Bogotá D.C., Colombia
2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por iluminarme en los momentos más difíciles y permitirme la oportunidad de llegar hasta este punto en mi carrera. A mi familia por todo el apoyo brindado, principalmente a mi mamá quien fue mi mayor motivación y el mayor apoyo en todo este proceso con sus palabras de aliento, y la que me dio la oportunidad de sobrellevar una carrera.

Al docente Oscar Javier Ramos por ser mi guía en este proceso, por su apoyo y seguimiento constante en cada etapa de este proyecto y, además, porque más que un tutor, fue un compañero en este camino.

A la Universidad de la Salle, principalmente al programa de biología y a cada docente que hizo parte de mi formación académica, quienes me dieron la oportunidad de incursionar en este camino dentro de la biología, por permitirme la realización del presente proyecto y por mi formación como profesional.

A la Instalación Global de Información sobre la Biodiversidad (GBIF), al Sistema de información sobre la Biodiversidad en Colombia (SIB Colombia) y al Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) por proveer la información necesaria para la realización del presente proyecto.

A mi pareja, a quien agradezco por su apoyo incondicional, por llegar a ser una de mis mayores motivaciones y por su colaboración constante en la construcción de este proyecto. A mis amigos por cada palabra de apoyo y por cada momento compartido en este largo y arduo trayecto.

CONTENIDO

| | Pags. |
|---|-------|
| Resumen..... | 6 |
| Abstract..... | 7 |
| 1. Introducción..... | 8 |
| 2. Objetivos..... | 11 |
| 3. Métodos | |
| 3.1. Georreferencias, variables climáticas y modelos de nicho | 12 |
| 3.2. Evaluación del grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (<i>O. icterotis</i>) y la palma de cera (<i>C. quindiuense</i>) en condiciones climáticas actuales..... | 15 |
| 3.3. Evaluación del grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (<i>O. icterotis</i>) y la palma de cera (<i>C. quindiuense</i>) en condiciones climáticas futuras..... | 15 |
| 3.4 Evaluación del impacto que el cambio climático tiene en el grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (<i>O. icterotis</i>) y la palma de cera (<i>C. quindiuense</i>)..... | 17 |

| | |
|---|----|
| 3.5 Herramientas de análisis..... | 17 |
| 4. Resultados | |
| 4.1. Evaluación del grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (<i>O. icterotis</i>) y la palma de cera (<i>C. quindiuense</i>) en condiciones climáticas actuales..... | 17 |
| 4.2 Evaluación del grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (<i>O. icterotis</i>) y la palma de cera (<i>C. quindiuense</i>) en condiciones climáticas futuras..... | 20 |
| 4.3 Evaluación del impacto que el cambio climático tiene en el grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (<i>O. icterotis</i>) y la palma de cera (<i>C. quindiuense</i>)..... | 25 |
| 4.3.1 Impacto de los gases de tipo invernadero en el grado de coocurrencia de las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera..... | 25 |
| 5. Discusión de resultados..... | 28 |
| 6. Conclusiones..... | 32 |
| 7. Bibliografía..... | 34 |
| 8. Anexos..... | 38 |

RESUMEN

El loro orejiamarillo (*Ognorynchus icterotis*) y la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*) conforman un sistema planta-animal de alta dependencia amenazado por efectos antropogénicos, lo cual ha hecho que el loro orejiamarillo sea categorizado en peligro de extinción. Por esto, se han ejecutado estrategias para su conservación, pero ninguna de estas han utilizado el modelamiento de nicho como herramienta para la comprensión de su dinámica espacial. Siendo así, este trabajo pretende ser un referente en temas espaciotemporales para promover estrategias de conservación del loro orejiamarillo. Específicamente, este trabajo pretende evaluar la relación espacial entre el loro orejiamarillo y la palma de cera en escenarios de cambio climático. Para esto, se realizaron modelamientos del loro orejiamarillo y la palma de cera en condiciones climáticas actuales, los cuales se proyectaron a 2050 y 2070. Se utilizaron datos geográficos de ambas especies y variables climáticas en el presente y proyectadas a futuro. Los modelos de las dos especies se alinearon espacialmente y se realizó un análisis de grado de solapamiento. Por último, se comparó el análisis de solapamiento con emisiones de 3 gases de tipo invernadero. Los resultados mostraron un alto nivel de solapamiento entre el loro orejiamarillo y la palma de cera en los tres momentos evaluados, siendo el escenario 4.5 el que proyecta una mayor área de solapamiento, mientras el 2.6 es el más crítico en este aspecto. Los valores de solapamiento entre el loro orejiamarillo y la palma de cera frente a las emisiones de gases de tipo invernadero no presentan un patrón lineal, variando según el escenario y la emisión de estos gases. El escenario 4.5 sería el más benéfico para ambas especies ya que se encuentra solapamiento similar en la proyección a futuro relativos al solapamiento actual. Como conclusión, es importante llevar a cabo estrategias para la conservación tanto del loro como de la palma tomando en cuenta su susceptibilidad al cambio climático, por lo cual, se recomienda la implementación de corredores biológicos para este fin.

Palabras clave: Cambio climático, Loro orejiamarillo, Modelamiento de nicho, Palma de cera

ABSTRACT

The yellow-eared parrot (*Ognorhynchus icterotis*) and the wax palm (*Ceroxylon quindiuense*) make up a plant-animal system of high dependence threatened by anthropogenic effects, which has made the Yellow-eared Parrot categorized as endangered. For this reason, strategies for its conservation have been implemented, but none of these have used niche modeling as a tool for understanding their spatial dynamics. This being the case, this work aims to be a reference in space-time issues to promote conservation strategies for the yellow-eared parrot. Specifically, this work aims to evaluate the spatial relationship between the yellow-eared parrot and the wax palm in climate change scenarios. For this, yellow-eared parrot and wax palm modeling were carried out in current climatic conditions, which were projected to 2050 and 2070. Geographical data of both species and climatic variables were used in the present and projected in the future. The models of the two species were spatially aligned and an analysis of the degree of overlap was made. Finally, the overlap analysis was compared with emissions of 3 greenhouse gases. The results showed a high level of overlap between the yellow-eared parrot and the wax palm at the three evaluated moments, with scenario 4.5 projecting a greater area of overlap, while 2.6 is the most critical in this aspect. The values of overlap between the yellow-eared parrot and the wax palm in relation to greenhouse gas emissions do not show a linear pattern, varying according to the scenario and the emission of these gases. Scenario 4.5 would be the most beneficial for both species since there is similar overlap in the future projection relative to the current overlap. In conclusion, it is important to carry out strategies for the conservation of both the parrot and the palm taking into account their susceptibility to climate change, which is why the implementation of biological corridors is recommended for this purpose.

Keywords: Climate change, Niche modeling, Wax palm, Yellow-eared parrot

1. INTRODUCCIÓN.

El loro orejiamarillo, *Ognorhynchus icterotis* (Massena & Souance, 1854) y la palma de cera, *Ceroxylon quindiuense* (Karsten, 1860) conforman un sistema planta–animal de alta dependencia ecológica, gravemente amenazado debido a efectos antropogénicos. Por un lado, el loro orejiamarillo está siendo afectado dramáticamente por la cacería, el saqueo de nidos y la fragmentación del hábitat, a tal punto que está catalogado como una de las 162 aves amenazadas de Colombia (1-3). Por otra parte, la palma de cera, su principal medio de subsistencia, reproducción y anidación (2,4,5), presenta alto grado de deterioro de sus poblaciones debido en gran medida a la deforestación de los bosques andinos y al uso de sus cogollos para las celebraciones religiosas de semana santa (4,6). Actualmente, según la UICN, el loro orejiamarillo se encuentra categorizado en estado “En peligro” (EN) según BirdLife International y la palma en estado “Vulnerable” (VU) según Renjifo y colaboradores en 2002, por lo cual conforma un sistema interactuante en grave estado de conservación. Siendo así, y tomando en cuenta las amenazas de ambas especies, es pertinente realizar aportes que apoyen la conservación presente y futura tanto del loro orejiamarillo como de la palma de cera considerando el impacto que puede tener el cambio climático sobre sus distribuciones.

Hasta principios de la década de los 80, tanto el loro orejiamarillo como la palma de cera se reportaban con una amplia distribución, teniendo presencia tanto en Colombia como en Ecuador (1,2,7). Sin embargo, a causa del impacto humano sobre el hábitat donde ambas especies coexisten, el área de ocurrencia de estas especies se ha reducido drásticamente. Como consecuencia, el loro orejiamarillo se ha declarado extinto en Ecuador, siendo declarado actualmente como una especie endémica de Colombia (1-3,7). A partir de estos antecedentes y tomando en cuenta el avanzado deterioro de las poblaciones del loro orejiamarillo, sumado a la estrecha relación que posee con la palma de cera, diversas fundaciones se unieron en pro de la conservación de esta ave. Como resultado, en 1998 se constituyó el proyecto

“Loro orejiamarillo” (Fundación ProAves, 1998), del cual se destacan importantes resultados como: (i) el reporte de dos poblaciones del loro orejiamarillo donde se creía había desaparecido: la primera se identificó en el año 1999, en la cordillera central de los Andes, en el departamento del Tolima y la segunda se identificó en el 2001, en la cordillera occidental de los Andes, en el departamento de Antioquia y, (ii) la confirmación de la relación ecológica que existe entre el loro orejiamarillo y la palma de cera, sumado a la obtención de información más detallada de la reproducción y anidación de esta especie, la cual depende directamente de esta planta. Estos resultados han sido los pilares para realizar acciones que han promovido la conservación del loro orejiamarillo y, por consiguiente, de la palma de cera: por ejemplo la definición del corredor de conservación para el loro orejiamarillo entre Antioquia y Caldas (7-10). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados para promover la conservación del loro orejiamarillo, ningún proyecto ha tomado en cuenta la ecología espacial de estas dos especies ni los posibles cambios en su distribución a futuro. Por esta razón este proyecto podría dar un primer paso para la inclusión de aspectos macro ecológicos en la conservación de esta especie de ave, y por consiguiente, de la palma de cera, estrategia factible mediante la aplicación de modelos de distribución y herramientas de sistema de información geográfica (SIG).

Debido a la amenaza que sufre tanto el loro orejiamarillo como la palma de cera, así como para cualquier especie en amenaza, se hace necesario comprender la dinámica de cambio de sus distribuciones (11). En este sentido, la aplicación de herramientas como el modelamiento de distribución de especies es fundamental para apoyar las estrategias de conservación de especies amenazadas (12-14). La forma más frecuente de aplicar esta herramienta es usando sólo variables abióticas (variables geológicas, topográficas y/o climáticas) (13), considerando que las especies y sus distribuciones son sensibles a cambios en dichas variables. Esto ha promovido además la incorporación de los efectos del cambio climático como principal razón del cambio temporal de las distribuciones de las especies. De esta forma, se puede estimar el efecto espaciotemporal del cambio climático sobre

especies amenazadas. Dinámicas temporales han sido ampliamente comprobadas en diferentes estudios, donde se ha demostrado que los cambios en las variables abióticas pueden llegar a provocar el incremento o la disminución espacial de las áreas de distribución de las especies (15-18). Extender esta aproximación a casos donde ocurren interacciones estrechas entre especies como el caso del loro orejiamarillo y la palma de cera, es pertinente y necesario, pues es una forma de incorporar el componente biótico en la toma de decisiones relacionadas con conservación de sistemas interespecíficos amenazados.

A pesar de la necesidad de incorporar el componente biótico en el modelamiento de distribución de las especies, aún no se han definido metodologías precisas para ello. Por esta razón una primera forma de considerar este componente es evaluando los modelos de distribución de especies involucradas en algún tipo de interacción de manera separada pero simultánea y analizar de forma numérica el grado de coocurrencia de las distribuciones potenciales generadas (19,20). Muy pocos estudios han utilizado este tipo de estrategias de análisis y los escasos estudios existentes enfocados en evaluar el solapamiento y el grado de coincidencia espacial entre especies no han definido una metodología única. Esto ocurre porque no se ha definido metodológicamente cómo evaluar las interacciones entre especies dentro de los modelamientos de nicho (21,22). Una forma de llenar este vacío proviene del aporte de Warren y colaboradores en 2008 (21), quienes han propuesto una metodología para cuantificar el solapamiento de nicho, la cual se basa en la estimación de las diferencias de las probabilidades de presencia de dos especies, a partir de la cual se crea un solo valor que representa la similaridad de las distribuciones de las especies en cuestión. Esta aproximación puede ser apropiada para responder preguntas ecológicas en las que se consideren interacciones interespecíficas a nivel espacial y temporal (21). De esta manera, este tipo de metodologías se convierten en una forma de dar un primer paso en estudios biogeográficos y macroecológicos enfocados a predecir la distribución de las especies con estrechas interacciones ecológicas (19,23-26)

Considerando que los planes de conservación para el loro orejiamarillo no han tomado en cuenta la distribución potencial de esta especie por medio del modelamiento de nicho y que esta especie tiene una fuerte dependencia con la palma de cera, las cuales además coinciden en estar catalogadas en algún grado de amenaza serio, este proyecto realizará un aporte cuantitativo relacionado con la evaluación de la coocurrencia de la distribución geográfica presente y futura de ambas especies. Específicamente, este proyecto pretende determinar el impacto que pueden tener diferentes escenarios de cambio climático en el grado de coocurrencia espacial entre el loro orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*) y la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*). Para ello, se utilizó como herramienta de análisis el modelamiento de nicho, realizando proyecciones a futuro en cuatro escenarios diferentes de cambio climático para los años 2050 y 2070. Los resultados encontrados serán un importante aporte como referente ecológico-espacial para promover y aportar al diseño de estrategias y, para la toma de decisiones relacionadas con la conservación de ambas especies.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el impacto de diferentes escenarios de cambio climático en el grado de coocurrencia espacial entre las distribuciones del loro orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*) y la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*)

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el grado de coincidencia espacial entre las distribuciones del loro orejiamarillo (*O. icterotis*) y la palma de cera (*C. quindiuense*) en condiciones climáticas actuales.

- Evaluar el grado de coincidencia espacial entre las distribuciones del loro orejiamarillo (*O. icterotis*) y la palma de cera (*C. quindiuense*) en condiciones climáticas futuras.
- Evaluar el impacto del cambio climático sobre el grado de coincidencia espacial entre las distribuciones del loro orejiamarillo (*O. icterotis*) y la palma de cera (*C. quindiuense*).

3. MÉTODOS

Para evaluar la relación espacial entre el loro orejiamarillo y la palma de cera tanto en condiciones actuales como futuras, se realizó un análisis de solapamiento de la distribución espacial entre estas especies, el cual se abordó desde dos aproximaciones: (i) estimar el grado de superposición de las distribuciones potenciales de ambas especies, calculando el área donde el loro orejiamarillo y la palma de cera coocurren y (ii) evaluar el grado de similitud de las distribuciones de las especies, usando la metodología propuesta por Warren y colaboradores en 2008 (21). Como base para este análisis, se usaron modelos de distribución para las dos especies tanto en presente como en futuro (años 2050 y 2070) en diferentes escenarios, basados en diferentes niveles de emisión de gases de tipo invernadero.

3.1 Georreferencias, variables climáticas y modelos de nicho

Como primer paso para la construcción de los modelos de distribución, se obtuvieron georreferencias tanto del loro orejiamarillo como de la palma de cera. Esta información se obtuvo del Sistema de Biodiversidad de Colombia (SIB Colombia, 2017) y de la infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF, 2017). Esta información fue descargada y depurada, proceso que consistió en la remoción de datos con coordenadas erróneas, como por ejemplo coordenadas con inconsistencias geográficas y/o datos con inconsistencia de correspondencia de país, departamento o municipio reportado.

Para el modelamiento de nicho tanto del loro orejiamarillo como de la palma de cera se usó la información de clima actual, empleando las 19 variables climáticas a presente que proporciona Worldclim (Hijmans et al, 2005) (Anexo 1). La información espacial se utilizó a una resolución de 30 segundos, lo que corresponde a un pixel de 1 Km X 1 Km. Con el fin de evitar la sobredimensionalización por exceso de variables, se realizó un análisis de correlación de variables predictoras acompañado por un análisis de clúster. De esta manera se logró determinar variables redundantes y seleccionar las variables definitivas para construir los modelos. Este análisis dió como resultado la selección de 8 variables, las cuales fueron las menos correlacionadas entre sí (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Variables utilizadas para los modelamientos del loro orejiamarillo y la palma de cera, las cuales fueron seleccionadas a partir de un análisis de correlación y seguido por un análisis de cluster

| | |
|---------------|--|
| Bio 4 | Temperatura por estación |
| Bio 6 | Temperatura mínima del mes más frío |
| Bio 7 | Rango de temperatura anual |
| Bio 12 | Precipitación anual |
| Bio 14 | Precipitación del mes más seco |
| Bio 15 | Precipitación por estación |
| Bio 17 | Precipitación del cuarto de año más seco |
| Bio 19 | Precipitación del cuarto de año más frío |

Las mismas 8 variables usadas para construir el modelo (Tabla 1) fueron utilizadas para proyectar las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera a los diferentes escenarios de cambio climático para los años 2050 y 2070. Igualmente, la información de estas 8 variables climáticas en condiciones futura (2050 y 2070) fue adquirida y descargada de Worldclim (Worldclim, 2017), seleccionando la información dada por el panel intergubernamental de cambio climático (IPCC) (Hijmans et al, 2005).

El modelamiento de la distribución del loro orejiamarillo y la palma de cera se realizó usando el programa MaxEnt v3.3.3 (27), el cual se basa en la máxima entropía para estimar la distribución de la especie objetivo. El algoritmo fue alimentado con las georreferencias de cada especie y las 8 variables de clima actual seleccionadas (27). La calidad de estos modelos se determinó estimando el valor AUC (*Area under curve*) en una escala de 0 a 1, en la cual se definió: valores menores a 0.7 indican que el modelo es pobre, de 0.7 a 0.8 denotan un modelo bueno, y valores mayores a 0.8 indican modelos muy buenos (28). Como producto de los modelos se obtuvieron mapas digitales, en los cuales cada celda (píxel) contiene el valor de probabilidad de presencia de la especie (valores entre 0 y 1).

Para el cálculo de áreas se generaron mapas de presencia/ausencia, realizando corte por umbral sobre los mapas digitales producidos tanto en condiciones actuales como en los generados para las proyecciones futuras (2050 y 2070). Esto se realizó con el fin de transformar los datos de probabilidad de presencia a datos de presencia/ausencia y poder calcular áreas de presencia. Para definir el umbral, se tomó en cuenta el enfoque de la prevalencia de las ocurrencias de las especies dado por Cramer (2003), el cual es definido como el promedio de la ocurrencia de las especies entre todos los sitios.

La zona de estudio usada para evaluar el análisis solapamiento de las distribuciones de las especies comprendió todo el territorio colombiano, parte de bosque tropical, pradera y la amazonia de Ecuador, parte del amazonas de Brasil y además parte de la sabana y el amazonas de Venezuela. En conjunto, la zona de estudio se encuentra delimitada entre las longitudes -79.1 y -66.8 y, entre las latitudes 12.5 y -4.3 (Ver Figura 1). Este marco de coordenadas fue utilizado para recortar las 8 variables predictoras en condición presente y las 8 variables proyectadas a futuro en los 4 escenarios dados por el IPCC.

3.2 Evaluación del grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (*O. icterotis*) y la palma de cera (*C. quindiuense*) en condiciones climáticas actuales.

A partir de los modelos de distribución obtenidos para el loro orejiamarillo y la palma de cera en condiciones climáticas actuales y habiendo aplicado el corte de umbral, se realizó una cuantificación individual mediante herramientas SIG de las áreas de presencia tanto del loro orejiamarillo, como de la palma de cera. Usando las áreas individuales, se estimó el área solapada o de coincidencia entre ambas especies como primera métrica para determinar el grado de coincidencia espacial entre las especies.

De forma complementaria a la aproximación anterior, como segunda métrica, se realizó la evaluación del grado de coincidencia espacial de estos modelos por medio del estadístico-I propuesto por Warren y colaboradores (21). Este índice se basa en la diferencia entre pares de especies de la probabilidad de presencia generada por los modelos de distribución. Este análisis se realiza usando todas las celdas o pixel del mapa digital, y varía en una escala de 0 a 1, donde 0 representa nulo solapamiento entre las distribuciones de las especies en cuestión, mientras que 1 es una total coincidencia de dichas distribuciones. Esta métrica se define como:

$$I (Px, Py) = 1 - \frac{1}{2} \sqrt{\sum_i (\sqrt{Px, i} - \sqrt{Py, i})^2}$$

donde Px es la probabilidad para la especie X y Py la probabilidad para la especie Y (21).

3.3 Evaluación del grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (*O. icterotis*) y la palma de cera (*C. quindiuense*) en condiciones climáticas futuras.

Para la evaluación del grado de coincidencia espacial entre ambas especies considerando condiciones climáticas a futuro, se tuvo en cuenta las proyecciones realizadas en MaxEnt para el loro orejiamarillo y para la palma de cera en los 4 escenarios dados por el IPCC proyectados al año 2050 y 2070, descritos en la Tabla 2. Específicamente, se realizaron 4 solapamientos por cada año (2050 y 2070), uno por cada escenario de cambio climático. Para cada especie, por cada año y por cada escenario, se realizó un corte por umbral, igual como se hizo en la condición presente, para transformar datos de probabilidad a datos de presencia y ausencia de los mapas digitales de las proyecciones futuras (ver numeral 3.1). Con los solapamientos ya realizados, se procedió a realizar la cuantificación individual de las áreas del loro orejiamarillo, de la palma de cera y del área solapada entre ellos de igual forma como se hizo con la información espacial de las especies en condición actual. Por último, se realizó el análisis de solapamiento por medio del índice I (21) para cada solapamiento realizado de la misma forma en que se evaluó en la condición actual (ver numeral 3.2)

Tabla 2. Descripción general de los escenarios de cambio climático dados por el IPCC

| Vías de concentración representativa (RCP) | Descripción |
|---|---|
| RCP 2.6 | Niveles bajos de concentración de gases de tipo invernadero. Anomalía de temperatura de 1.5°C |
| RCP 4.5 | Concentración de gases de tipo invernadero estabilizados antes de 2100. Anomalía de temperatura de 2.4°C |
| RCP 6.0 | Crecientes niveles de gases de tipo invernadero hasta 2100. Anomalía de temperatura de 3.0°C |
| RCP 8.5 | Niveles de gases de tipo invernadero en constante crecimiento a lo largo del tiempo Anomalía de temperatura de 4.9°C |

3.4 Evaluación del impacto que el cambio climático tiene en el grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (*O. icterotis*) y la palma de cera (*C. quindiuense*).

Para estimar la influencia de variables representativas que inciden en el cambio climático sobre el nivel de solapamiento de las distribuciones de *O. icterotis* y *C. quindiuense* se utilizaron los datos de emisión a futuro de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), los cuales son los principales gases que contribuyen al efecto invernadero (29). Específicamente se realizó un análisis gráfico-comparativo usando los índices I actuales, a 2050 y a 2070 y los valores de estos gases proyectados a futuro.

3.5. Herramientas de análisis

El procesamiento de la información espacial, el recorte de las variables y los análisis espaciales y estadísticos, así como los análisis de solapamiento se realizaron usando los programas QGIS v.2.18.3. (30) y R v3.3.2 (31). En especial para R se usaron los paquetes Dismo v1.1-4 (32), ENMeval v0.2.2 (33), R raster (34), rJava v0.9-8 (35), Parallel v3.4.1 (31) y sp v1.2-5 (36)

4. RESULTADOS

4.1 Evaluación del grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (*O. icterotis*) y la palma de cera (*C. quindiuense*) en condiciones climáticas actuales

Los modelos generados para el loro orejiamarillo y la palma de cera fueron de buena calidad, catalogados como muy buenos según la calificación de modelos definida por Itla (28). Específicamente, los modelos tuvieron valores de área bajo la curva

(AUC) de 0.973 y 0.987 respectivamente para el loro orejiamarillo y la palma. Por otra parte, el valor de umbral de corte encontrado fue de 0.537 para el loro orejiamarillo y 0.534 para la palma de cera, valores que corresponden al promedio de los valores de prevalencia de las ocurrencias para cada especie respectivamente. Al implementar este corte de umbral, se obtuvo que la distribución de la palma de cera es más extensa que la del loro orejiamarillo, ya que la primera tiene una distribución de 48293 km² mientras que la del loro orejiamarillo tiene una extensión de 22744 km², menos de la mitad de la distribución de la palma de cera. Por otro lado, el solapamiento de ambas distribuciones en la condición actual presenta un área de coincidencia de 8383 km², y está representado por un índice I de 0.874, siendo un valor alto, usando la escala de 0 a 1 (Tabla 3).

Tabla 3. Áreas de distribución, solapamiento para el loro orejiamarillo (*O. icterotis*), la palma de cera (*C. quindiuense*) y valor de Índice I de solapamiento entre ambas especies en condiciones climáticas actuales. NA se indica para los casos en los cuales no aplica el valor.

| Distribución | Área (Km ²) | Índice I |
|-----------------------|-------------------------|----------|
| <i>C. quindiuense</i> | 48293 | NA |
| <i>O. icterotis</i> | 22744 | NA |
| Solapamiento | 8383 | 0.874 |

Las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera en condiciones climáticas actuales siguen un patrón andino, restringidas al territorio colombiano y ecuatoriano, es decir, en estos dos países siguen la cordillera de los Andes. Específicamente, la distribución proyectada para *O. icterotis* se extiende por partes de la zona Andina, Pacífica, de la Orinoquia y una pequeña área en los límites occidentales de la región de la Amazonia colombiana, además de unos pequeños parches de área en el norte del Ecuador, dispuestas a lo largo de las zonas montañosas ligadas al sistema orográfico de los Andes. En comparación, la distribución para *C. quindiuense*, siendo más extensa en cuanto a área, ocupa de la misma manera que el loro orejiamarillo la zona Andina, Pacífica, Orinoquia y en menor medida, la zona

límite occidental de la región Amazónica Colombiana. Existen unas pequeñas porciones de área en el norte territorio Ecuatoriano. Por último, el solapamiento de las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera se presenta solamente en el territorio Colombiano, específicamente ocupando la zona Andina y Pacífica de Colombia. En Ecuador no se detectó área potencial de solapamiento entre estas dos especies (Figura 1).

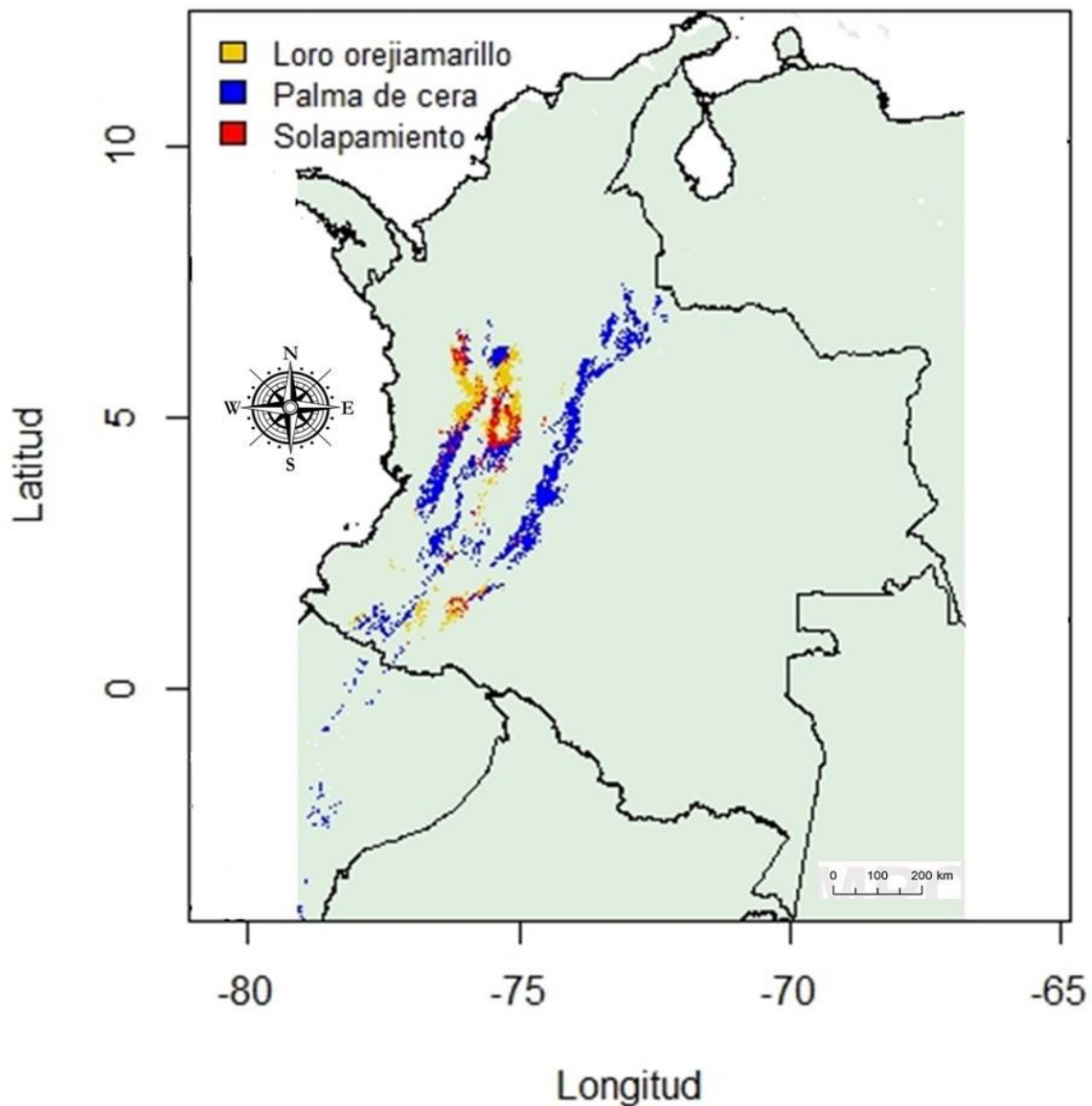


Figura 1. Distribuciones para el loro orejiamarillo, la palma de cera y el solapamiento de dichas distribuciones para las condiciones climáticas actuales

4.2 Evaluación del grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (*O. icterotis*) y la palma de cera (*C. quindiuense*) en condiciones climáticas futuras.

Las definiciones de área establecidas para las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera tanto para 2050 como para 2070, se llevaron a cabo tomando en cuenta los umbrales listados en la tabla 4. Los resultados indican que las distribuciones proyectadas de la palma de cera para 2050 y 2070 en los cuatro escenarios de cambio climático evaluados son las más amplias que el área de distribución proyectada del loro orejiamarillo en las condiciones correspondientes (Tabla 5). Este resultado es consistente con lo que ocurre en condición actual, indicando que no importa la condición climática, la palma de cera siempre tendrá una área mayor de distribución que la del loro orejiamarillo.

Tabla 4. Umbrales para las proyecciones del loro orejiamarillo y la palma de cera para los 4 escenarios de cambio climático en los años 2050 y 2070

| Especie | Año | Escenario | | | |
|-----------------------|------|-----------|-------|-------|-------|
| | | 2.6 | 4.5 | 6.0 | 8.5 |
| <i>C. quindiuense</i> | 2050 | 0.547 | 0.504 | 0.598 | 0.531 |
| | 2070 | 0.625 | 0.555 | 0.634 | 0.624 |
| <i>O. icterotis</i> | 2050 | 0.589 | 0.585 | 0.501 | 0.546 |
| | 2070 | 0.601 | 0.520 | 0.532 | 0.513 |

En cuanto a las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera para el año 2050 (Figura 2) estas se mantienen para el territorio Colombiano y Ecuatoriano. Al igual que en el escenario actual, se disponen alrededor de la cordillera de los Andes, siendo las zonas donde ocurre más área de distribución de ambas especies la región Andina y Pacífica de Colombia. En la región occidental de la Amazonia y la Orinoquia en territorio colombiano se detectó menor proporción de área.

Por otro lado, las distribuciones tanto del loro orejiamarillo como de la palma de cera al año 2070 en los 4 escenarios de cambio climático se extienden, al igual que en 2050, por territorio colombiano y ecuatoriano, principalmente localizadas en las cordilleras de los Andes (Figura 3). De igual manera, para 2070, las regiones que presentan un mayor área de distribución de ambas especies son la región Andina y Pacífica Colombiana; en menor medida, en el área occidental del Amazonas y la Orinoquia Colombiana, y la zona norte de Ecuador.

Tabla 5. Valores de área de distribución para el loro orejiamarillo (*O. icterotis*), la palma de cera (*C. quindiuense*) y solapamiento de estas distribuciones en escenarios de cambio climático al año 2050 y 2070

| Distribución (Km ²) | Escenario (2050) | | | | Escenario (2070) | | | |
|---------------------------------|------------------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| | 2.6 | 4.5 | 6.0 | 8.5 | 2.6 | 4.5 | 6.0 | 8.5 |
| <i>C. quindiuense</i> | 42465 | 48735 | 38520 | 38977 | 20046 | 31404 | 18217 | 23228 |
| <i>O. icterotis</i> | 15208 | 12143 | 15939 | 14964 | 14445 | 16757 | 14445 | 22542 |
| Solapamiento | 7513 | 9142 | 8974 | 8312 | 3426 | 9852 | 3999 | 4766 |

Respecto al solapamiento de las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera a 2050 (Figura 2), ocurre solamente en territorio Colombiano, concretamente en la región Andina y Pacífica, dando a entender un nulo solapamiento de ambas especies en territorio Ecuatoriano, lo cual ocurre en las condiciones actuales. De igual manera, para el año 2070, el solapamiento de las distribuciones de *O. icterotis* y *C. quindiuense*, de la se presenta solo en la zona Andina y Caribe del territorio Colombiano, dándose un nulo solapamiento en el Ecuador

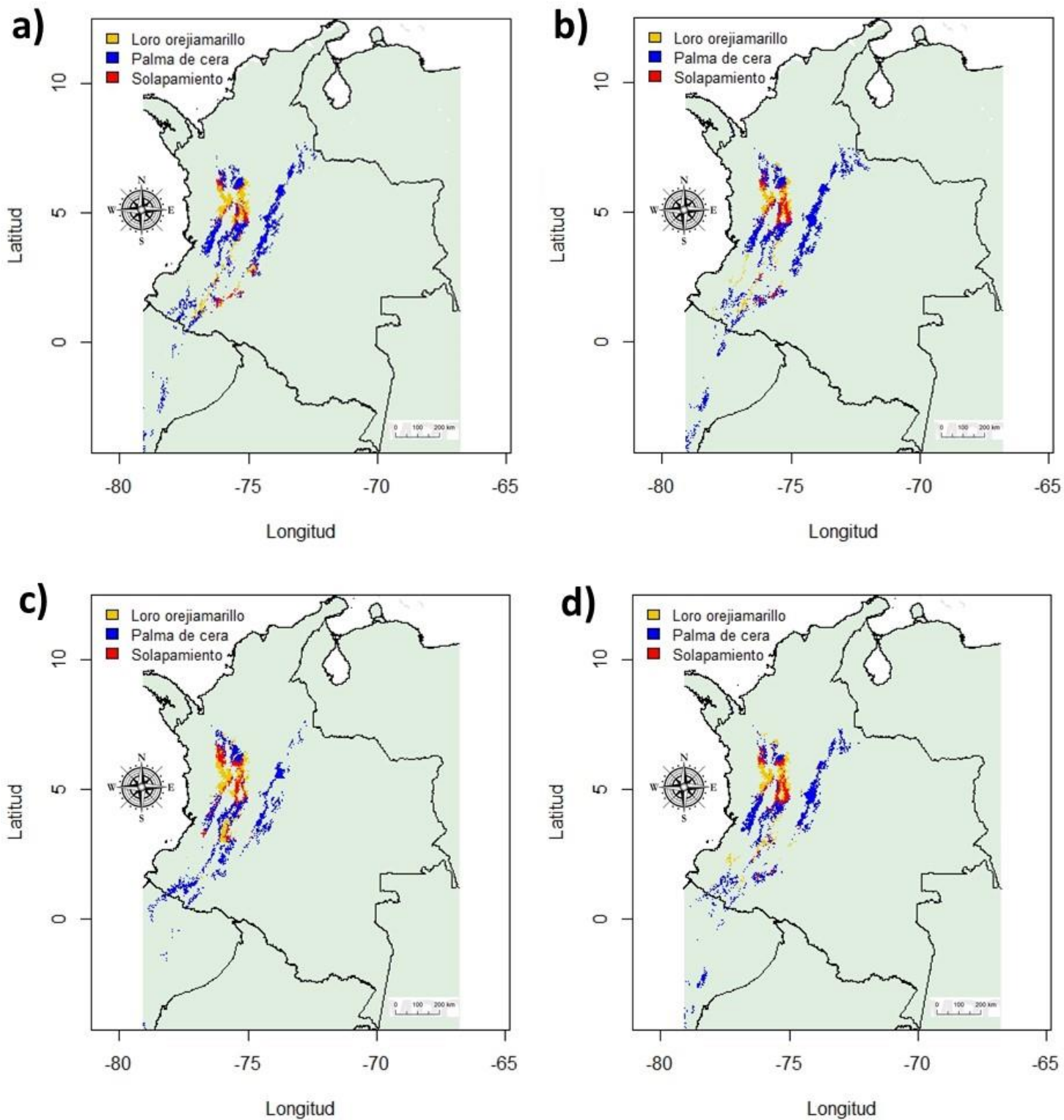


Figura 2. Distribuciones proyectadas para el loro orejamarillo, la palma de cera y el solapamiento de dichas distribuciones al año 2050 en los escenarios a) 2.6; b) 4.5; c) 6.0 y d) 8.5

Al evaluar el grado de similitud en condición climática futura, usando el índice I (21), se obtiene que los valores no varían sustancialmente ni entre años, ni entre escenarios: el rango de variación de los índices obtenidos (máximo – mínimo) es de 0.036, valor muy bajo considerando que la escala que posee el índice es de 0 a 1 (la varianza equivale al 3.6%). El valor máximo fue 0.898, obtenido para el año 2050 en el escenario 8.5 mientras el valor mínimo fue 0.862, obtenido en el escenario 6.0 para año 2070 (Tabla 6). Comparando los valores de Índice I a futuro con el valor en condiciones actuales ($I_{\text{actual}} = 0.874$), se presenta un ligero incremento en todos los escenarios dados a 2050 y 2070, con excepción del escenario 6.0 para el año 2070. Este resultado sugiere que en general, para el futuro, en cualquier escenario se puede dar un pequeño aumento del área de coocurrencia entre las dos especies (Tabla 6).

Tabla 6. Grado de coincidencia espacial dados por el índice I (Warren et al, 2008) entre los modelamientos del loro orejiamarillo y la palma de cera en la condición actual y en los diferentes escenarios del 2050 y 2070

| Condición Actual | | |
|----------------------------|-------------|-------------|
| 0.874 | | |
| Condiciones Futuras | | |
| Escenario\Año | 2050 | 2070 |
| 2.6 | 0.891 | 0.890 |
| 4.5 | 0.888 | 0.892 |
| 6.0 | 0.895 | 0.862 |
| 8.5 | 0.898 | 0.876 |

Para el año 2050, la estimación del grado de coincidencia usando el área solapada indica que hay una estabilidad general relativo a la condición actual. Esto se observa con un ligero aumento para los escenarios 4.5 y 6.0, poco cambio para el escenario 8.5 y algo de pérdida para el escenario 2.6 (Tabla 5).

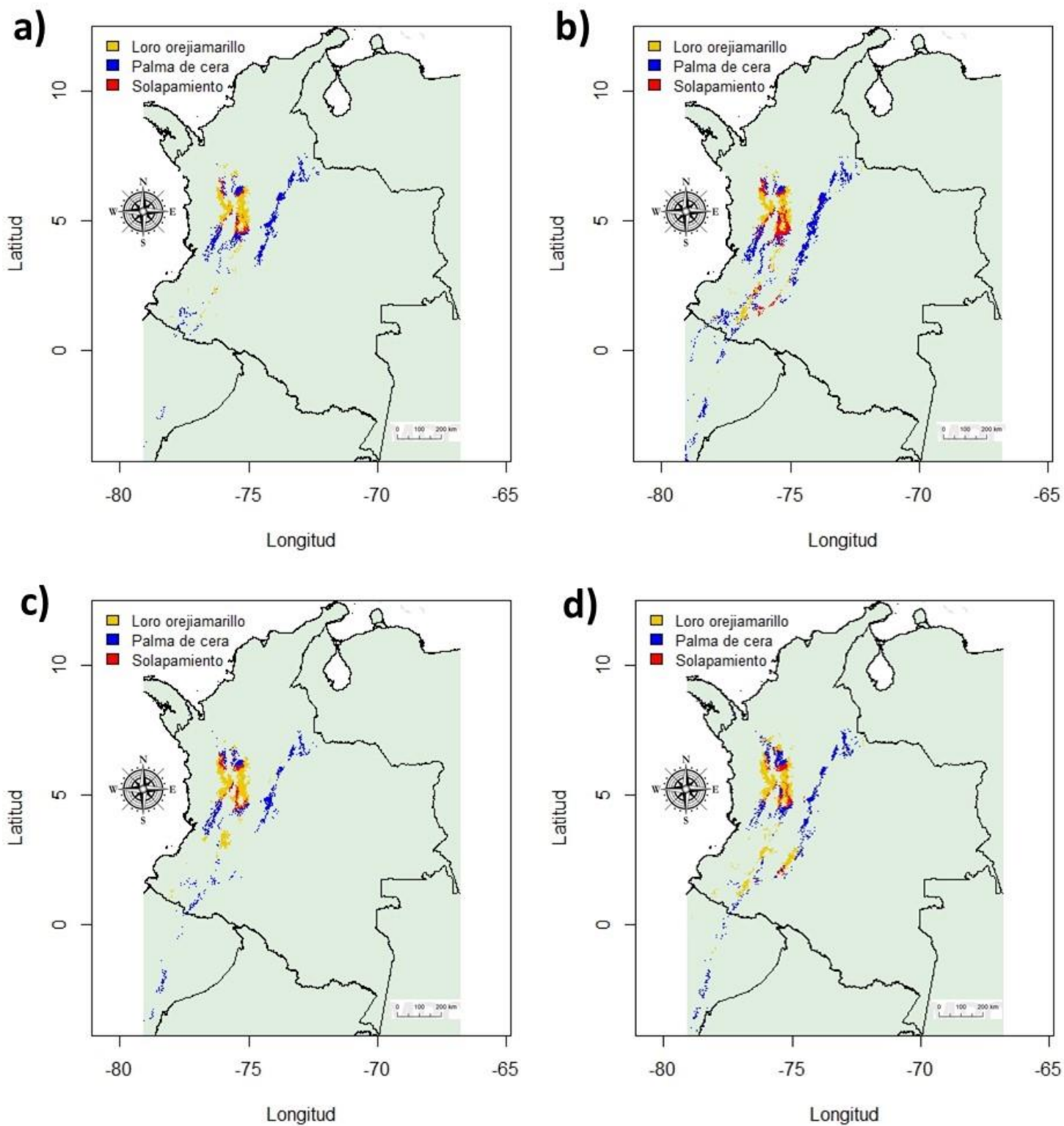


Figura 3. Distribuciones proyectadas para el loro orejiamarillo, la palma de cera y el solapamiento de dichas distribuciones al año 2070 en los escenarios a) 2.6; b) 4.5; c) 6.0 y d) 8.5

Por otro lado, para 2070, el escenario 4.5 es el único donde se proyecta un aumento de área solapada de ambas especies. Al igual que para 2050, el escenario 4.5 es el más favorable para el solapamiento de las distribuciones de *O. icterotis* y *C. quindiuense*. Al contrario, en los escenarios 2.6, 6.0 y 8.5, se proyecta una disminución sustancial en comparación con el valor de área solapada para las condiciones climáticas actuales (Tabla 5)

4.3 Evaluación del impacto que el cambio climático tiene en el grado de coincidencia espacial entre el loro orejiamarillo (*O. icterotis*) y la palma de cera (*C. quindiuense*).

El análisis gráfico de la relación entre los valores de coincidencia espacial (Índice I) para el loro orejiamarillo y la palma de cera y los valores de emisión de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y monóxido y dióxido de nitrógeno (NO y NO₂) presenta diferentes patrones dependiendo del gas al que se compare los valores del estadístico-I de solapamiento o coincidencia espacial

4.3.1 Impacto de los gases de tipo invernadero en el grado de coocurrencia de las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera

En los cuatro escenarios de cambio climático, la emisión de dióxido de carbono (CO₂) tiene un patrón temporal de aumento, a excepción del escenario 2.6, donde los niveles de CO₂ llegan a su pico más alto hasta el año 2050 para luego decaer. Mientras que el patrón de cambio que posee el índice I es de crecimiento constante entre la actualidad y 2050, y de decrecimiento entre 2050 y 2070, a excepción del escenario 4.5, donde hay un crecimiento constante del índice I a través de los años. A partir de lo anterior, en todos los escenarios, la emisión de dióxido de carbono y el cambio en el Índice I entre la actualidad y el año 2050 coinciden en su patrón, ya que en todos los casos, se da un crecimiento constante. Por otro lado, entre 2050 y 2070, las emisiones de CO₂ y los valores de Índice I poseen un patrón idéntico para los escenarios 2.6 y 4.5, mientras que para los escenarios 6.0 y 8.5, dichas emisiones tienen un patrón opuesto al que posee el cambio temporal del valor de

solapamiento I (Ver figura 4). En síntesis, las emisiones de CO₂ son un candidato potencial adecuado como determinante indirecto del cambio de solapamiento entre las especies, con más solidez para la transición de la condición actual a la condición en el año 2050.

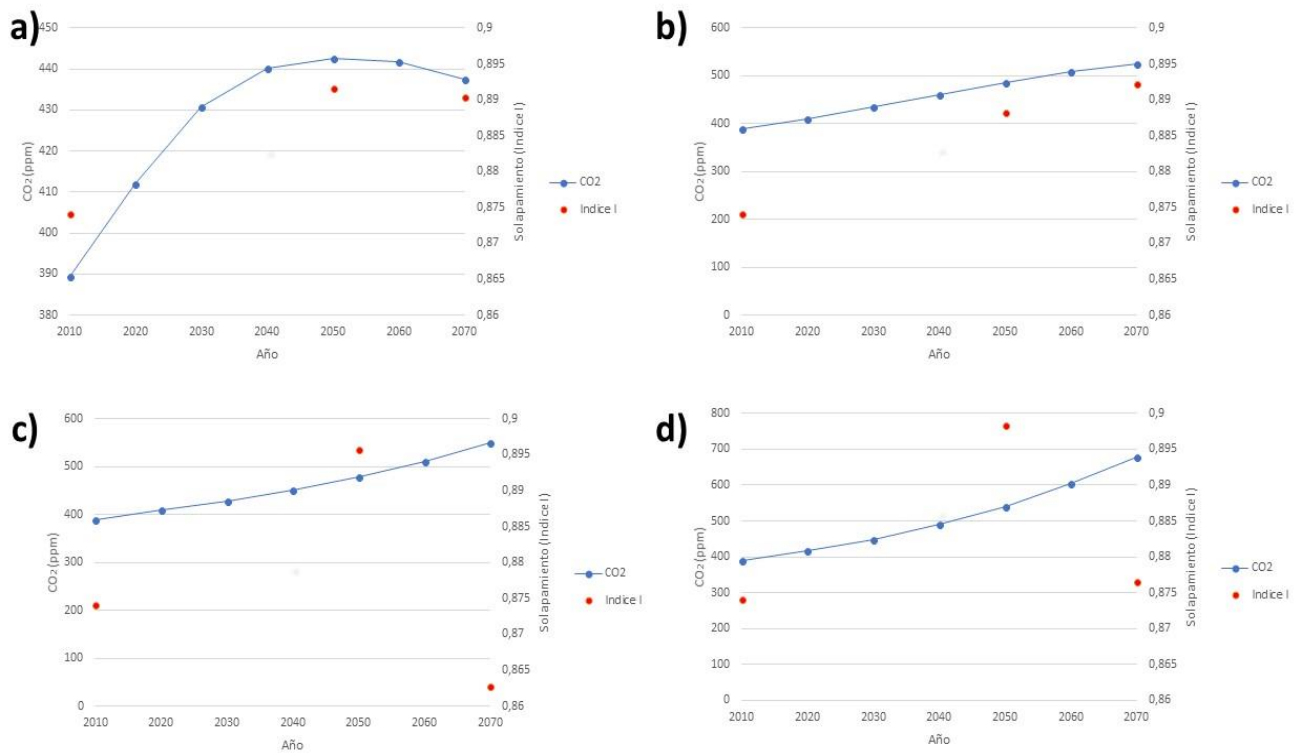


Figura 4. Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) entre los años 2010 y 2070 con respecto a los valores de solapamiento (Índice I) para la actualidad (2010), 2050 y 2070 en los escenarios a) 2.6; b) 4.5; c) 6.0 y d) 8.5

En cuanto a los niveles de emisión del metano en los 4 escenarios de cambio climático, entre la actualidad y 2050, hay un patrón de aumento coincidente en todos los escenarios excepto en el 2.6: tanto el índice I como las emisiones de metano poseen un crecimiento constante entre este lapso de tiempo, a excepción del escenario 2.6, donde se da un patrón opuesto. Para el rango de tiempo entre 2050 y 2070, no se observa un patrón definido entre los valores de solapamiento entre las especies y los valores de emisión de metano (CH₄) (Ver figura 5). En esta comparación gráfica no se detecta una clara asociación entre el cambio en el grado de solapamiento y los niveles de emisión de metano, sugiriendo que este gas no es

determinante indirecto del cambio de solapamiento entre *O. icterotis* y *C. quindiuense*.

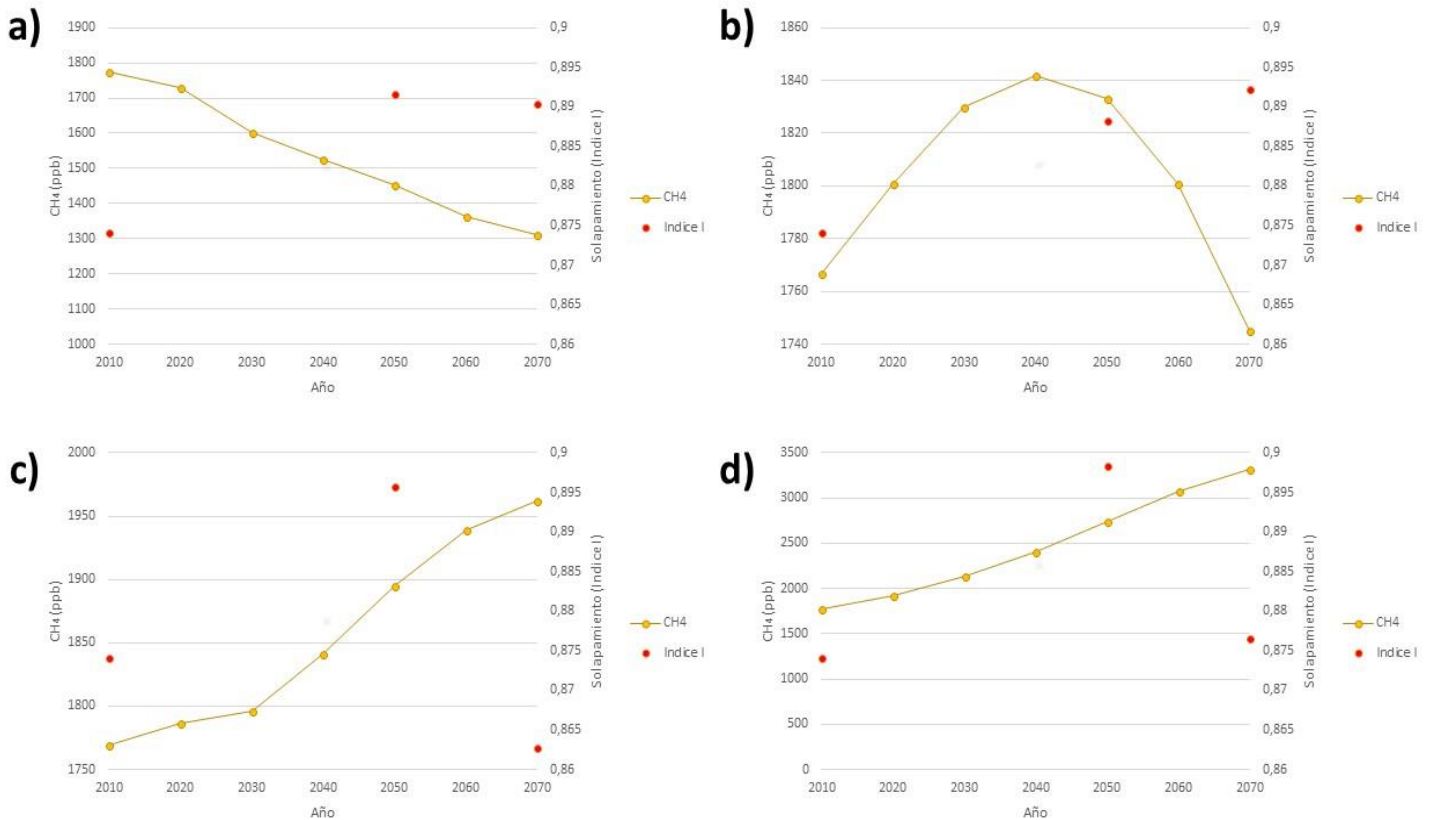


Figura 5. Emisiones de metano (CH₄) entre los años 2010 y 2070 con respecto a los valores de solapamiento (Índice I) para la actualidad (2010), 2050 y 2070 en los escenarios a) 2.6; b) 4.5; c) 6.0 y d) 8.5

Por último, las emisiones de monóxido y el dióxido de nitrógeno (NO y NO₂) tienen un comportamiento similar en los cuatro escenarios de cambio climático, ya que en todos los escenarios hay un patrón de crecimiento constante a través del tiempo, siendo el escenario 4.5 donde se presenta un pequeño decrecimiento de las emisiones de óxidos de nitrógeno entre 2050 y 2070. A partir de lo anterior, en todos los casos, hay un patrón similar entre el cambio temporal del valor de Índice I y la fluctuación de las emisiones de NO y NO₂ para el rango de tiempo entre la actualidad y 2050. Entre 2050 y 2070, el comportamiento de las emisiones de este gas de tipo invernadero es totalmente opuesto al patrón de cambio del Índice I

(Ver figura 6). Esto sugiere que tanto el monóxido como el dióxido de nitrógeno, al tener una asociación marcada con los valores de solapamiento de ambas especies en los diferentes años, podría representar un factor importante en la variación de la relación espacial entre el loro orejiamarillo y la palma de cera

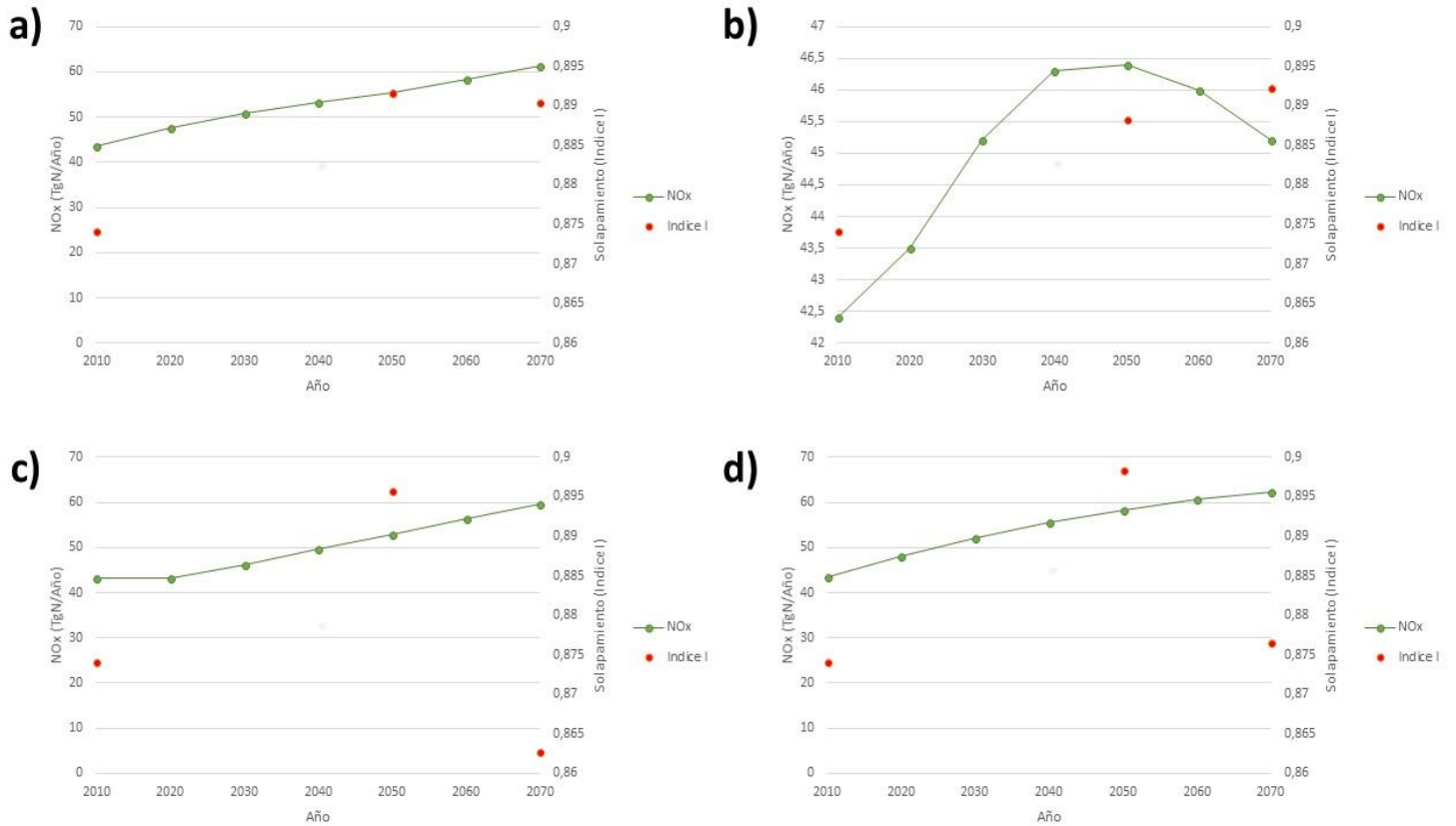


Figura 6. Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) entre los años 2010 y 2070 con respecto a los valores de solapamiento (Índice I) para la actualidad (2010), 2050 y 2070 en los escenarios a) 2.6; b) 4.5; c) 6.0 y d) 8.5

5. DISCUSION

En este estudio se encontró inicialmente que el área de distribución tanto en condiciones climáticas actuales como en las proyectadas a 2050 y 2070 de la palma de cera es más extensa que la distribución del loro orejiamarillo, estando estas dos distribuciones muy ligadas espacialmente la una a la otra. En cuanto a la cantidad de kilómetros cuadrados de solapamiento actual de las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera en comparación con la del año 2050 no varía

considerablemente: hay un crecimiento de 9.05% y 7.04% para los escenarios 4.5 y 6.0 respectivamente y un decrecimiento de 10.37% para el escenario 2.6 y 0.84% para el 8.5, valores que no representan cambios sustanciales. En cambio para 2070, la variación es notable, presentándose disminución de solapamiento entre 43.14% y 59.13% para los escenarios 2.6, 6.0 y 8.5; solo en el escenarios 4.5 se presenta un crecimiento de 17.52% en el valor de solapamiento de ambas especies. Por otra parte, los valores de Índice I no poseen una marcada variación, lo cual representa una inconsistencia frente a la variación que si presenta el área de solapamiento del loro y la palma en los diversos escenarios de cambio climático a 2050 y 2070. Por último, el Índice I y las emisiones de gases como el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno presentan una marcada correlación, lo cual indicaría que estos gases podrían representar un elemento indirecto que afecta el solapamiento del loro orejiamarillo y la palma de cera.

Los cambios en el solapamiento detectados en los diferentes escenarios no se ajustan a lo esperado puesto que se esperaba que en un escenario benévolo para el cambio climático (i.e. escenario 2.6), fuera el que menos afectación presentara al solapamiento de las distribuciones de *O. icterotis* y *C. quindiuense*. Sin embargo, el escenario 2.6 fue el escenario que proyectó la mayor pérdida de área de solapamiento. En contraste, se esperaba que en un escenario más drástico para el cambio climático como el escenario 4.5 tuviera una fuerte afectación al solapamiento, pero este fue el escenario donde se dio la variación más positiva en general (tanto para el 2050 como para el 2070). Lo anterior se pudo dar debido a que el escenario 4.5 es el que posee las emisiones de gases de tipo invernadero más parecidas a las dadas actualmente. Bajo la consideración de que las especies con un endemismo marcado son más susceptibles a cambios en las condiciones climáticas a comparación de las especies con un amplio espectro de condiciones ambientales en las que pueden desarrollarse (37,38), los escenarios donde las condiciones climáticas no varíen de gran manera a comparación de las condiciones actuales serán los más propicios para que el área de distribuciones no se modifique o incluso, pueda aumentar. Esta podría ser la razón por la cual las especies de este

estudio, que tienden a tener rangos de distribución endémicos, respondieron de la forma opuesta a la esperada.

La respuesta que presentan las especies frente al cambio climático se da por dos vías principalmente: la persistencia y la migración. El primero, es la capacidad que posee una especie para mantener su distribución actual en condiciones climáticas futuras, mientras el segundo componente, se define como el potencial que tiene una especie para movilizarse a zonas que se encuentran inhabitadas por la especie actualmente, pero que a futuro tendrá condiciones favorables para su subsistencia (39). Las especies con una restricción tanto climática como espacial (con restricciones de persistencia y migración) son más susceptibles a experimentar el efecto del cambio climático. Entre este tipo de especies se encuentran las especies endémicas, las cuales tienen un papel ecológico fundamental como especies sombrilla o especies clave, pero que lamentablemente poseen un rango climático limitado (40). Bajo estos argumentos y habiendo obtenido que el área de solapamiento entre la distribución del loro orejiamarillo y la distribución de la palma en condiciones climáticas actuales posee una localización espacial similar al área de solapamiento en las condiciones climáticas a 2050 y a 2070 en los 4 escenarios de cambio evaluados, se podría decir que el sistema loro orejiamarillo – palma de cera representa un caso de persistencia. A la vez, los resultados indicarían una baja capacidad de migración ya que a 2050 y a 2070 no se proyecta un gran aumento de área de distribución ni de las especies ni del solapamiento. Este patrón corresponde a una extensión del área de solapamiento que se acopla en las cordilleras de los andes en territorio Colombiano y los alrededores de dichas cordilleras. Esto proyectaría una gran capacidad de persistencia para 2050 y 2070 por parte del loro orejiamarillo y la palma sobre regiones montañosas andinas, zonas que hoy habita y podría habitar en el futuro según las condiciones climáticas futuras proyectadas por WorldClim.

Por otro lado, el cambio climático produce una marcada fragmentación en la proyección del solapamiento del loro orejiamarillo y la palma de cera a 2050 y a

2070 en los 4 escenarios de cambio climático. Aunque en las tres cordilleras de los Andes que pasan por Colombia, sobretodo en la zona andina, el área de solapamiento se da siguiendo un patrón continuo, hacia el sur de Colombia, el área de solapamiento va fragmentándose de manera considerable. En Ecuador, la condición es crítica, puesto que no se proyectan áreas de solapamiento de ambas especies, con lo cual se podría suponer la extinción de las poblaciones del loro orejiamarillo en este país. Esta fragmentación de manera general provocaría la reducción de conectividad entre poblaciones de una misma especie (41,42). En el caso de las especies endémicas como el loro orejiamarillo, la fragmentación del hábitat produciría el decrecimiento demográfico de sus poblaciones (42,43). Lo anterior hace trascendental la necesidad de implementar estrategias que permitan a futuro mantener la conectividad de especies que se encuentren en amenaza y más si son especies con restricciones espaciales y climáticas, y en condiciones de conservación críticas como ocurre en las dos especies de este estudio.

Ante la posible fragmentación entre poblaciones del loro orejiamarillo, la marcada pérdida de solapamiento entre las distribuciones de *O. icterotis* y *C. quindiuense* en territorio Colombiano, para el año 2070, y el nulo solapamiento de ambas especies en territorio Ecuatoriano, para la actualidad, 2050 y 2070, dada por los resultados mostrados en el presente trabajo, se presentaría una gran afectación debido a la alta dependencia que existe entre ambas especies, sobretodo del loro orejiamarillo hacia la palma de cera (1-5). Dicha afectación podría presentarse de varias maneras, la principal es la reducción sustancial de las poblaciones del loro orejiamarillo, produciendo de igual manera, cambios en la red de conectividad interespecífica en el ecosistema, principalmente asociada a cambios en la relación ecológica entre el *O. icterotis* y *C. quindiuense*. Esto provocaría una afectación en aspectos ecológicos fundamentales para la supervivencia del loro orejiamarillo, como lo es la reproducción y la anidación. Además del detrimento en la relación ecológica entre ambas especies, también se podrían desencadenar extinciones a nivel local debido a deterioro en la red de conectividad interespecífica en el

ecosistema, produciendo aún una mayor amenaza en el estado del loro orejiamarillo (42-44).

Tomando en cuenta los anteriores resultados, se podrían plantear posibles planes para la conservación del loro orejiamarillo y la palma de cera, tomando en cuenta la influencia que tienen los diferentes escenarios de cambio climático sobre su distribución. En especial se recomendaría la implementación de corredores biológicos considerando el área de solapamiento de las distribuciones de la palma de cera y el loro orejiamarillo, tomando en cuenta como estas distribuciones varían debido al cambio climático. Esto dado que, como se muestra a lo largo de los resultados del presente proyecto, se proyecta una alta fragmentación del hábitat potencial del loro orejiamarillo, por lo cual los corredores biológicos serían una solución para este problema. Además, sería importante definir zonas de protección adicionales a las actuales como parques naturales, cuyas especies objetivo sean principalmente el loro orejiamarillo y la palma de cera. Por último, al ser el cambio climático un factor determinante en el solapamiento de especies como *O. icterotis* y *C. quindiuense*, se recomienda tomar medidas para hacer del efecto del cambio climático más sutil sobre especies en peligro de extinción.

6. CONCLUSIONES

Los resultados del presente proyecto muestran puntos importantes en cuanto a la dinámica espacio temporal entre el loro orejiamarillo y la palma de cera tomando en cuenta condiciones climáticas presentes y futuras. De manera general, y tomando en cuenta los objetivos planteados en este trabajo, se puede concluir lo siguiente:

- El grado de solapamiento entre el loro orejiamarillo y la palma de cera en condiciones climáticas actuales es bastante alto, con un área de solapamiento de las distribuciones de ambas especies de 8383 km², de los cuales, la totalidad de esta área se encuentra en territorio Colombiano

mientras que en Ecuador, coincidiendo con la actualidad, hay un nulo solapamiento entre ambas especies.

- Para 2050 y 2070, los valores de solapamiento de las distribuciones tanto del loro y la palma dados por el Índice I no varían de gran manera a comparación de la actualidad.,
- El área de solapamiento del loro orejiamarillo y la palma de cera en kilómetros cuadrados para 2050, comparado con el mismo valor en condiciones climáticas actuales, no varió de manera considerable, mientras que para 2070, este valor sufre una variación notable para los 4 escenarios de cambio climático
- Es importante tomar en cuenta las relaciones interespecíficas en la realización de los modelamientos de nicho para tener una mejor comprensión de interacciones entre especies a un nivel macro ecológico
- La amenaza de especies, principalmente dada por efectos antropogénicos, como el loro orejiamarillo y la palma de cera, además de su susceptibilidad al cambio climático al ser especies con un endemismo marcado hace pertinente la implementación de herramientas como lo son el modelamiento de nicho para el apoyo de estrategias en pro de la conservación de estas especies
- La disminución y la fragmentación del área de solapamiento de las distribuciones del loro orejiamarillo y la palma de cera hace necesaria la implementación de estrategias para la conservación de estas especies. Tomando en cuenta estas consecuencias del cambio climático sobre las distribuciones de ambas especies, es recomendable implementar corredores biológicos que permitan conectar las zonas donde se den las condiciones para la distribución del loro orejiamarillo y la palma de cera.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Colorado GJ, Toro JL, Mazo CM (2006) Redescubrimiento del loro orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*) en el norte de Antioquia. *Boletín SAO* (14): 9-19
2. Murcia-Nova MA, Beltrán-Alvarado D, Carvajal-Rojas L (2009) Un nuevo registro del loro orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*: Psittacidae) en la cordillera oriental colombiana. *Ornitología Colombiana* 8:94–99.
3. Botero-Delgadillo E, Páez CA (2011) Estado actual del conocimiento y conservación de los loros amenazados de Colombia. *Conservación Colombiana* (14): 86-151
4. Bernal R, Sanin MJ (2013) Los palmares de *Ceroxylon quindiuense* (Arecaceae) en el valle de cocora, Quindío: Perspectivas de un ícono escénico de Colombia. *Colombia Forestal* 16(1): 67 – 79
5. Florez P (2004) Estudio de la ecología del loro orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*) en Antioquia con fines de conservación. *Corantioquia*.
6. Pacheco-Garzón A, Lozada-Prado S (2006) Biología reproductiva del Loro orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*) en el Tolima. *Conservación Colombiana* (2):87–97.
7. Salaman PG (2006) La conservación del loro orejiamarillo *Ognorhynchus icterotis* en Colombia. *Conservación Colombiana* (2).
8. Salaman P, Quevedo A, Verhelst JC (2006) Proyecto Loro Orejiamarillo: una iniciativa de conservación. *Conservación Colombiana*. 2: 7-11
9. Velasquez-Tibata JI, Lopez-Arevalo HF (2006) Análisis de omisiones y prioridades de conservación para los loros amenazados de Colombia. *Conservación colombiana*. 1:58-66
10. Salaman PG, López–Lanús B, Krabbe N (1999) Critically endangered: Yellow-eared Parrot *Ognorhynchus icterotis* in Colombia. 11:39–41.
11. Londoño MC, Cordero VS (2011) Distribución y conservación de especies amenazadas en Mesoamérica, Chocó y Andes tropicales. *Rev Mex Biodivers* 82: 926-950.

12. Guisan A, Thuiller W (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol lett.* 8: 993-1009
13. Escobedo-Galván AH, González-Salazar C (2011) Aplicando modelos de nicho ecológico para predecir áreas potenciales de hibridación entre *Crocodylus acutus* y *C. moreletii*. *Quehacer Científico en Chiapas* 1(11):27–35.
14. Ibarra-Montoya JL (2012) Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis sp* (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Revista Ambiente & Agua* 7(1).
15. Pearson RG, Dawson TP (2003) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Global Ecol Biogeogr* 12:361-371
16. Pliscoff P, Fuentes-Castillo T (2011) Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Rev Geogr Norte Gd.* 48: 61-79
17. Austin MP, Van Niel KP (2011) Improving species distribution models for climate change studies: variable selection and scale. *J Biogeogr.* 38: 1-8
18. Cruz-Cardenas G, Lopez-Mata L, Silva JT, Bernal-Santana N, Estrada-Godoy F, Lopez-Sandoval JA (2015) Potential distribution model of Pinaceae species under climate change scenarios in Michoacán. *Rev Chapingo Ser Cie*, 22(2): 135-148.
19. Davis AJ, Lawton JH, Shorrocks B, Jenkinson LS (1998) The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *J Anim Ecol* 67: 600-612
20. Araujo MB, Luoto M (2007) The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecol Biogeogr.* 16: 743-753
21. Warren DL, Glor RE, Turelli M (2008) Environmental niche equivalency versus conservatism: Quantitative approaches to niche evolution. *Evol* 62(11): 2868–2883
22. Soberon J, Townsend-Peterson A (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity informatics.* 2: 1-10

23. Plasencia-Vásquez AH, Escalona-Segura G, Esparza-Olguín LG (2014) Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta Zoológica Mexicana* 30(3):471–490.
24. Valencia ID, Armenteras D (2004) Modelo de hábitat y distribución de la Alondra (*Eremophila alpestris peregrina*) en el altiplano Cundiboyacense, Colombia. *Ornitología Colombiana* 2:25–36.
25. Schweiger O, Settele J, Kudrna O, Klotz S, Kuhn I (2008) Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology* 89(12): 3472-3479
26. Hegland SJ, Nielsen A, Lazaro A, Bjerknes AL, Totlan O (2009) How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecol Lett* 12: 184-195
27. Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Model* 190: 231-259
28. Itla-Reguerin JM (2012) Distribución potencial de especies de la familia Araliaceae de la region Madidi. Universidad mayor de San Andres
29. Benavides-Ballesteros HO, Leon-Aristizabal GE (2007) Informacion técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. IDEAM
30. QGIS Development Team (2009) QGIS Geographic Information System (2.18.7) [Software]. Recuperado de <http://qgis.osgeo.org>
31. R: A Language and Environment for Statistical Computing (2017) R Core Team (3.4.0) [Software]. Recuperado de <https://www.R-project.org/>
32. Hijmans RJ, Phillips S, Leathwick J, Elith J (2017) dismo: Species Distribution Modeling (1.1-4). Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>
33. Muscarella R, Galante PJ, Soley-Guardia M, Boria RA, Kass J, Uriarte M, Anderson RP (2014). ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for ecological niche models (0.3.0) Recuperado de <https://cran.rproject.org/web/packages/ENMeval/ENMeval.pdf>
34. Hijmans RJ (2016) raster: Geographic Data Analysis and Modeling (2.5-8). Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=raster>

35. Urbanek S (2016) rJava: Low-Level R to Java Interface (0-9-8). Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=rJava>
36. Pebesma EJ, Bivand RS (2017) Classes and Methods for Spatial Data (1.3-1). Recuperado de <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>
37. Benning TL, LaPointe D, Atkinson CT, Vitousek PM (2002) Interactions of climate change with biological invasions and land use in the Hawaiian Islands: Modeling the fate of endemic birds using a geographic information system. *PNAS* 99(22): 14246–14249
38. Malcolm JR, Liu C, Neilson RP, Hansen L, Hannah L (2006) Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots. *Conserv Biol* 20(2): 538-548
39. Arribas P, Abellan P, Velasco J, Bilton DT, Lobo JM, Millan A, Sanchez-Fernandez D (2012) La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas* 21(3): 79-84
40. González-García F, Gomez de Silva-Garza H (2003) Especies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. *Especies Endemicas* 151-194
41. Martínez-Quintero BG, Echeverri-Rubio A, Gaviria-Ortiz FG (2017) Distribución potencial de *Oxysternon conspicillatum* (Weber, 1801) en diferentes escenarios de cambio climático en Colombia. *bol.cient.mus.hist.nat* 21 (2): 190-206
42. Gurrutxaga-San Vicente M, Lozano-Valencia PJ (2006) Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Poligonos* 16: 35-54
43. Andrén H (1994) Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *OIKOS* 71: 355-366.
44. Cagnolo L, Valladares G (2011) Fragmentación del hábitat y desensamble de redes tróficas. *Ecosistemas* 20 (2): 68-78

8. ANEXOS

Anexo 1. Variables bioclimaticas obtenidas de Worldclim

| | |
|--------------|---|
| Bio1 | Temperatura promedio anual |
| Bio2 | Rango Diurno Promedio (Media de la temperatura mensual (Temperatura máxima – temperatura mínima)) |
| Bio3 | Isotermalidad (de Bio2 a Bio7) |
| Bio4 | Temperatura por estación |
| Bio5 | Temperatura máxima del mes más caliente |
| Bio6 | Temperatura mínima del mes más frio |
| Bio7 | Rango de temperatura anual (Rango entre Bio5 y Bio6) |
| Bio8 | Temperatura promedio del cuarto de año más húmedo |
| Bio9 | Temperatura promedio del cuarto de año más seco |
| Bio10 | Temperatura promedio del cuarto de año más caliente |
| Bio11 | Temperatura promedio del cuarto de año más frio |
| Bio12 | Precipitación anual |
| Bio13 | Precipitación del mes más húmedo |
| Bio14 | Precipitación del mes más seco |
| Bio15 | Precipitación por estación |
| Bio16 | Precipitación del cuarto de año más húmedo |
| Bio17 | Precipitación del cuarto de año más seco |
| Bio18 | Precipitación del cuarto de año más caliente |
| Bio19 | Precipitación del cuarto de año más frio |