

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

Modelos de distribución potencial actual y futura para la garza rojiza
(*Egretta rufescens*) y su relación con variables bioclimáticas en la
costa del Pacífico de Guatemala

Trabajo de investigación, presentado
por Pamela Alejandra Jerez Pazos
para optar al grado de Licenciado en Biología

Guatemala,
2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

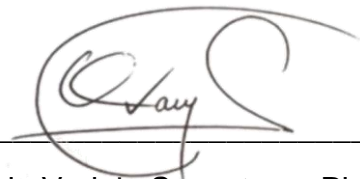
Modelos de distribución potencial actual y futura para la garza rojiza
(*Egretta rufescens*) y su relación con variables bioclimáticas en la
costa del Pacífico de Guatemala

Trabajo de investigación, presentado
por Pamela Alejandra Jerez Pazos
para optar al grado de Licenciado en Biología

Guatemala,
2024

Vo.Bo.

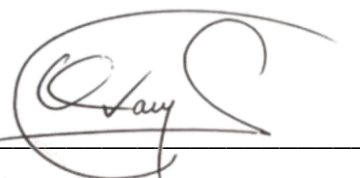
(firma)



MSc Karla Varinia Sagastume Pinto


Tribunal examinador:

(firma)



MSc Karla Varinia Sagastume Pinto

(firma)



MSc Diego Incer Nuñez

(firma)



PhD Daniel Ariano Sánchez

Fecha de aprobación: Guatemala, 17 de junio de 2024

PREFACIO

A mi familia, por siempre haberme impulsado a perseguir mis sueños y mi pasión por la conservación. Por el apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera y en mi proceso de trabajo de graduación, incluso gracias, Andrew, por haberme acompañado a algunas de las giras de trabajo de campo. A mi mamá, porque gracias a todo su esfuerzo, valentía y perseverancia yo podré decir que soy una profesional graduada. A mi papá, porque a pesar de la distancia estuvo presente en todo el proceso y me apoyó en todo lo que pudo. A mi abuelita Rosita, por haberme enseñado desde pequeña a ser una persona capaz, responsable y estudiosa, aunque no te encuentres conmigo en este momento, sé que desde arriba te encuentras feliz que finalmente seré una profesional. Es infinita la lista de por qué les debo las gracias, pero sobre todo los amo con todo mi corazón y admiro, sin ustedes no sería quién soy el día de hoy.

A Varinia Sagastume, mi mentora de las aves, catedrática, asesora y un gran ejemplo para mí, por haberme apoyado en todo el proceso de mi trabajo de graduación. Aunque inicialmente la idea de la investigación era totalmente diferente, siempre me impulsó a seguir adelante y no rendirme. Por haberme introducido al mundo de las aves, enseñarme y presentarme al Club de Aves Urbanas, cuando me inscribí al selectivo de ornitología, a pesar de ya no ser un requisito en mi pénsum no tenía idea de lo mucho que iba a cambiar mi vida. Gracias a las aves y a Vary ahora he conocido a personas que ahora son una parte importante de mi vida.

A Daniel Ariano y Diego Incer por aconsejarme, enseñarme y ayudarme en el proceso de mi trabajo de graduación. A la Universidad del Valle de Guatemala, al Departamento de Biología y a todos mis catedráticos por haber sido parte de mi proceso de formación personal y profesional, por enseñar y compartir todos sus conocimientos y enseñanzas con pasión y amor por un mundo mejor.

A Dani, Pau, Fran y Adriana por haberme acompañado en mis giras de campo y haberme levantado los ánimos cuando no todo salía como esperábamos. A mis amigos que durante toda la carrera hicieron que estos años que pasamos juntos fueran de los mejores recuerdos que llevo conmigo. A todos y cada uno de ustedes los llevo conmigo, siempre tendrán un espacio en mi corazón. Gracias en especial a Adriana, por siempre estar conmigo en las buenas, las malas y las peores. Sé que, aunque te llame a las 3 de la mañana si fuera necesario, vendrías desde Chiquimula solo para estar conmigo y ayudarme. Nunca nos quedaremos sin anécdotas por contar porque siempre nos pasa algo; gracias por ayudar a reírme de los malos momentos y aprender de ellos.

Por último y no menos importante, a Diego Alejandro Castañeda Calderón por siempre y todo, la lista por la que te tengo que dar las gracias es infinita y nunca terminaría de escribirlo. A pesar que el día de hoy ya no te encuentres conmigo, gracias por haber compartido todo conmigo. Sin ti esto no sería posible, tú me acompañaste y llevaste a todas mis giras de campo, me ayudaste en todo, aunque estuvieras cansado o con más cosas que hacer. Por recibirme con los brazos abiertos en momentos de estrés, miedo y confusión, y enseñarme que soy capaz de hacer todo lo que sueño y que mi único límite soy yo. Gracias por enseñarme a vivir la vida sin miedo, con amor y con una sonrisa a pesar de ser momentos difíciles. Siempre y todo.

ÍNDICE

PREFACIO	I
LISTADO DE FIGURAS	V
LISTADO DE CUADROS	VII
LISTADO DE APÉNDICES.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	XI
I. Introducción.....	1
II. Objetivos	2
A. General.....	2
B. Específicos	2
III. Hipótesis.....	3
IV. Justificación	4
V. Marco teórico	5
A. Orden pelecaniforme	5
B. Familia ardeidae	5
C. Garza rojiza (<i>Egretta rufescens</i>)	6
1. Hábitat, distribución y migración	8
2. Migración	11
3. Comportamiento.....	12
4. Dieta y forrajeo.....	13
5. Conservación	17
D. Nicho ecológico.....	19
E. Modelos de nicho ecológico	19
F. Método de máxima entropía	20
VI. Metodología.....	21
A. Base de datos de la distribución de la garza rojiza, <i>Egretta rufescens</i>	21
B. Análisis de la distribución geográfica en Guatemala y delimitación del área de estudio	21
C. Análisis de la distribución potencial y cambio climático	22

D.	Modelación y predicción climática con los datos de distribución de la garza rojiza, <i>Egretta rufescens</i>	23
1.	Obtención de datos bioclimáticos de Worldclim2.....	23
2.	Análisis de la relación entre el clima y la distribución de la especie	24
3.	Desarrollo y validación de modelos predictivos	25
VII.	Resultados.....	26
VIII.	Discusión	34
IX.	Conclusiones	37
X.	Literatura citada	38
XI.	Anexos.....	49

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. <i>Garza rojiza o reddish egret, Egretta rufescens</i>	7
Figura 2. <i>Plumaje morfo blanco de la garza rojiza, Egretta rufescens</i>	7
Figura 3. <i>Plumaje juvenil morfo oscuro de la garza rojiza, Egretta rufescens</i>	8
Figura 4. <i>Mapa de distribución de la garza rojiza, Egretta rufescens</i>	9
Figura 5. <i>Ciclo anual de reproducción, muda y migración de la garza rojiza, Egretta rufescens, en donde las letras hacen referencia al mes en inglés</i>	10
Figura 6. <i>Distribución de la garza rojiza, Egretta rufescens</i>	11
Figura 7. <i>Garza rojiza, Egretta rufescens, levantando la cresta</i>	13
Figura 8. <i>Garza rojiza, Egretta rufescens, comiendo un camarón</i>	14
Figura 9. <i>Garza rojiza, Egretta rufescens, comiendo un pez</i>	14
Figura 10. <i>Garza rojiza, Egretta rufescens, comiendo un pez en agua poco profunda</i>	15
Figura 11. <i>Garza rojiza, Egretta rufescens, empleando la técnica de aleteo y alas extendidas</i>	16
Figura 12. <i>Garza rojiza, Egretta rufescens, empleando la técnica de forrajeo de canopy</i>	17
Figura 13. <i>Área de estudio "Región climática costa sur"</i>	22
Figura 14. <i>Puntos de localidad de E. rufescens desde enero de 1990 a febrero de 2024 en la región climática costa sur</i>	26
Figura 15. <i>Distribución potencial actual de Egretta rufescens en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2024, en donde el color rojo representa el área más probable (el valor más cercano a 1) en donde se encontrará la especie</i>	27
Figura 16. A. <i>Distribución potencial actual para E. rufescens, en dónde de izquierda a derecha se encuentran las áreas protegidas: Área de Protección Especial Manchón-Guamuchal, Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico y Área de Usos Múltiples Hawaii. B.</i> <i>Escenario optimista (SSP1-2.6) del año 2021 al 2040 de E. rufescens en la región climática costa sur de Guatemala. C.</i> <i>Escenario optimista (SSP1-2.6) del año 2041 al 2060 de E. rufescens en la región climática costa sur de Guatemala. D.</i> <i>Escenario optimista (SSP1-2.6) del año 2061 al 2080 de E. rufescens en la región climática costa sur de Guatemala</i>	28
Figura 17. A. <i>Distribución potencial actual para E. rufescens, en dónde de izquierda a derecha se encuentran las áreas protegidas: Área de Protección Especial Manchón-Guamuchal, Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico y Área de Usos Múltiples Hawaii. B.</i> <i>Escenario medio (SSP2-4.5) del año 2021 al 2040 de E. rufescens en la región climática costa sur de Guatemala. C.</i> <i>Escenario medio (SSP2-4.5) del año 2041 al 2060 de E. rufescens en la región climática costa sur de Guatemala. D.</i> <i>Escenario optimista medio (SSP2-</i>	

4.5) del año 2061 al 2080 de <i>E. rufescens</i> en la región climática costa sur de Guatemala.....	30
Figura 18. A. Distribución potencial actual para <i>E. rufescens</i> , en donde de izquierda a derecha se encuentran las áreas protegidas: Área de Protección Especial Manchón-Guamuchal, Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico y Área de Usos Múltiples Hawaii. B. Escenario pesimista (SSP5-8.5) del año 2021 al 2040 de <i>E. rufescens</i> en la región climática costa sur de Guatemala. C. Escenario pesimista (SSP5-8.5) del año 2041 al 2060 de <i>E. rufescens</i> en la región climática costa sur de Guatemala. D. Escenario pesimista (SSP5-8.5) del año 2061 al 2080 de <i>E. rufescens</i> en la región climática costa sur de Guatemala	32
Figura 19. Comparación del comportamiento de los escenarios optimista (SSP1-2.6), medio (SSP2-4.5) y pesimista (SSP5-8.5) en el área total (hectáreas) de la distribución potencial de <i>E. rufescens</i> durante los períodos 2021-2040, 2041-2060 y 2061-2080	33

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. <i>Variables climáticas obtenidas de WorldClim utilizadas para la modelación de la distribución potencial de <i>Egretta rufescens</i></i>	24
Cuadro 2. <i>Variables climáticas seleccionadas para la modelación de distribución de <i>E. rufescens</i> en los tres escenarios: SSP1-2.6 (escenario optimista), SSP2-4.5 (escenario medio) y SSP5-8.5 (escenario pesimista), con sus respectivos porcentajes de contribución e importancia de permutación</i>	27
Cuadro 3. <i>Área total, intervalos de área y área porcentual de <i>E. rufescens</i> para el escenario optimista (SSP1-2.6) de los años 2021 al 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75.....</i>	29
Cuadro 4. <i>Área total, intervalos de área y área porcentual de <i>E. rufescens</i> para el escenario medio (SSP2-4.5) de los años 2021 al 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75.....</i>	31
Cuadro 5. <i>Área total, intervalos de área y área porcentual de <i>E. rufescens</i> para el escenario pesimista (SSP5-8.5) de los años 2021 al 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75.....</i>	33

LISTADO DE APÉNDICES

Apéndice 1. <i>Diagrama respuesta de E. rufescens contra la media anual del intervalo diurno</i>	49
Apéndice 2. <i>Diagrama respuesta de E. rufescens contra la estacionalidad de la temperatura</i>	49
Apéndice 3. <i>Diagrama respuesta de E. rufescens contra la temperatura mínima del mes más frío</i>	50
Apéndice 4. <i>Diagrama respuesta de E. rufescens contra las precipitaciones del trimestre más húmedo</i>	50
Apéndice 5. <i>Diagrama respuesta de E. rufescens contra las precipitaciones del trimestre más frío</i>	51
Apéndice 6. <i>La prueba jackknife de la importancia de las variables para E. rufescens</i>	51
Apéndice 7. <i>Distribución potencial actual de E. rufescens a comparación de la cobertura forestal actual en la región climática costa sur de Guatemala</i>	52
Apéndice 8. <i>Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 1991</i>	52
Apéndice 9. <i>Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2001</i>	53
Apéndice 10. <i>Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2006</i>	53
Apéndice 11. <i>Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2010</i>	54
Apéndice 12. <i>Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2016</i>	54
Apéndice 13. <i>Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2020</i>	55
Apéndice 14. <i>Emisiones de CO2 en gigatoneladas y el cambio de temperatura media global en superficie con respecto a los niveles preindustriales para los cinco escenarios SSP, Shared Socioeconomic Pathways</i>	55

RESUMEN

La garza rojiza, *Egretta rufescens*, es un ave que se encuentra principalmente en hábitats costeros como estuarios, marismas saladas, manglares y lagunas costeras poco profundas (Koczur et al., 2020). Su dieta consiste en peces, aunque ocasionalmente también consume ranas y renacuajos. Prefiere los hábitats con agua salada en lugar de agua dulce, su distribución se extiende a lo largo de la costa norte y sur de América del Norte, las islas del Caribe, Centroamérica, Colombia, Venezuela y Ecuador (Koczur et al., 2020).

Guatemala, ubicada en América Central, posee una amplia biodiversidad y ecosistemas costeros que alojan diversas aves acuáticas. Se ha informado que las garzas rojizas anilladas utilizan la costa sur de Guatemala como zona de descanso. Sin embargo, la garza rojiza enfrenta varios desafíos de conservación por la pérdida de hábitat debido a huracanes en el golfo de México, la intervención humana, la urbanización y la explotación. Además, su comportamiento de forrajeo se ve afectado por factores como la abundancia de peces y la temperatura del agua. Por lo que, se prevé que el aumento del nivel del mar podría afectar sus sitios de alimentación y nidificación (BirdLife International, 2020). La garza rojiza, *Egretta rufescens*, se encuentra clasificada como casi amenazada (Near Threatened) según la Lista Roja de la IUCN (BirdLife International, 2020). Su clasificación según el CITES aún no ha sido publicada y según la lista de especies amenazadas de Guatemala (LEA) se encuentra como una especie vulnerable (CITES, 2023; CONAP, 2021).

Esta investigación tiene como objetivo determinar la relación entre las variables bioclimáticas y la distribución actual y futura de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, en la costa del Pacífico de Guatemala a través de modelación de nicho ecológico. Encontrar el resultado de esta relación propiciará conocimientos iniciales de la especie para la protección de las zonas de alimentación y parada del país y, a largo plazo, la preservación de la especie. Se utilizó el modelo MaxEnt para predecir la distribución potencial actual y futura, considerando diferentes simulaciones de forzamiento radiativo para abarcar diversos escenarios de cambio climático, utilizando datos de ocurrencia de eBird desde enero de 1990 hasta febrero de 2024, junto con datos bioclimáticos de WorldClim.

La distribución potencial actual de *E. rufescens* comprende 117,600.332 hectáreas en la región de la costa sur de Guatemala. Esta especie es extremadamente sensible a los cambios en la temperatura y la lluvia. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero podría ayudar a atenuar las variaciones climáticas, lo que beneficiaría la expansión de su distribución. Se recomienda incorporar las variables de cobertura forestal y cuerpos de agua en los

modelos predictivos, con el fin de comprobar las hipótesis planteadas y determinar con mayor precisión la influencia de estos elementos sobre la presencia de *E. rufescens* en la región climática de la costa sur de Guatemala.

ABSTRACT

The reddish egret, *Egretta rufescens*, is a bird found primarily in coastal habitats such as estuaries, salt marshes, mangroves and shallow coastal lagoons (Koczur et al., 2020). Its diet consists of fish, although it occasionally also consumes frogs and tadpoles. Preferring saltwater rather than freshwater habitats, its distribution extends along the northern and southern coast of North America, the Caribbean islands, Central America, Colombia, Venezuela and Ecuador (Koczur et al., 2020).

Guatemala, located in Central America, has extensive biodiversity and coastal ecosystems that host diverse waterbirds. Reddish egret banded have been reported to use the southern coast of Guatemala as a rest area. However, the reddish egret faces several conservation challenges due to habitat loss from hurricanes in the Gulf of Mexico, human intervention, urbanization and exploitation. In addition, their foraging behavior is affected by factors such as fish abundance and water temperature. Thus, it is expected that sea level rise could affect their feeding and nesting sites (BirdLife International, 2020). The reddish egret, *Egretta rufescens*, is classified as Near Threatened according to the IUCN Red List (BirdLife International, 2020). Its CITES classification has not yet been published and according to the Guatemalan Endangered Species List (LEA) it is classified as Vulnerable (CITES, 2023; CONAP, 2021).

This research aims to determine the relationship between bioclimatic variables and the current and future distribution of the reddish egret, *Egretta rufescens*, on the Pacific coast of Guatemala through ecological niche modeling. Finding the result of this relationship will provide initial knowledge of the species for the protection of feeding and stopover areas in the country and, in the long term, the preservation of the species. The MaxEnt model was used to predict the current and future potential distribution, considering different simulations of radiative forcing to cover various climate change scenarios. Using eBird occurrence data from January 1990 to February 2024, together with bioclimatic data from WorldClim.

The current potential distribution of *E. rufescens* comprises 117,600.332 hectares in the South Coast region of Guatemala. This species is extremely sensitive to changes in temperature and rainfall. Reducing greenhouse gas emissions could help mitigate climate variations, which would benefit the expansion of its distribution. It is suggested to incorporate the variables of forest cover and water bodies in the predictive models, in order to test the hypotheses and determine with greater precision the influence of these elements on the presence of *E. rufescens* in the climatic region of the southern coast of Guatemala.

I. Introducción

La garza rojiza, *Egretta rufescens*, es un ave de tamaño mediano que habita principalmente en hábitats costeros como estuarios, marismas saladas, manglares y lagunas costeras poco profundas. Su dieta principal consiste en peces, aunque también consumen ocasionalmente ranas y renacuajos. Esta especie prefiere hábitats de agua salada sobre los de agua dulce. La especie es parcialmente migratoria y se distribuye a lo largo del límite de su área de reproducción, llegando incluso a El Salvador y Guatemala desde Norteamérica.

En los ecosistemas de humedales costeros habitan grupos diversos de aves acuáticas que despliegan una función crucial en el equilibrio ecológico y la biodiversidad. Guatemala es un país ubicado en América Central con una rica biodiversidad y ecosistemas costeros en el cual se encuentran reportadas 149 especies de aves acuáticas (Eisermann, 2006). Por medio de aves anilladas de garza rojiza, *Egretta rufescens*, se han reportado individuos que utilizan la costa sur de Guatemala como zona de descanso (Koczur et al., 2020).

La garza rojiza enfrenta varios desafíos de conservación. Los constantes huracanes en el golfo de México causan pérdida de hábitat costero. Además, su comportamiento de forrajeo se ve influenciado por factores como la abundancia de peces y la temperatura del agua. Aunque actualmente el hábitat de forrajeo no es un factor limitante, el aumento proyectado del nivel del mar podría impactar sus sitios de alimentación y anidación. Las intervenciones humanas, como la urbanización y la explotación, también amenazan a la especie. Un estudio en Louisiana mostró que los ciclones pueden ser especialmente mortales para las garzas rojizas, lo que plantea preocupaciones sobre su vulnerabilidad futura ante los fenómenos climáticos extremos. La garza rojiza, *Egretta rufescens*, se encuentra clasificada como casi amenazada (*Near Threatened*) según la Lista Roja de la IUCN (BirdLife International, 2020). Su clasificación según el CITES aún no ha sido publicada y según la lista de especies amenazadas de Guatemala (LEA) se encuentra como una especie vulnerable (CITES, 2023; CONAP, 2021).

Es necesario realizar estudios en su hábitat y rutas migratorias para comprender mejor cómo las variables climáticas y de cobertura vegetal influyen en su distribución, y así poder implementar de mejor manera proyectos de conservación. Para comprender su distribución en Guatemala y cómo se vería afectada en un futuro, es imprescindible realizar modelos de distribución potencial con ayuda del método de máxima entropía. De esta manera, se podrá comprender mejor cómo influye el clima en su distribución actual y futura. Mediante la combinación de ambas técnicas de análisis y predicción, se espera obtener resultados detallados y confiables que contribuyan al conocimiento científico y a la conservación de esta especie migratoria en Guatemala.

II. Objetivos

A. General

Determinar la relación entre las variables bioclimáticas y la distribución actual y futura de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, en la región climática costa sur de Guatemala a través de modelación de nicho ecológico.

B. Específicos

1. Identificar las variables bioclimáticas que influyen en la distribución de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, durante su época migratoria en la región climática costa sur de Guatemala.
2. Modelar los posibles cambios en la distribución futura de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, en la región climática costa sur de Guatemala.
3. Generar un mapa de distribución potencial actual y futura de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, en la región climática costa sur de Guatemala.

III. Hipótesis

La distribución presente y futura de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, durante su época migratoria en la región climática costa del sur de Guatemala se verá influenciada por las variables bioclimáticas.

IV. Justificación

Existe muy poca información sobre la garza rojiza, *Egretta rufescens*, en Guatemala. Las fuentes existentes describen la especie como migratoria en el país (Koczur et al., 2020). Además, es considerada la especie más rara y menos estudiada de la familia Ardeidae más rara y menos estudiada en América del Norte (BirdLife International, 2020). Su población disminuyó considerablemente en el siglo XIX por la caza de plumas, lo cual la llevó casi a su extinción en Estados Unidos. Actualmente la población se ha recuperado y oscila entre los 5000 y 9999 individuos. La UICN la categoriza como casi amenazada, aún no aplica a ser categorizado como en peligro crítico, en peligro o vulnerable en la actualidad, pero está a punto de serlo o en un futuro próximo (BirdLife International, 2020).

Está clasificada bajo el criterio C1, lo cual significa que la población se encuentra en una disminución continúa observada, estimada o prevista. La garza rojiza, *Egretta rufescens*, se encuentra altamente en peligro de llegar a formar parte de la categoría vulnerable, ya que para el criterio C1 se requiere estar a un número de individuos menor a 10,000 significativamente y la especie está entre los 5000 a 9999 aproximadamente. Por lo que, si el rango de individuos llegará a disminuir, la especie ya estaría clasificada como vulnerable (IUCN Species Survival Commission, 2000).

Según Koczur et al. (2020), las prioridades de investigación futura para la garza rojiza, *Egretta rufescens*, son realizar estudios oficiales que proporcionen información de la abundancia y tendencias de la población en toda el área de distribución. Además, estudios que ayuden a comprender el impacto humano en sus hábitats, ya que está es una especie especialista en hábitats costeros y la degradación y pérdida de ellos es lo que genera un mayor impacto sobre esta especie a comparación de otras garzas. En algunas de las islas del Caribe la especie se encuentra posiblemente extinta, por lo que se espera que en Guatemala no ocurra. Tener un mejor conocimiento de la ecología de las zonas de parada como lo es Guatemala beneficiaría a la conservación de esta especie migratoria en el país. Es fundamental proteger las zonas de alimentación y parada para que logre completar su ciclo anual y así preservar esta especie.

Para comprender su distribución en Guatemala y cómo se vería afectada en un futuro, se dirigirá este estudio a determinar cómo influye el clima y la cobertura de mangle en su distribución a través de modelos de distribución potencial con ayuda del método de máxima entropía como objetivo. Mediante la combinación de ambas técnicas de análisis y predicción, se espera obtener resultados detallados y confiables que contribuyan al conocimiento científico y a la conservación de esta especie migratoria en Guatemala.

V. Marco teórico

A. Orden pelecaniforme

El orden pelecaniforme incluye aves de tamaño mediano a grande las cuales poseen picos largos adaptados para capturar presas acuáticas. Sus patas son palmeadas o toti palmadas con membrana interdigital, lo que les permite nadar eficientemente. La mayoría de las especies dentro de este orden posee un parche gular de piel desnuda expansible debajo de su pico, utilizado para atrapar y almacenar peces. El plumaje de las aves de este orden puede ser variado en color y patrones. Este orden se divide en las familias pelecanidae (pelícanos), ardeidae (garzas), threskiornithidae (espátulas e íbices), scopidae (cabeza de martillo) y balaenicipitidae (cigüeña de pico de zapato o ballena) (Nelson, 2006).

Los individuos de estas familias y sus parientes cercanos pueden encontrarse en una variedad de entornos acuáticos, desde costas marinas hasta ríos, lagos y humedales de agua dulce. Se alimentan principalmente de especies marinas como peces, calamares, camarones, entre otros. Cada especie tiene sus preferencias específicas en términos de hábitat, así como patrones migratorios y desplazamientos estacionales específicos (Nelson, 2006).

Los pelecaniformes exhiben una variedad de comportamientos reproductivos, de anidación y de cortejo. Estas aves suelen formar colonias de anidación en áreas costeras, islas o acantilados. Durante el cortejo, las aves pueden realizar exhibiciones visuales y vocales, como movimientos de cabeza, alas y despliegue de plumaje. Los pelícanos, por ejemplo, muestran exhibiciones sincronizadas en grupo. En cuanto a la anidación, las aves construyen nidos grandes utilizando ramas y vegetación disponibles, como algas marinas. Los nidos se ubican en árboles, acantilados o en el suelo, dependiendo de la especie. El cuidado parental también varía, pero generalmente ambos progenitores participan en la incubación de los huevos y en la alimentación de las crías. Sus polluelos salen del huevo sin plumas sin estar completamente desarrolladas a esto se le conoce por el término nidícolas (Drummond, 1987).

B. Familia ardeidae

La familia ardeidae, también conocida como garzas, se encuentra distribuida en diversas zonas del mundo. Su hábitat principal son las áreas de agua dulce, como pantanos, estanques, ríos y lagos, donde pueden encontrar una amplia variedad de presas para alimentarse. Sin

embargo, también pueden adaptarse a hábitats costeros, como manglares y marismas. Estas aves suelen construir sus nidos en árboles altos y densos cercanos al agua, donde encuentran protección y acceso rápido a su fuente de alimento. En general, las garzas son bastante flexibles en cuanto a su hábitat y pueden habitar una amplia gama de entornos acuáticos en todo el mundo (Zea Bermúdez, 2022; Yagual Lainez, 2022).

Estas aves poseen una serie de adaptaciones que les permiten sobrevivir y prosperar en estos entornos acuáticos. Por ejemplo, poseen largas patas que les facilitan la movilidad en el agua y les permiten caminar sobre superficies fangosas. Además, su plumaje denso y resistente al agua les brinda protección mientras se sumergen en busca de alimento. En términos de la ecología, son aves bastante versátiles, ya que pueden encontrarse tanto en áreas de agua dulce como salada. Estas aves suelen ser solitarias o vivir en colonias, y su comportamiento puede variar según la especie. Algunas migran largas distancias, mientras que otras son sedentarias y permanecen en un área durante todo el año. En general, su ecología está estrechamente relacionada con la disponibilidad de su hábitat acuático y los recursos alimentarios que este ofrece (Maglianesi, 2022; Molina Granoble, 2024).

El estado de conservación de la familia ardeidae es de gran importancia debido a su papel en el ecosistema. Estas aves desempeñan un papel crucial en la cadena alimenticia, ya que se alimentan de peces, reptiles y anfibios. Sin embargo, algunas especies de la familia ardeidae, como la *Egretta rufescens*, están enfrentando amenazas significativas que afectan su supervivencia (Koczur et al., 2020). La pérdida de hábitat debido a la destrucción de los humedales, la contaminación del agua y la caza furtiva son algunos de los principales factores que han llevado a la disminución de estas aves. Según la lista roja de la IUCN el 19 % de las especies de la familia ardeidae se encuentran dentro de la lista (3 NT, 3 VU, 5 EN, 1 CR). Esto a consecuencia de la destrucción y fragmentación del hábitat, además de la caza (BirdLife International, 2020).

C. Garza rojiza (*Egretta rufescens*)

Esta especie, conocida comúnmente como garza rojiza o *reddish egret*, *Egretta rufescens*, el nombre del género procede de la palabra francesa para designar a la garceta, *aigrette*, diminutivo de *aigron*, "garza" (*Figura 1*). El epíteto específico *rufescens* proviene del latín y significa "rojizo" que hace referencia al color de su plumaje morfo oscuro. Es una garza de tamaño mediano, con una longitud aproximada de 70 a 80 centímetros y un peso que ronda entre los 700 a 850 gramos. Sus patas largas le permiten caminar con facilidad tanto en tierra como en el agua (Koczur et al., 2020).

Figura 1. Garza rojiza o reddish egret, *Egretta rufescens*



(Kynd, 2019)

Figura 2. Plumaje morfo blanco de la garza rojiza, *Egretta rufescens*



(Fidler, 2018)

Esta especie muestra una notable variación en su plumaje, con dos morfos distintos. Los individuos del morfo claro muestran plumaje gris pálido y blanco desde el nacimiento, con tonos grises pálidos y mayormente blanco en edad juvenil (*Figura 3*) y pasando a tonos predominantemente blancos en la edad adulta (*Figura 2*). En contraste, los del morfo oscuro presentan plumaje grisáceo con tonos rojizos en su juventud, que se vuelven parduzcos y mates en la edad adulta, con tonalidades rojizas en el cuello y gris fuerte en el cuerpo. (Pyle y Howell, 2004). Este plumaje adulto facilita los comportamientos

de cortejo, donde la garza realiza estiramientos y bailes con el fin de encontrar pareja y anidar (Meyerriecks, 1960; Koczur et al., 2020).

Figura 3. Plumaje juvenil morfo oscuro de la garza rojiza, *Egretta rufescens*



(Vaughan, 2016)

1. Hábitat, distribución y migración

Esta especie se encuentra principalmente en hábitats costeros, como estuarios, marismas saladas, manglares y lagunas costeras poco profundas. Existen múltiples factores que pueden influir en la selección del área de descanso y en el comportamiento de las aves acuáticas, como la estación específica, la hora del día, el clima, el nivel de marea, el grado de colonialidad, la distancia entre el área de descanso y los lugares de alimentación, las estrategias de alimentación, la distancia a depredadores y el nivel de perturbación humana (Koczur et al., 2018).

Durante la época de anidación colocan sus nidos en islas costeras naturales, artificiales de vegetación y/o manglares como mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), pimentero brasileño (*Schinus terebinthifolius*), chaparro amargo (*Castela erecta*), daga española (*Yucca gloriosa*) y cactus espinoso (*Opuntia sp.*); o el ojo de buey de mar (*Borrichia sp.*), verdolaga de mar (*Sesuvium sp.*), vara de oro (*Solidago sp.*), ambrosía (*Artemisia sp.*), usualmente sobre agua o en arena sin vegetación (Koczur et al., 2020).

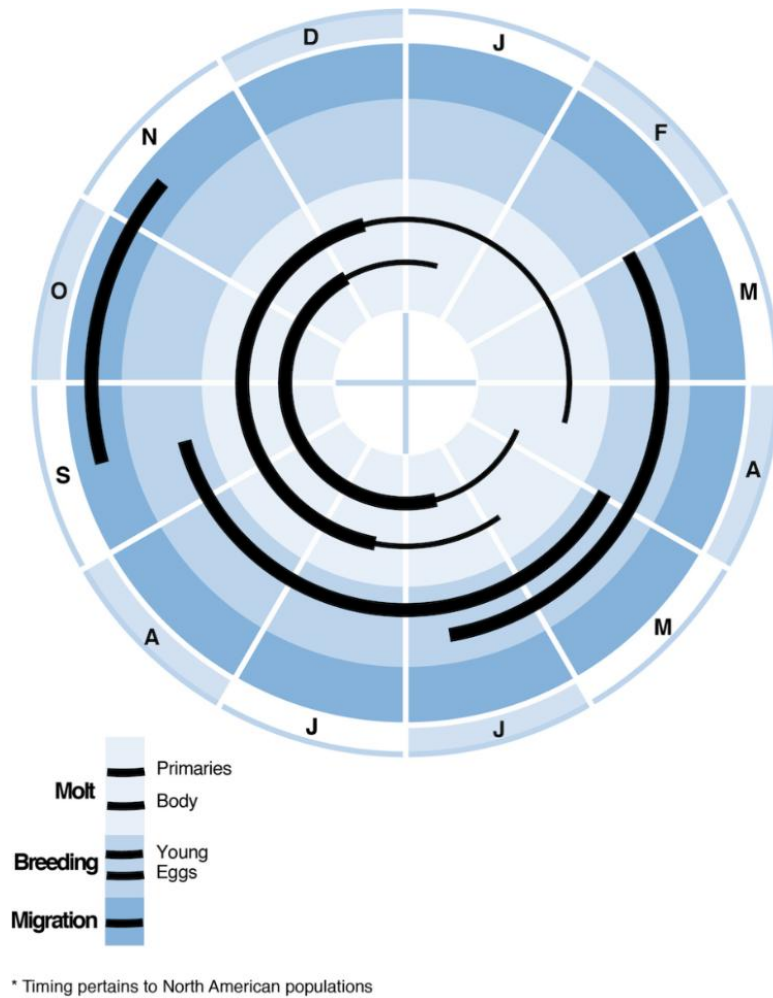
Figura 4. Mapa de distribución de la garza roja, *Egretta rufescens*



(BirdLife International, 2020)

Anidan en la costa del Pacífico en México a lo largo de Baja California, al norte de San Quintín, Guerrero Negro, la Isla San Luís en el golfo de California, Sonora, Sinaloa, Colima y Oaxaca. En la costa atlántica, se encuentra al sur hasta los Cayos y la costa del golfo de Florida, y al norte hasta el condado de Hillsborough, el condado de Pinellas y el condado de Citrus, Alabama, Luisiana, Texas, México, el norte de Belice, Bahamas, Cuba, al sur del Caribe y es probable que en la costa de Colombia, ya que se han avistado juveniles con plumón en la cabeza. Antes se reproducía también en Jamaica, pero ya no se han hecho registros por lo que se cree que está posiblemente extinta al igual que otras islas del Caribe (*Figura 4*) (BirdLife International, 2020). Además, es un residente poco común durante todo el año en Venezuela por lo que podría anidar, pero no se han realizado registros (Koczur et al., 2020).

Figura 5. Ciclo anual de reproducción, muda y migración de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, en donde las letras hacen referencia al mes en inglés



(Koczur et al., 2020)

Durante las temporadas de migración e invernación, no se ha observado una distinción significativa en el hábitat en comparación con la época de anidación. Los individuos migratorios se expanden hacia el sur de Nicaragua y Costa Rica, rara vez en Panamá, al norte del golfo de California y sur de Arizona. Es poco común en Honduras, Colombia, Venezuela y Trinidad y Tobago. Desde 1970 han aumentado los avistamientos en Centroamérica y el norte de Sudamérica lo que puede reflejar una mayor cobertura de observadores, al igual que podría indicar una expansión de la especie hacia estas zonas (Koczur et al., 2020).

Figura 6. *Distribución de la garza roja, Egretta rufescens*



(Koczur et al., 2020)

2. Migración

Esta especie es parcialmente migratoria ya que la mayor parte de los individuos migra, pero una pequeña parte suele quedarse a lo largo del límite del área de reproducción. A finales de primavera o verano en norte américa se lleva a cabo la distribución post reproductora siendo afectadas mayormente las aves inmaduras. Mediante ejemplares de aves anilladas se han reportado individuos que llegan al sur como El Salvador y Guatemala (Koczur et al., 2020).

La migración la realizan luego de la nidificación poco tiempo después que los individuos inmaduros se independicen. En Texas, la nidificación se da principalmente entre mayo y junio, y comienza a haber movimiento de migración hacia el sur entre junio y septiembre. Por otro lado, en la

Laguna Madre, Texas, los adultos permanecen después de la nidificación incluso si su nidificación fue un fracaso. El movimiento de migración comienza a ocurrir hasta octubre y noviembre, esto se debe a una reducción del hábitat en donde se alimentan. Las migraciones ocurren durante un horario nocturno. Los individuos que migran largas distancias utilizan lagunas a lo largo de las costas como sitios de parada por alrededor de 1 a 3 días (Koczur, 2017; Koczur et al., 2020).

Las parejas que anidan en Florida realizan su migración en tiempos diferentes, ellas anidan de noviembre a febrero y otras de febrero a junio por lo que su migración la realizan en marzo. Las aves migratorias del noreste de Florida se observan entre mayo y julio. En la costa pacífica de Costa Rica se observan de septiembre a abril (Small, 1994; Koczur et al., 2020).

3. Comportamiento

Para caminar, saltar, trepar, entre otros posee un movimiento de acercamiento corto e intermitente con posiciones erguidas y una inclinación del pecho hacia la parte delantera (Meyerricks, 1960). Realizar el movimiento delantero con la cabeza retractada le sirve para parecer más grande de lo que realmente es en la sección de las patas (Koczur et al., 2020). Al correr suelen utilizar sus alas para mantener el equilibrio. Para otros movimientos como vuelos, posee alcances cortos y rápidos, con extrema notoriedad debido a su apariencia agraciada al volar y más relajada que otras garzas (Aaron, 1937). Posee una velocidad normal estimada de 32 km/h y una velocidad de adultos migratorios estimada de 31 a 86.5 km/h. A pesar de no tener la habilidad de nadar, un adulto puede sumergirse hasta 25 cm de profundidad (Koczur et al., 2020; Green, 2005).

El movimiento de las garzas rojizas no tiene una hora documentada con certeza. Empíricamente se conoce que desde el amanecer hasta las 10 de la mañana comienza el vuelo (Meyerricks, 1960; Koczur et al., 2020). Previo al forrajeo de la mañana presentan un comportamiento de acicalamiento, de rascado de cabeza, de estiramiento y baño idéntico al de las otras especies de garzas, teniendo la única diferencia de tomar mayor precaución y frecuencia en las plumas por debajo del ala (Koczur et al., 2020).

Existen muchos comportamientos de pelea por disputas de territorio alimenticio o formación de parejas. Levantar las plumas del cuello y cabeza (*Figura 7*), mover la cola hacia arriba y abajo y hasta colocar erguida la cabeza son señales de pelea para la garza rojiza, *Egretta rufescens*. En peleas con otras garzas tienden a erguir sus plumas, esparcir sus alas y correr hacia su oponente con un llamado. Adicional, al momento de incubación o cuando el nido de la pareja está

completado, se tiene un radio dentro del área del nido donde el comportamiento de pelea se realiza más agresivamente a cualquier amenaza que se acerque al sitio (Meyerriecks, 1960; Koczur et al., 2020).

Figura 7. Garza rojiza, *Egretta rufescens*, levantando la cresta



(James, 2018)

4. Dieta y forrajeo

Su dieta principal son peces, por lo que se considerada una especie piscívora (*Figura 9*). Sin embargo, se sabe que también consumen ranas y renacuajos, aunque es más inusual. De las regurgitaciones o bolos de las crías, en la bahía de Aransas, Texas, utilizando más de 1500 muestras, se encontró una distribución de presas dentro de la alimentación de la garza rojiza. Los peces más comunes fueron el pez lenguado (*Cyprinodon variegatus*), la liseta (*Mugil curema*, *M. cephalus*), el pargo, el *killfish* de nariz larga (*Fundulus similis*) y el menidia de agua salobres (*Menidia peninsulae*). También se encontraron otras 11 especies de peces, 1 especie de camarón (*Penaeus aztecus*) (*Figura 8*) y una especie de cangrejo (Holderby et al., 2014).

Figura 8. Garza rojiza, *Egretta rufescens*, comiendo un camarón



(Cleveland, 2023)

De las regurgitaciones o bolos de las crías obtenidas en las anidaciones de la bahía de Florida, utilizando más de 5100 muestras, con una distribución abundantes del pez espinoso, la molly aleta de vela (*Poecilia latipinna*), el pez matancero (*Floridichthys carpio*), y el pez matancero de pantano (*Fundulus confluentus*). También se encontraron otras 28 especies de peces, 1 especie de camarón (*Penaeus duorarum*), y 2 especies de insectos (Koczur et al., 2020).

Figura 9. Garza rojiza, *Egretta rufescens*, comiendo un pez



(Nauman, 2018)

El forrajeo lo realiza en estanques, planos lodosos, lagunas y/o pisos costeros, en dónde el agua se encuentre entre 5 a 15 centímetros de profundidad rara vez en 25 centímetros de profundidad o más (*Figura 10*). Suelen poseer arena seca o sustrato de lodo con poca vegetación. Suele aventajarse de eventos de sequía ya que sus presas se quedan atrapadas en agua estancada. Durante este evento se generan bandas de alimentación de especies mixtas que incluyen otras garzas (*Egretta* spp.), pelícanos (*Pelecanus* spp.), ibis (*Eudocimus* spp.), espátula rosada (*Platalea ajaja*). Se encuentra mayormente en hábitats de agua salada que en hábitats de agua dulce (Koczur et al., 2020).

Figura 10. Garza rojiza, *Egretta rufescens*, comiendo un pez en agua poco profunda



(Vickers, 2017)

La presa de la garza radica en un tamaño menor a los 10 cm donde su consumo es rápido (Rodgers y Smith, 1995). Para optimizar este comportamiento, el animal emplea una variedad de técnicas de forrajeo. Entre estas, se incluyen el aleteo de alas (*Figura 11*), la caminata con las alas extendidas, el agitar de pies o bien agitar el agua mientras se vuela de manera cercana. Estas tácticas se utilizan para perturbar a las presas cercanas, lo que permite al animal visualizarlas mejor y capturarlas mientras están distraídas (Bates et al., 2015).

Figura 11. Garza rojiza, *Egretta rufescens*, empleando la técnica de aleteo y alas extendidas



(Hawrylyshyn, 2015)

Existen otras técnicas de forrajeo que incitan más a la búsqueda y paciencia de la garza y no a la reacción de la presa. La alimentación de canopy inicia con el ave colocando las alas sobre su cabeza en forma de sombrilla para mejorar su visión del agua y evitar el reflejo además de atraer a peces pequeños que gustan ocultarse en la sombra (*Figura 12*). Esperar y caminar lentamente es un tipo de forrajeo infrecuente donde el individuo se mueve de manera lenta con su cabeza rotada a un lado por probabilidad de encontrar cualquier presa (Bates y Ballard, 2014).

Figura 12. Garza rojiza, *Egretta rufescens*, empleando la técnica de forrajeo de canopy



(Starnes, 2017)

5. Conservación

Usualmente, la garza rojiza, *Egretta rufescens*, se ve afectada por alteraciones del hábitat, el golfo de México es prominente a tener huracanes esto influye en que el nivel del mar aumente y haya pérdida de hábitat (Green et al. 2011; Gornitz 1995, Webster et al. 2005, Leberg et al. 2007). Cuando esto sucede, la garza se resiste a trasladarse tierra adentro, por lo que es parte del reto de conservación de estas poblaciones si el hábitat continúa degradándose. A comparación de otras especies de aves acuáticas, se cree que los individuos juveniles enfrentan mayores dificultades para reubicarse con éxito debido a lo poco frecuente que realizan migraciones de larga distancia y el flujo genético limitado entre las poblaciones (Hill et al. 2012; Kenow et al. 2002, Miller et al. 2005, Bryan et al. 2008).

Además, su comportamiento de forrajeo y disponibilidad de alimento se ven influenciadas por la abundancia y distribución de los peces, la temperatura de la superficie del mar y/o cuerpo de agua, la concentración de clorofila y los cambios en la altura del nivel de la superficie del mar. La clorofila indica la abundancia de fitoplancton presente que atrae a los peces ya que ellos se alimentan de esto. Basado en estudios realizados por Bates y Ballard (2014) cuatro variables ambientales influyen en la búsqueda de alimento: la velocidad del viento, la intensidad de la luz, la profundidad del agua y la cobertura de praderas marinas. Aunque demostraron que las variables representaron solo un 3 % de influencia en la variación del comportamiento de búsqueda de alimento. Ellos sugieren que las variables ambientales tienen poca influencia en el comportamiento de

búsqueda de alimento de las garzas rojizas en la Laguna Madre, y que las características de las presas tienen una mayor influencia. Siendo pintarroja, *Cyprinodon variegatus variegatus*, su presa principal en la dieta de la garza rojiza, *Egretta rufescens* (Holderby et al., 2014).

Aunque actualmente el hábitat de forrajeo durante la época reproductiva no sea un factor limitante, distintas proyecciones del aumento del nivel del mar sugieren que los sitios de alimentación y anidación se verán considerablemente impactados. Esto podría repercutir de manera significativa en la conservación futura de la especie, en especial ante la proyección de una merma considerable de los humedales en la Laguna Madre debido al ascenso del nivel del mar (Koczur, et al., 2018).

La garza rojiza, *Egretta rufescens*, se encuentra clasificada como casi amenazada (Near Threatened) según la Lista Roja de la IUCN (BirdLife International, 2020). Su clasificación según el CITES aún no ha sido publicada y, según la lista de especies amenazadas de Guatemala (LEA), se encuentra como una especie vulnerable (CITES, 2021; CONAP, 2022). Las intervenciones humanas pueden afectar la distribución de la fauna. Factores como la proximidad a zonas pobladas, la infraestructura existente (como carreteras y puertos) y la alteración del hábitat (resultado de la agricultura, urbanización o turismo) pueden influir en la distribución de la garza rojiza, *Egretta rufescens*. Según la UICN, estas poblaciones fueron intensamente explotadas como fuente de alimento a finales del siglo XIX y principios del XX, y en México, los juveniles son capturados para ser usados como cebo en la pesca (Palacios et al., 2018; BirdLife International, 2020). Actualmente, cambios en algunas colonias pueden ser atribuidos a depredadores, los cuales pueden ocasionar caídas abruptas en números, pero se ha observado recuperaciones tras la gestión de dichos depredadores. Otras amenazas incluyen la transformación y deterioro del hábitat por actividades de ocio y negocios, las perturbaciones por turismo y desarrollo residencial, y las alteraciones humanas en las costas (Koczur et al., 2020; BirdLife International, 2020).

En el estado de Louisiana, Estados Unidos, se llevó a cabo un estudio con el objetivo de evaluar los impactos de los ciclones y otros fenómenos meteorológicos en términos de la supervivencia de la garza rojiza, *Egretta rufescens*. Este estudio reveló que más de un tercio de las aves en la muestra de población fallecieron debido a los impactos relacionados con las tormentas, lo cual podría haber ocasionado una disminución drástica en la población. Además, se estima que algunos individuos no marcados también perdieron la vida. Dado que la garza rojiza, *Egretta rufescens* se encuentra restringida a hábitats costeros, esta especie parece ser particularmente vulnerable

a los efectos de los ciclones tropicales. Si las predicciones sobre el aumento en la frecuencia e intensidad de estos fenómenos para finales de siglo en Louisiana son precisas, las poblaciones de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, se enfrentarán a una amenaza significativa (Vasseur et al., 2023).

D. Nicho ecológico

Un nicho ecológico hace referencia a la función que una especie desempeña en su hábitat, condiciones de sobrevivencia y reproducción, las interacciones con otras especies y cómo se adaptan a su entorno y compiten por los recursos del ecosistema (Lanheros y Ortega, 2021). La competencia de recursos entre especies permite que el nicho ecológico se moldee por sí mismo, ajustando la densidad de la población de una misma especie si es intraespecífica, o desplazando especies y equilibrando recursos entre ellas si es una competencia interespecífica (Jiménez Galeano y Mendoza Carmona, 2023).

Para que diversas especies coexistan en un ecosistema, es necesario que se adapten para sobrevivir y reproducirse en su entorno. Esto implica que las especies desarrollen estrategias para ajustarse a las condiciones ambientales. Una de estas estrategias es la especialización de recursos, que implica el uso exclusivo de un recurso específico dentro de la presa o el hábitat. La sobrevivencia de la especie se puede dar porque el recurso estará disponible para la especie cuando sea necesitado (Labrador-Montero, 2023). La tolerancia a condiciones adversas es otra estrategia que permite adaptarse a ambientes adversos. Esto incluye temperaturas extremas, niveles de humedad bajos o altos o hasta condiciones de escasez de alimentos o agua (Alarcón et al., 2023).

Las estrategias de desplazamiento que poseen las especies en nichos es el comportamiento migratorio en respuesta a cambios estacionales para buscar mejores condiciones de vida. Este desplazamiento permite evitar condiciones adversas, aprovechar oportunidades de recursos y evita la competencia contra otras especies (Falconi et al., 2021). Finalmente, la última estrategia es la coevolución con otras especies. Esto se da cuando dos especies interactúan y mutuamente influyen en su evolución. En estas puede haber múltiples relaciones como depredador-presa, mutualista o parásito-huésped (Rey-Rocha et al., 2023).

E. Modelos de nicho ecológico

Los modelos de nicho ecológico (MNE) son cálculos utilizados para relacionar variables ambientales. A través de ellos se han podido revelar patrones y procesos que influyen en la distribución y abundancia de especies en los ecosistemas. Similar pero no igual a esto existen los modelos de distribución de especie (MDE) los cuales proporcionan una

visión general de la distribución geográfica de especies en un determinado lugar y momento (Illoldi y Escalante, 2008).

Los modelos pueden ser agrupados dependiendo de su enfoque generalista o específico a variables específicas. La rama de modelos clásicos se enfoca en la interacción de organismos y su ambiente. Estos se centran en aspectos específicos de nichos como tolerancia a factores abióticos o interacciones con otras especies. Estos modelos requieren una descripción detallada de las características y requisitos de las especies por lo que tendrá el resultado una comprensión integral de las interacciones. Sin embargo, su complejidad por la cantidad de datos para su implementación limita su aplicabilidad en escenarios complejos y dinámicos (Milesi y De Casenave, 2005).

F. Método de máxima entropía

El método de máxima entropía (MAXENT) es una técnica utilizada en el campo de la modelización estadística y el aprendizaje automático. Su objetivo principal es encontrar la distribución de probabilidad más uniforme o equilibrada, dada una serie de restricciones y datos observados. Es especialmente útil cuando se tienen pocos datos y se desea evitar sesgos en el modelo (Wu, 2012).

Su objetivo principal es encontrar la distribución de probabilidad que maximice la entropía sujeta a ciertas restricciones o información previamente conocida. Es especialmente útil cuando se cuenta con pocos datos de entrada o cuando la información previa es limitada. Se fundamenta en la idea de que, dado un conjunto de restricciones y una función de entropía, la distribución de probabilidad resultante debe ser la más uniforme posible, es decir, la que maximiza la incertidumbre. Esto se logra mediante la resolución de un problema de optimización que busca encontrar los valores óptimos para los parámetros de la distribución de probabilidad. En biología, el método se ha utilizado para predecir la distribución de especies, establecer modelos de hábitat y analizar la diversidad genética (Fort, 2022).

VI. Metodología

A. Base de datos de la distribución de la garza rojiza, *Egretta rufescens*

La base de datos de la distribución de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, en Guatemala se obtuvo mediante la ocurrencia de datos de eBird desde enero de 1990 a febrero de 2024 (eBird, 2024). Estos registros de avistamientos son realizados por los usuarios de la plataforma a través de ciencia ciudadana. Estos datos sirvieron como base para realizar el análisis de la distribución potencial y la identificación de patrones de distribución de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, en Guatemala.

Los datos recopilados en la plataforma pasan por un proceso de verificación el cual consiste en una combinación de filtros de datos automatizados y una red de expertos locales que revisan los datos marcados como raros (cuando una especie que es rara o inusual en la región), fuera de temporada (cuando una especie se registra fuera de su intervalo de fechas normal) y/o recuento elevado (cuando el recuento de especies supera el máximo que cabría esperar encontrar en esa fecha concreta en esa región). Los datos incluyen información sobre la fecha, el lugar y las características del avistamiento. Como una forma de evitar el sesgo en los datos se excluyeron datos en donde el registro de coordenadas o taxón son inválidos o dudosos. Además, cuando las coordenadas eran repetidas en el mismo día de avistamiento se dejó únicamente el primer registro, para que solo haya un registro por ubicación en el día.

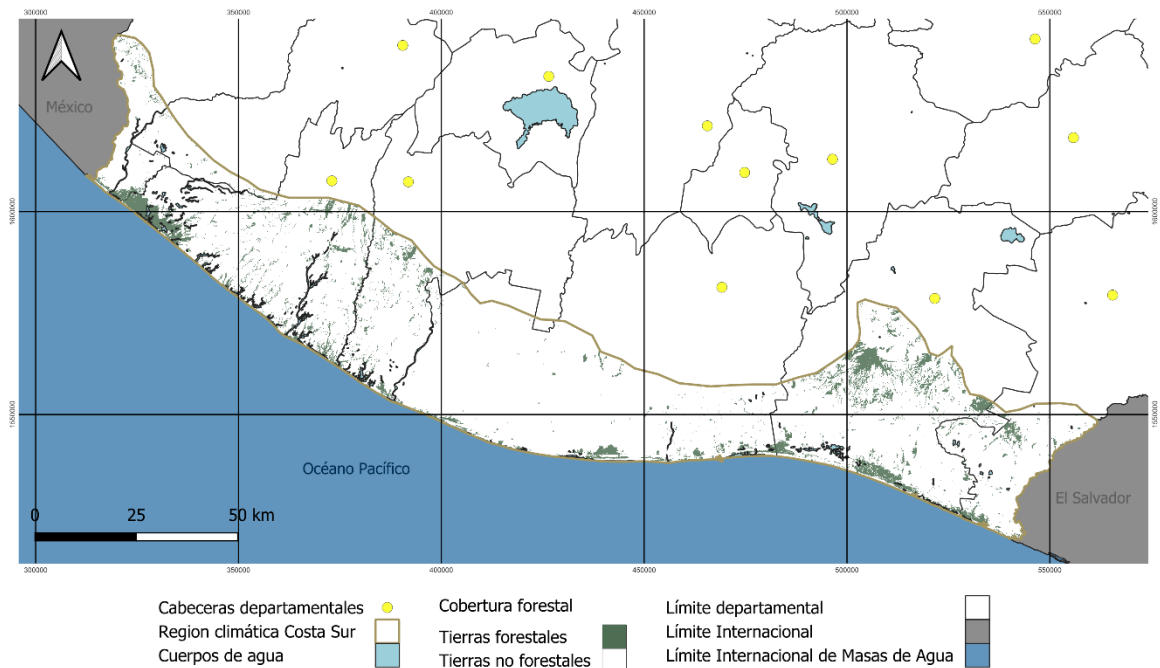
B. Análisis de la distribución geográfica en Guatemala y delimitación del área de estudio

Se realizaron mapas y se identificaron las áreas donde se han registrado avistamientos de esta especie. Se examinaron las concentraciones de avistamientos en diferentes regiones, así como las áreas donde hay una menor presencia de la especie. Este análisis permitió obtener una visión general de la distribución geográfica de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, en Guatemala. Basado en estas observaciones, se decidió utilizar únicamente los datos de la región climática costa sur de Guatemala, ya que al haber una amplia distancia entre puntos generaría mucho ruido a los resultados.

El área de estudio región climática costa sur abarca desde el departamento de San Marcos hasta Jutiapa, con altitudes que van desde los 600 hasta el nivel del mar (Figura 13). La precipitación en esta área es menos intensa que en la boca costa y tiende a disminuir a medida que nos acercamos a la costa. Las temperaturas registradas son elevadas. Aquí se presentan climas cálidos con poca o ninguna estación fría bien definida, con un carácter húmedo que varía hacia semiseco (Servicio Meteorológico De Guatemala, 2017).

Dentro del área es estudio se encuentra el bosque seco también conocido como “bosque estacionalmente seco” por su escasez de lluvia, teniendo un mínimo de 5 meses al año con menos de 100 milímetros de lluvia. En Guatemala estos bosques van desde cerca del nivel del mar en la costa sur hasta los 1650 msnm ocupando una extensión de 4110 kilómetros cuadrados (Ariano-Sánchez, 2021). Un estudio realizado por el INAB demostró que únicamente queda un 24 % de la cobertura histórica del bosque estacionalmente seco en Guatemala. En Guatemala el 76 % de este hábitat ha sufrido una pérdida forestal (Ariano-Sánchez, 2021).

Figura 13. Área de estudio "Región climática costa sur"



C. Análisis de la distribución potencial y cambio climático

Se empleó el software MaxEnt 3.4.4 para determinar la distribución potencial actual de la garza rojiza, *Egretta rufescens*, a partir de los puntos de localidad obtenidos. Se realizarán modelajes en Maxent con 1000 iteraciones y con la configuración predeterminada a excepción del

porcentaje de pruebas aleatorias que fue cambiado a 20. Para los escenarios de cambio climático se utilizaron tres modelos climáticos SSP (Shared Socioeconomic Pathways): sostenibilidad (SSP1), en medio del camino (SSP2) y desarrollo basado en combustibles fósiles (SSP5). Los cuales se generaron con diferentes simulaciones de forzamiento radiativo: para el SSP1 con 2.6, para el SSP2 con 4.5 y para el SSP5 con 8.5. Cada escenario será proyectado para los años 2021 al 2040, 2041 al 2060 y 2061 al 2080.

El escenario optimista “Sostenibilidad” (SSP1) proyecta que la desigualdad se reducirá tanto entre los países como dentro de ellos. Además, el consumo se orientará hacia un bajo crecimiento material y una menor intensidad de recursos y energía. El escenario medio “En medio del camino” (SSP2) proyecta que disminuirá la intensidad del uso de recursos y energía. Además, el crecimiento de la población mundial será moderado, pero la desigualdad de ingresos persistirá o mejora lentamente y los retos para reducir la vulnerabilidad a los cambios sociales y medioambientales persistirán igualmente. El escenario pesimista “Desarrollo basado en combustibles fósiles” (SSP5) proyecta que el desarrollo económico y social va unido a la explotación de abundantes recursos de combustibles fósiles y a la adopción de estilos de vida intensivos en recursos y energía en todo el mundo (Harrisson, 2021).

D. Modelación y predicción climática con los datos de distribución de la garza rojiza, *Egretta rufescens*

1. Obtención de datos bioclimáticos de Worldclim2

Se obtuvieron los datos bioclimáticos y de altitud para Guatemala de la base de datos de WorldClim2 (Global climate data www.worldclim.org) por medio de ráster. Estos datos corresponden a los registros climáticos de la versión 2.1 de WorldClim para el periodo de 1970 a 2000. En estos datos se incluyen mediciones mensuales de temperatura mínima, promedio y máxima, así como precipitación, radiación solar, velocidad del viento, presión de vapor de agua y precipitación total. Además, se encuentran disponibles 19 variables bioclimáticas (*Cuadro 1*). Los datos están disponibles en cuatro resoluciones espaciales, que van desde los 30 segundos (aproximadamente 1 km²) hasta los 10 minutos (aproximadamente 340 km²). Cada descarga corresponde a un archivo comprimido en formato *zip*, el cual contiene 12 archivos GeoTiff (.tif), uno para cada mes del año (siendo enero el mes número 1 y diciembre el número 12) (Fick y Hijmans, 2017).

Cuadro 1. Variables climáticas obtenidas de WorldClim utilizadas para la modelación de la distribución potencial de *Egretta rufescens*

Código de variable	Nombre de la variable
Bio_01_	Temperatura media anual del aire
Bio_02_	Temperatura media diaria del aire
Bio_03_	Isoterma
Bio_04_	Estacionalidad de la temperatura
Bio_05_	Temperatura del aire máxima diaria media del mes más cálido
Bio_06_	Temperatura mínima media diaria del mes más frío
Bio_07_	Rango anual de temperatura del aire
Bio_08_	Temperatura media diaria del aire del trimestre más húmedo
Bio_09_	Temperatura media diaria del aire en el trimestre más seco
Bio_10_	Temperatura media diaria del aire en el trimestre más cálido
Bio_11_	Temperatura media diaria del aire en el trimestre más frío
Bio_12_	Cantidad anual de precipitaciones
Bio_13_	Precipitaciones del mes más húmedo
Bio_14_	Cantidad de precipitación del mes más seco
Bio_15_	Estacionalidad de las precipitaciones
Bio_16_	Precipitación media mensual del trimestre más húmedo
Bio_17_	Precipitación media mensual del trimestre más seco
Bio_18_	Precipitación media mensual del trimestre más cálido
Bio_19_	Precipitación media mensual del trimestre más frío

2. Análisis de la relación entre el clima y la distribución de la especie

Se corrió el modelo con las 19 variables bioclimáticas en clima presente utilizando la distribución actual de la garza rojiza, *Egretta rufescens*. A continuación, se seleccionó un conjunto reducido de variables relevantes en función de los resultados obtenidos mediante el análisis de la curva de respuesta y la medición de importancia de la variable por medio de *Jackknife*, realizados con MaxEnt. Estas variables seleccionadas fueron las que presentaron un mayor impacto en la distribución potencial de la garza rojiza, *Egretta rufescens*. Se dio

prioridad a aquellas variables cuyas curvas de respuesta presentaron patrones de distribución similares a la distribución binomial o que mostraron picos pronunciados en sus respuestas, ya que son las que tuvieron una mayor capacidad predictiva.

Este conjunto reducido de variables se utilizó con el objetivo de simplificar el modelo y evitar un ajuste excesivo que dificultara una generalización adecuada de las distribuciones potenciales de las especies. Basado en estudios previos la curva AUC de los modelos predictivos se considera excelente si tiene un valor mayor o igual a 0.90 (Araújo y Williams, 2000), para *E. rufescens* todos los modelos predictivos obtuvieron un valor de 0.953. Las variables finales seleccionadas para incluir en los modelos se eligieron en base al conjunto de variables cuya contribución al modelo de distribución potencial alcanzó al menos el 75 % del total, además aquellas variables que tuvieron una importancia de permutación igual o mayor a 10. La selección definitiva de variables se verificó mediante la evaluación del gráfico de ganancia de entrenamiento regularizada por *Jackknife* correspondiente a dichas variables (Apéndice 8).

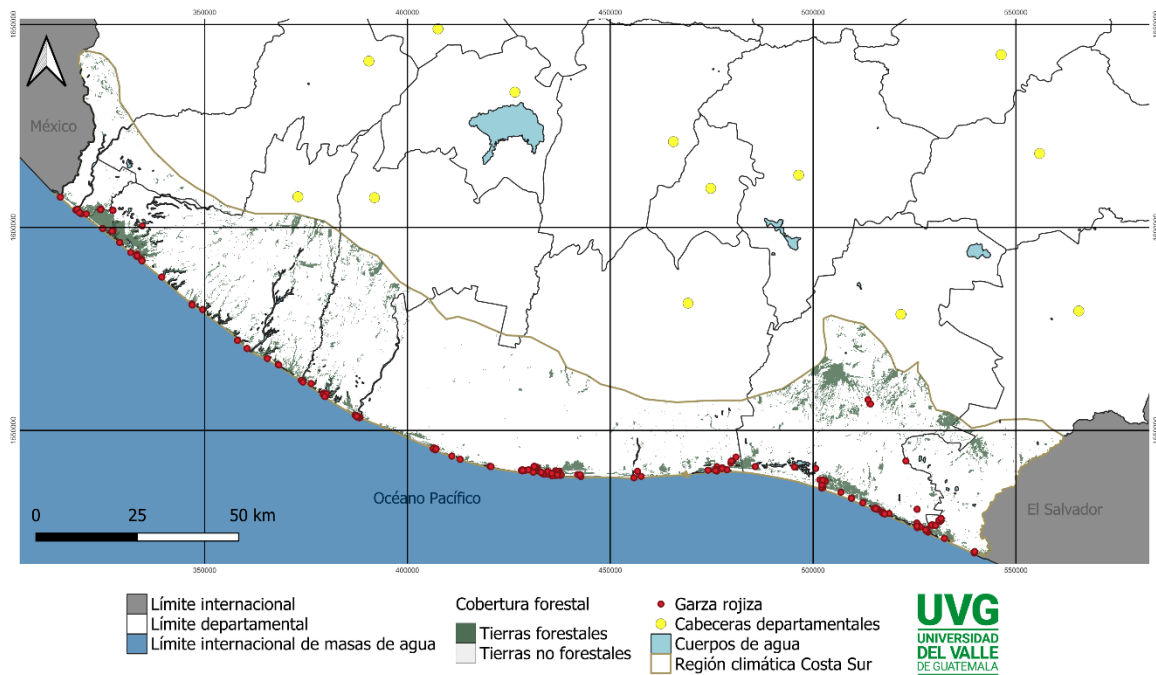
3. Desarrollo y validación de modelos predictivos

Se creó un mapa binario utilizando un umbral de equilibrio para delimitar con mayor precisión el área de distribución y obtener proyecciones futuras más precisas. Basado en el percentil 10 de presencia de formación, el cual representa un umbral que elimina todas las zonas con una idoneidad de hábitat inferior al 10 % de los valores más bajos de idoneidad encontrados en los registros de la presencia de la especie. Se supone que el 10 % de los registros de presencia en el hábitat menos adecuado no se encuentran en áreas que representen adecuadamente el hábitat general de la especie y, por lo tanto, deben ser descartados. Además, se calculó para cada uno de los escenarios la extensión en hectáreas con ayuda de QGIS. Por último, los mapas de los modelos predictivos fueron generados con ArcGIS y QGIS.

VII. Resultados

Se obtuvieron 1454 registros para *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala entre enero 1990 y febrero 2024 (eBird, 2024). Los registros se encuentran en su mayoría en el litoral. Se pudo observar mayor aglomeración de puntos en áreas con mayor cobertura forestal, que en esta región corresponde predominantemente a bosque de manglar cercano al océano pacífico (Apéndice 1).

Figura 14. Puntos de localidad de *E. rufescens* desde enero de 1990 a febrero de 2024 en la región climática costa sur



(eBird, 2024)

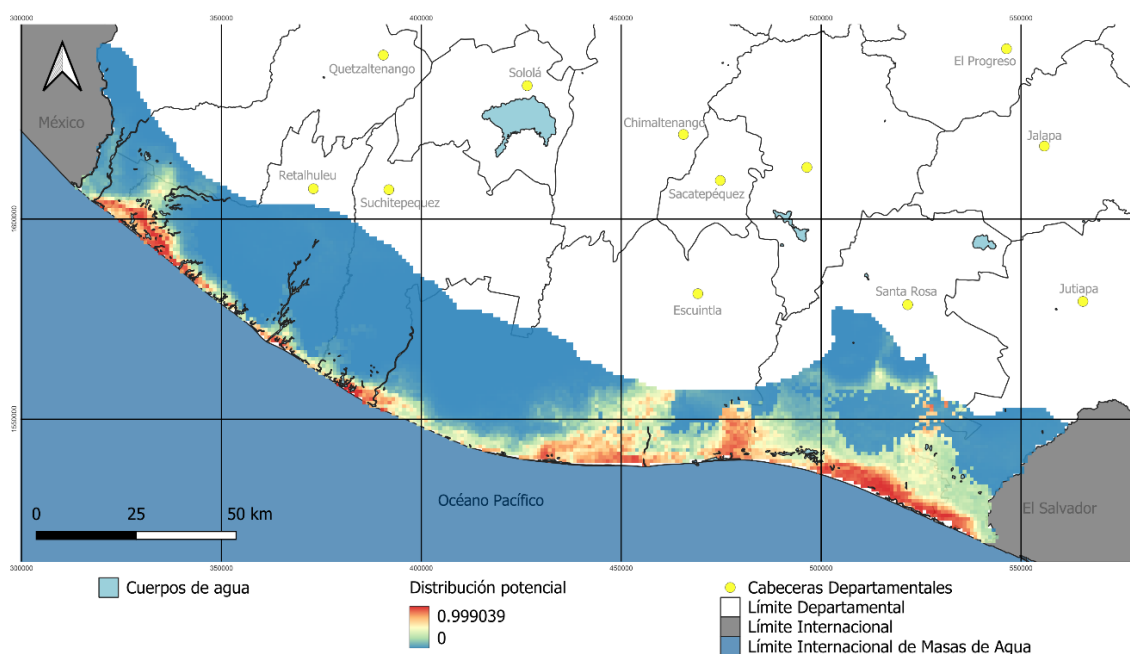
Se seleccionaron cinco variables bioclimáticas (*Cuadro 2*) que presentaron una importancia de permutación mayor a 10 y/o un porcentaje de contribución igual o mayor a 75 % para *E. rufescens*. Se obtuvo un porcentaje de contribución de 82.6 %. Estas cinco variables se utilizaron para realizar los tres escenarios: optimista (SSP1-2.6), medio (SSP2-4.5) y pesimista (SSP5-8.5). Para las proyecciones se obtuvo un AUC de 0.964, lo que indica que la capacidad predictiva de los modelos es específica y tiene una precisión del 96 %.

Cuadro 2. Variables climáticas seleccionadas para la modelación de distribución de *E. rufescens* en los tres escenarios: SSP1-2.6 (escenario optimista), SSP2-4.5 (escenario medio) y SSP5-8.5 (escenario pesimista), con sus respectivos porcentajes de contribución e importancia de permutación

Código de variable	Variabes	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Bio19	Precipitación del trimestre más frío	67.8	31.1
Bio2	Media anual Intervalo diurno	22.2	39.8
Bio16	Precipitación media mensual del trimestre más húmedo	6.1	19.3
Bio4	Estacionalidad de la temperatura	3	7.2
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío	0.8	2.6

Se obtuvo un área total estimada de 17600.332 hectáreas (*Apéndice 1; Cuadro 3*). El mapa de distribución potencial denota áreas de mayor probabilidad al suroeste del país, representadas por las costas de Quetzaltenango y Retalhuleu, y un mismo comportamiento en el sureste del país, representado con las costas de Santa Rosa y Jutiapa. Adicional, se denotan áreas de menor probabilidad en las costas de Escuintla y Suchitepéquez.

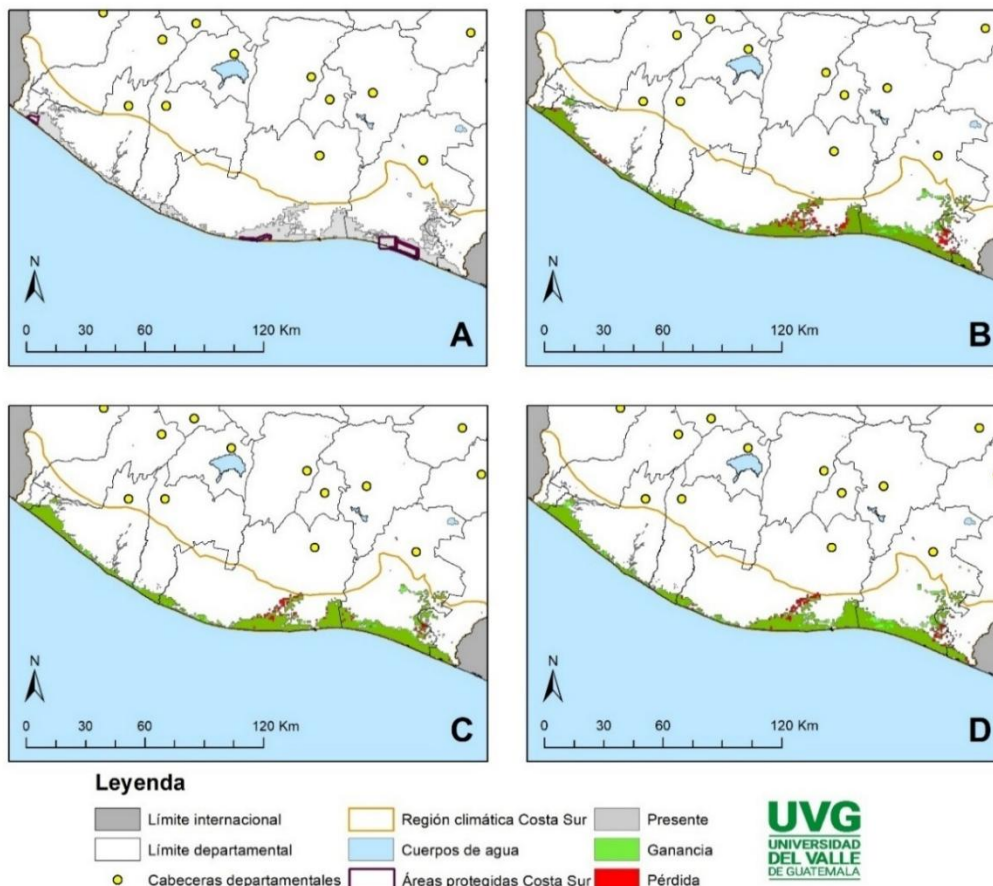
Figura 15. Distribución potencial actual de *Egretta rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2024, en donde el color rojo representa el área más probable (el valor más cercano a 1) en donde se encontrará la especie



(eBird, 2024; Philips et al., 2024)

De acuerdo con el mapa de distribución potencial actual (*Figura 16.A*), se realizó un modelo del escenario optimista (SSP1-2.6) para tres períodos: 2021 al 2040, 2041 al 2060 y 2061 al 2080. Durante los años 2021 al 2040, se identifica una expansión territorial principalmente en la Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico y el Área de Usos Múltiples Hawaii, Santa Rosa, y una disminución del territorio en el área cercana al Parque Nacional Sipacate - Naranjo, Escuintla (*Figura 16.B*). Para el período 2041 al 2060, la disminución es menor en comparación con los años anteriores (*Figura 16.C*). Entre 2061 y 2080, la pérdida continúa en la misma región que en los años 2041 al 2060, con un ligero cambio, y se observa una mayor expansión en la Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico y el Área de Usos Múltiples Hawaii, Santa Rosa (*Figura 16.D*).

Figura 16. A. Distribución potencial actual para *E. rufescens*, en dónde de izquierda a derecha se encuentran las áreas protegidas: Área de Protección Especial Manchón-Guamuchal, Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico y Área de Usos Múltiples Hawaii. **B.** Escenario optimista (SSP1-2.6) del año 2021 al 2040 de *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala. **C.** Escenario optimista (SSP1-2.6) del año 2041 al 2060 de *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala. **D.** Escenario optimista (SSP1-2.6) del año 2061 al 2080 de *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala



(eBird, 2024; Philips et al., 2024)

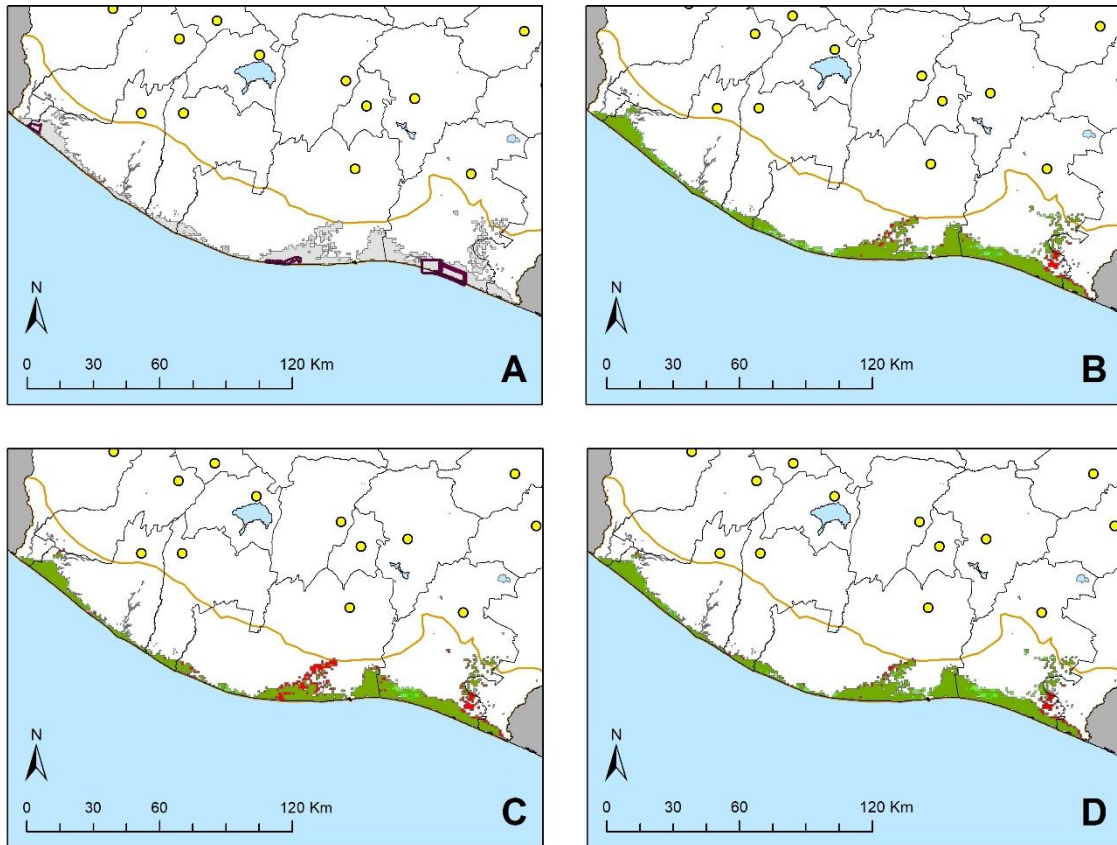
Para el escenario optimista, a pesar de no ser visualmente notorias las diferencias entre los mapas de la Figura 16, existe registro de aumento en hectáreas por cada rango de años transcurridos. En los años 2021 al 2040 hubo un aumento del 0.21 %, en los años 2041 al 2060 hubo un aumento de 3.10 % y los años 2061 al 2080 hubo un aumento de 4.79 % (*Cuadro 3*).

Cuadro 3. Área total, intervalos de área y área porcentual de *E. rufescens* para el escenario optimista (SSP1-2.6) de los años 2021 al 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75

	Área Total (ha)	Diferencia de Área entre Intervalos Evaluados	Diferencia de Área Porcentual
Distribución Actual	117,600.332		
Año 2021 - 2040	117,846.981	246.649	0.21%
Año 2041 - 2060	121,248.999	3,648.667	3.10%
Año 2061 - 2080	123,406.292	5,805.960	4.79%

En base al mapa de distribución potencial actual (Figura 17.A.) se modeló el escenario medio (SSP2-4.5) por tres períodos: 2021 al 2040, 2041 al 2060 y 2061 al 2080. Durante los años 2021 al 2040, se identifica una expansión territorial intermitente a lo largo de la costa sur desde el departamento de Retalhuleu hasta el Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Escuintla y sus alrededores, siendo este el punto focal. Además, la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico y el Área de Usos Múltiples Hawaii, Santa Rosa también presentan una expansión de territorio. Por último, se presenta una disminución del territorio en el área fronteriza de Santa Rosa y Jutiapa, y pequeños indicios de disminución en áreas cercanas al Parque Nacional Sipacate - Naranjo, Escuintla (Figura 17.B). Para el período 2041 al 2060, hubo una reducción de territorio en las áreas con indicios de pérdida de los años anteriores en el área del Parque Nacional Sipacate - Naranjo, Escuintla. Mientras que la expansión en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico y el Área de Usos Múltiples Hawaii, Santa Rosa se mantiene. Al oeste del Parque Nacional Sipacate - Naranjo, Escuintla persiste el aumento de territorio a menor escala (Figura 17.C). Entre 2061 y 2080, se recupera la pérdida de territorio en el Parque Nacional Sipacate - Naranjo, Escuintla, aunque no en su totalidad. La mayor parte de los cambios en aumento y disminución en el período anterior se mantienen (Figura 17.D).

Figura 17. **A.** Distribución potencial actual para *E. rufescens*, en dónde de izquierda a derecha se encuentran las áreas protegidas: Área de Protección Especial Manchón-Guamuchal, Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico y Área de Usos Múltiples Hawaii. **B.** Escenario medio (SSP2-4.5) del año 2021 al 2040 de *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala. **C.** Escenario medio (SSP2-4.5) del año 2041 al 2060 de *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala. **D.** Escenario optimista medio (SSP2-4.5) del año 2061 al 2080 de *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala



Leyenda

- | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|
| Límite internacional | Región climática Costa Sur | Presente |
| Límite departamental | Cuerpos de agua | Ganancia |
| Cabeceras departamentales | Áreas protegidas Costa Sur | Pérdida |



(eBird, 2024; Philips et al., 2024)

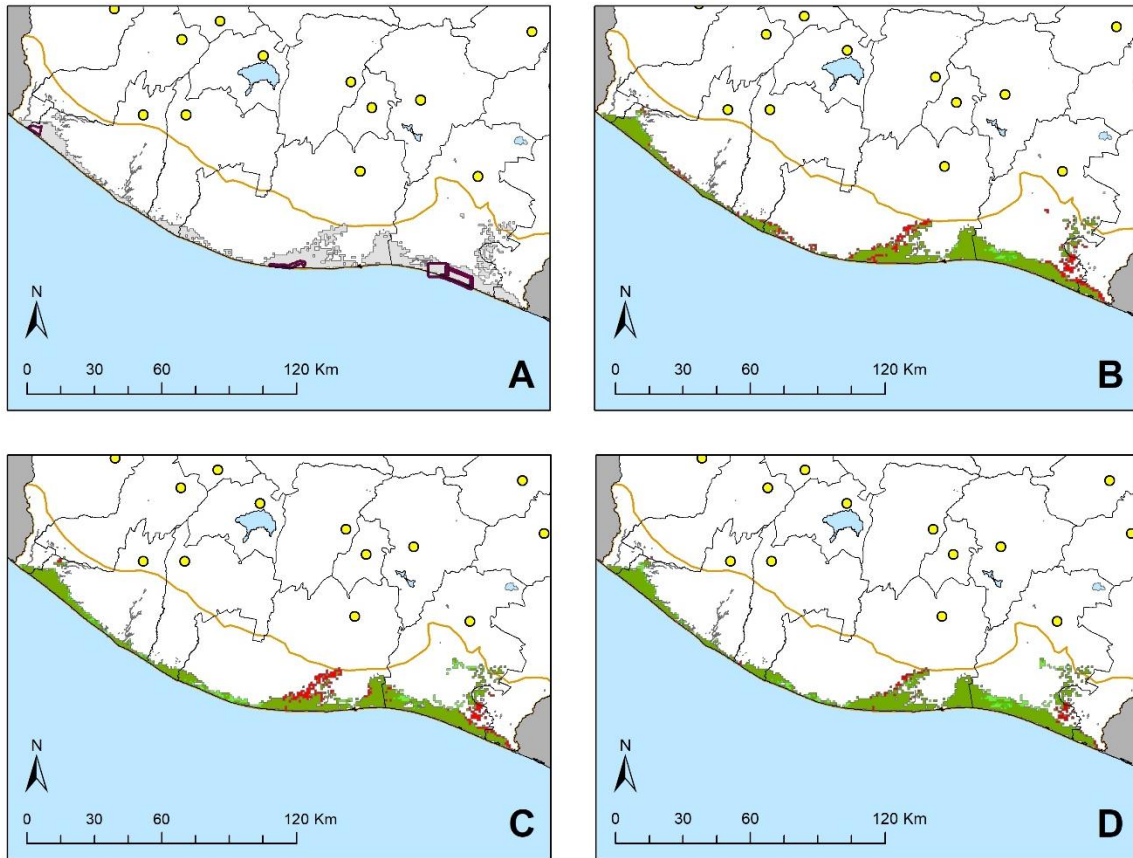
Para el escenario medio se observa un comportamiento inusual (*Cuadro 4*). En los años 2021 al 2040 se observa un aumento de 5.57 %, en los años 2041 al 2060 se observa un decrecimiento de 10.38 % y para los años 2061 al 2080 se observa nuevamente un aumento de 3.67 %.

Cuadro 4. Área total, intervalos de área y área porcentual de *E. rufescens* para el escenario medio (SSP2-4.5) de los años 2021 al 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75

	Área Total (ha)	Diferencia de Área entre Intervalos Evaluados	Diferencia de Área Porcentual
Distribución Actual	117,600.332		
Año 2021 - 2040	124,148.516	6,548.184	5.57%
Año 2041 - 2060	105,396.305	-12,204.027	-10.38%
Año 2061 - 2080	121,911.176	4,310.844	3.67%

En base al mapa de distribución potencial actual (*Figura 18.A*) se modeló el escenario pesimista (SSP5-8.5) por tres períodos: 2021 al 2040, 2041 al 2060 y 2061 al 2080. Durante los años 2021 al 2040 se puede observar una disminución territorial a lo largo de la costa sur desde el departamento de Retalhuleu hasta el Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Escuintla y sus alrededores, siendo este el punto focal. Mismo comportamiento que se presenta en el área fronteriza de Santa Rosa y Jutiapa (*Figura 18.B*). En los años 2041 al 2060 hubo un incremento de territorio a lo largo de la costa sur desde el departamento de Retalhuleu hasta antes de llegar al Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Escuintla, en donde aumentó la pérdida de territorio (*Figura 18.C*). En los años 2061 al 2080 no se presentó mayor pérdida en todo el territorio estudiado, aunque persistió una disminución en el área fronteriza de Santa Rosa y Jutiapa (*Figura 18.D*). Para todos los años evaluados se presentó un incremento del territorio evaluado en la Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico y el Área de Usos Múltiples Hawaii, Santa Rosa.

Figura 18. A. Distribución potencial actual para *E. rufescens*, en dónde de izquierda a derecha se encuentran las áreas protegidas: Área de Protección Especial Manchón-Guamuchal, Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico y Área de Usos Múltiples Hawaii. **B.** Escenario pesimista (SSP5-8.5) del año 2021 al 2040 de *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala. **C.** Escenario pesimista (SSP5-8.5) del año 2041 al 2060 de *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala. **D.** Escenario pesimista (SSP5-8.5) del año 2061 al 2080 de *E. rufescens* en la región climática costa sur de Guatemala



Leyenda

- | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|
| Límite internacional | Región climática Costa Sur | Presente |
| Límite departamental | Cuerpos de agua | Ganancia |
| Cabeceras departamentales | Áreas protegidas Costa Sur | Pérdida |



(eBird, 2024; Philips et al., 2024)

Al igual que en el escenario medio el escenario pesimista mostró un comportamiento inusual (*Cuadro 5*). En los años 2021 al 2040 se observa un decrecimiento de 13.06 %, en los años 2041 al 2060 se observa un decrecimiento de 0.92 % y para los años 2061 al 2080 se observa un aumento de 6.56 %.

Cuadro 5. Área total, intervalos de área y área porcentual de *E. rufescens* para el escenario pesimista (SSP5-8.5) de los años 2021 al 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75

	Área Total (ha)	Diferencia de Área entre Intervalos Evaluados	Diferencia de Área Porcentual
Distribución Actual	117,600.332		
Año 2021 - 2040	102,242.393	-15,357.939	-13.06%
Año 2041 - 2060	116,513.359	1,086.973	0.92%
Año 2061 - 2080	125,316.012	7,715.680	6.56%

Para el escenario optimista (SSP1-2.6) se puede observar una tendencia creciente en el área total en hectáreas para los períodos evaluados. El escenario medio (SSP2-4.5) no muestra tendencia alguna en el área total en hectáreas para los períodos evaluados. Para el escenario pesimista (SSP5-8.5) a partir del segundo período muestra una tendencia creciente en el área total en hectáreas.

Figura 19. Comparación del comportamiento de los escenarios optimista (SSP1-2.6), medio (SSP2-4.5) y pesimista (SSP5-8.5) en el área total (hectáreas) de la distribución potencial de *E. rufescens* durante los períodos 2021-2040, 2041-2060 y 2061-2080



VIII. Discusión

Para todos los modelos de *E. rufescens* se utilizaron cinco variables (*Cuadro 2*). La primera variable bioclimática seleccionada fue la precipitación del trimestre más frío, la cual presentó un comportamiento decreciente (*Apéndice 5*). Este es un indicador de una relación de proporcionalidad inversa sobre la probabilidad de encontrar la especie dentro del perímetro en donde llueva constantemente. La segunda variable bioclimática seleccionada fue la media anual del intervalo diurno, presentando un decrecimiento abrupto cerca de los 12 grados centígrados. Esta variable nos indica que *E. rufescens* parece evitar fluctuaciones de temperatura (*Apéndice 1*). La tercera variable seleccionada fue la precipitación del trimestre más húmedo, la cual presentó un decremento a partir de los 800 milímetros. Esto indica que es poco probable encontrar al individuo en un lugar donde llueva más de 800 milímetros de agua en un trimestre (*Apéndice 4*). La cuarta variable seleccionada fue la estacionalidad de la temperatura, la cual presenta un comportamiento decreciente a partir de 70 %. Lo cual indica que será poco probable encontrarla en un lugar con una variación de temperatura a lo largo del año mayor al 70 % (*Apéndice 2*). La quinta variable bioclimática fue la temperatura mínima del mes más frío la cual presenta un incremento entre los 20 y 21 grados Celsius. La especie se puede ver afectada por anomalías de temperaturas frías a lo largo del año (*Apéndice 3*).

La distribución potencial actual de *E. rufescens* cubre 117600.332 hectáreas sobre la región climática de la costa sur de Guatemala (*Cuadro 3*). Todos los registros obtenidos de *E. rufescens* se encuentran dentro de esta zona y la mayoría está dentro de áreas forestales que aún permanecen (*Apéndice 9*). La pérdida de cobertura forestal en bosque de mangle y bosque seco es uno de los problemas que influyen en su distribución (Rojas et al., 2006). En todos los escenarios y períodos evaluados, el área con menor pérdida de territorio fue la costa sur de San Marcos y Retalhuleu (*Figura 16, 17, 18*), dentro y alrededor del perímetro del Área de Protección Especial Manchón-Guamuchal, Retalhuleu (*Figura 16.A*). Esta distribución se alinea con las preferencias de hábitat de *E. rufescens*, ya que basado en las variables bioclimáticas seleccionadas, prefiere hábitats áridos y/o subhúmedo seco. Con el tiempo, el área de Retalhuleu y San Marcos presentará incrementos de sequía, desde escenarios optimistas con hábitats subhúmedos secos hasta escenarios pesimistas semiáridos (Pons et al., 2018).

La presencia de cuerpos de agua y cobertura forestal podría actuar como una variable importante frente a condiciones de sequía para las poblaciones migratorias de *E. rufescens*. A pesar que el área presente sequías en todos los escenarios evaluados, se puede plantear como hipótesis que al estar acompañados de cuerpos

de agua y cobertura forestal, la probabilidad de presencia de las poblaciones migratorias de *E. rufescens* permanece, ya que estos elementos les proporcionan alimento y áreas de descanso (Bates y Ballard, 2014; Holderby et al., 2014; Voous, 1983). Cabe destacar que las variables de cobertura forestal y cuerpos de agua no se incluyeron dentro de la investigación.

En el área circundante al Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Escuintla, y el área fronteriza de Santa Rosa y Jutiapa se observó una disminución de territorio en todos los escenarios y períodos. El área fronteriza de Santa Rosa y Jutiapa pasará de un estado inicial húmedo a un hábitat subhúmedo seco, llegando a ser semiárido en el escenario pesimista (Pons et al., 2018). Por otro lado, el área alrededor del Parque Nacional Sipacate – Naranjo, Escuintla pasará de un estado inicial subhúmedo a semiárido en el escenario pesimista (Pons et al., 2018). A pesar de que en los escenarios iniciales ambas áreas no fueron completamente secas, presentaron decrecimiento en el territorio. Esto sugiere que podría no existir una relación directa entre los parámetros de aridez y la probabilidad de presencia de *E. rufescens* en el territorio. Se observa que ambos lugares poseen una menor cantidad de cuerpos de agua en el área o carencia de ellos a comparación de los alrededores del Área de Protección Especial Manchón – Guamuchal, Retalhuleu (Figura 14). Aunque no fue una variable incluida en este estudio, se podría hipotetizar que la presencia de *E. rufescens* podría encontrarse vinculada a los cuerpos de agua presentes en el área, como han sugerido otros estudios (Eisermann, 2006; Koczur et al., 2020).

El Área de Usos Múltiples de Hawaii y la Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico, departamento de Santa Rosa presentaron un incremento del territorio dentro de cada uno de los escenarios (Figura 16, 17, 18). Este incremento se observa principalmente en los primeros períodos y persiste en su mayoría en períodos posteriores de cada escenario (Figura 16.D, 17.D., 18.D). El hábitat se presenta mayormente como húmedo, a excepción del escenario pesimista donde se presenta como semiárido (Pons et al., 2018). Además, ambos territorios poseen un área extensa de cobertura forestal al ser áreas protegidas (Figura 18). Todos los escenarios, a excepción del pesimista, presentaron condiciones de aridez favorables e, incluso en el escenario pesimista, donde el hábitat es semiárido, siempre hubo un aumento de territorio. Aunque la cobertura forestal no fue incluida como variable en el presente estudio, estos resultados podrían sugerir como hipótesis que la presencia de cobertura forestal podría influir en el mantenimiento de poblaciones migratorias de *E. rufescens*. (Koczur et al., 2020).

El escenario optimista “Sostenibilidad” (SSP1) siempre presentó un aumento de hectáreas en el área con respecto al presente en cada año transcurrido desde el 2021 al 2080 (Figura 19). La emisión de dióxido carbono para este escenario disminuiría al igual que la temperatura (Apéndice 14; Harrisson, 2021). Al haber menos gases de efecto invernadero habría menos fluctuaciones en el clima y la probabilidad de fenómenos naturales drásticos disminuiría (Vasseur et al., 2023),

gracias a las condiciones óptimas de este escenario es que la distribución potencial de *E. rufescens* aumenta cada año (Koczur et al., 2020; Vasseur et al., 2023). Por lo que, las variables que desfavorecen su distribución son los cambios de temperatura y fenómenos naturales drásticos.

En todos los escenarios evaluados se evidencia un aumento en la extensión territorial entre San Juan Tecuaco, Santa Rosa y Moyuta, Jutiapa, a pesar de no ser reconocida como una zona protegida. Todos los escenarios de esta área se mantuvieron como un hábitat húmedo en todos los escenarios (Pons et al., 2018). Se observa que en el perímetro del área hay dos ríos intermitentes río Chiquito y quebrada La Gabia, y un río permanente río Margaritas (CONRED, 2015). Aunque no se incluyó como variable en este estudio, podría plantearse como hipótesis que la presencia de estos cuerpos de agua podrían influir en la idoneidad del hábitat para *E. rufescens*, al proporcionar alimento y áreas de descanso. De confirmarse esta hipótesis en futuros estudios, esto convertiría a esta zona en un hábitat potencialmente valioso en caso de que la especie experimente pérdida de hábitat en otras áreas (*Figura 18*). Esta posible relación con cuerpos de agua podría explicar por qué en todos los escenarios persiste el aumento del territorio a lo largo del tiempo, pero se requieren investigaciones adicionales que incluyan específicamente esta variable para confirmar dicha hipótesis.

Para futuras investigaciones, se recomienda incorporar las variables de cobertura forestal y cuerpos de agua en los modelos predictivos, con el fin de comprobar las hipótesis planteadas y determinar con mayor precisión la influencia de estos elementos sobre la presencia de *E. rufescens* en la región climática de la costa sur de Guatemala. Además, es necesario tomar en cuenta que calibrar los modelos de distribución implican múltiples pasos como el criterio de elección del modelo, la selección de las variables, la relevancia biológica de éstas, el entorno geográfico del análisis, el umbral de corte de los modelos originales, la selección de los datos de ausencia para calibrar los modelos, y la forma de validar las predicciones. Todos estos pasos pueden generar cierto grado de porcentaje de error, sesgos y/o incertidumbres en los modelos generados (Varela et al., 2014).

IX. Conclusiones

La distribución potencial actual de *E. rufescens* cubre 117600.332 hectáreas sobre la región climática de la costa sur de Guatemala. Las cinco variables bioclimáticas seleccionadas fueron precipitación del trimestre más frío, media anual del intervalo diurno, precipitación del trimestre más húmedo, estacionalidad de la temperatura y temperatura mínima del mes más frío, las cuales indican que *E. rufescens* es altamente sensible a las fluctuaciones de temperatura y precipitación. El municipio Oratorio, Santa Rosa, entre San Juan Tecuaco y Moyuta, experimentó un aumento en la extensión territorial, siendo caracterizado como un hábitat húmedo a pesar de no ser un área protegida.

Es necesario desarrollar estrategias de conservación en áreas que presentan una disminución y en áreas emergentes dentro de los escenarios. Dado que la especie depende de condiciones climáticas y ambientales específicas, es importante preservar y restaurar su hábitat. Lugares como el Área de Protección Especial Manchón-Guamuchal, el Área de Usos Múltiples de Hawaii y la Reserva Natural de Usos Múltiples de Monterrico deben recibir prioridad en los esfuerzos de conservación. Además, la implementación de medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como se propone en el escenario de sostenibilidad, puede contribuir a mitigar los efectos del cambio climático y estabilizar las condiciones necesarias para la supervivencia de *E. rufescens*. Será fundamental implementar y fortalecer políticas de protección ambiental en estas áreas para garantizar la conservación a largo plazo de esta especie clasificada como casi amenazada según la Lista Roja de la UICN y vulnerable para el LEA.

X. Literatura citada

Aaron, S. F. (1937). Speed awing. *Scientific American*, 157(5), 283-286.

<https://doi.org/10.1038/scientificamerican1137-283>

Akresh, M. (2018, 25 marzo). *ML92374521*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology.

<https://macaulaylibrary.org/asset/92374521>

San Salvador and Rum Cay, Bahamas

Alarcón, D., Santos, D. M., y Arroyo, M. T. K. (2023). Population-Based evidence of climate change adaptation in an endangered plant endemic to a biodiversity hotspot. *Plants*, 12(10), 2017.

<https://doi.org/10.3390/plants12102017>

Araújo, M. B., y Williams, P. H. (2000). Selecting areas for species persistence using occurrence data. *Biological Conservation*, 96(3), 331-345. [https://doi.org/10.1016/s0006-3207\(00\)00074-4](https://doi.org/10.1016/s0006-3207(00)00074-4)

Ariano-Sánchez, D. (2021, diciembre). Plan de monitoreo del bosque seco en Guatemala.

ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/370171823_Plan_de_monitoreo_del_bosque_seco_en_Guatemala

Audubon, J. J. (1843). *The Birds of America: From Drawings Made in the United States and Their Territories* (Vol. 6). <https://www.biodiversitylibrary.org/item/124857#page/9/mode/1up>

Bates, E. M., y Ballard, B. M. (2014). Factors Influencing Behavior and Success of Foraging Reddish Egrets (*Egretta rufescens*). *Waterbirds (de Leon Springs, Fla.)*, 37(2), 191-202.

<https://doi.org/10.1675/063.037.0213>

Bates, E. M., Koczur, L. M., y Ballard, B. M. (2015). Post-Fledging Survival and Dispersal of Juvenile Reddish Egrets (*Egretta rufescens*). *Waterbirds*, 38(4), 401-406.
<https://doi.org/10.1675/063.038.0403>

BirdLife International. (2020). *Egretta rufescens*: BirdLife International [Conjunto de datos]. En *IUCN Red List of Threatened Species* (ISSN 2307-8235).
<https://doi.org/10.2305/iucn.uk.2020-3.rlts.t22696916a154076472.en>

Bryan, A. L., Brooks, W. B., Taylor, J. D., Richardson, D. M., Jeske, C. W., y Brisbin, I. L. (2008). Satellite tracking large-scale movements of wood storks captured in the Gulf Coast region. *Waterbirds (de Leon Springs, Fla.)*, 31(sp1), 35-41. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2008\)31](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2008)31)

Capp, V. (2018, 31 enero). *ML84075821*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology.
<https://macaulaylibrary.org/asset/84075821>

Pasco, Florida, United States

CITES. (2021). Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres -Apéndices I, II y III. En *CITES*.
<https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2021/S-Appendices-2021-06-22.pdf>

Cleveland, E. (2023, 15 marzo). *ML546552711*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology.
<https://macaulaylibrary.org/asset/546552711>

Miami-Dade, Florida, United States

Collias, N. E. (1960). Comparative breeding behavior of four species of North American herons Andrew J. Meyerriecks. *The Auk*, 77(4), 479-480. <https://doi.org/10.2307/4082433>

CONRED. (2015). Amenaza por deslizamientos e inundaciones Departamento de Santa Rosa municipio de Oratorio. En *CONRED* (N.º 606). SIG- SE-CONRED 2015. (D. Juarros, A.Pacheco).

https://conred.gob.gt/mapas/municipales_ameindes/SANTA%20ROSA/ORATORIO/SANTA%20ROSA%20606.pdf

Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-. (2022). Lista de especies amenazadas de Guatemala. En *CONAP* (Publicación técnica No. 02-2022). <https://conap.gob.gt/wp-content/uploads/2022/12/Lista-de-Especies-Amenazadas-en-Guatemala-LEA-2.pdf>

Drummond, H. (1987). A review of Parent-Offspring Conflict and brood reduction in the pelecaniformes. *Colonial Waterbirds*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.2307/1521225>

Eisermann, K. (2006, marzo). *Evaluation of waterbirds populations and their conservation in Guatemala*. Sociedad Guatemalteca de Ornitología - SGO. <https://www.avesdeguatemala.org/index.html?https://www.avesdeguatemala.org/avesacuaticas.htm>

Falconi, M., Osorio-Olvera, L., y Contreras-Díaz, R. G. (2021). Distribución de especies. Un punto de vista teórico. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/355981833_Distribucion_de_especies_Un_punto_de_vista_teorico

Fick, S. E., y 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>

Fidler, W. (2018, 1 febrero). *ML84491801*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/84491801>

Guantánamo, Cuba

Fort. (2022). *Forecasting with Maximum Entropy Hb*. IOP ebooks.

Galewski, T. (2011, 13 abril). *ML374278971*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/374278971>

Lee, Florida, United States

Gill, R. E., Anderson, D. W., Braun, C. E., Bridge, E. S., Clark, W. S., Eichhorst, B., Evens, J., Evers, D. C., Hayes, F. E., Jaramillo, Á., Jones, I. L., y Richkus, K. D. (2011). Identification Guide to North American Birds. Part II: Anatidae to Alcidae.— Peter Pyle . 2008. Slate Creek Press, Point Reyes Station, California. xi + 836 pp., 556 line drawings, 71 tables, 289 bar graphs. ISBN 9780961894047. Paper, \$62. ~ *The Auk*, 128(1), 184-187. <https://doi.org/10.1525/auk.2011.128.1.184>

Gornitz, V. (1995). Sea-level rise: A review of recent past and near-future trends. *Earth Surface Processes And Landforms*, 20(1), 7-20. <https://doi.org/10.1002/esp.3290200103>

Green, M. C. (2005). Plumage Dimorphism in the Reddish Egret: Does Plumage Coloration Influence Foraging Habitat Use and Tactics? on JSTOR. *Waterbirds: The International Journal Of Waterbird Biology*, 28(4), 519-524. <http://www.jstor.org/stable/4132635>

Green, M. C., Hill, A., Troy, J. R., Holderby, Z., y Geary, B. (2011). Status of Breeding Reddish Egrets on Great Inagua, Bahamas with Comments on Breeding Territoriality and the Effects of Hurricanes. *Waterbirds (de Leon Springs, Fla.)*, 34(2), 213-217. <https://doi.org/10.1675/063.034.0210>

Harrison, T. (2021, 11 octubre). *Explainer: How 'Shared Socioeconomic Pathways' explore future climate change*. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/>

Hart, P. (2016, 14 abril). *ML27792991*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/27792991>

Matanzas, Cuba

Hawrylyshyn, P. (2015, 27 diciembre). *ML22428871*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/22428871>

Lee, Florida, United States

- Hawrylyshyn, P. (2021, 30 marzo). *ML321696251*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/321696251>
- Hill, A., Green, C., y Palacios, E. (2011). Genetic diversity and population structure of North America's rarest heron, the reddish egret (*Egretta rufescens*). *Conservation Genetics (Print)*, 13(2), 535-543. <https://doi.org/10.1007/s10592-011-0305-y>
- Holderby, Z., Hill, A., Palacios, E., Green, M. C., Amador, É., y De Dios, C. (2014). Comparisons of Reddish Egret (*Egretta rufescens*) Diet During the Breeding Season Across its Geographic Range. *Waterbirds*, 37(2), 136-143. <https://doi.org/10.1675/063.037.0202>
- Howell, S. N. G., Corben, C., Pyle, P., y Rogers, D. I. (2003). THE FIRST BASIC PROBLEM: A REVIEW OF MOLT AND PLUMAGE HOMOLOGIES. *Ornithological Applications Prev The Condor*, 105(4), 635. <https://doi.org/10.1650/7225>
- Humphrey, P. S., y Parkes, K. C. (1959). *An approach to the study of molts and plumages*. (1.^a ed., Vol. 76) [EBook]. The AUK. <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/auk/v076n01/p0001-p0031.pdf>
- Illoldi, P., y Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Research Gate*, 3, 7-12. https://www.researchgate.net/publication/286336295_De_los_modelos_de_nicho_ecologic_o_a_las_areas_de_distribucion_geografica
- IUCN Species Survival Commission. (2000). IUCN Red List Categories and Criteria 3.1. En *IUCN (International Union For Conservation Of Nature)*. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2001-001-2nd.pdf>
- James, M. (2018, 25 marzo). *ML91325681*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/91325681>

Pinellas, Florida, United States

Jiménez Galeano, J. D., y Mendoza Carmona, V. R. (2023). *Aprendizaje significativo crítico sobre nicho ecológico y social: Interacción ecológica de estudiantes del grado sexto con su entorno*. [Trabajo de grado presentado para optar al título de Licenciados en Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Universidad de Antioquia].

https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/36148/1/JimenezJuan_2023_AprendizajeSignificativoNicho.pdf

Kenow, K. P., Meyer, M. W., Evers, D. C., Douglas, D. C., y Hines, J. (2002). Use of satellite telemetry to identify common loon migration routes, staging areas and wintering range. *Waterbirds (de Leon Springs, Fla.)*, 25(4), 449-458. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2002\)025](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2002)025)

Koczur, L. M. (2017). *Movement ecology of Reddish Egrets* [Ph.D. dissertation, Texas A&M]. University-Kingsville, TX, USA.

Koczur, L. M., Ballard, B. M., Green, M., Hewitt, D., y Henke, S. E. (2018). Breeding ecology and habitat use of North America's rarest Ardeidae: the Reddish Egret *Egretta rufescens*. *Avian Conservation And Ecology*, 13(2). <https://doi.org/10.5751/ace-01258-130210>

Koczur, L. M., Green, M. C., Ballard, B. M., Lowther, P. E., y Paul, R. T. (2020). Reddish Egret (*Egretta rufescens*). *Birds Of The World*. <https://doi.org/10.2173/bow.redegr.01>

Kynd, F. (2019, 28 diciembre). *ML518767771*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/518767771>

Alabama, United States

Labrador-Montero, D. (2023). Darwin y el nexo entre divergencia y competencia. *Prometeica (Mar del Plata)*, 27, 22-38. <https://doi.org/10.34024/prometeica.2023.27.14347>

- Lanheros, Y. A., y Ortega, F. J. R. (2021). El avistamiento de aves como estrategia para el aprendizaje del concepto nicho ecológico. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Manizales. 2006)*, 17(2), 35-54. <https://doi.org/10.17151/rlee.2021.17.2.3>
- Leberg, P. L., Green, M. C., Adams, B. A., Purcell, K. M., y Luent, M. C. (2007). Response of waterbird colonies in southern Louisiana to recent drought and hurricanes. *Animal Conservation (Print)*, 10(4), 502-508. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2007.00141.x>
- Maglianesi, M. A. (2022). *Avifauna neotropical: Ecología y conservación* (1.^a ed.) [EBOOK]. Editorial Tecnológica de Costa Rica. <https://books.google.com.gt/books?id=QSmbEAAAQBAJ&lpg=PT5&dq=Las%20aves%20de%20la%20familia%20Ardeidae%20tienen%20adaptaciones%20especiales%20para%20sobrevivir%20en%20entornos%20acu%C3%A1ticos.&lr&pg=PT3#v=onepage&q&f=false>
- Meyerriecks, A. J. (1960). *Comparative breeding behavior of four species of North American herons*,. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.155228>
- Milesi, F. A., y De Casenave, J. L. (2005). El concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. *Ecología Austral*, 15(2), 131-148. <http://ecologiaaustral.com.ar/files/15-2-2.pdf>
- Miller, M. R., Takekawa, J. Y., Fleskes, J. P., Orthmeyer, D., Casazza, M. L., Haukos, D. A., y Perry, W. M. (2005). Flight speeds of northern pintails during migration determined using satellite telemetry. *The Wilson Bulletin*, 117(4), 364-374. <https://doi.org/10.1676/04-114.1>
- Mock, D. W. (1980). Communication strategies of Great Blue Herons and Great Egrets. *Behaviour*, 72(3-4), 156-169. <https://doi.org/10.1163/156853980x00096>
- Molina Granoble, S. L. (2024). *Estudio comparativo de los patrones conductuales de las especies del género Egretta presentes en Laguna Natural de Pacoa, Santa Elena*. [Trabajo de

integración curricular, Universidad Estatal Península de Santa Elena].

<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10850/1/UPSE-TBI-2024-0014.pdf>

Nauman, T. (2018, 11 abril). *ML94109061*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology.

<https://macaulaylibrary.org/asset/94109061>

Nueces, Texas, United States

Nelson, J. B. (2006). *Pelicans, cormorants, and their relatives: Pelecanidae, Sulidae, Phalacrocoracidae, Anhingidae, Fregatidae, Phaethontidae*. OUP Oxford.

Palacios, E., Silva, E. S. A., Green, M. C., González-Bernal, M. A., y Castillo-Guerrero, J. A. (2018).

Colonies of Reddish Egret (*Egretta rufescens*) in Western Mexico. *Waterbirds (de Leon Springs, Fla.)*, 41(4), 401. <https://doi.org/10.1675/063.041.0403>

Phillips, S. J., Dudík, M., y Schapire, R. E. (2024). *Maxent Software for modeling Species Niches*

and Distributions (Version 3.4.1) [Software].

https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/

Pinotti, D. (2016, 26 febrero). *ML132190921*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology.

<https://macaulaylibrary.org/asset/132190921>

Tulum, Quintana Roo, Mexico

Pons, D., Castellanos, E., Conde, D., Brincker, J., Incer, D., y López, A. (2018). Escenarios de Aridez

para Guatemala para los años 2030, 2050 y 2070 utilizando modelos de cambio climático.

Revista Yu'am, 2(4), 4-16. [https://revistayuam.com/escenarios-de-aridez-para-guatemala-](https://revistayuam.com/escenarios-de-aridez-para-guatemala-para-los-anos-2030-2050-y-2070-utilizando-modelos-de-cambio-climatico/)

[para-los-anos-2030-2050-y-2070-utilizando-modelos-de-cambio-climatico/](https://revistayuam.com/escenarios-de-aridez-para-guatemala-para-los-anos-2030-2050-y-2070-utilizando-modelos-de-cambio-climatico/)

Pyle, P., y Howell, S. N. G. (2004). Ornamental plume development and the «prealternate molts» of

herons and egrets. *ResearchGate*, 116, 287-292.

[https://www.researchgate.net/publication/290742308_Ornamental_plume_development_an](https://www.researchgate.net/publication/290742308_Ornamental_plume_development_and_the_prealternate_molts_of_herons_and_egrets)

[d_the_prealternate_molts_of_herons_and_egrets](https://www.researchgate.net/publication/290742308_Ornamental_plume_development_and_the_prealternate_molts_of_herons_and_egrets)

- Pyle, P., Howell, S. N. G., Rogers, D. I., y Corben, C. (2024). Molt terminology: envisioning an evolutionary approach. *Journal Of Avian Biology*, 2024(3-4).
<https://doi.org/10.1111/jav.03169>
- Rey-Rocha, J., Martín, M. P., y Martín, M. P. (2023). La paradoja de la pérdida de biodiversidad y la aparición de nuevas formas de vida, ligadas a efectos antrópicos. *Astrágalo (Alcalá de Henares)*, 32, 203-222. <https://doi.org/10.12795/astragalo.2023.i32.11>
- Rieman, J. (2018, 30 junio). *ML106078471*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology.
<https://macaulaylibrary.org/asset/106078471>
- Rodgers, J. A., y Smith, H. T. (1995). Little Blue Heron (*Egretta caerulea*). *Birds Of North America (Print)*. <https://doi.org/10.2173/tbna.145.p>
- Rojas, J. I. G., Nieto, M. A. C., Medrano, O. B., y Ortega, I. R. (2006). First breeding record of a mountain plover in nuevo leon, Mexico. *The æWilson Journal Of Ornithology*, 118(1), 81-84. [https://doi.org/10.1676/1559-4491\(2006\)118](https://doi.org/10.1676/1559-4491(2006)118)
- Servicio Meteorológico de Guatemala*. (2017). <https://www.smg.gt/regionalizacion/>
- Small, A. (1994). *California Birds: Their Status and Distribution*. Ibis Press.
- Starnes, V. (2017, 17 mayo). *ML58593661*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology.
<https://macaulaylibrary.org/asset/58593661>
Monroe, Florida, United States
- Varela, S., Mateo, R. G., García-Valdés, R., y Fernández-González, F. (2014). Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 23(1), 46-53.
<https://doi.org/10.7818/831>

- Vasseur, P. L., Collins, S. A., y Selman, W. (2023). Effects of Tropical Cyclones and Other Severe Weather Events on Reddish Egret (*Egretta rufescens*) Populations in Louisiana, U.S.A. *Journal Of Coastal Research*, 39(6). <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-22-00119.1>
- Vaughan, A. (2016, 16 agosto). *ML47315771*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/47315771>
- San Luis Obispo, California, United States
- Vickers, D. (2017, 12 agosto). *ML65972021*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/65972021>
- Glynn, Georgia, United States
- Voous, K. (1983). *Birds of the Netherlands Antilles*. https://openlibrary.org/books/OL2794119M/Birds_of_the_Netherlands_Antilles
- Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A., y Chang, H. (2005). Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309(5742), 1844-1846. <https://doi.org/10.1126/science.1116448>
- Wilke, E. (2021, 1 abril). *ML321998101*. Macaulay Library, The Cornell Lab Of Ornithology. <https://macaulaylibrary.org/asset/321998101>
- Wu, N. (2012). *The maximum entropy method*. Springer Science & Business Media.
- Yagual Lainez, A. A. (2020). *Distribución, diversidad y abundancia de aves marinas migratorias del estero de Punta Carnero del cantón Salinas provincia de Santa Elena*. [Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención de título de: Biólogo, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8834/1/UPSE-TBI-2022-0061.pdf>
- Yagual Lainez, A. A. (2022). *Distribución, diversidad y abundancia de aves marinas migratorias del estero de Punta Carnero del cantón Salinas provincia de Santa Elena* [Tesis licenciatura,

Universidad Estatal Península de Santa Elena].

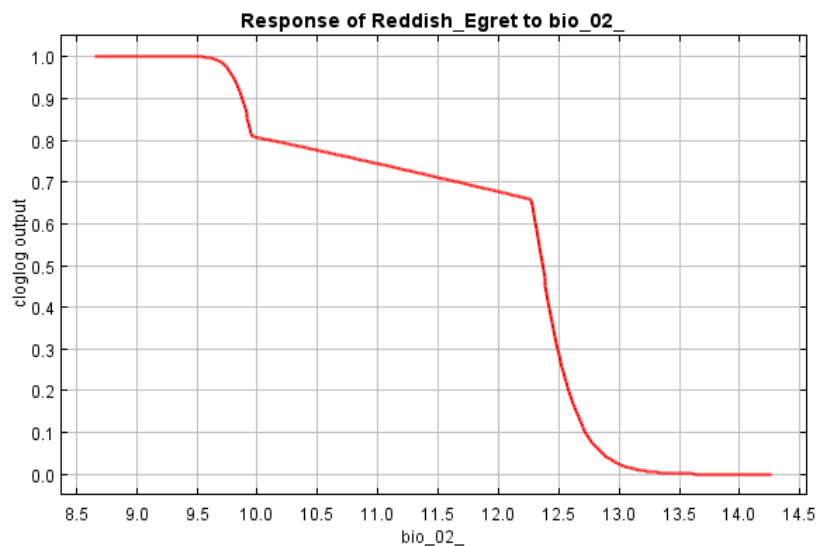
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8834/1/UPSE-TBI-2022-0061.pdf>

Zea Bermúdez, J. A. (2022). *Diversidad, distribución y comportamiento de las aves acuáticas presentes en el estuario de la comuna Ayampe, provincia de Manabí entre mayo y julio del 2022* [Trabajo de Integración Curricular previa a la obtención del título de: Biólogo, Universidad Estatal Península de Santa Elena].

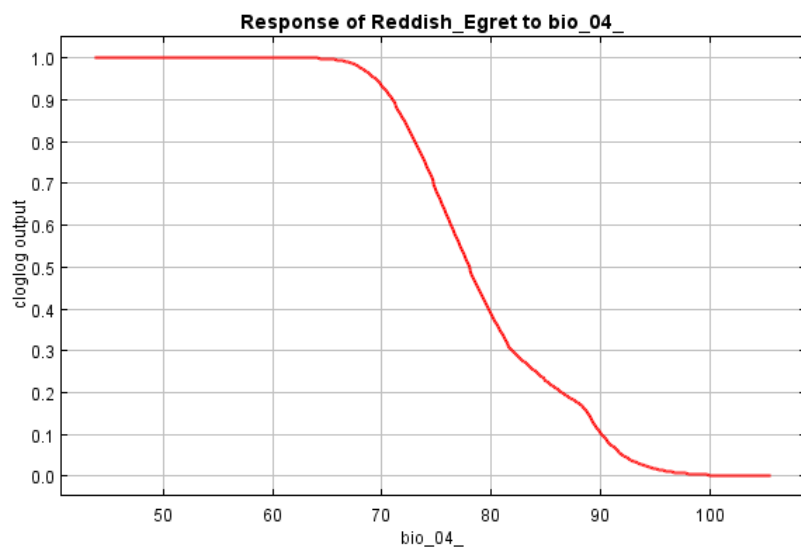
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8871/1/UPSE-TBI-2022-0049.pdf>

XI. Anexos

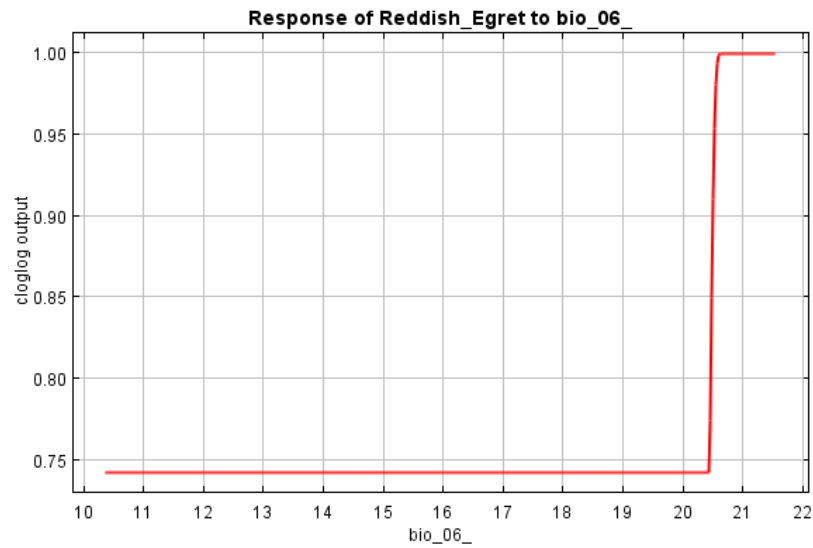
Apéndice 1. *Diagrama respuesta de E. rufescens contra la media anual del intervalo diario*



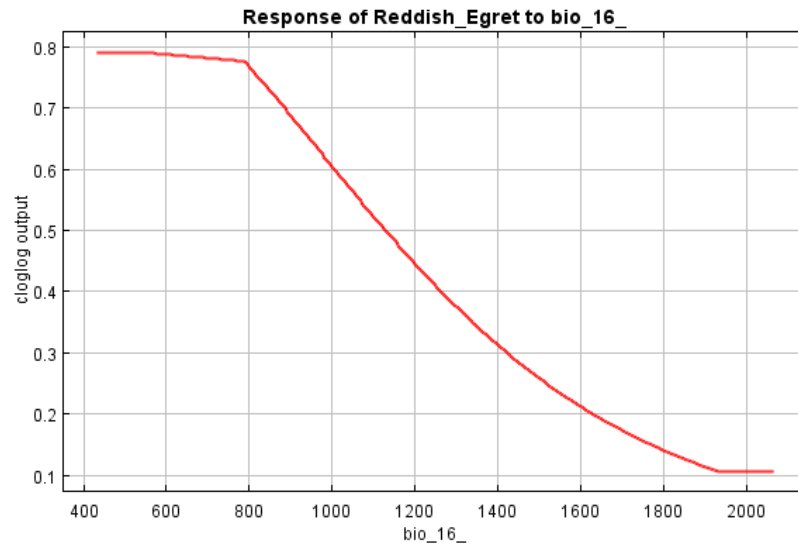
Apéndice 2. *Diagrama respuesta de E. rufescens contra la estacionalidad de la temperatura*



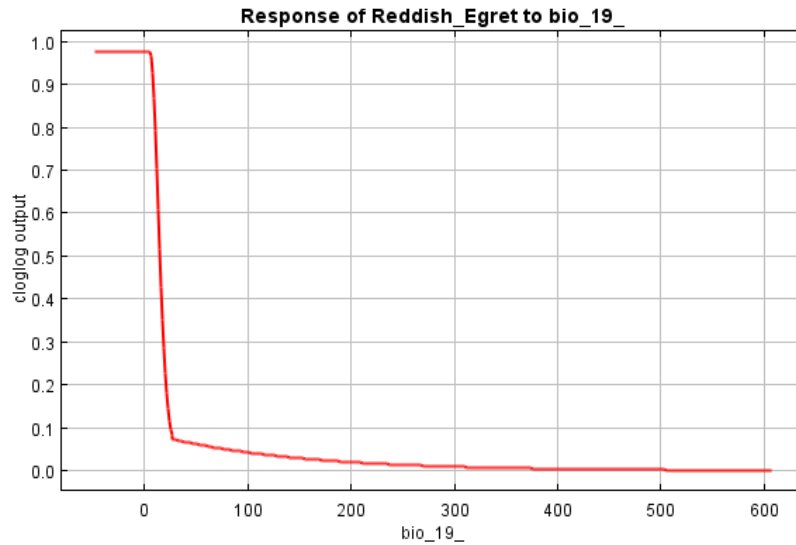
Apéndice 3. Diagrama respuesta de *E. rufescens* contra la temperatura mínima del mes más frío



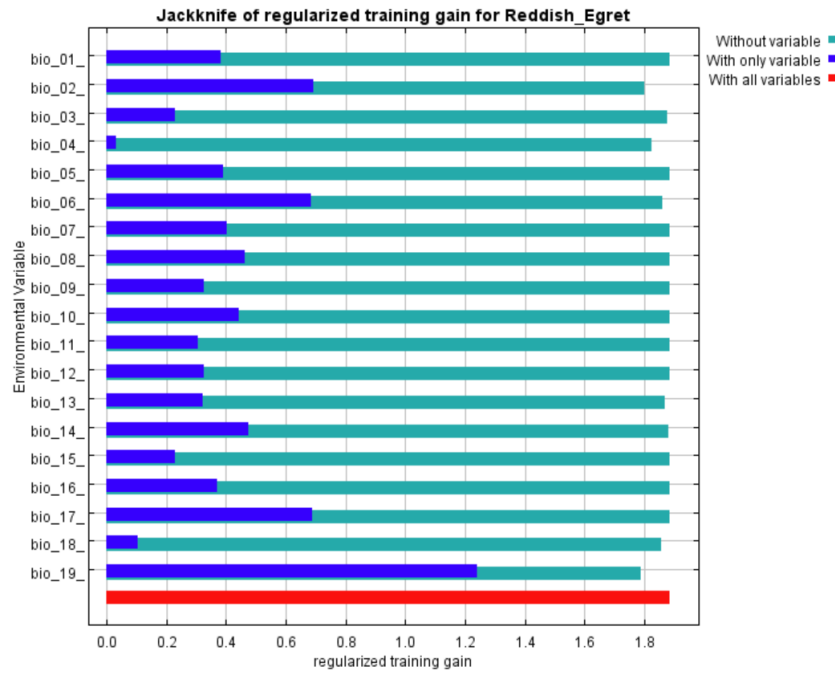
Apéndice 4. Diagrama respuesta de *E. rufescens* contra las precipitaciones del trimestre más húmedo



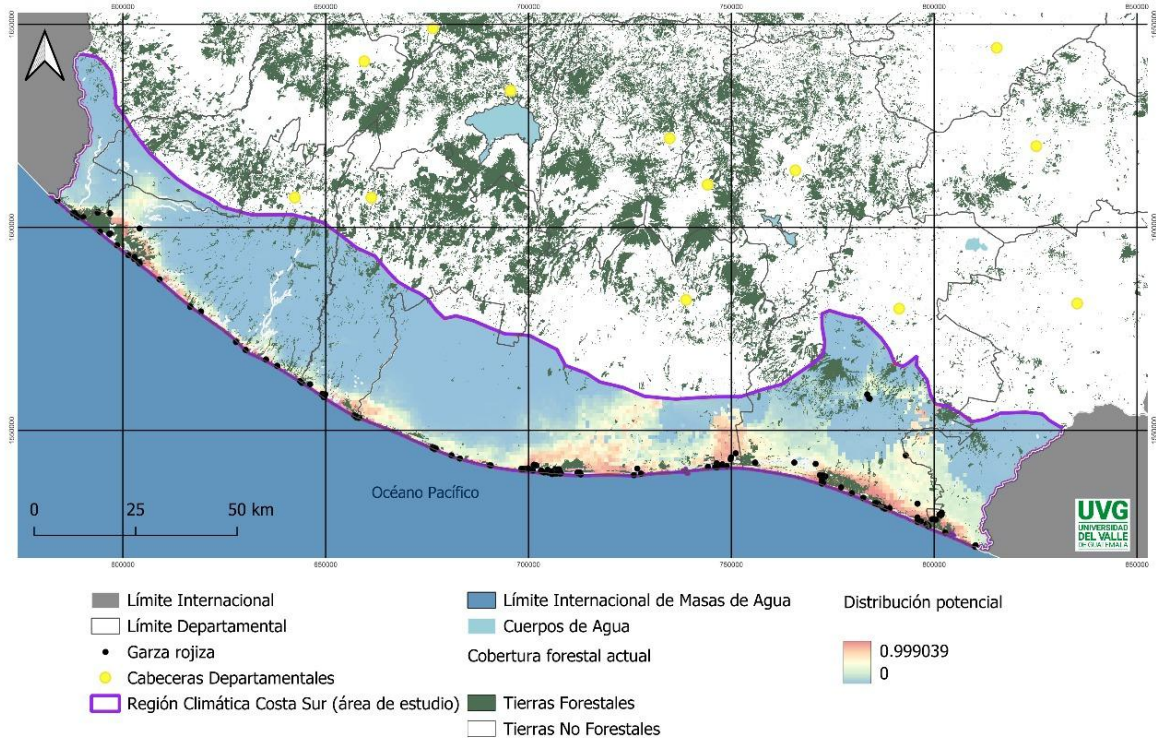
Apéndice 5. Diagrama respuesta de *E. rufescens* contra las precipitaciones del trimestre más frío



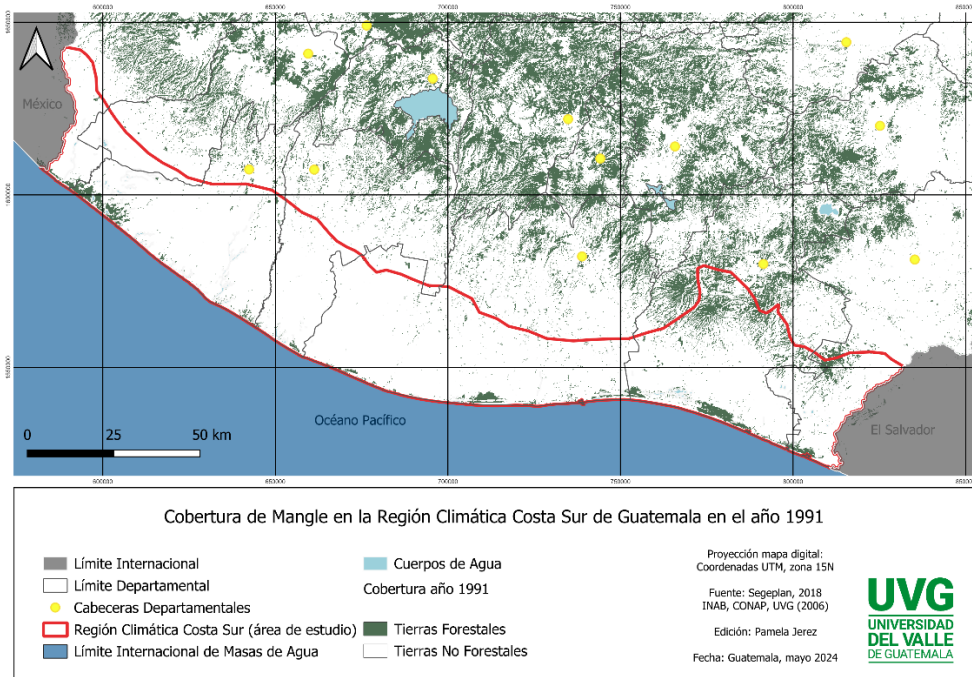
Apéndice 6. La prueba jackknife de la importancia de las variables para *E. rufescens*



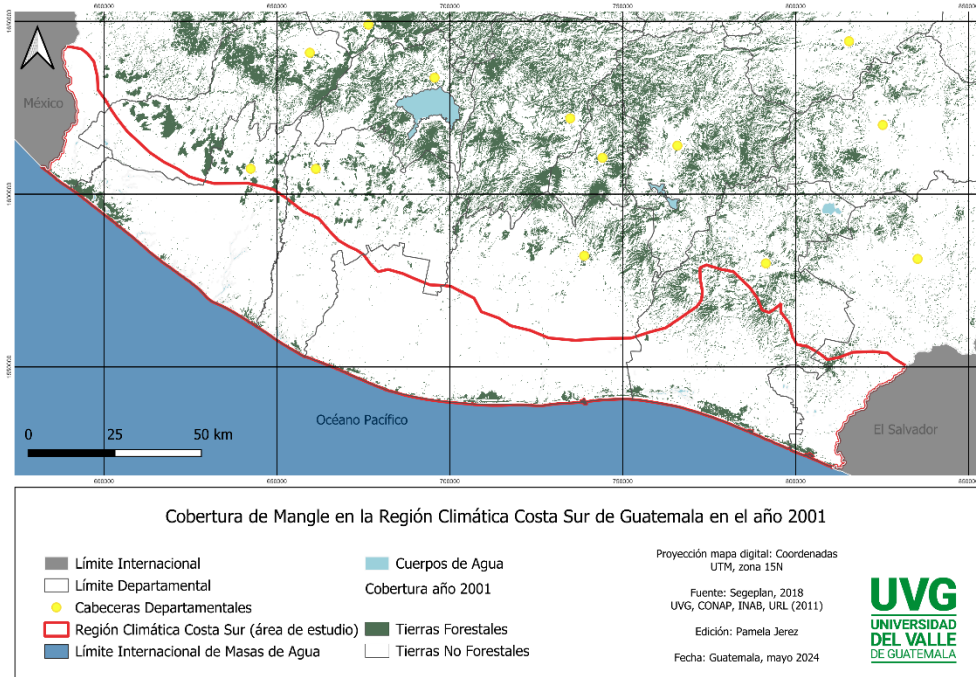
Apéndice 7. Distribución potencial actual de *E. rufescens* a comparación de la cobertura forestal actual en la región climática costa sur de Guatemala



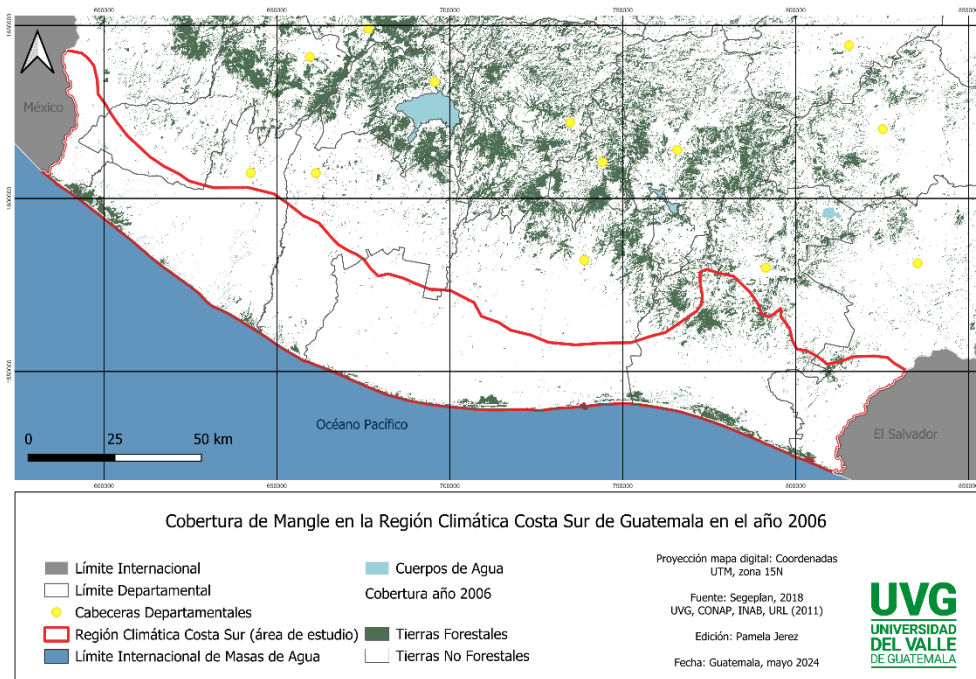
Apéndice 8. Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 1991



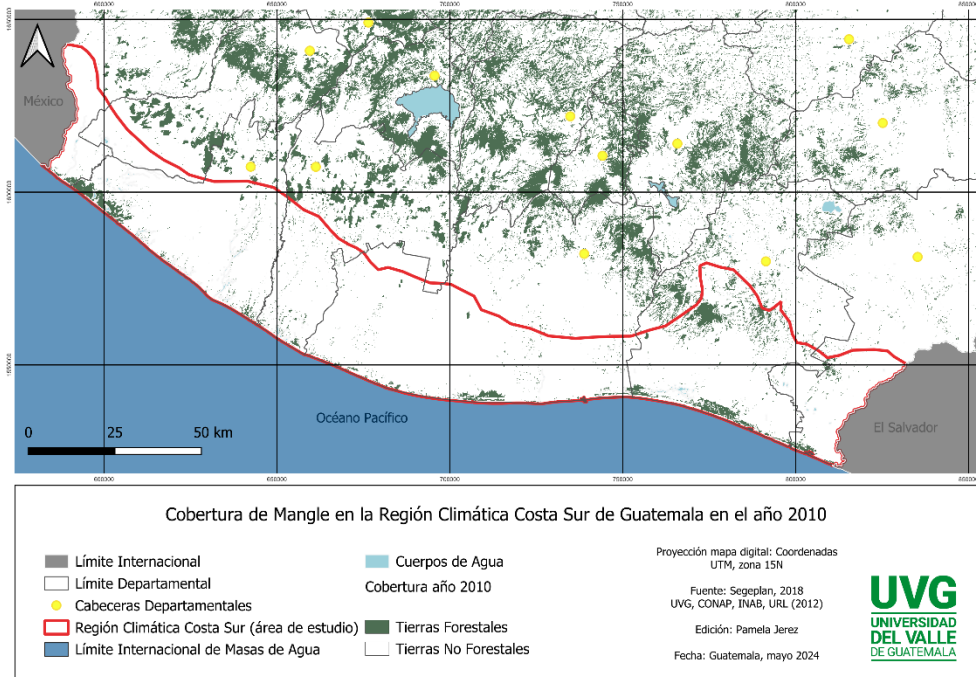
Apéndice 9. Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2001



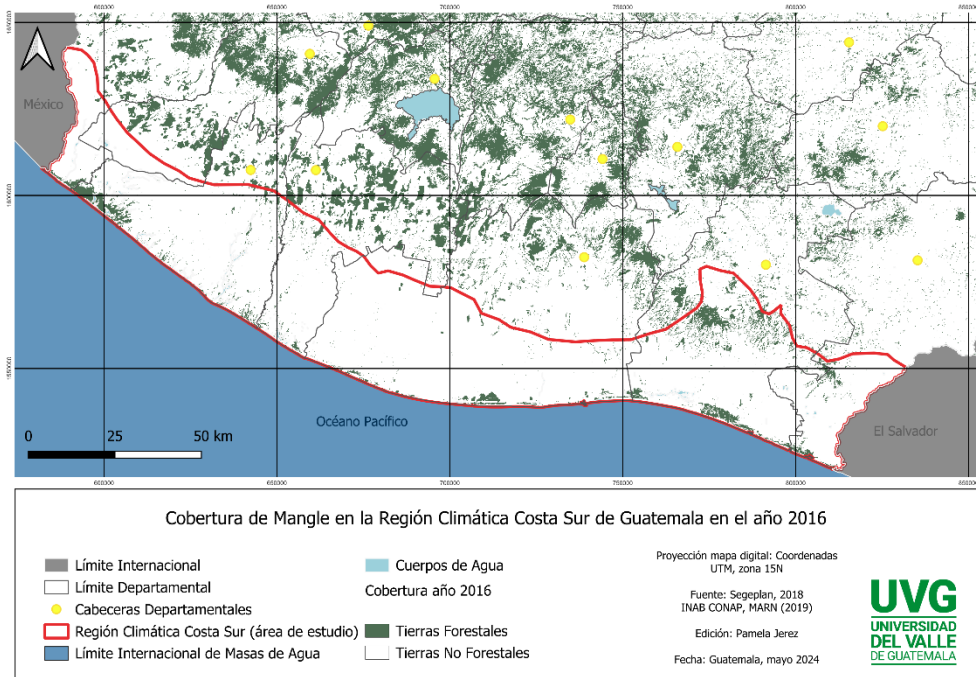
Apéndice 10. Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2006



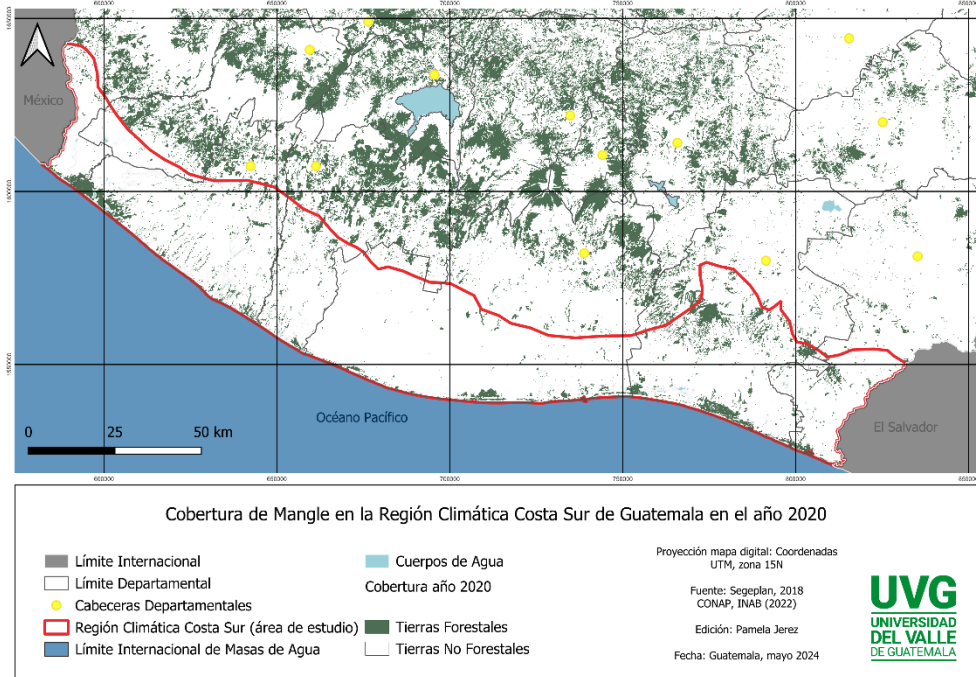
Apéndice 11. Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2010



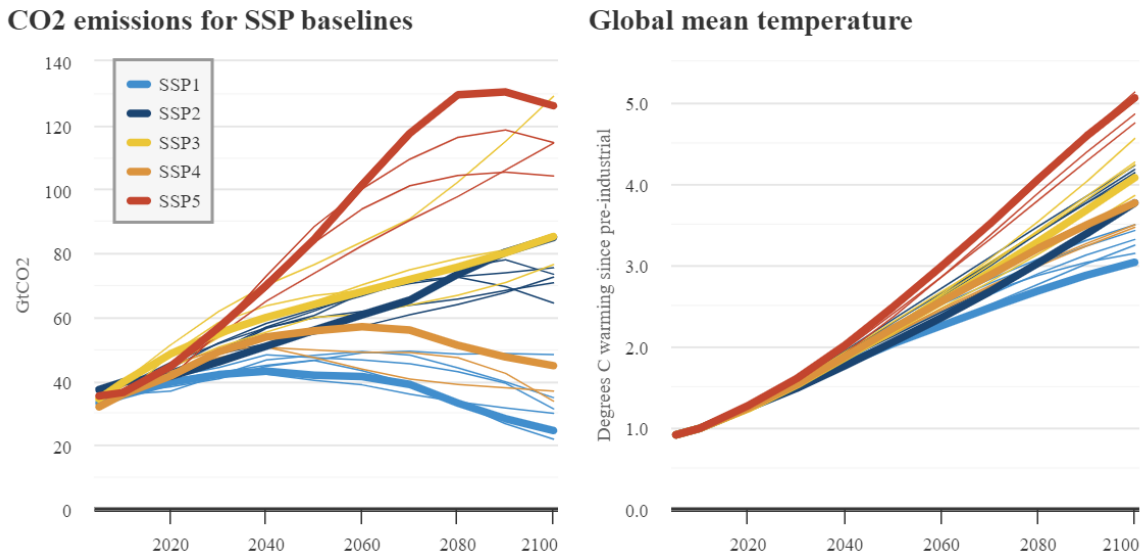
Apéndice 12. Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2016



Apéndice 13. Cobertura de mangle en la región climática costa sur de Guatemala en el año 2020



Apéndice 14. Emisiones de CO2 en gigatoneladas y el cambio de temperatura media global en superficie con respecto a los niveles preindustriales para los cinco escenarios SSP, Shared Socioeconomic Pathways



(Harrison, 2021)