

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Actualización de la distribución de *Ctenosaura palearis* y su depredador, *Heloderma charlesbogerti* con análisis de los cambios potenciales en respuesta a diferentes escenarios de cambio climático

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por

Paulina Di Birk Mansilla  
para optar por el grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala,

2024



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Actualización de la distribución de *Ctenosaura palearis* y su depredador, *Heloderma charlesbogerti* con análisis de los cambios potenciales en respuesta a diferentes escenarios de cambio climático

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por

Paulina Di Birk Mansilla  
para optar por el grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala,

2024

Vo. Bo. :

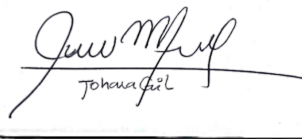
(f)  \_\_\_\_\_

Ph.D. Daniel Ariano Sánchez

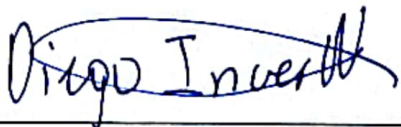
Tribunal Examinador:

(f)  \_\_\_\_\_

Ph.D. Daniel Ariano Sánchez

(f)  \_\_\_\_\_

Lcda. Johana Gil Escobedo

(f)  \_\_\_\_\_

MSc. Diego Josue Incer Nuñez

Fecha de aprobación: Guatemala, 26 de enero del 2024

# AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a toda mi familia por estar ahí conmigo durante todo el proceso. A mi mamá por su apoyo incondicional y su positivismo. Porque desde pequeña me inculcó el amor, la curiosidad y la pasión por el mundo que nos rodea. A mi papá, porque él parecía más interesado en mi tesis que yo y terminó igual o más enamorado de los helodermas. A mis hermanas por darme el apoyo, las porras y el espacio que necesitaba. Un gran agradecimiento a Daniel Ariano, que me tuvo infinita paciencia con todos mis errores y mis inseguridades.

También quiero mencionar a la Reserva Natural Heloderma, International Iguana Foundation y Forgotten Nature por todo el apoyo logístico, financiero y técnico. Por darme la oportunidad de realizar este trabajo y cumplir mi sueño. Agradezco al CEAB-UVG por el uso del SIG y a Diego Incer por apoyarme, ayudarme y guiarme.

# CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>v</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista de cuadros</b> .....	<b>viii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>ix</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>x</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>II. Marco teórico</b> .....	<b>2</b>
A. Ecología, amenazas y comportamiento de la iguana <i>Ctenosaura palearis</i> .....	2
B. Ecología, amenazas y comportamiento del <i>Heloderma charlesbogerti</i> .....	5
C. Bosques estacionalmente secos en Guatemala .....	8
D. Migración de especies y extinción por cambio climático .....	9
E. Modelado de distribución potencial de especies con MaxEnt.....	10
<b>III. Justificación</b> .....	<b>11</b>
<b>IV. Objetivos</b> .....	<b>12</b>
A. General.....	12
B. Específicos.....	12
<b>V. Hipótesis</b> .....	<b>13</b>
<b>VI. Metodología</b> .....	<b>14</b>
A. Datos de la localidad de <i>Ctenosaura palearis</i> y <i>Heloderma charlesbogerti</i> .....	14
B. Modelización y predicción climáticas con todos los datos de distribución de <i>H. charlesbogerti</i> .....	14
C. Evaluación de riesgos para la publicación de datos.....	15
<b>VII. Resultados</b> .....	<b>21</b>
<b>VIII. Discusión</b> .....	<b>34</b>
<b>IX. Conclusión</b> .....	<b>37</b>
<b>X. Literatura citada</b> .....	<b>38</b>

# Lista de figuras

<b>Figuras</b>		<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b>	Imagen de una iguana <i>C. palearis</i> .	<b>2</b>
<b>Figura 2.</b>	Imagen de un heloderma <i>H. charlesbogerti</i> .	<b>5</b>
<b>Figura 3.</b>	Vegetación del bosque seco bajo de El Progreso, Guatemala.	<b>8</b>
<b>Figura 4.</b>	Árbol de decisiones para publicar los datos de <i>C. palearis</i>	<b>16</b>
<b>Figura 5.</b>	Árbol de decisiones para publicar los datos de <i>H. charlesbogerti</i>	<b>17</b>
<b>Figura 6.</b>	Puntos de localidad de <i>C. palearis</i> y <i>H. charlesbogerti</i> utilizados para el estudio	<b>21</b>
<b>Figura 7.</b>	Mapa de ocurrencia para <i>C. palearis</i> en el escenario optimista SSP1-2.6.	<b>23</b>
<b>Figura 8.</b>	Mapa de ocurrencia para <i>C. palearis</i> en el escenario medio SSP2-4.5.	<b>24</b>
<b>Figura 9.</b>	Mapa de ocurrencia para <i>C. palearis</i> en el escenario pesimista SSP5-8.5.	<b>25</b>
<b>Figura 10.</b>	Mapa de ocurrencia para <i>H. charlesbogerti</i> en el escenario optimista SSP1-2.6.	<b>27</b>
<b>Figura 11.</b>	Mapa de ocurrencia para <i>H. charlesbogerti</i> en el escenario medio SSP2-4.5.	<b>28</b>
<b>Figura 12.</b>	Mapa de ocurrencia para <i>H. charlesbogerti</i> en el escenario pesimista SSP5-8.5.	<b>29</b>
<b>Figura 13.</b>	Mapa de probabilidad de ocurrencia mayor al 75% para el mapa de traslape y desfase entre <i>C. palearis</i> y <i>H. charlesbogerti</i> en tiempo presente.	<b>30</b>
<b>Figura 14.</b>	Mapa de traslape de la distribución de <i>C. palearis</i> y <i>H. charlesbogerti</i> en el escenario optimista SSP1-2.6.	<b>31</b>
<b>Figura 15.</b>	Mapa de traslape de la distribución de <i>C. palearis</i> y <i>H. charlesbogerti</i> en el escenario medio SSP2-4.5.	<b>32</b>
<b>Figura 16.</b>	Mapa de traslape de la distribución de <i>C. palearis</i> y <i>H. charlesbogerti</i> en el escenario pesimista SSP5-8.5.	<b>33</b>

# Lista de cuadros

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b>	VARIABLES CLIMÁTICAS UTILIZADAS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE <i>C. palearis</i> Y <i>H. charlesbogerti</i> , OBTENIDAS DE LA BASE DE DATOS DE WOLRDCIM2.	<b>18</b>
<b>Cuadro 2.</b>	VARIABLES AMBIENTALES SELECCIONADAS PARA <i>Ctenosaura palearis</i> PARA LA MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN EN LOS TRES ESCENARIOS	<b>22</b>
<b>Cuadro 3.</b>	CAMBIOS EN CANTIDAD DE HECTÁREAS PARA <i>C. palearis</i> PARA EL ESCENARIO SSP1-2.6 DEL AÑO 2020 A 2080 BAJO LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MAYOR A 0.75.	<b>23</b>
<b>Cuadro 4.</b>	CAMBIOS EN CANTIDAD DE HECTÁREAS PARA <i>C. palearis</i> PARA EL ESCENARIO SSP2-4.5 DEL AÑO 2020 A 2080 BAJO LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MAYOR A 0.75.	<b>24</b>
<b>Cuadro 5.</b>	CAMBIOS EN CANTIDAD DE HECTÁREAS PARA <i>C. palearis</i> PARA EL ESCENARIO SSP5-8.5 DEL AÑO 2020 A 2080 BAJO LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MAYOR A 0.75.	<b>25</b>
<b>Cuadro 6.</b>	VARIABLES AMBIENTALES SELECCIONADAS PARA <i>H. charlesbogerti</i> PARA LA MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN EN LOS TRES ESCENARIOS	<b>26</b>
<b>Cuadro 7.</b>	CAMBIOS EN CANTIDAD DE HECTÁREAS PARA <i>H. charlesbogerti</i> PARA EL ESCENARIO SSP1-2.6 DEL AÑO 2020 A 2080 BAJO LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MAYOR A 0.75.	<b>27</b>
<b>Cuadro 8.</b>	CAMBIOS EN CANTIDAD DE HECTÁREAS PARA <i>H. charlesbogerti</i> PARA EL ESCENARIO SSP2-4.5 DEL AÑO 2020 A 2080 BAJO LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MAYOR A 0.75.	<b>28</b>
<b>Cuadro 9.</b>	CAMBIOS EN CANTIDAD DE HECTÁREAS PARA <i>H. charlesbogerti</i> PARA EL ESCENARIO SSP5-8.5 DEL AÑO 2020 A 2080 BAJO LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA MAYOR A 0.75.	<b>30</b>
<b>Cuadro 10.</b>	CANTIDAD DE HECTÁREAS DE TRASLAPE ENTRE <i>C. palearis</i> Y <i>H. charlesbogerti</i> EN EL ESCENARIO SSP1-2.6 PARA LOS AÑOS 2020 A 2080.	<b>31</b>
<b>Cuadro 11.</b>	CANTIDAD DE HECTÁREAS DE TRASLAPE ENTRE <i>C. palearis</i> Y <i>H. charlesbogerti</i> EN EL ESCENARIO SSP2-4.5 PARA LOS AÑOS 2020 A 2080.	<b>32</b>
<b>Cuadro 12.</b>	CANTIDAD DE HECTÁREAS DE TRASLAPE ENTRE <i>C. palearis</i> Y <i>H. charlesbogerti</i> EN EL ESCENARIO SSP5-8.5 PARA LOS AÑOS 2020 A 2080.	<b>33</b>

# Resumen

*Ctenosaura palearis* es una especie amenazada endémica del Valle del Motagua, Guatemala. Uno de sus principales depredadores es *Heloderma charlesbogerti*, también una especie endémica y amenazada del Valle del Motagua. Esta especie depreda los huevos de la iguana durante la época de anidación, y ambas especies están estrechamente ligadas dentro del ecosistema ya que los huevos de *C. palearis* constituyen una de las principales dietas de *Heloderma* cuando emerge de la estivación. Este estudio tiene como objetivo evaluar los potenciales efectos distributivos actuales y futuros del cambio climático tanto en la iguana como en *Heloderma* bajo diferentes escenarios de cambio climático. Se crearán modelos de distribución potencial de las especies para los años 2061 - 2080, bajo un escenario optimista, un escenario medio y uno pesimista, utilizando variables climáticas actuales y futuras adaptadas a Guatemala. Se evaluarán las ganancias y pérdidas potenciales en la distribución de ambas especies, así como los desplazamientos espaciales en sus distribuciones determinando el porcentaje de solapamiento dentro de las distribuciones de las especies tanto en las distribuciones actuales como en las futuras. Esto permitirá evaluar los impactos potenciales del cambio climático en las relaciones depredador-presa de ambas especies en el bosque estacionalmente seco del Valle del Motagua e identificar estrategias de conservación resilientes para ambas especies amenazadas. Los modelos se están generando actualmente y los resultados finales se esperan para el mes de octubre.

# Abstract

*Ctenosaura palearis* is a threatened species endemic to the Motagua Valley, Guatemala. One of its main predators is *Heloderma charlesbogerti*, also an endemic and endangered species of the Motagua Valley. This species preys on the iguana's eggs during the nesting season, and both species are closely linked within the ecosystem as the eggs of *C. palearis* constitute one of the main diets of *H. charlesbogerti* when it emerges from estivation. This study aims to evaluate the potential current and future distributional effects of climate change on both the iguana and *Heloderma* under different climate change scenarios. Potential distribution models of the species were created for the years 2061 - 2080, under both an optimistic and a pessimistic scenario, using current and future climate variables adapted to Guatemala. Potential gains and losses in the distribution of both species were assessed, as well as spatial displacements in their distributions by determining the percentage of overlap within species distributions in both current and future distributions. This will allow assessing the potential impacts of climate change on the predator-prey relationships of both species in the seasonally dry forest of the Motagua Valley and identifying resilient conservation strategies for both threatened species. The models are currently being generated, and results are expected in the month of October.

# I. Introducción

*C. palearis* es una especie endémica del Valle de Motagua de Guatemala. Actualmente se encuentra amenazada según la lista roja de especie amenazadas (IUCN) por el crecimiento poblacional, el mercado ilegal de mascotas internacional y el cambio climático. Esta especie es una especie clave para el ecosistema del bosque seco por ser una especie dispersora de semillas (Ariano-Sánchez et al., 2018; Cotí & Ariano-Sánchez, 2008). *C. palearis* también es parte importante del ecosistema ya que otro reptil endémico de la región, *H. charlesbogerti*, depende de los huevos de la iguana a principios de la temporada lluviosa para poder sobrevivir después de terminar la estibación (Ariano-Sánchez & Salazar, 2015).

El bosque seco es uno de los ecosistemas más amenazados a nivel mundial por la falta de atención que se le da como ecosistema. Esto lo pone en peligro ante el crecimiento poblacional y el cambio climático, que está cambiando la ecología y la estacionalidad del ecosistema como tal, al aumentar la temperatura y cambiar la longitud de las temporadas secas y lluviosas (Miles et al., 2006). Los organismos de este ecosistema están especializados para sobrevivir a las condiciones extremas que se encuentran (Stoner & Timm, 2011) por lo que los cambios ambientales pueden resultar extremadamente dañinos para las poblaciones del bosque seco.

Los estudios de distribución potencial de especies son herramientas de conservación cada vez más utilizadas en el manejo de áreas de importancia y especies amenazadas. Estos estudios utilizan datos de localidad de las especies y variables climáticas para realizar una inferencia en las posibles futuras distribuciones de las especies (Radomski et al., 2022). Este estudio para iguanas se ha realizado una única vez en Guatemala en la biosfera maya (Chinchilla Putzeys, 2023) y será la primera vez que se realice con *C. palearis* y *H. charlesbogerti*, lo que ayudará a determinar nuevas distribuciones para ambas especies y la relación presa-depredador que hay entre *C. palearis* y *H. charlesbogerti*.

## II. Marco teórico

### A. Ecología, amenazas y comportamiento de la iguana *Ctenosaura palearis*

#### 1. Género *Ctenosaura*

Las iguanas del género *Ctenosaura* son de la familia Iguanidae la cual abarca un total de 17 especies nativas de la región de México y Centro América (Köhler et al., 2000). En Guatemala se han reportado cinco especies del género, las cuales son *C. palearis* (Valle del Motagua), *C. defensor* (extremo noreste de Guatemala), *C. similis* (tierras bajas del sur de Guatemala), *C. flavidorsalis* (Sureste de Guatemala) y *C. acanthura* (Valle de Nentón) (Köhler, 2003). El género consiste en su mayoría de especies terrestres o semiarborícolas con las especies más pequeñas teniendo un comportamiento casi exclusivamente arborícola. Durante el día se esconden en troncos huecos, grietas de piedras o madrigueras y bloquean la entrada utilizando su cola, que cuenta con escamas espinosas que usan para protegerse en caso de sentirse bajo amenaza de un depredador (Köhler et al., 2000). El holotipo de la especie se encuentra en el museo Nacional de Estados Unidos (United States National Museum, USNM 22703), provista por Stejneger en 1899, proveniente de Gualán, departamento de Zacapa (Stejneger, L.C., 1899).

#### 2. Descripción de *Ctenosaura palearis*



**Figura 1.** Imagen de una iguana *Ctenosaura palearis*.

Fotografía por Francisco Castillo.

Dentro de las iguanas de género *Ctenosaura*, la iguana *Ctenosaura palearis* es considerada como una especie pequeña, teniendo un promedio de 15 centímetros de largo hocico a cola (LHC) en las hembras y de 20 centímetros en los machos (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008). La coloración

varía entre gris oscuro a negro, aunque la coloración varía para los machos en época de apareamiento, en la cual la cabeza se torna rojiza o anaranjada y aparecen manchas anaranjadas en toda la superficial dorsal (Lee, J., 2000). El cortejo y apareamiento ocurre durante los meses de enero y febrero y entre marzo y abril las hembras ponen entre seis a doce huevos en túneles que cavan en arena (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008).

Fue descrita por primera vez por Stejneger en 1899 como *C. palearis*. En 1997 se realizó otro estudio taxonómico entre la *C. palearis* en Guatemala y *C. melanosterna* en Honduras para ver si conformaban la misma especie, pero la especie de Honduras se clasificó como una especie aparte (Buckley & Axtell, 1997). El número actual de individuos maduros según la UICN es de 2530 pero su población se encuentra en declive y según la lista roja la especie se encuentra amenazada (Pasachnik & Ariano, 2010).

### **3. Alimentación**

La alimentación de la iguana de órgano varía según la estación, con una dieta omnívora en los meses de época seca en el Valle de Motagua y una dieta más herbívora durante los meses de lluvia, donde se alimentan de hojas, frutos y fibra vegetal variada. Se han encontrado muestras de insectos como hormigas y coleópteros, principalmente en la época seca (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008) y también son unos de los principales distribuidores de semillas del cactus de órgano *Stenocereus pruinosus* durante este tiempo (Vásquez-Contreras & Ariano-Sánchez, 2016).

Se ha observado en otras especies de iguanas que los individuos juveniles se alimentan casi exclusivamente de insectos y retoños de plantas y que su dieta se va ampliando mediante alcanzan la adultez, esto ya que los juveniles necesitan de un mayor contenido proteico para alcanzar el tamaño corporal necesario para sobrevivir (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008; López & González-Romero, 2002).

### **4. Reproducción**

Los machos son de mayor tamaño que las hembras y, aunque, tanto machos como hembras son mayormente arborícolas, los machos parecen usar la altura también para delimitar territorio y durante el cortejo. Durante el cortejo, los machos realizan movimientos de cuerpo y cabeza, donde suben y bajan la cabeza en movimientos rápidos y abren la boca. El cuerpo lo mantienen relativamente pegado al sustrato mientras se acercan a la hembra (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008; Evans, 1951).

La reproducción de las iguanas es de forma anual. La cópula se da entre los meses de enero y febrero y las hembras depositan entre seis a doce huevos en agujeros cavados en arena a finales de febrero, marzo y principios de abril. La eclosión de los huevos coincide con el comienzo de la época de lluvia a finales de abril (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008; Köhler, 2003). Se han encontrado nidos de *C. palearis* con rastros de *H. charlesbogerti*, ya que estos lagartos se alimentan de los huevos de la iguana a inicios de la temporada de lluvia, cuando los pájaros aún no han puestos huevos (Ariano-Sánchez, 2007).

## 5. Función ecológica

Se ha visto que las iguanas forman parte importante del ecosistema en el que se encuentran al actuar como importantes polinizadores y como dispersores de semillas. Se ha encontrado en estudios anteriores que el pasaje de algunas semillas por el tracto digestivo de las iguanas disminuye su tiempo de germinación, lo que puede ser ventajoso para la planta ya que un menor tiempo de germinación puede ayudar a prevenir depredación por herbívoros o pestes como hongos y bacterias. Esto nos puede indicar que el tracto digestivo de *C. palearis* tiene organismos ventajosos en su microbiota que ayuda a la germinación de *S. pruinosus* (Benítez-Malvido et al., 2003; Vásquez-Contreras & Ariano-Sánchez, 2016).

*C. palearis* es uno de los principales consumidores del fruto del tuno de órgano durante la temporada seca. Se han hecho observaciones que indican que *S. pruinosus* se vuelven su principal fuente de alimento junto con invertebrados como hormigas y coleópteros. Por esta razón *C. palearis* es uno de los principales dispersores de la semilla de este cactus y, por ende, es uno de los organismos clave para la regeneración de la vegetación del bosque seco de Guatemala (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008; Vásquez-Contreras & Ariano-Sánchez, 2016).

Los huevos de *C. palearis* también son una fuente de alimento importante para el lagarto escorpión, *H. charlesbogerti*, otra especie endémica al bosque seco de Guatemala. Este parece depender de los huevos de la iguana durante los meses de abril y mayo, cuando termina su periodo de estibación, para recuperar el peso que perdió en los meses secos antes de que comience por completo la época de lluvia y cuando las aves comienzan a poner huevos, que es gran parte su dieta principal (Ariano-Sánchez & Salazar, 2015).

## 6. Amenazas

*C. palearis* es una especie endémica del Valle del Motagua con un área de distribución de 498 km<sup>2</sup> (Ariano-Sánchez et al. 2019). Se encuentra con alta demanda en el mercado internacional de mascotas por su tamaño y por tener un cuidado relativamente fácil en cautiverio. También se utiliza como alimento de forma local y nacional por los habitantes del Valle de Motagua (Pasachnik & Ariano, 2010). En algunas áreas las poblaciones han desaparecido por completo a causa del mercado de mascotas internacional y la presión cada vez mayor del crecimiento poblacional (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008).

Se utilizan de forma local como alimento, con un aumento en la cacería de hembras durante la época de reproducción para extraer los huevos, donde se encuentran hembras grávidas, se atrapan, se le realiza un corte en la parte ventral para extraer los huevos, se cosen las heridas y se deja nuevamente en libertad. Las hembras no sobreviven esta práctica y la pérdida de hembras maduras con capacidades reproductivas puede generar un desbalance en la población a futuro (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008; Pasachnik et al., 2012).

Aunque la caza de esta especie es una práctica generacional, la pérdida de hábitat, la extracción para el comercio de mascotas, la expansión poblacional y la cacería local ha puesto presión sobre las distintas poblaciones de *C. palearis*. La situación socioeconómica, donde la obtención de fuentes proteicas convencionales es escaso o difícil, el consumo o la venta de esta

especie de iguana es una práctica común (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008; López & González-Romero, 2002).

Entrevistas realizadas en los municipios de Cabañas y Gualán, Zacapa y el Progreso obtuvieron como resultado que el 88% de los entrevistados habían consumido carne de *C. palearis* en algún momento de su vida pero que solo el 38.6% de las personas continuaban consumiéndola. El 17.3% de los entrevistados que activamente cazaban iguanas preferían cazar durante los meses de febrero, marzo y abril, donde se pueden encontrar iguanas hembras grávidas. El 62% de cazadores cazan no más de tres iguanas por mes, el 30% cazan hasta diez iguanas y el resto de entrevistados cazan más de diez iguanas al mes (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008).

El mercado internacional de mascotas exóticas es una de las amenazas con mayor impacto para la población, ya que, aunque el consumo de iguanas si genera un declive en la población, un cazador atrapa en promedio seis iguanas, mientras que alguien que vende iguanas al mercado internacional de mascotas exóticas atrapa y vende en promedio 50 a 60 iguanas por mes. Esto pone un mayor peso sobre la sobrevivencia de la población en el área y sobre la especie como tal a nivel nacional (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008).

## B. Ecología, amenazas y comportamiento del *Heloderma charlesbogerti*



**Figura 2.** Imagen de un *Heloderma charlesbogerti*.

Fotografía tomada por Daniel Ariano.

### 1. Descripción de la familia Helodermatidae

El género *Heloderma* se encuentra solamente en el continente americano, viéndose confinado al norte del continente, desde el sur de Estados Unidos hasta el sur de Guatemala (Campbell &

Vannini, 1988). Todas las especies del género pueden encontrarse en ambientes semiáridos, con poca precipitación y vegetación espinosa como cactus y árboles grandes adaptados a fuertes sequías. Son cinco especies de lagarto venenoso a los que se les puede considerar como fósil viviente (Bogert & Martín del Campo, 1956). Los helodermas son los únicos ejemplares vivos del clado de los monstersaurios que cuentan con glándulas venenosas y dientes acanalados con capacidad de inoculación de veneno, endémicos a climas áridos de América (Fry et al., 2006).

## 2. Ecología de *Heloderma charlesbogerti*

El *Heloderma charlesbogerti* es un lagarto venenoso de la familia Helodermatidae, antes considerado como una subespecie de *Heloderma horridum* por Campbell y Vannini (Campbell & Vannini, 1988). Recientemente fue evaluado y considerado como una nueva especie de por Reiserer et al (2013) por lo que se considera como una de las especies de helodermas más recientes y con el área de extensión más pequeña entre las cuatro especies de la familia Helodermatidae, siendo endémico del bosque seco del valle de Motagua en Guatemala (Domínguez-Vega et al., 2012; Reiserer et al., 2013).

El *H. charlesbogerti* se mueve en el bosque seco del valle de motagua en el territorio de Guatemala, con un cambio estacional muy marcado de una época seca de noviembre a mayo de poca o nula precipitación y una época lluviosa de junio a octubre de lluvias intensas. Durante la época seca la actividad del Heloderma se reduce drásticamente y durante los meses de mayor temperatura y menor precipitación se encuentra enterrado en madrigueras abandonadas de otros animales a más o menos medio metro de profundidad. Durante este tiempo los organismos se encuentran en un periodo de estivación que permite la sobrevivencia del Heloderma durante estos meses al no consumir grandes cantidades de energía (Ariano-Sánchez, 2006).

Esta especie necesita de condiciones muy específicas, tanto en precipitación como temperatura, e incluso dependen mucho de los cambios que ocurren en el bosque seco para poder alimentarse y reproducirse correctamente (Domínguez-Vega et al., 2012). Durante los meses de calor, los Helodermas también dependen de la disponibilidad de una gran cantidad de agujeros excavados por otros animales para poder mantener su población ya que este puede llegar a ser un factor limitante para esta especie y su número poblacional al necesitar un agujero por individuo (Ariano-Sánchez, 2006).

El Heloderma es una especie de lagarto con una mordedura venenosa la cual usa como método de defensa al alimentarse principalmente de huevos, polluelos y otros lagartos y mamíferos más pequeños. No tiene la necesidad de subyugar a la presa de manera eficiente ya que sus presas en general no se mueven o se mueven muy poco. El veneno incluso no es de un uso pre digestivo como en muchas serpientes ya que no tiene los componentes químicos necesarios para poder considerarse para este uso (Beck, 2005).

## 3. Reproducción

El ciclo reproductivo del *H. charlesbogerti* es anual. El cortejo y la cópula se dan en los meses de agosto y septiembre con un pico en testosterona en los machos en los meses de julio y agosto,

poco antes del comienzo de la época de reproducción. Los huevos son puestos entre los meses de agosto y diciembre. A pesar de tener un aumento de testosterona significativo entre en los meses de anidación y justo antes de la reproducción no se observó un cambio significativo en el comportamiento de pelea entre los helodermas machos (Carruth, 2015).

Los huevos son depositados al final de la temporada de lluvia, poco antes del comienzo de la temporada seca, cuando las hembras tienen mayor masa corporal por el alimento obtenido durante la temporada de lluvia. Estos son depositados en madrigueras horizontales que se rellenan. Los huevos tienen un tiempo de incubación de 180 días, y eclosionan al inicio de la temporada de lluvia, lo que les permite una mayor oportunidad de sobrevivencia ya que la disponibilidad de alimento comienza a aumentar. Según estudios en el 2015, con huevos incubados en cautiverio, la humedad puede afectar la viabilidad de los huevos, ya que estos son propensos a enmohecer si tienen contacto con humedad (Carruth, 2015).

#### **4. Amenazas**

La principal amenaza del *H. charlesbogerti* es la rápida desaparición del hábitat, para cultivos de maíz y ganadería, y la venta de ejemplares en el mercado internacional de mascotas exóticas. Una amenaza de la especie también es el fuerte miedo que los locales del área del bosque seco tienen de *H. charlesbogerti* por fuertes supersticiones que se tienen por su naturaleza venenosa. Por medio de capacitaciones y programas educativos se ha logrado que tanto la venta del *H. charlesbogerti* como de las matanzas por supersticiones haya bajado significativamente (Sánchez, 2003).

La pérdida de hábitat se debe a que el bosque estacionalmente seco es uno de los ecosistemas más amenazados a nivel mundial. En todo el continente americano solo el 0.9% del bosque seco estacional tiene un estatus de conservación y solo el 2% de su extensión está lo suficientemente conservado para poder mantenerse como ecosistema (Janzen, 1998; Prieto-Torres et al., 2021).

#### **5. Estado de conservación**

El estado de conservación de esta especie no solo depende del bienestar de la especie como tal pero también de su ecosistema ya que dependen de este en su totalidad tener una alta dependencia de este y ser una especie endémica especializada en este tipo de climas. Una de las grandes amenazas de la especie ha sido el tráfico ilegal de especies y la matanza de organismos por supersticiones con base en su naturaleza venenosa (Ariano-Sánchez, 2006). De momento sigue siendo una especie en peligro de extinción por lo que se debe tener en cuenta la importancia de su conservación, no solo por ser una especie endémica del Valle de Motagua y de Guatemala, pero también por su importancia en el campo de la medicina, al tener componentes de importancia médica en su veneno (Beck, 2005).

### C. Bosques estacionalmente secos en Guatemala



**Figura 3.** Vegetación del bosque seco bajo de El Progreso, Guatemala.  
Fotografía tomada por Daniel Ariano Sanchez.

El bosque seco se caracteriza principalmente por ser un bosque tropical que pasa por un periodo largo de sequías severas o absolutas que ocurre por falta de precipitación y temperaturas altas (Prieto-Torres et al., 2021). El suelo en el bosque seco es alto en nutrientes por lo que es capaz de sostener una gran variedad de plantas a pesar de las condiciones extremas que sostiene por largos periodos de tiempo (Pennington et al., 2018).

Es un ecosistema con altos niveles de endemismo. Esto se debe principalmente a la alta especialización que se requiere para sobrevivir en el área, como, por ejemplo, adaptaciones al poco acceso a agua y capacidad de aguantar largos períodos de sequías. Esto lleva a que los organismos que han evolucionado en estos climas tengan métodos únicos, adaptados para dicho clima como una mejor retención de agua en el caso de las plantas y retención de nutrientes y estibación en fauna (Linares-Palomino et al., 2011; Stoner & Timm, 2011).

Este tipo de bosque se encuentra entre los ecosistemas más amenazados ya que no ha sido muy estudiado y es un ecosistema que muchas veces se pasa por alto. Tiene múltiples amenazas que aumentan su degradación como cambio en precipitación, aumento de incendios y tala de bosque para cultivos y ganado. Una de las razones por las que la conservación del bosque seco alrededor del mundo ha sido tan complicada y poco eficiente es por la ambigüedad de sus límites. En muchos casos no se puede decir con claridad los bordes del bosque por lo que esto causa barreras para la conservación de este (Miles et al., 2006).

En Guatemala, el bosque seco es uno de los ecosistemas más descuidados del país, teniendo una pérdida del 75% de su extensión original. Su tierra es muy fértil y por las condiciones climáticas únicas del lugar, es muy utilizada como tierra agrícola ya que es fácil de utilizar. En Guatemala el bosque seco se caracteriza por al menos cinco meses con una precipitación total de menos de 100 mm de lluvia. Por esta razón, la velocidad de crecimiento de la vegetación es menor a otros ecosistemas en el país, ya que el crecimiento se da únicamente en la temporada lluviosa. Según estudios realizados en este ecosistema, el bosque seco contiene el 30% de las especies documentadas para el país a pesar de solo cubrir un 3.67% de la superficie total de Guatemala (Ariano-Sánchez, 2021).

#### **D. Migración de especies y extinción por cambio climático**

A través de los años se ha visto una alteración en el comportamiento de las especies hacia el cambio climático, comenzando por sus comportamientos fenológicos, tanto en especies marinas como en especies terrestres (Thackeray et al., 2016). El estudio de los cambios de distribución de las especies está comenzando a tomar auge al hacerse cada vez más notorio los cambios altitudinales de las especies o el movimiento de estos hacia los polos. La predicción del movimiento de especies en respuesta al cambio climático está tomando fuerza en el campo de la ciencia al hacerse cada vez más impredecible la respuesta de los organismos a los cambios que se están dando (Bellard et al., 2012; Walther et al., 2002).

Bajo el continuo movimiento de las especies por el cambio climático se ve un cambio drástico en la composición de organismos de una comunidad, necesitando ciertas interacciones no solo con la composición biótica de un ecosistema sino también con la composición abiótica, los cambios de comportamiento y de comunidad se ven cada vez más frecuentes. Esto causa situaciones de invasión que pueden causar un desbalance en los ecosistemas nuevos y crear nuevas fuentes de estrés sobre las poblaciones originales (Walther et al., 2002).

El cambio climático es uno de los factores más grandes en la tasa de extinción de la biodiversidad global actual. Esto junto a pérdida de hábitat, comercio ilegal de especies, especies invasoras, entre otros, genera una reacción negativa en muchos ecosistemas (Pimm & Raven, 2000). Se puede considerar también como una gran amenaza ya que tiene una alta posibilidad de interactuar con otras amenazas sobre la biodiversidad e intensificar los efectos (Jetz et al., 2007). Son muchos los factores que pueden estar involucrados en la extinción de especies generados por el cambio climático, comenzando por la intolerancia a las nuevas temperaturas, movimiento de especies o patógenos invasores y aumento de incendios (Cahill et al., 2013).

Entender el verdadero alcance del cambio climático en la migración y la extinción de las especies es un tema que no se puede estimar a simple vista. Un tema del que no se habla mucho en relación con la extinción de las especies es la coextinción de especies que dependen la una de la otra y que se ven gravemente afectadas cuando desaparece una de las dos (Dunn et al., 2009). En muchos casos no se toman en cuenta las especies dependientes por lo que una “extinción secundaria” o dependiente pueda llegar a ser incluso mayor en número que las extinciones de las especies primarias. Estas extinciones secundarias pueden llegar a causar una extinción en cascada una vez que la especie primaria se haya extinto en el ecosistema. También se tiene que tomar en cuenta las consecuencias no solo sobre las especies en peligro de extinción, pero también sobre los

efectos que estas extinciones tendrán sobre el ecosistema nativo y sobre los ecosistemas lejanos que se encuentran conectados con el primero por medio de una compleja red de interacciones (Colwell et al., 2012).

## **E. Modelado de distribución potencial de especies con MaxEnt**

El uso de modelos y predicciones en el movimiento de especies y su ecología está comenzando a ganar popularidad. Estos modelos no solo permiten un estudio más exhaustivo del movimiento de especies y sus respuestas a ciertos cambios, pero también permite una mayor flexibilidad en el número de muestras necesarias para dichos estudios (Austin & Van Niel, 2011; Scherler et al., 2011; Braunisch et al., 2013). Los patrones de distribución de las especies se ven afectadas según las variables climáticas que se les presente, mostrando una respuesta bastante compleja y suficiente para responder a preguntas a futuro (Braunisch et al., 2013).

La distribución espacial de especies es un método que no solo sirve con especies bien conocidas y documentadas, sino también se ha probado que es útil para el estudio de especies crípticas y con pocos datos disponibles (Radomski et al., 2022). Este método de estudio de especies puede ayudar a la conservación no solo en el presente, sino también permite la planificación de futuros planes de manejo para las especies y sus potenciales nuevas amenazas (Guillera-Arroita et al., 2015).

MaxEnt, como software de modelación de distribución potencial cuenta con un programa simple que permite quitar exceso de data, lo que permite un uso más eficiente del programa y producir mejores resultados en un menor tiempo. MaxEnt permite al usuario comprender patrones y analizar de forma eficiente datos de una forma sencilla (Merow et al., 2013). Este programa nos ayuda a evaluar como una especie va a reaccionar a cambios en su ambiente y como su distribución puede cambiar de acuerdo con variables del entorno. MaxEnt permite comprender no solo la distribución actual, pero permite un entendimiento de las distribuciones futuras (Phillips & Dudík, 2008).

Al tomar en cuenta sesgos en los datos y la manipulación previa al uso de los datos, MaxEnt realiza predicciones más acertadas y se puede mejorar la calidad de las predicciones. MaxEnt no toma en cuenta fallos y sesgos en las bases de datos a utilizar antes de ingresar al programa ya que supone que todos los puntos han sido estudiados con el mismo esfuerzo y bajo las mismas condiciones, lo que no siempre es así (Kramer-Schadt et al., 2013). En estudios ecológicos el tamaño del número de datos para las poblaciones de especies puede llegar a ser limitado. Tanto por especies crípticas, poblaciones reducidas o terrenos complicados para tomar datos sobre el tamaño de una población. MaxEnt, por ser un software de máxima entropía, permite una mayor flexibilidad para realizar distribuciones potenciales de especies. Esto hace que MaxEnt sea una herramienta útil y de alto valor para las predicciones de posibilidades futuras con relación a las poblaciones de especies (Elith et al., 2006).

### III. Justificación

La iguana *C. palearis*, también conocida como la iguana de órgano, es una iguana endémica del bosque seco de Guatemala. Actualmente se encuentra amenazada según la lista roja de la IUCN por pérdida de hábitat y extracción para venta y consumo (Pasachnik & Ariano, 2010). *C. palearis* es un organismo clave del bosque seco ya que es uno de los principales dispersores de semillas del cactus de órgano *S. pruinosus* por lo que es un organismo esencial para la recuperación del bosque (Cotí & Ariano-Sánchez, 2008). *H. charlesbogerti*, otra especie endémica de Guatemala, también depende de esta iguana para su sobrevivencia después de la temporada seca (Ariano-Sánchez, 2006). Se tiene un registro actual de la distribución de ambas especies y sus amenazas (Ariano-Sánchez et al., 2020; Gil, 2016), pero el bosque seco es uno de los ecosistemas más amenazados a nivel mundial, tanto por el crecimiento poblacional como por el cambio climático y el aumento de la temperatura (Prieto-Torres et al., 2021).

Los modelos de distribuciones potenciales en base a variables climáticas es un método de estudio ecológico que está comenzando a ganar influencia en los estudios de distribución de las especies y los efectos del cambio climático (Braunisch et al., 2013). Se han hecho estudios de ámbito de hogar actuales para *C. palearis* y *H. charlesbogerti* (2020; Gil, 2016, Ariano-Sánchez et al.) pero este sería el primer estudio de la distribución potencial para ambas especies en base a variables climáticas bajo tres escenarios distintos, optimista, medio y pesimista. Este estudio también será el primer estudio para estas especies donde se estimarán los porcentajes de traslape y desfase en una relación depredador-presa entre reptiles simpátricos para Guatemala.

## IV. Objetivos

### A. General

Evaluar los efectos potenciales del cambio climático sobre las distribuciones actuales y futuras de la iguana *C. palearis* y el *H. charlesbogerti* bajo diferentes escenarios de cambio climático, a través de modelación de nicho ecológico.

### B. Específicos

1. Generar un mapa de distribución potencial actual y futura para *C. palearis* bajo tres escenarios de cambio climático en Guatemala.
2. Generar un mapa de distribución potencial actual y futura para *H. charlesbogerti* bajo tres escenarios de cambio climático en Guatemala.
3. Estimar los porcentajes de traslape y desfase en las distribuciones actuales y futuras de ambas especies para evaluar los efectos del cambio climático sobre la disrupción de las relaciones depredador – presa en un ecosistema estacionalmente seco.

## V. Hipótesis

Las distribuciones de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* se verán afectadas por los cambios en la estacionalidad del bosque seco del Valle de Motagua causados por el cambio climático en los diferentes escenarios evaluados.

Existirá un desfase entre las distribuciones de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* producto del cambio climático, lo que puede afectar la relación depredador – presa.

## VI. Metodología

### A. Datos de la localidad de *Ctenosaura palearis* y *Heloderma charlesbogerti*

Los datos de distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* serán recopilados en el mes de julio de 2023 por medio de varias bases de datos bibliográficos e investigaciones previas. Para *H. charlesbogerti* se utilizarán datos tomados por la Reserva Natural Heloderma del 2004 al 2022, (Sánchez, 2003), (Ariano-Sánchez et al., 2020) y (Ariano-Sánchez et al., 2022). En lo que respecta a *C. palearis* se utilizarán datos obtenidos de (Gil, 2016), Reserva Natural Heloderma del 2008 al 2023 y datos de Castillo et al. (2023).

### B. Modelización y predicción climáticas con todos los datos de distribución de *H. charlesbogerti*

Los modelos de nichos ecológicos se realizaron en base a los modelos de Rutas Socioeconómicas Compartidas (SSP por sus siglas en inglés) f, SSP1-2.6 (escenario optimista), SSP2-4.5 (el escenario intermedio) y SSP5-8.5 (escenario pesimista), que se modelaran para los años 2040 – 2080 (Gómez-Cruz et al., 2021). Las predicciones se harán en base los datos climatológicos actuales y futuros de la base de datos de Worldclim2, tomando en cuenta datos climatológicos de los años 1950-2000 (Funk et al., 2015; Karger et al., 2017). El software MaxEnt 3.4.4, modelo de entropía máxima, se utilizará para poder determinar en base a los puntos de localidad obtenidos la distribución potencial de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* en base a variables ambientales para los años escogidos (Phillips et al., 2006). Para evitar el sobreajuste del modelo por sitios con esfuerzos mucho mayores de estudio y por lo tanto con mayor cantidad y densidad de registros, se realizará una depuración de los puntos de localidades para ambas especies, seleccionando puntos que se encuentren al menos a 200 metros de distancia entre sí. Los modelos utilizados se realizarán utilizando simulaciones de forzamiento radiativo de 4.5, 2.6 y 8.5  $W/m^2$  y de esta forma crear pronósticos de cambio climático optimistas, intermedios y pesimistas (Gómez-Cruz et al., 2021).

Primero se correrán los modelos para ambas especies con todas las 19 variables bioclimáticas de Worldclim en clima presente utilizando las localidades actuales de registro de ambas especies. Posteriormente se escogerá un subset de variables relevantes según los resultados de “curva de respuesta” y “Medición de importancia de la variable por medio de Jackknife” de MaxEnt. Con estas dos opciones se pueden escoger las variables con mayor relevancia a la distribución potencial de *C. palearis* y *H. charlesbogerti*. Las variables cuyas curvas de respuesta tienen patrones de distribución más parecidos a la distribución binomial o con picos pronunciados en sus respuestas, son las variables que tienen mayor poder predictivo para la distribución potencial de la especie. Este subset de variables se hace con el fin de poder simplificar el modelo y evitar un sobreajuste de este que impida una adecuada generalización de las distribuciones potenciales de las especies. Las variables finales por incluir en los modelos se escogerán con base al conjunto de variables cuya sumatoria de porcentaje de contribución al modelo de distribución potencial llegue al menos al 75%, así como a las variables que adicionalmente posean una importancia de permutación mayor o igual a 10. La selección final de variables se verificará evaluando el gráfico de ganancia de entrenamiento regularizada por Jackknife para dichas variables.

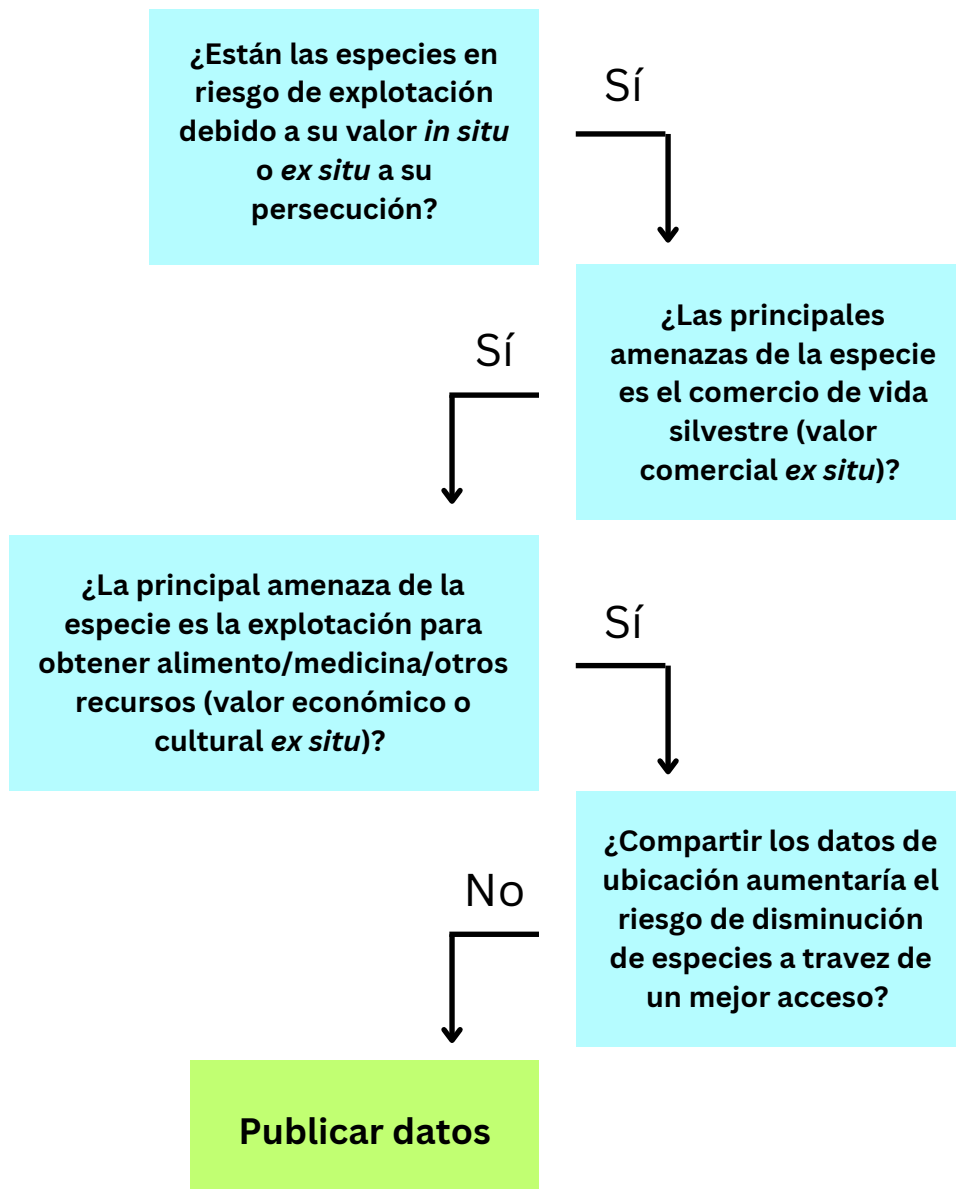
Se creó un mapa binario utilizando un “umbral de equilibrio”, escogido entre las once opciones que genera el programa maxent. Esto se hizo para delimitar el área de distribución para que esta fuera lo más cercana a la realidad posible, y que de esa forma las predicciones a futuro fueran lo más acertados posibles. Entre las once opciones se escogió “10 percentiles training presence” en base literatura previa (Jiménez-Valverde, A., & Lobo, 2007). Se midieron las hectáreas de cada uno de los escenarios para poder determinar el total del territorio ocupado por ambas especies bajo cada uno de los escenarios.

Las variables finales se utilizaron para generar los modelos finales. Estos se importaron al software ArcGIS para poder crear los mapas de distribución de ambas especies. Estos se utilizaron para observar el traslape y desfase de ambas especies para evaluar los efectos del cambio climático sobre la disrupción de la relación depredador-presa entre ambas especies.

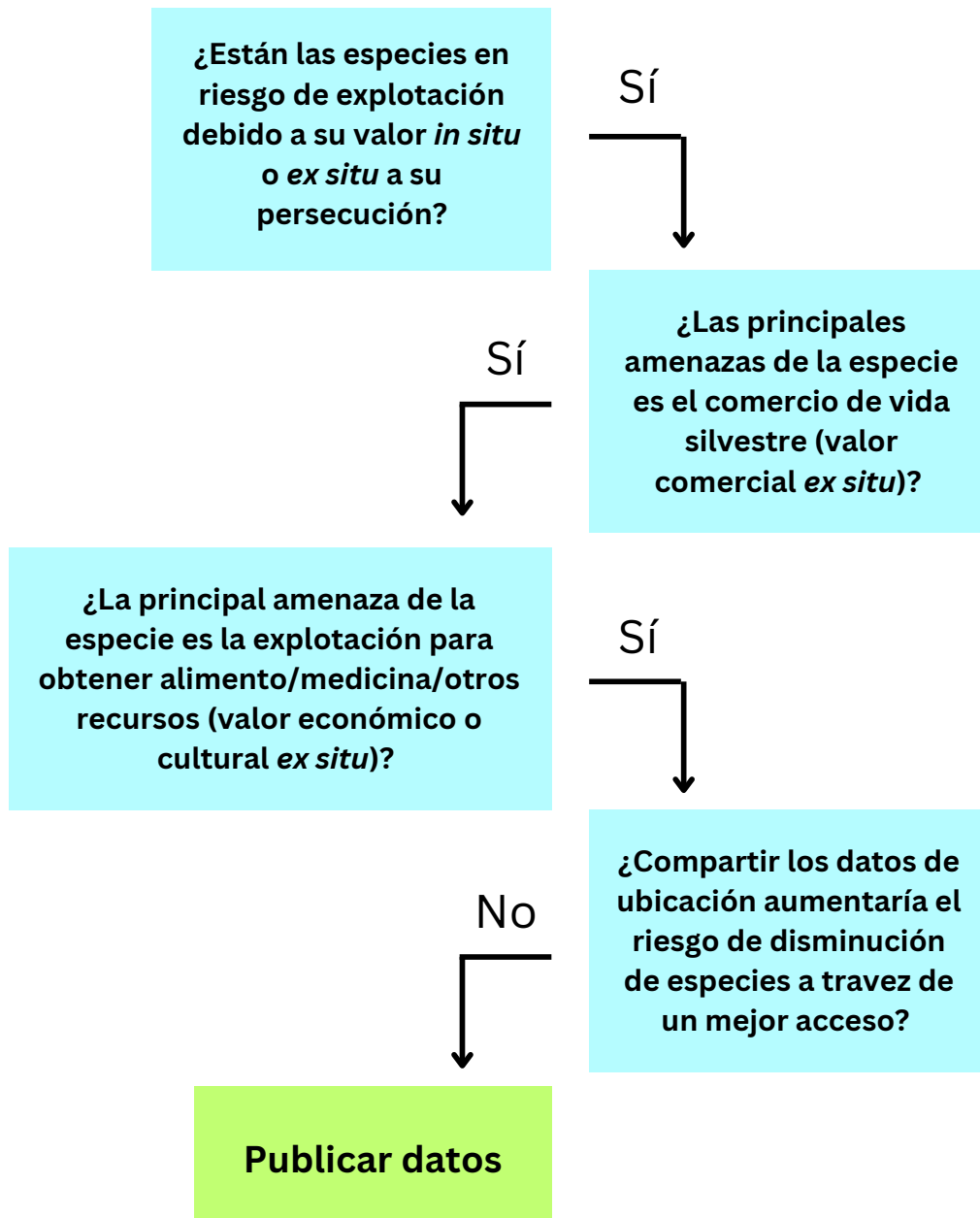
### **C. Evaluación de riesgos para la publicación de datos**

Al tratarse de especies amenazadas según la UICN, siendo el tráfico ilegal de fauna silvestre una de sus mayores amenazas, los puntos que se utilizaran se utilizaran y se publicarán en base a las recomendaciones dadas por GBIF. Los puntos utilizados de ambas especies, *C. palaris* y *H. charlesbogerti*, se van a publicar redondeados a 1 punto decimal. Esto ya que la distribución de ambas especies entra en la categoría de altamente sensibles. Los puntos exactos se podrán obtener bajo requerimiento de investigadores avalados por CONAP (Chapman, 2023).

Para poder concluir los riesgos o beneficios de la publicación de los datos de ambas especies se realizó un árbol de decisiones para publicar datos de biodiversidad.



**Figura 4.** Árbol de decisiones para publicar datos de biodiversidad de *Ctenosaura palearis*



**Figura 5.** Árbol de decisiones para publicar datos de biodiversidad de *Heloderma charlesbogerti*

**Cuadro 1.** Variables climáticas Bioclim utilizadas para la realización de los modelos de distribución potencial de *C. palearis* y *H. charlesbogerti*, obtenidas de la base de datos de Worldclim 2.

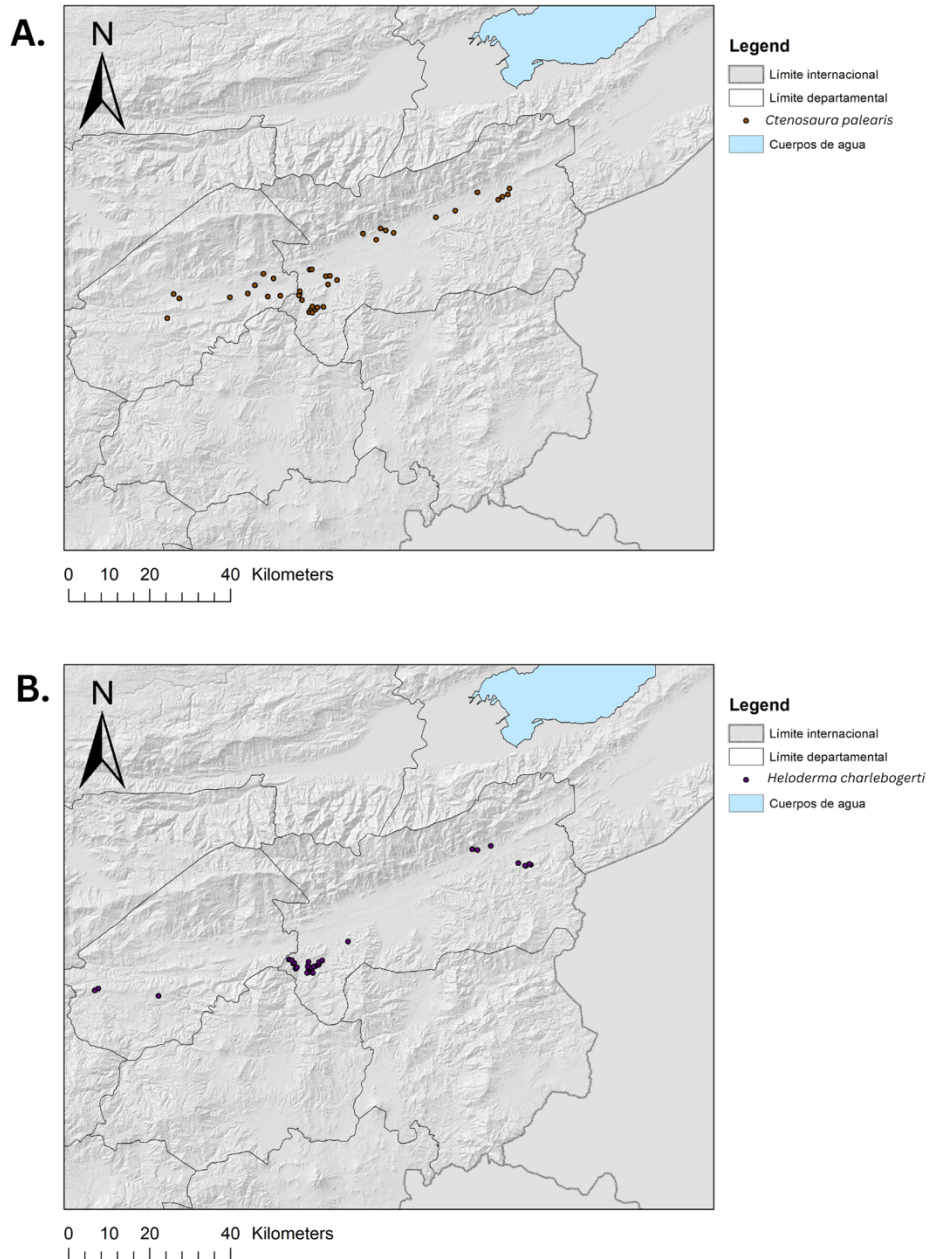
<b>Código de variable</b>	<b>Nombre de variable</b>	<b>Explicación</b>
Bio1	Temperatura media anual del aire	Temperatura media diaria anual del aire promediada a lo largo de 1 año
Bio2	Temperatura media diurna del aire	Rango medio diurno de temperaturas medias durante 1 año
Bio3	Isotermia	Relación entre la variación diurna y la variación anual de las temperaturas
Bio4	Estacionalidad de la temperatura	Desviación típica de las temperaturas medias mensuales
Bio5	Temperatura del aire máxima diaria media del mes más cálido	Temperatura más alta de cualquier temperatura máxima media diaria mensual
Bio6	Temperatura mínima media diaria del mes más frío	La temperatura más baja de cualquier temperatura máxima diaria media mensual
Bio7	Rango anual de temperatura del aire	Diferencia entre la temperatura máxima del mes más cálido y la temperatura mínima del mes más frío
Bio8	Temperatura media diaria del aire del trimestre más húmedo	Se determina el trimestre más lluvioso del año (al mes más próximo)

<b>Código de variable</b>	<b>Nombre de variable</b>	<b>Explicación</b>
Bio9	Temperatura media diaria del aire en el trimestre más seco	Se determina el trimestre más seco del año (al mes más cercano)
Bio10	Temperatura media diaria del aire en el trimestre más cálido	Se determina el trimestre más cálido del año (al mes más cercano)
Bio11	Temperatura media diaria del aire en el trimestre más frío	Se determina el trimestre más frío del año (al mes más cercano)
Bio12	Cantidad anual de precipitaciones	Cantidad de precipitación acumulada en 1 año
Bio13	Precipitaciones del mes más húmedo	La precipitación del mes más lluvioso.
Bio14	Cantidad de precipitación del mes más seco	La precipitación del mes más seco.
Bio15	Estacionalidad de las precipitaciones	El Coeficiente de Variación es la desviación típica de las estimaciones mensuales de precipitación expresada como porcentaje de la media de dichas estimaciones (es decir, la media anual)
Bio16	Precipitación media mensual del trimestre más húmedo	Se determina el trimestre más húmedo del año (al mes más próximo)

<b>Código de variable</b>	<b>Nombre de variable</b>	<b>Explicación</b>
Bio17	Precipitación media mensual del trimestre más seco	Se determina el trimestre más seco del año (al mes más cercano)
Bio18	Precipitación media mensual del trimestre más cálido	Se determina el trimestre más cálido del año (con una aproximación de un mes).
Bio19	Precipitación media mensual del trimestre más frío	Se determina el trimestre más frío del año (al mes más cercano)

## VII. Resultados

Se obtuvieron 73 registros en total, 39 puntos para *C. palearis* y 34 puntos para *H. charlesbogerti*. Para *C. palearis* se utilizaron datos obtenidos de (Gil, 2016), Reserva Natural Heloderma del 2008 al 2023 y datos de Castillo et al. (2023). En lo que respecta a *H. charlesbogerti* se utilizaron datos tomados por la Reserva Natural Heloderma del 2004 al 2022, (Sánchez, 2003), (Ariano-Sánchez et al., 2020) y (Ariano-Sánchez et al., 2022).



**Figura 6. A.** Puntos de localidad de *Ctenosaura palearis* utilizados para el estudio obtenidos de (Gil, 2016), Reserva Natural Heloderma del 2008 al 2023 y datos de Castillo et al. (2023)

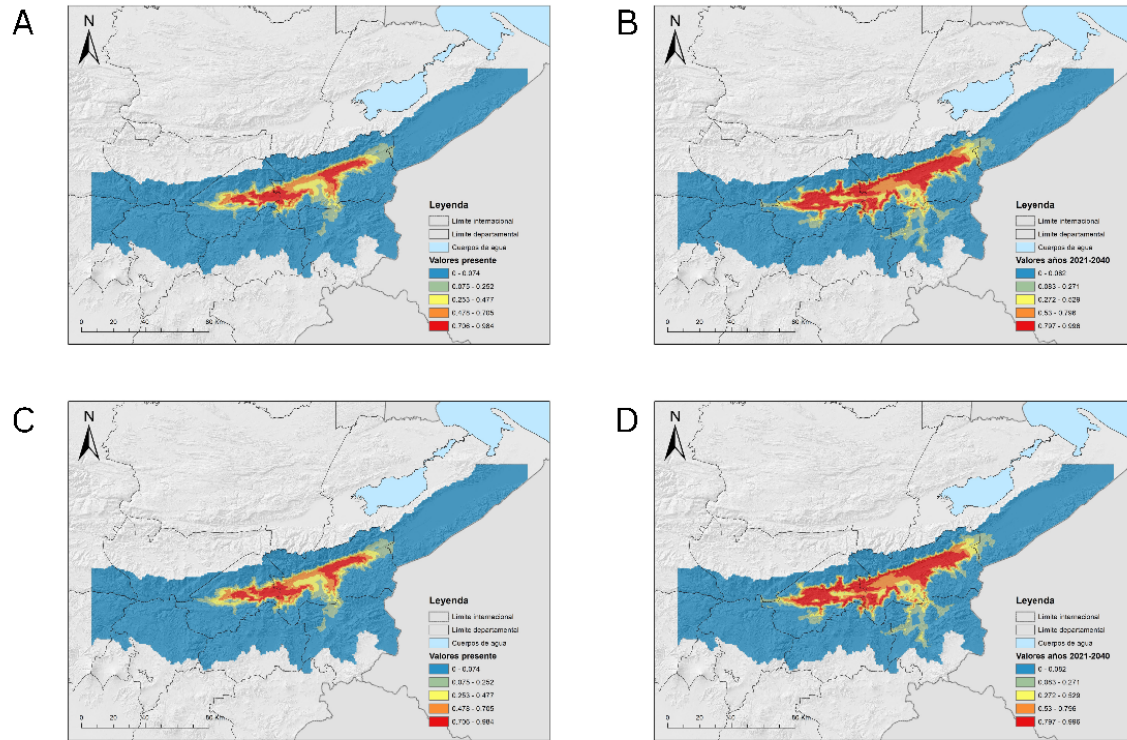
señalizados por puntos de color negro. **B.** Puntos de localidad de *H. charlesbogerti* tomados por la Reserva Natural Heloderma del 2004 al 2022, (Sánchez, 2003), (Ariano-Sánchez et al., 2020) y (Ariano-Sánchez et al., 2022). En lo que respecta a *C. palearis* se utilizarán datos obtenidos de (Gil, 2016), Reserva Natural Heloderma del 2008 al 2023 y datos de Castillo et al. (2023) señalizados por puntos de color negro.

**Cuadro 2.** Variables ambientales seleccionadas para *Ctenosaura palearis* para la modelación de la distribución en los tres escenarios SSP1-2.6 (escenario optimista), SSP2-4.5 (escenario medio) y SSP5-8.5 (escenario pesimista) y los porcentajes de contribución e importancia de permutación.

Variables	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
<b>Temperatura mínima del mes más frío</b>	45	3.8
<b>Temperatura media del trimestre más frío</b>	41.5	1
<b>Precipitación del mes más lluvioso</b>	8.3	86.2
<b>Precipitación del mes más seco</b>	5.2	9

Se seleccionaron un total de cuatro variables (Cuadro 2) para *C. palearis* que tuvieran una importancia de permutación mayor al 10 y/o un porcentaje de contribución igual o mayor a 75%. Para esta especie el porcentaje de contribución dio un total de 73.8%. Estas 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 0.983, lo que indica que la capacidad predictiva de los modelos es específica y tiene una precisión del 98%.

Se seleccionó una escala de color de azul a rojo para mostrar el porcentaje de presencia de la especie, donde rojo muestra la mayor probabilidad de ocurrencia para *C. palearis*. El rojo muestra un valor más cercano a 1 mientras que el azul muestra un número mucho más cercano a 0. Utilizando el mapa de ocurrencias (Figura 6.A) se realizó el corte del área para delimitar el área, obteniendo un área estimada de 71,740 hectáreas (Cuadro 3). Las variables que se utilizaron para los modelos de *C. palearis* son temperatura mínima del mes más frío, temperatura media del trimestre más frío, precipitación del mes más lluvioso y precipitación del mes más seco.

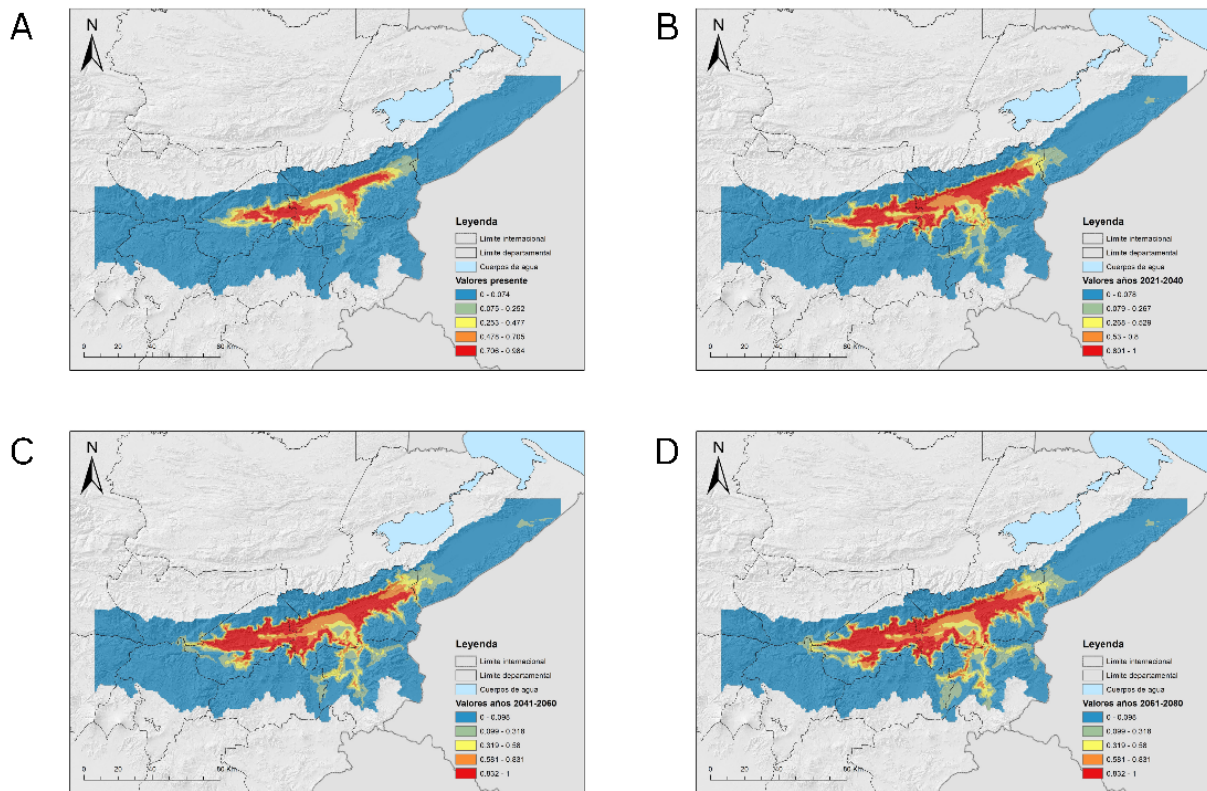


**Figura 7.** A. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para el tiempo presente. B. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para los años 2021 a 2040 en el escenario optimista SSP1-2.6. C. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para los años 2041 a 2060 en el escenario optimista SSP1-2.6. D. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para los años 2061 a 2080 en el escenario optimista SSP1-2.6.

Para el escenario optimista se ve un aumento en las hectáreas de 262%, pasando de 71,740 hectáreas actualmente a 188,211 hectáreas para el año 2080 (Cuadro 3). En la Figura 7 se ve como a pesar de tener un crecimiento exponencial, la distribución de la iguana no abandona en su mayoría la parte baja del Valle de Motagua, con un poco de extensión hacia la cadena montañosa del sur del valle para el año 2080 (Figura 7.D).

**Cuadro 3.** Cambios en cantidad de hectáreas para *C. palearis* para el escenario SSP1-2.6 del año 2020 a 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75.

	Área total (ha)
<b>Distribución actual</b>	71,740
<b>Años 2021-2040</b>	134,639
<b>Años 2041-2060</b>	187,048
<b>Años 2061-2080</b>	188,211

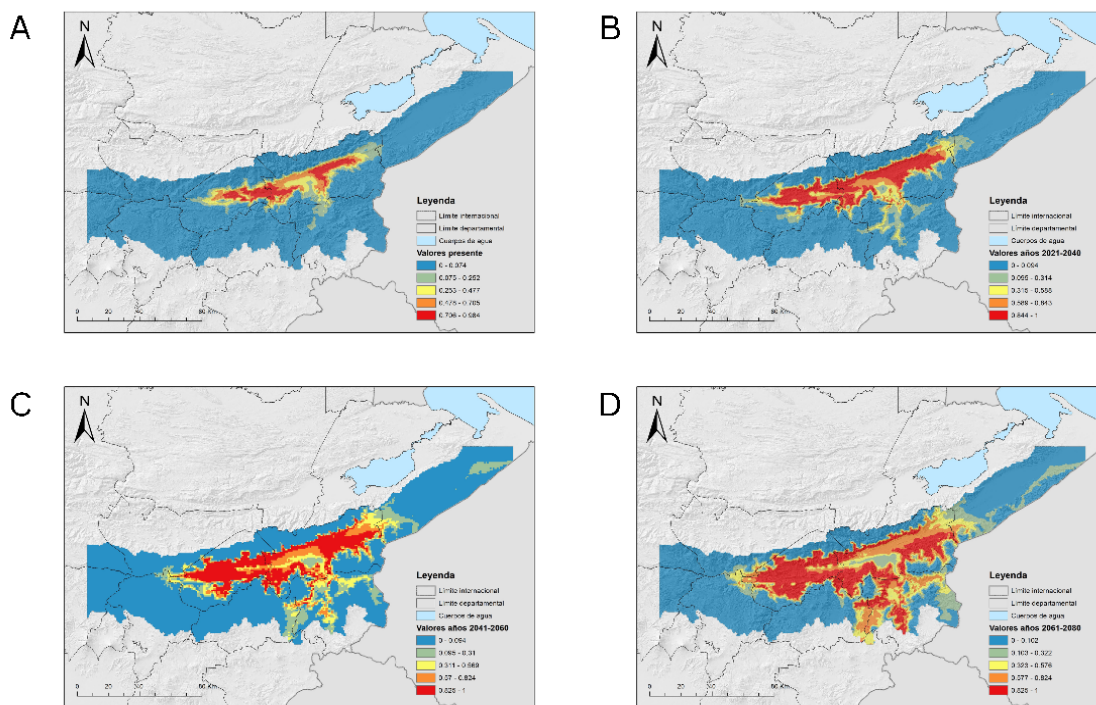


**Figura 8.** A. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para el tiempo presente. B. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para los años 2021 a 2040 en el escenario medio SSP2-4.5. C. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para los años 2041 a 2060 en el escenario medio SSP2-4.5. D. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para los años 2061 a 2080 en el escenario medio SSP2-4.5.

Se puede ver como en el escenario medio SSP2-4.5. se espera un crecimiento de 337%, viendo un aumento en la distribución de *C. palearis* de 71,740 hectáreas a 241,891 hectáreas para el año 2080 (Cuadro 4). El aumento de la distribución es claramente visible para el año 2080 (Figura 8.D) y se puede ver que la distribución ya incluye la parte sur de la cadena montañosa de la Sierra de las Minas y gran parte de la cadena montañosa al sur del valle.

**Cuadro 4.** Cambios en cantidad de hectáreas para *C. palearis* para el escenario SSP2-4.5 del año 2020 a 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75.

	Área total (ha)
<b>Distribución actual</b>	71,740
<b>Años 2021-2040</b>	169,600
<b>Años 2041-2060</b>	210,870
<b>Años 2061-2080</b>	241,891



**Figura 9.** A. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para el tiempo presente. B. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para los años 2021 a 2040 en el escenario pesimista SSP5-8.5. C. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para los años 2041 a 2060 en el escenario pesimista SSP5-8.5. D. Mapa de ocurrencia para *C. palearis* para los años 2061 a 2080 en el escenario pesimista SSP5-8.5.

El escenario pesimista tiene el crecimiento exponencial de la distribución de *C. palearis* más drástico de entre los tres escenarios, con un crecimiento de 565%, pasando la distribución del *C. palearis* de 71,740 hectáreas a 405,975 hectáreas para el año 2080 (Cuadro 5). Bajo este escenario se ve como en la segunda mitad del siglo la distribución de *C. palearis* acapara la mayor parte del Valle de Motagua (Figura 9. C) y para el año 2080 (Figura 9. D) su distribución también para a Sierra de las minas y la cadena montañosa del sur del valle.

**Cuadro 5.** Cambios en cantidad de hectáreas para *C. palearis* para el escenario SSP5-8.5 del año 2020 a 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75.

	Área Total (ha)
<b>Distribución actual</b>	71,740
<b>Años 2021-2040</b>	170,762
<b>Años 2041-2060</b>	259,994
<b>Años 2061-2080</b>	405,975

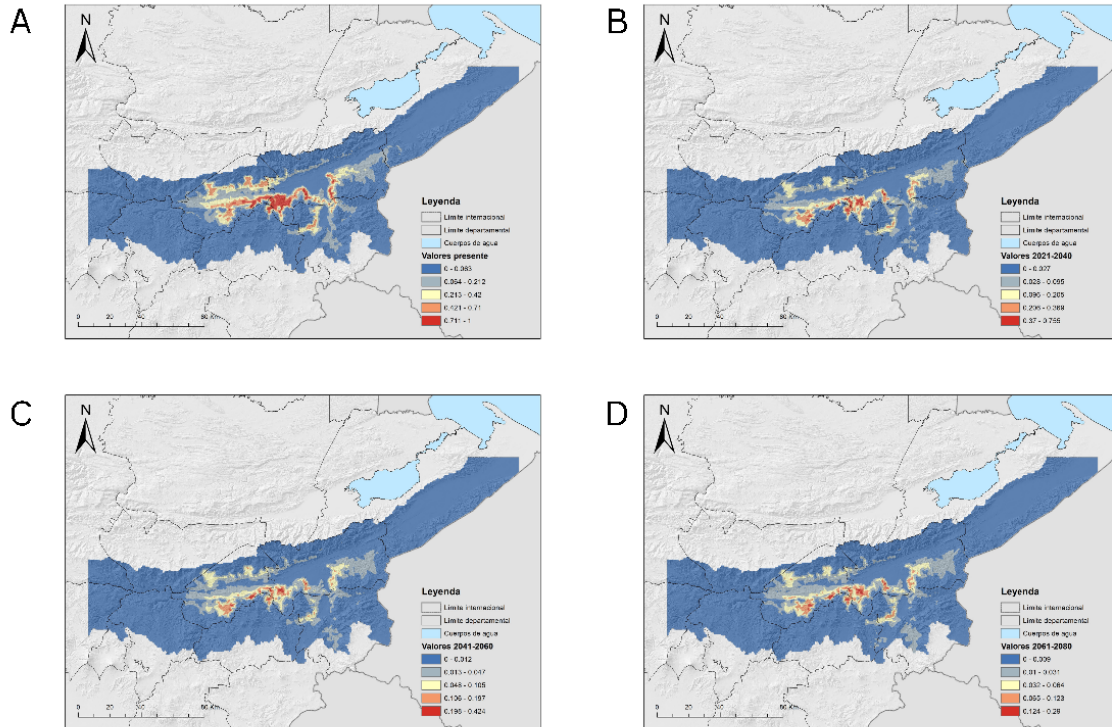
**Cuadro 6.** Variables ambientales seleccionadas para *H. charlesbogerti* para la modelación de la distribución en los tres escenarios SSP1-2.6 (escenario optimista), SSP2-4.5 (escenario medio) y SSP5-8.5 (escenario pesimista) y los porcentajes de contribución e importancia de permutación.

Variables	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
<b>Rango diurno medio</b>	32.7	3.9
<b>Isotermalidad</b>	22.9	0.9
<b>Temperatura mínima del mes más frío</b>	21.4	5.2
<b>Precipitación del mes más seco</b>	12.1	39.6
<b>Precipitación del trimestre más seco</b>	6	12
<b>Precipitación del trimestre más cálido</b>	5	38.5

Se seleccionaron un total de 6 variables (Cuadro 6) para *H. charlesbogerti*, que tuvieran una importancia de permutación mayor al 10 y/o un porcentaje de contribución igual o mayor a 75%. Para *H. charlesbogerti* el porcentaje de contribución dio un total de 85.1%. Estas 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 0.982, lo que indica que la capacidad predictiva de los modelos es específica y tiene una precisión del 98%.

Se seleccionó una escala de color de azul a rojo para mostrar el porcentaje de presencia de la especie, donde rojo muestra la mayor probabilidad de ocurrencia para *H. charlesbogerti*. El rojo muestra un valor más cercano a 1 mientras que el azul muestra un número mucho más cercano a 0. Utilizando el mapa de ocurrencias (Figura 6.B) se realizó el corte del área para delimitar el área, obteniendo un área estimada de 146,835 hectáreas (Cuadro 7). Las variables que se utilizaron fueron rango diurno medio, isotermalidad, temperatura mínima del mes más frío, precipitación del mes más seco, precipitación del trimestre más seco y precipitación del trimestre más cálido.

Se ve una disminución de las hectáreas en los tres escenarios para esta especie, con el escenario pesimista teniendo el mejor resultado para *H. charlesbogerti* para el año 2080, ya que se muestra que tendrán 11,984 hectáreas, a comparación de los resultados del escenario optimista y medio para los mismos años.

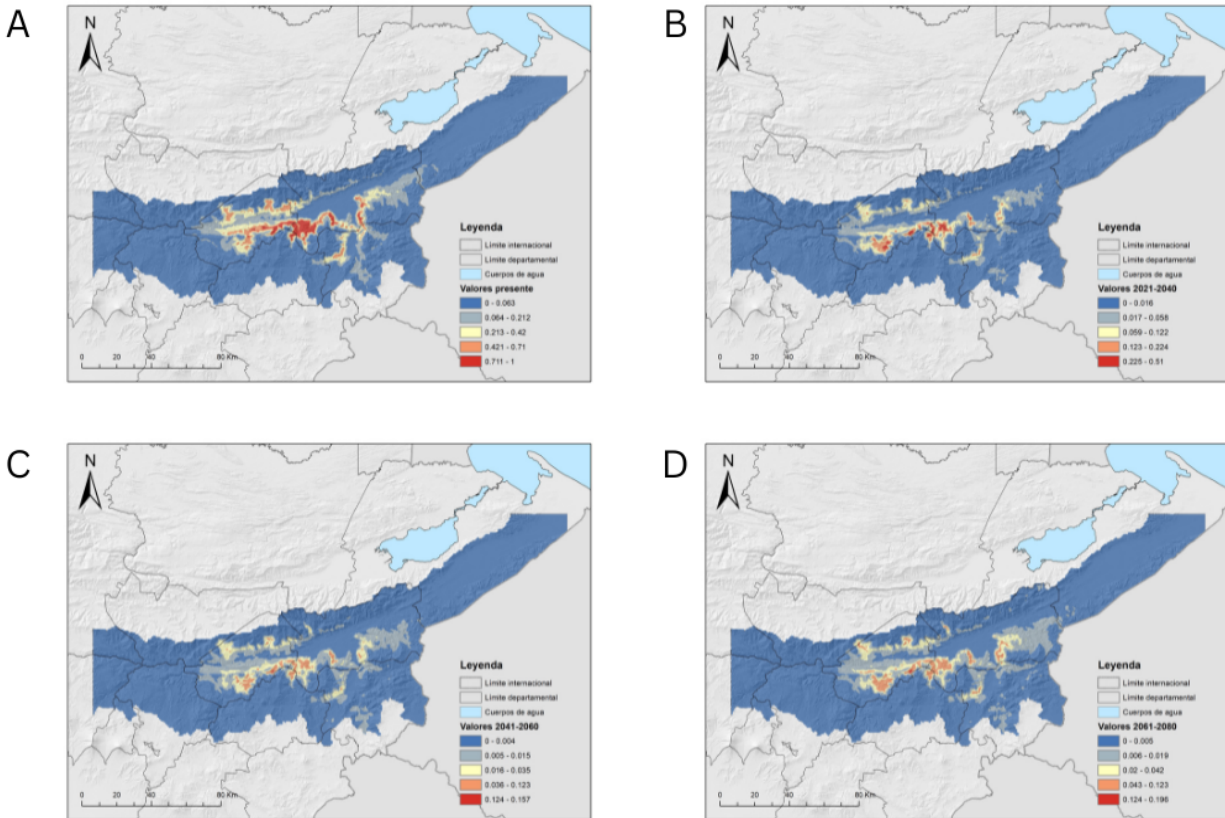


**Figura 10.** A. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para el tiempo presente. B. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para los años 2021 a 2040 en el escenario optimista SSP1-2.6. C. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para los años 2041 a 2060 en el escenario optimista SSP1-2.6. D. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para los años 2061 a 2080 en el escenario optimista SSP1-2.6.

Se puede ver que la distribución de *H. charlesbogerti* pierde gran parte de su distribución original desde la primera mitad de siglo, con más de 100 hectáreas perdidas para 2040 (Cuadro 7). Para el escenario optimista se ve una disminución en las hectáreas quedando el 2% de la distribución original, pasando de 146,835 hectáreas actualmente a 3,390 hectáreas para el año 2080 (Cuadro 7). En la figura 10.D se ve cómo para el 2080, *H. charlesbogerti* perdió su distribución en la Sierra de las Minas, aglomerándose al sur del Valle de Motagua.

**Cuadro 7.** Cambios en cantidad de hectáreas para *H. charlesbogerti* para el escenario SSP1-2.6 del año 2020 a 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75.

	Área total (ha)
<b>Distribución actual</b>	146,835
<b>Años 2021-2040</b>	44,731
<b>Años 2041-2060</b>	13,311
<b>Años 2061-2080</b>	3,390

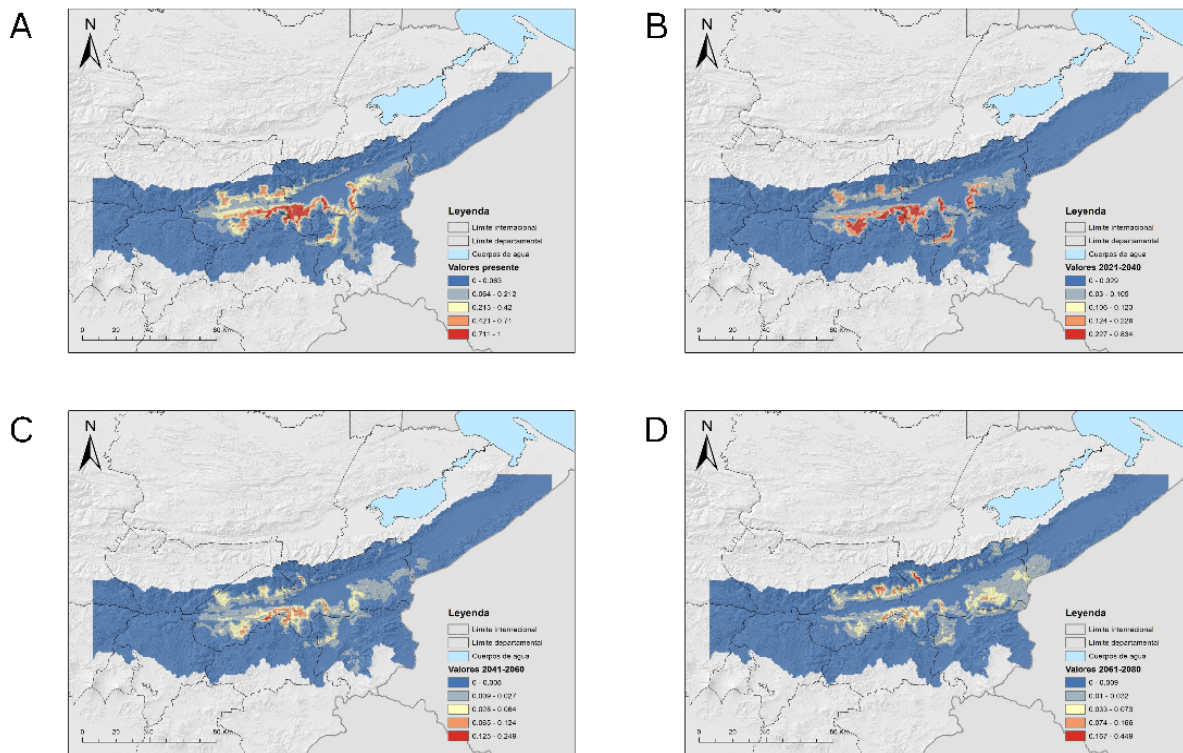


**Figura 11.** A. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para el tiempo presente. B. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para los años 2021 a 2040 en el escenario medio SSP2-4.5. C. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para los años 2041 a 2060 en el escenario medio SSP2-4.5. D. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para los años 2061 a 2080 en el escenario medio SSP2-4.5.

Para el escenario medio se espera una disminución de la distribución quedando solo el 1% de la distribución original para el año 2080 quedando solo 2,810 hectáreas. Este es el escenario con la disminución más drástica entre los tres escenarios, ya que para los años 2041-2060, la distribución del heloderma pasa a ser solamente 165 hectáreas, quedando solamente el 0.1% de la distribución original actual (Cuadro 8). En este escenario se ve cómo, aunque entre los años 2021-2040 y 2041-2060, *H. charlesbogerti* ya no tiene posible presencia en la Sierra de las Minas, para los años 2061-2080, esta cadena montañosa vuelve a formar parte de la distribución de la especie.

**Cuadro 8.** Cambios en cantidad de hectáreas para *H. charlesbogerti* para el escenario SSP2-4.5 del año 2020 a 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75.

	Área total (ha)
<b>Distribución actual</b>	146,835
<b>Años 2021-2040</b>	71,150
<b>Años 2041-2060</b>	165

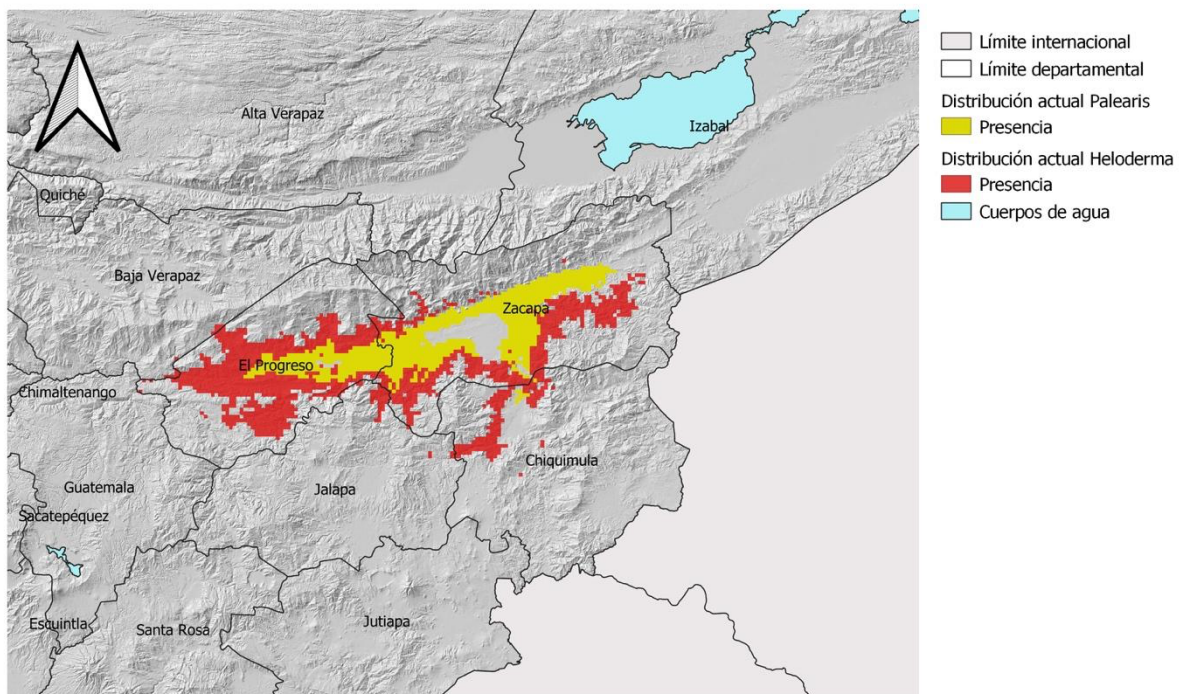


**Figura 12.** A. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para el tiempo presente. B. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para los años 2021 a 2040 en el escenario pesimista SSP5-8.5. C. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para los años 2041 a 2060 en el escenario pesimista SSP5-8.5. D. Mapa de ocurrencia para *H. charlesbogerti* para los años 2061 a 2080 en el escenario pesimista SSP5-8.5.

Bajo el escenario pesimista se espera una disminución de la distribución original pero lo que se puede ver es que a pesar de ser el escenario pesimista, este es el que tiene un mejor resultado para la especie ya que para el año 2080 quedando 8% de la distribución original (Cuadro 9), a diferencia del 2% del escenario optimista y el escenario medio con un 1% de las distribución final para el año 2080. En ese escenario se puede ver una migración de la especie fuera de la parte más baja del valle hacia el norte y el sur, con gran parte de la población en la cadena montañosa al sur del valle para el 2080 (Figura 12.D). También se puede ver que antes de que la distribución disminuya hay un aumento repentino (Figura 12.B), aumentando a 178,775 hectáreas entre los años 2021-2040, antes de bajar a 5,621 hectáreas (Cuadro 9).

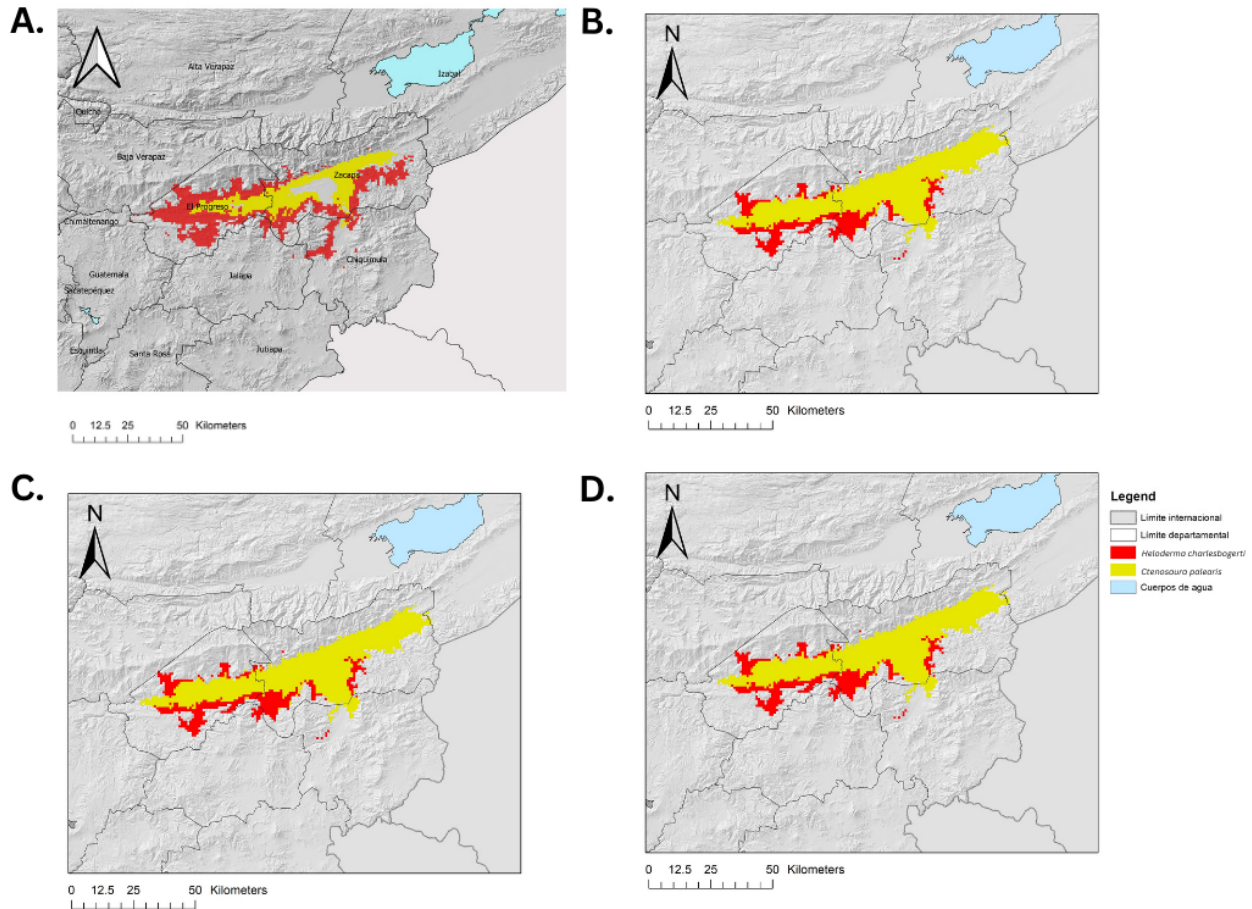
**Cuadro 9.** Cambios en cantidad de hectáreas para *H. charlesbogerti* para el escenario SSP5-8.5 del año 2020 a 2080 bajo la probabilidad de ocurrencia mayor a 0.75.

	Área total (ha)
<b>Distribución actual</b>	146,835
<b>Años 2021-2040</b>	178,775
<b>Años 2041-2060</b>	5,621
<b>Años 2061-2080</b>	11,984



**Figura 13.** Mapa de probabilidad de ocurrencia mayor al 75% para el mapa de traslape y desfase entre *C. palearis* y *H. charlesbogerti* en tiempo presente.

En base a los mapas de ocurrencia de las Figuras 7 y 10 se realizaron los mapas de traslape entre las dos especies, *C. palearis* y *H. charlesbogerti*, para los tres escenarios. Actualmente ambas especies comparten 25,935 hectáreas del Valle de Motagua.

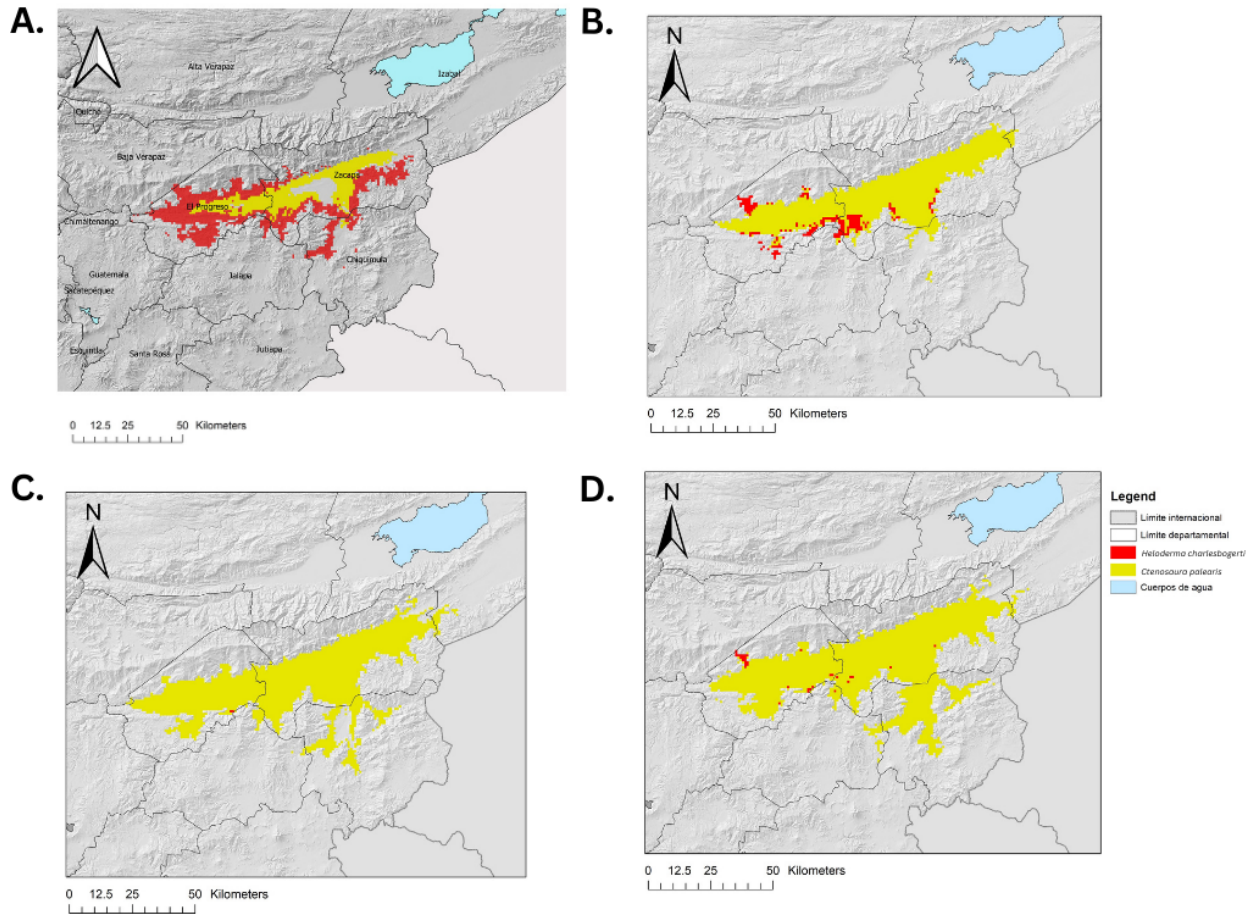


**Figura 14.** A. Mapa de traslape de la distribución actual de *C. palearis* y *H. charlesbogerti*. B. Mapa de traslape entre la distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* para los años 2021-2040 bajo el escenario optimista SSP1-2.6. C. Mapa de traslape entre la distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* para los años 2041-2060 bajo el escenario optimista SSP1-2.6. D. Mapa de traslape entre la distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* para los años 2021-2040 bajo el escenario optimista SSP1-2.6.

Bajo el escenario optimista, SSP1-2.6, habrá 3,705 hectáreas de traslape entre las dos especies (Cuadro 10). *H. charlesbogerti* se encuentra principalmente en los bordes del Valle de Motagua por lo que sus distribuciones corresponden casi en su totalidad en los bordes de la distribución de *C. palearis* (Figura 14).

**Cuadro 10.** Cantidad de hectáreas de traslape entre *C. palearis* y *H. charlesbogerti* en el escenario SSP1-2.6 para los años 2020 a 2080.

	Ha
Presente	25,935
2021-2040	52,856
2041-2060	13,010
2061-2080	3,705

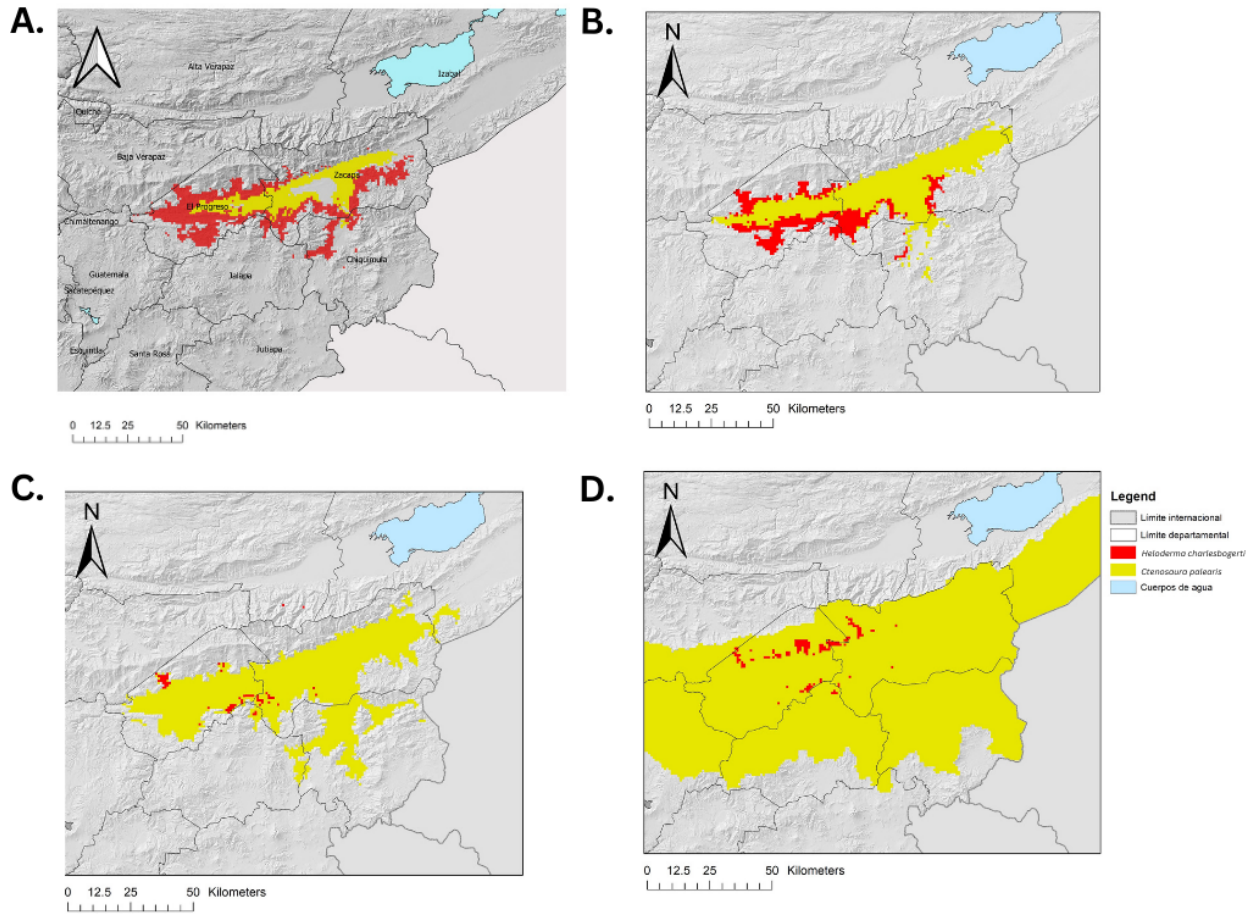


**Figura 15.** A. Mapa de traslape entre la distribución actual de *C. palearis* y *H. charlesbogerti*. B. Mapa de traslape entre la distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* para los años 2021-2040 bajo el escenario medio SSP2-4.5. C. Mapa de traslape entre la distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* para los años 2041-2060 bajo el escenario medio SSP2-4.5. D. Mapa de traslape entre la distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* para los años 2021-2040 bajo el escenario medio SSP2-4.5.

Bajo el escenario medio, SSP2-4.5, habrá 2,929 hectáreas de traslape entre *C. palearis* y *H. charlesbogerti* (Cuadro 11). En el Cuadro 11 se puede ver que entre los años 2041 – 2060 es el escenario con menos hectáreas de los tres escenarios, con 165 hectáreas de traslape. En la Figura 15 se ve como el traslape entre las dos especies migra del sur al norte del valle.

**Cuadro 11.** Cantidad de hectáreas de traslape entre *C. palearis* y *H. charlesbogerti* en el escenario SSP2-4.5 para los años 2020 a 2080.

	Ha
Presente	25,935
2021-2040	18,439
2041-2060	165
2061-2080	2,929



**Figura 16.** A. Mapa de traslape entre la distribución actual de *C. palearis* y *H. charlesbogerti*. B. Mapa de traslape entre la distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* para los años 2021-2040 bajo el escenario pesimista SSP5-8.5. C. Mapa de traslape entre la distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* para los años 2041-2060 bajo el escenario pesimista SSP5-8.5. D. Mapa de traslape entre la distribución de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* para los años 2021-2040 bajo el escenario pesimista SSP5-8.5.

Bajo el escenario pesimista, SSP5-8.5, habrá un traslape de 24,126 hectáreas para el 2080 (Cuadro 12). La distribución de *C. palearis* pasa a ser todo el Valle de Motagua y la Sierra de las Minas por lo que las dos especies comparten un 100% de distribución, sin importar la migración de *H. charlesbogerti* del sur del valle al norte, más cerca de la Sierra de las Minas (Figura 15).

**Cuadro 12.** Cantidad de hectáreas de traslape entre *C. palearis* y *H. charlesbogerti* en el escenario SSP5-8.5 para los años 2020 a 2080.

	Ha
Presente	25,935
2021-2040	56,007
2041-2060	5,859
2061-2080	24,126

## VIII. Discusión

Para todos los modelos utilizados el programa dio valor de AUC de 0.983 para *C. palearis* y 0.987 para *H. charlesbogerti*, por lo que se puede asumir que la capacidad de predicción de ambos modelos es alta. La distribución actual de *C. palearis* cubre aproximadamente 71,740 ha de extensión en el bosque seco del Valle de Motagua de Guatemala. *C. palearis* cubre menos área a la distribución actual de *H. charlesbogerti*, que cuenta con una distribución de 146,835 ha en el bosque seco. Esto puede deberse a que *H. charlesbogerti* necesita cubrir una mayor extensión de terreno para poder encontrar suficiente alimento, refugio, pareja, lugares de termorregulación y rutas de escape durante la temporada de lluvia, cuando esta fuera del periodo de estibación (Ariano-Sánchez, & Salazar, 2015). A diferencia de *H. charlesbogerti*, *C. palearis* mantiene un ámbito de hogar mucho más pequeño (Gil, 2016) por lo que aunque tiene una población mayor su distribución actual es más reducida.

Actualmente hay 25,935 hectáreas de traslape entre las dos especies (Figura 13). *C. palearis* se distribuye principalmente en la parte baja del Valle del Motagua mientras que la distribución principal de *H. charlesbogerti* en comenzando las zonas altas del bosque seco. Esta distribución va de acuerdo con las preferencias de sitio de ambas especies ya que se sabe que *H. charlesbogerti* prefiere el bosque seco alto por la mayor presencia de arbustos y árboles altos que proveen una mayor cobertura del sol y permite mejores temperaturas (Ariano-Sánchez, et al., 2022). Por otro lado *C. palearis* prefiere el bosque seco bajo ya que ahí se encuentra el tuno de órgano, una de las principales fuentes de alimento de la iguana (Gil, 2016; Cotí & Ariano-Sánchez, 2008).

Las variables que más afectaron en la distribución potencial de *C. palearis* son la temperatura mínima del mes más frío y la temperatura mínima del trimestre más frío para los tres escenarios utilizados. Esto puede deberse a que *Ctenorhina* tiene una alta capacidad de termorregularse en ambientes cálidos, incluso en los que sobrepasan la temperatura óptima para estos animales, pero tienen un mayor gasto energético en bajas temperaturas (Valenzuela-Ceballos et al., 2015). Esto puede significar que las temperaturas más frías del año sean las que determinan el comportamiento general de la especie. También puede significar que mientras más aumente la temperatura en los tres escenarios, las temperaturas frías no limiten a la especie en la primera mitad del siglo, y que, en la segunda mitad del siglo, donde parecen haber los cambios más notorios en las tres figuras (Figura 7, 8 y 9), estos meses fríos les permitan aumentar su rango de distribución.

Para el escenario optimista (SSP1-2.6) (Figura 7) no se ve un cambio tan drástico en la distribución de *C. palearis* a pesar de que según el Cuadro 3 se puede ver que la distribución se duplica para el año 2080, aumentando en un 262% de su distribución original. Esto puede deberse a que bajo este escenario se considera que la temperatura va a aumentar, pero va a permanecer por debajo de los 2°C (Nazarenko et al., 2022), por lo que los cambios en el bosque seco no serían tan pronunciados y se mantendría con pocos cambios.

En los escenarios medio y pesimista (Figura 8 y Figura 9) se ve un crecimiento exponencial para la segunda mitad del siglo, donde se puede ver como para el año 2080, en ambos casos, la distribución de *C. palearis* llega hasta la sierra de las minas y a la cadena montañosa del sur del

Valle de Motagua. En el escenario medio (SSP2-4.5) *C. palearis* aumenta su distribución 337% de su distribución actual mientras que en el escenario pesimista (SSP5-8.5) aumenta su distribución 565% de su distribución actual. Ambos escenarios pueden indicar un cambio drástico, no solo en la temperatura y la precipitación del Valle de Motagua, pero también un cambio del bosque seco, donde posiblemente haya una migración del bosque seco alto a las cadenas montañosas del norte y del sur del valle, convirtiendo la mayor parte del valle en bosque seco bajo, un ambiente más acorde con las necesidades de la iguana. De acuerdo con estudios realizados con *Ctenorhina oaxacana* en México, *Ctenosaura* parece tener múltiples métodos para termo regularse por lo que es una especie relativamente dinámica al momento de aguantar altas temperaturas. El estudio también señaló que altas temperaturas ambientales también parece favorecer a estas iguanas ya que aumentan su capacidad metabólica (Valenzuela-Ceballos et al., 2015).

En el caso de *H. charlesbogerti*, las variables con mayor impacto para los modelos son rango diurno, isothermalidad y temperatura mínima del mes más frío. Estas variables pueden explicar lo que se ve en las Figuras 10, 11 y 12, donde las distribuciones de *H. charlesbogerti* en todos los escenarios se ven disminuidas para el año 2080. A pesar de que las temperaturas del escenario optimistas (SSP1-2.6) no sobrepasa los 2°C, la distribución de *H. charlesbogerti* disminuye hasta el 2% de su distribución original para el año 2080. Esto puede deberse a que, ya que la temperatura no aumenta tan drásticamente y en general no hay cambios extremos en el bosque seco, no hay una migración en la distribución original. En la Figura 10, donde se muestra la distribución del *H. charlesbogerti* en el escenario optimista, su distribución no parece moverse, solo se ve como disminuye a lo largo de los años.

En el escenario medio (SSP2-4.5) para *H. charlesbogerti* es donde se ve una disminución caso completa en su distribución. Para el año 2040 solo queda el 0.1% de su distribución original, con tan solo 165 hectáreas. Para este escenario, la temperatura se espera que aumente 2°C – 2.9°C y que haya una disminución en la precipitación de 0.2mm al día. Bajo este escenario también se espera que para el año 2050, la temperatura del medio ambiente haya aumentado 1.5°C (Nazarenko et al., 2022), lo que podría afectar al heloderma. Para el año 2080 ya se puede ver un cambio en su distribución con presencia de la especie en la Sierra de las Minas y en la cadena montañosa del sur del valle, donde el bosque seco alto puede estar comenzando a tomar más espacio, por cambios en la precipitación y el cambio en la temperatura.

Como se vio en estudios similares realizados con *H. alvarezii* en México, el escenario pesimista tiene el posible mejor resultado para la especie, ya que a pesar de que para el año 2080 solo permanece el 8% de la distribución original, es favorable a comparación del 2% del escenario optimista y el 1% del escenario medio. Siendo posible que, con el aumento de temperatura, ya que se espera que bajo el escenario pesimista (SSP5-8.5) haya un aumento de 4.0°C – 4.9°C en la temperatura global, el heloderma se vea forzado fuera del Valle de Motagua a las cadenas montañosas que rodean el Valle.

El *H. charlesbogerti* depende de la iguana *C. palearis* para poder sobrevivir las primeras semanas después del periodo de estivación y como se puede ver en las Figuras 14, 15 y 16, la distribución de *H. charlesbogerti* no presente un desfase con relación a la distribución de *C. palearis*. Se puede ver como *H. charlesbogerti* siempre se mantiene en el territorio de la iguana, pero considerando el crecimiento exponencial de *C. palearis* en los tres escenarios, no se puede

concluir si el desfase no ocurre por casualidad y las dos especies comparten espacio por el potencial crecimiento de la iguana y la disminución de la población de *Helodermas*. Esto permite que *H. charlesbogerti*, en los tres escenarios, pueda continuar dependiendo de *C. palearis* para su sobrevivencia después de los meses cálidos del bosque seco. Con estos nuevos posibles nuevos territorios para las dos especies, se debe de considerar potenciales nuevas amenazas, como la aparición de nuevos depredadores por la migración de otros animales a las cadenas montañosas, donde las temperaturas sean más adecuadas (Walther et al., 2002).

## IX. Conclusión

La distribución actual de *C. palearis* es de 71,740 hectáreas y se espera que bajo los escenarios utilizados, en los próximos años aumente su distribución. Bajo el escenario optimista (SSP1-2.6) se espera que esta especie aumente su distribución 262%, bajo el escenario medio (SSP2-4.5) se espera un aumento de 337% y bajo el escenario pesimista (SSP5-8.5) se espera un aumento de 565% de la distribución original para el año 2080.

La distribución actual de *H. charlesbogerti* es de 146,835 hectáreas y bajo los tres escenarios para las modelaciones se espera que su distribución disminuya. Bajo el escenario optimista (SSP1-2.6) se espera que esta especie disminuya su distribución 2%, bajo el escenario medio (SSP2-4.5) se espera una disminución al 1% de la distribución original y bajo el escenario pesimista (SSP5-8.5) se espera una disminución al 8% de la distribución original para el año 2080.

La relación depredador–presa entre ambas especies se verá afectada por la liberación competitiva de depredadores en la mayoría de la distribución futura de *C. palearis* y *H. charlesbogerti* por migración de especies a nuevas altitudes, lo que puede poner bajo estrés la relación entre estas dos especies.

## X. Literatura citada

- Ariano, D. (2003). *Distribución e historia natural del Escorpión, Heloderma horridum charlesbogerti Campbell y Vannini, (Sauria: Helodermatidae) en Zacapa, Guatemala y caracterización de su veneno* (Tesis de licenciatura) Universidad del Valle de Guatemala.
- Ariano-Sánchez, D., Gil-Escobedo, J., del Valle, E. & Pasachnik, S.A. (2019). *Ctenosaura palearis*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019: e.T44192A129419077. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T44192A129419077.en>. Accessed on 08 August 2023.
- Ariano-Sánchez, D. (2006). *The Guatemalan Beaded Lizard: Endangered Inhabitant of a Unique Ecosystem*. *Iguana* 13: 178–183.
- Ariano-Sánchez, D. (2007). Distribución potencial, ámbito de hogar y patrones de comportamiento del lagarto escorpión *Heloderma horridum charlesbogerti* (Sauria: Helodermatidae) con notas sobre el primer reporte de caso de envenenamiento por esta especie en Guatemala. (Tesis de maestría) Universidad de Costa Rica.
- Ariano-Sánchez, D., Mortensen, R. M., Reinhardt, S., & Rosell, F. (2020). Escaping drought: Seasonality effects on home range, movement patterns and habitat selection of the Guatemalan Beaded Lizard. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01178. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01178>
- Ariano-Sánchez, D. (2021). *Plan de monitoreo del bosque seco en Guatemala* (1.a ed.). INAB
- Ariano-Sánchez, D., Mortensen, R. M., Wilson, R. P., Bjureke, P., Reinhardt, S., & Rosell, F. (2022). Temperature and barometric pressure affect the activity intensity and movement of an endangered thermoconforming lizard. *Ecosphere*, 13(3). <https://doi.org/10.1002/ecs2.3990>

- Ariano-Sánchez, D., & Salazar, G. (2015). *Spatial ecology of the endangered Guatemalan Beaded Lizard Heloderma charlesbogerti (Sauria: Helodermatidae), in a tropical dry forest of the Motagua Valley, Guatemala*. 2(1). *Mesoamerican Herpetology*, 2(1), 12.
- Austin, M. P., & Van Niel, K. P. (2011). Improving species distribution models for climate change studies: Variable selection and scale: Species distribution models for climate change studies. *Journal of Biogeography*, 38(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02416.x>
- Beck, D. (2005). *Biology of Gila Monsters and Beaded Lizards*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity: Biodiversity and climate change. *Ecology Letters*, 15(4), 365–377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Benítez-Malvido, J., Tapia, E., Suazo, I., Villaseñor, E., & Alvarado, J. (2003). Germination and Seed Damage in Tropical Dry Forest Plants Ingested by Iguanas. *Journal of Herpetology*, 37(2), 301–308. [https://doi.org/10.1670/0022-1511\(2003\)037\[0301:GASDIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1670/0022-1511(2003)037[0301:GASDIT]2.0.CO;2)
- Bogert, C., M., & Martín del Campo, R. (1956). *The gila monster and its allies: The relationships, habits, and behavior of the lizards of the family Helodermatidae*. New York : [American Museum of Natural History], <http://hdl.handle.net/2246/1232>
- Braunisch, V., Coppes, J., Arlettaz, R., Suchant, R., Schmid, H., & Bollmann, K. (2013). Selecting from correlated climate variables: A major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography*, 36(9), 971–983. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00138.x>

- Buckley, L. J., & Axtell, R. W. (1997). Evidence for the Specific Status of the Honduran Lizards Formerly Referred to *Ctenosaura palearis* (Reptilia: Squamata: Iguanidae). *Copeia*, 1997(1), 138. <https://doi.org/10.2307/1447849>
- Cahill, A. E., Aiello-Lammens, M. E., Fisher-Reid, M. C., Hua, X., Karanewsky, C. J., Yeong Ryu, H., Sbeglia, G. C., Spagnolo, F., Waldron, J. B., Warsi, O., & Wiens, J. J. (2013). How does climate change cause extinction? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1750), 20121890. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1890>
- Campbell, J. A., & Vannini, J. P. (1988). A New Subspecies of Beaded Lizard, *Heloderma horridum*, from the Motagua Valley of Guatemala. *Journal of Herpetology*, 22(4), 457. <https://doi.org/10.2307/1564340>
- Carruth, W. C. I. (2015). *The Reproductive Cycle of the Guatemalan Beaded Lizard, Heloderma charlesbogerti*. (Graduate paper) Georgia Southern University
- Chinchilla Putzeys, C. T. (2023). Distribución de la iguana de cola espinosa yucateca (*Cachryx defensor*, COPE 1866) en Guatemala y sus cambios bajo escenarios de cambio climático. (Tesis de licenciatura) Universidad del Valle de Guatemala.
- Colwell, R. K., Dunn, R. R., & Harris, N. C. (2012). Coextinction and Persistence of Dependent Species in a Changing World. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43(1), 183–203. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110411-160304>
- Cotí, P., & Ariano-Sánchez, D. (2008). Ecology and traditional use of the Guatemalan Black Iguana (*Ctenosaura palearis*) in the dry forests of the Motagua Valley, Guatemala. *Iguana* 15: 142–149.
- Domínguez-Vega, H., Monroy-Vilchis, O., Balderas-Valdivia, C. J., Gienger, C. M., & Ariano-Sánchez, D. (2012). Predicting the potential distribution of the beaded lizard and

- identification of priority areas for conservation. *Journal for Nature Conservation*, 20(4), 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.04.003>
- Dunn, R. R., Harris, N. C., Colwell, R. K., Koh, L. P., & Sodhi, N. S. (2009). The sixth mass coextinction: Are most endangered species parasites and mutualists? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1670), 3037–3045. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0413>
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. C. M. M., Peterson, A. T., . . . Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Evans, L. (1951). Field study of the social behavior of the black lizard, *Ctenosaura pectinata*. The American Museum of Natural History, 26.
- Fry, B. G., Vidal, N., Norman, J. A., Vonk, F. J., Scheib, H., Ramjan, S. F. R., Kuruppu, S., Fung, K., Blair Hedges, S., Richardson, M. K., Hodgson, Wayne. C., Ignjatovic, V., Summerhayes, R., & Kochva, E. (2006). Early evolution of the venom system in lizards and snakes. *Nature*, 439(7076), 584–588. <https://doi.org/10.1038/nature04328>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

- Gil, L. J. G. (2016). *Ambito de hogar de la iguana de órgano Ctenosaura palearis (Sauria: Iguanidae) en el bosque tropical estacionalmente seco de Cabañas, Zacapa, Guatemala*. Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala. 96pp.
- Gómez-Cruz, A., Santos-Hernández, N. G., Cruz, J. A., Ariano-Sánchez, D., Ruiz-Castillejos, C., Espinoza-Medinilla, E. E., & De Fuentes-Vicente, J. A. (2021). Effect of climate change on the potential distribution of *Heloderma alvarezii* (Squamata, Helodermatidae). *ZooKeys*, 1070, 1–12. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1070.69186>
- Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., Elith, J., Gordon, A., Kujala, H., Lentini, P. E., McCarthy, M. A., Tingley, R., & Wintle, B. A. (2015). Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications: Matching distribution models to applications. *Global Ecology and Biogeography*, 24(3), 276–292. <https://doi.org/10.1111/geb.12268>
- Janzen, D. (1998). Tropical dry forest. In *Biodiversity* (p. 535).
- Jetz, W., Wilcove, D. S., & Dobson, A. P. (2007). Projected Impacts of Climate and Land-Use Change on the Global Diversity of Birds. *PloS Biology*, 5(6), e157. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050157>
- Jiménez-Valverde, A., & Lobo, J. M. (2007). *Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence*. *Acta Oecologica*, 31(3), 361–369. doi:10.1016/j.actao.2007.02.00
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4(1), 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>

- Köhler, G. (2003). *Reptiles of Central America*. (2a ed.).
- Köhler, Streit, & Schroth. (2000). Systematics of the *Ctenosaura* group of lizards (Reptilia: Sauria: Iguanidae). *Amphibia-Reptilia*, 21(2), 177–191.  
<https://doi.org/10.1163/156853800507363>
- Kramer-Schadt, S., Niedballa, J., Pilgrim, J. D., Schröder, B., Lindenborn, J., Reinfelder, V., Stillfried, M., Heckmann, I., Scharf, A. K., Augeri, D. M., Cheyne, S. M., Hearn, A. J., Ross, J., Macdonald, D. W., Mathai, J., Eaton, J. A., Marshall, A. J., Semiadi, G., Rustam, R., . . . Wilting, A. (2013). The importance of correcting for sampling bias in MaxEnt species distribution models. *Diversity and Distributions*, 19(11), 1366-1379.  
<https://doi.org/10.1111/ddi.12096>
- Lee, Julian. (2000). *A Field Guide to the Amphibians and Reptiles of the Maya World*. Ithaca, NY : Cornell University Press. 402 p.
- Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A. T., & Pennington, R. T. (2011). Neotropical Seasonally Dry Forests: Diversity, Endemism, and Biogeography of Woody Plants. In R. Dirzo, H. S. Young, H. A. Mooney, & G. Ceballos (Eds.), *Seasonally Dry Tropical Forests* (pp. 3–21). Island Press/Center for Resource Economics. [https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7\\_1](https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7_1)
- López, L., & Gonzáles-Romero, A. (2002). Alimentación de la iguana verde *Iguana iguana* (Squamata: Iguanidae) en La Mancha, Veracruz, México. *Acta zoológica mexicana (N.S.)*, 85, 139–152. <https://doi.org/10.21829/azm.2002.85851818>
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V., & Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491–505. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>

- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, *36*(10), 1058-1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Nazarenko, L., Tausnev, N., Russell, G. L., Rind, D., Miller, R., Schmidt, G. A., Bauer, S. E., Kelley, M. E., Ruedy, R., Ackerman, A. S., Aleinov, I., Bauer, M., Bleck, R., Canuto, V. M., Cesana, G., Cheng, Y., Clune, T., Cook, B. I., Cruz, C. A. D. S., . . . Yao, M. (2022). Future climate change under SSP emission scenarios with GISS-E2.1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, *14*(7). <https://doi.org/10.1029/2021ms002871>
- Pasachnik, S. A., & Ariano, D. (2010). *CITES Appendix II Listing for the Ctenosaura palearis Clade: Developing Conservation Policies in Central America*. *17*(3), 4.
- Pasachnik, S. A., Montgomery, C. E., Ruyle, L. E., Corneil, J. P., & Antúnez, E. E. (2012). Morphological and demographic analysis of the black – chested spiny-tailed iguana, *Ctenosaura melanosterna*, across their range: Implications for population level management. *Herpetological Conservation and Biology*.
- Pennington, R. T., Lehmann, C. E. R., & Rowland, L. M. (2018). Tropical savannas and dry forests. *Current Biology*, *28*(9), R541–R545. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.014>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, *31*(2), 161-175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>

- Pimm, S. L., & Raven, P. (2000). Extinction by numbers. *Nature*, 403(6772), 843–845.  
<https://doi.org/10.1038/35002708>
- Prieto-Torres, D. A., Nori, J., Rojas-Soto, O. R., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2021). Challenges and opportunities in planning for the conservation of Neotropical seasonally dry forests into the future. *Biological Conservation*, 257, 109083.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109083>
- Radomski, T., Beamer, D., Babineau, A., Wilson, C., Pechmann, J., & Kozak, K. H. (2022). Finding what you don't know: Testing SDM methods for poorly known species. *Diversity and Distributions*, 28(9), 1769–1780. <https://doi.org/10.1111/ddi.13536>
- Reiserer, R. S., Schuett, G. W., & Beck, D. D. (2013). *Taxonomic reassessment and conservation status of the beaded lizard, Heloderma horridum (Squamata: Helodermatidae)*. 7(1). *Amphib Reptile Conserv.*, 7(1): 74–96.
- Scherler, D., Bookhagen, B., & Strecker, M. R. (2011). Spatially variable response of Himalayan glaciers to climate change affected by debris cover. *Nature Geoscience*, 4(3), 156–159.  
<https://doi.org/10.1038/ngeo1068>
- Stoner, K. E., & Timm, R. M. (2011). Seasonally Dry Tropical Forest Mammals: Adaptations and Seasonal Patterns. In R. Dirzo, H. S. Young, H. A. Mooney, & G. Ceballos (Eds.), *Seasonally Dry Tropical Forests* (pp. 85–106). Island Press/Center for Resource Economics. [https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7\\_6](https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7_6)
- Thackeray, S. J., Henrys, P. A., Hemming, D., Bell, J. R., Botham, M. S., Burthe, S., Helaouet, P., Johns, D. G., Jones, I. D., Leech, D. I., Mackay, E. B., Massimino, D., Atkinson, S., Bacon, P. J., Brereton, T. M., Carvalho, L., Clutton-Brock, T. H., Duck, C., Edwards, M.,

- ... Wanless, S. (2016). Phenological sensitivity to climate across taxa and trophic levels. *Nature*, 535(7611), 241–245. <https://doi.org/10.1038/nature18608>
- Valenzuela-Ceballos, S., Castañeda, G., Rioja-Paradela, T., Carrillo-Reyes, A., & Bastiaans, E. (2015). Variation in the thermal ecology of an endemic iguana from Mexico reduces its vulnerability to global warming. *Journal of Thermal Biology*, 48, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.12.011>
- Vásquez-Contreras, A., & Ariano-Sánchez, D. (2016). Endozoochory by the Guatemalan Black Iguana, *Ctenosaura palearis* (Iguanidae), as a germination trigger for the Organ Pipe Cactus *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae). *Mesoamerican Herpetology* 3(3).
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389–395. <https://doi.org/10.1038/416389a>