

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
Facultad de Ciencias y Humanidades



**Comparación de utilidad de fotografías del área cefálica y del área cloacal  
por algoritmo I3S para el reconocimiento individual y monitoreo  
poblacional del lagarto escorpión *Heloderma charlesbogerti* en el Valle del  
Motagua, Guatemala**

**Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por  
Luis Rodrigo Morales Santiago  
para optar por el grado académico de Licenciado en Biología**

**Guatemala**

**2024**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
Facultad de Ciencias y Humanidades



**Comparación de utilidad de fotografías del área cefálica y del área cloacal por algoritmo I3S para el reconocimiento individual y monitoreo poblacional del lagarto escorpión *Heloderma charlesbogerti* en el valle del Motagua, Guatemala**

**Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por**  
**Luis Rodrigo Morales Santiago**  
**para optar por el grado académico de Licenciado en Biología**

**Guatemala**

**2024**

**Vo. Bo.**

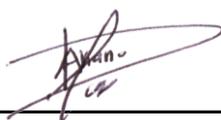
(f)   
\_\_\_\_\_

**PhD. Daniel Ariano Sánchez (Asesor principal)**

**Tribunal examinador**

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

**MSc. Gabriela Alfaro Marroquín**

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

**PhD. Daniel Ariano Sánchez**

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

**MSc. José Monzón Sierra**

**Fecha de aprobación del examen de graduación:**

**Guatemala 19 de enero de 2024**

## Prefacio

Desde que empecé la carrera de Biología me interesé en los reptiles y también los anfibios, lo que me llevó a involucrarme e informarme del manejo de estos animales en investigación. Por esto me di cuenta de que en repetidas ocasiones se lastimaba a los animales para captura- recaptura. En 2019 tuve la oportunidad de estar en el parque Nacional Cusuco en Honduras y de conocer de primera mano un proyecto que buscaba la foto identificación de ranas utilizando patrones en los ojos; a partir de eso, no ha salido de mi cabeza el uso de la fotografía con esta finalidad, siendo la fotografía de otra de mis pasiones en el estudio de reptiles.

Mi idea inicial era trabajar con *Bothriechis aurifer*, pero el hecho de que fueran tan escasas dificultó llegar al número mínimo necesario de individuos para poner a prueba el método de foto identificación. Al conversar con mi asesor principal Daniel Ariano Sánchez y con otro de mis asesores, Rowland Griffin, aterricé en la idea de trabajar con *Heloderma charlesbogerti*.

Agradezco a los dos asesores anteriormente mencionados, por ayudarme a que mis ideas tomaran forma y se convirtieran en este trabajo que me ayuda a cumplir mi sueño de ser Biólogo. Agradezco también a la Reserva Natural Heloderma, por darme acceso a sus instalaciones y a los individuos que forman parte de sus programas de conservación, así mismo a Gilberto Salazar, por su apoyo en el manejo a los mismos, mientras que las fotografías eran tomadas por mí persona.

Agradezco infinitamente a mis padres Rodolfo Morales y Mónica Santiago por darme apoyo incondicional y por confiar en mí durante este proceso. Agradezco a mi hermano Miguel Morales, quien también me dio su apoyo y fue un mentor, tanto dentro del departamento como en la vida diaria.

Agradezco a mi novia Andrea Vega por darme ánimos para continuar y por creer siempre en mí, por ayudarme a calmarme cuando el proceso se volvía demasiado complicado y por acompañarme durante todo el proceso, incluyendo su acompañamiento en campo para la toma de las fotografías.

También agradezco a la Universidad del Valle de Guatemala, al departamento de Biología y su directora Gabriela Alfaro por darme siempre el apoyo necesario para completar mis estudios. Finalmente agradezco a Adrián Gil por apoyarme y permitirme finalizar mi carrera.

## Contenido

Prefacio.....	vi
Lista de cuadros .....	i
Lista de figuras .....	i
Resumen .....	iv
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	3
A. Heloderma charlesbogerti.....	3
B. Distribución de Heloderma charlesbogerti .....	5
C. Métodos de marcaje para identificación de reptiles .....	6
D. Foto-identificación de reptiles .....	8
E. Método APHIS .....	10
F. Método Wild-ID .....	11
G. Método I3S Spot .....	11
III. Justificación.....	12
IV. Objetivos.....	13
V. Hipótesis de trabajo .....	14
VI. Métodos .....	15
H. Procedimientos .....	15
VII. Resultados.....	20
VIII. Discusión.....	32
IX. Conclusiones.....	36
X. Recomendaciones .....	37
XI. Literatura citada .....	38
XII. Apéndices .....	45

### Lista de cuadros

Cuadro 1. Calificaciones de emparejamiento de I3S Spot para cabezas y cloacas. ....	29
Cuadro 2. Cuadro comparativo de las limitaciones de los dos programas no utilizados.....	31

### Lista de figuras

Figura 1. Ejemplo de un individuo de <i>Heloderma charlesbogerti</i> . ....	4
Figura 2. Vista lateral de <i>Heloderma charlesbogerti</i> .....	4
Figura 3. Distribución de <i>Heloderma charlesbogerti</i> según .....	5
Figura 4. Ejemplo de códigos de corte de escamas en la parte ventral.....	6
Figura 5. Marcaje en lagartijas e iguanas utilizando implantes .....	7
Figura 6. Diagrama con el código para marcaje por corte de falanges.....	7
Figura 7. Ejemplo de foto identificación en tortugas, Las letras muestran puntos de referencia mientras que los círculos rojos muestran escamas rodeados de una línea verde que marca el área de interés para la identificación .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 8. Se puede observar el marcaje previo a la foto identificación también utilizado en lagartijas .....	9
Figura 9. Diagrama de flujo generado en BioRender que muestra la metodología de manera visual empezando con el set de fotografía hasta la identificación negativa y positiva de los individuos.....	15
Figura 10. Ejemplo del área a fotografiar en el que se vea desde la parte superior la cabeza, incluyendo el cuello y de la parte ventral cercana a la cloaca.....	18
Figura 11. Se muestra un ejemplo de los puntos de referencia en azul y de las escamas marcadas con círculos y elipses rojos. ....	20
Figura 12. Ejemplo de emparejamientos positivos en dos individuos distintos, en A se muestra un valor de 3.61 y en B 1.51 como los emparejamientos más seguros. ....	22
Figura 13. Gráfico de emparejamiento de dos fotografías diferentes del mismo individuo con dos fotografías distintas pertenecientes a la base de datos. ....	23
Figura 14. Se puede apreciar el área delimitada y las escamas marcadas en la parte de la cloaca, 30 escamas desde lo más cercano de la cloaca hacia arriba. ....	24
Figura 15. Se muestra un emparejamiento en el que tanto la primera opción como la	

segunda pertenecen al mismo individuo. ....	25
Figura 16. Elipses de comparación de las cloacas de dos individuos iguales. ....	26
Figura 17. Ejemplo de un emparejamiento muy cercano con un puntaje de 0.92 .....	27
Figura 18. Emparejamiento con su gráfico de elipses de un individuo no perteneciente a la base de datos.....	28
Figura 19. Diagrama de Caja y bigotes para las calificaciones del emparejamiento según parte del animal. Valores cercanos a cero indican un mejor emparejamiento y poder de identificación correcta. ....	30
Figura 20. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 069*628*043 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	45
Figura 21. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 900215006375121 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	46
Figura 22. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 900215066372831 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	47
Figura 23. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 054*870*551 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	48
Figura 24. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 054*870*531 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	49
Figura 25. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 2008238000617360 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior....	50
Figura 26. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 900215066372829 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	51
Figura 27. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 208238000017388 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	52
Figura 28. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 208238000017584 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	53
Figura 29. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 098*373*856 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	54
Figura 30. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 208238000017329 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	55
Figura 31. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 069*778*311 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	56
Figura 32. Fotografías del <i>Heloderma charlesbogerti</i> con número de chip 208238000017342 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....	57

Figura 33. Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip  
900215006372838 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....58

Figura 34. Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip  
900215006372834 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....59

Figura 35. Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip  
208238000017384 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.....60

Figura 36. Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip  
900215006372837 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior .....61

Figura 37. Carta de aprobación por parte del comité de ética, para uso y cuidado  
animal de la Universidad del Valle de Guatemala (CEUCA-UVG).....62

## Resumen

El objetivo de este estudio es validar el método de foto identificación en individuos de *Heloderma charlesbogerti*. Para esto se utilizaron individuos previamente capturados que se encontraban en la Reserva Natural Heloderma como parte de los esfuerzos de conservación de esta. Se identificaron por medio del chip y se escribieron los datos en una hoja de control la cual fue previamente fotografiada para emparejar con las fotos de cada individuo. El lagarto escorpión cuyo identificador estaba en la fotografía fue fotografiado en la parte superior de la cabeza y el cuello y en el área de la cloaca. Se repitió el proceso hasta obtener un catálogo fotográfico de todos los individuos de *Heloderma charlesbogerti* presentes en la reserva pertenecientes a los programas de conservación del año 2023. Las fotografías de todos los individuos se añadieron al software de identificación I3S Spot y fueron comparadas entre sí para encontrar marcas o patrones diferenciables. Los resultados obtenidos nos permitieron la identificación individual de *Heloderma charlesbogerti* utilizando un método alternativo que puede añadirse a la identificación por chip que ya está siendo utilizada. Esto ayudara en casos en que el chip se haya colocado y deje de servir por antigüedad o mal funcionamiento. Establecer este método ayudará al monitoreo poblacional de la especie y al reconocimiento individual, ambos aspectos importantes para los programas de conservación que se realizan en la reserva. Se obtuvo un punteo de emparejamiento menor en Cloacas, pero ambas partes del cuerpo sirvieron para la identificación individual de *Heloderma charlesbogerti* mostrando una identificación correcta y positiva de todos los organismos puestos a prueba.

## Abstract

The objective of this study is to validate the photo identification method in individuals of *Heloderma charlesbogerti*. For this, previously captured individuals that were in the Heloderma Nature Reserve as part of its conservation efforts were used. They were identified through the chip and the data was written on a control sheet which was previously photographed to match the photos of each individual. The scorpion lizard whose identifier was in the photograph was photographed on the top of the head and neck and in the cloaca area. The process was repeated until obtaining a photographic catalog of all the *Heloderma charlesbogerti* individuals present in the reserve belonging to the conservation programs of the year 2023. The photographs of all the individuals were added to the I3S Spot identification software and were compared with each other to find distinguishable marks or patterns. The results obtained allowed us the individual identification of *Heloderma charlesbogerti* using an alternative method that can be added to the chip identification that is already being used. This will help in cases where the chip has been placed and is no longer useful due to age or malfunction. Establishing this method will help population monitoring of the species and individual recognition, both important aspects for the conservation programs carried out in the reserve. A lower pairing score was obtained in Cloacas, but both parts of the body served for the individual identification of *Heloderma charlesbogerti* showing a correct and positive identification of all the organisms tested.

## I. Introducción

Debido a que *Heloderma charlesbogerti* es una especie altamente amenazada, por el tráfico ilegal de fauna, pérdida de hábitat y cambio de uso de suelo (Ariano- Sánchez et al., 2020). Es muy importante conocer información acerca de su comportamiento y ecología (Ariano-Sánchez & Salazar, 2015). Para esto se puede usar metodologías que utilicen la captura y recaptura del animal para poder identificarla y así conocer el tamaño de la población, rango y ámbito de hogar (Muñoz et al., 2016). Es por esto por lo que se busca validar un método con el cual se pueda identificar a los individuos de la especie sin recurrir al estrés causado por los métodos convencionales. Uno de los métodos que ha ganado popularidad recientemente y que podría ser aplicado al lagarto escorpión, es el método de foto identificación (Sacchi et al., 2010). En este método se colocan fotos de individuos diferentes y se comparan utilizando programas informáticos, esto nos da un porcentaje de seguridad de emparejamientos que nos pueden dar la identificación de este individuo. Al contar con animales previamente marcados se puede comprobar, la identificación facilitada con el programa y así validar si es un método que puede ser utilizado en los estudios de ecología (Dala-Corte et al., 2016) y comportamiento (Chassagneux et al., 2013).

Los programas de foto-identificación más utilizados son APHIS (Mills et al., 2023; Moya et al., 2015) que sirven comparando fotos de individuos conocidos y individuos desconocidos de manera manual con ayuda del usuario, utilizan una versión similar a otro programa llamado I3S Spot, que con ayuda de una selección de puntos de interés, compara fotos de individuos dentro de una base de datos con la foto que buscamos identificar (Sannolo et al., 2016). Se tomaron fotografías de 17 individuos de *Heloderma charlesbogerti* con duplicados y en dos partes distintas del cuerpo. Se obtuvo un total de 34 fotografías de cloacas y 34 de cabezas, las mismas fueron añadidas al programa I3S

spot, se procedió a crear una base de datos dentro del programa y la misma fue utilizada al comparar con fotografías fuera de la base de datos que simulaban recapturas de seis individuos por cada parte del cuerpo analizada.

## II. Antecedentes

### A. *Heloderma charlesbogerti*

El lagarto escorpión (*Heloderma charlesbogerti*) es una especie de lagarto venenoso que se separó hace poco tiempo de *Heloderma horridum* lo que limita el rango de la especie (Reiserer et al., 2013). Ya que *H. charlesbogerti* solamente ocurre en una pequeña parte del bosque tropical estacionalmente seco del Valle del Motagua en Zacapa, Guatemala (Domínguez-Vega et al., 2012). Todos los lagartos del género *Heloderma* poseen veneno y dientes que le ayudan a inocular el mismo, estos poseen surcos al medio que hace que fluya con más facilidad (Fry et al., 2006). Una mordida de esta especie es capaz de causar vómitos, mareos, dolor fuerte e incluso hipotensión (Ariano- Sánchez, 2008). Debido a este veneno las personas que se encuentran con algún individuo suelen matarlos por miedo (Domínguez-Vega et al., 2012). Añadido a esta presión la especie también sufre presión por la destrucción del hábitat, el tráfico ilegal y la fragmentación del bosque, lo que hace que a su vez se encuentre más con personas (Ariano-Sánchez, 2006), siendo más susceptibles a la depredación por parte de humanos. En muchos estudios de rango de hogar se utilizan métodos como los de captura recaptura, utilizando radios que se colocan añadidos al cuerpo con cinta adhesiva. (Ariano-Sánchez & Salazar, 2015).



**Figura 1.** Ejemplo de un individuo de *Heloderma charlesbogerti*.



**Figura 2.** Vista lateral de *Heloderma charlesbogerti*.

## B. Distribución de *Heloderma charlesbogerti*

La especie es encontrada en la zona Este y centro del país principalmente en los departamentos de El Progreso y Zacapa. Antes se tenía presencia de la especie también en la Costa Sur pero esta población se considera extinta de acuerdo con Anzueto & Campbell (2010). En Zacapa la mayor parte de la población está localizada en los municipios de Cabañas y Gualán (Domínguez- Vega et al., 2012). Para la conservación las áreas más frecuentes son la aldea El Arenal en el municipio de Cabañas (Masaya Arias, 2005). Es un terreno difícil con pendientes bastante empinadas y la lluvia, al ser estacional, solo se puede ver durante los meses de mayo a octubre, siendo por esto que la vegetación es típica de un bosque seco con presencia de cactus como, *Stenocereus* sp. y *Opuntia* sp. (Ariano-Sánchez et al., 2022; Cotí & Ariano- Sánchez, n.d.).

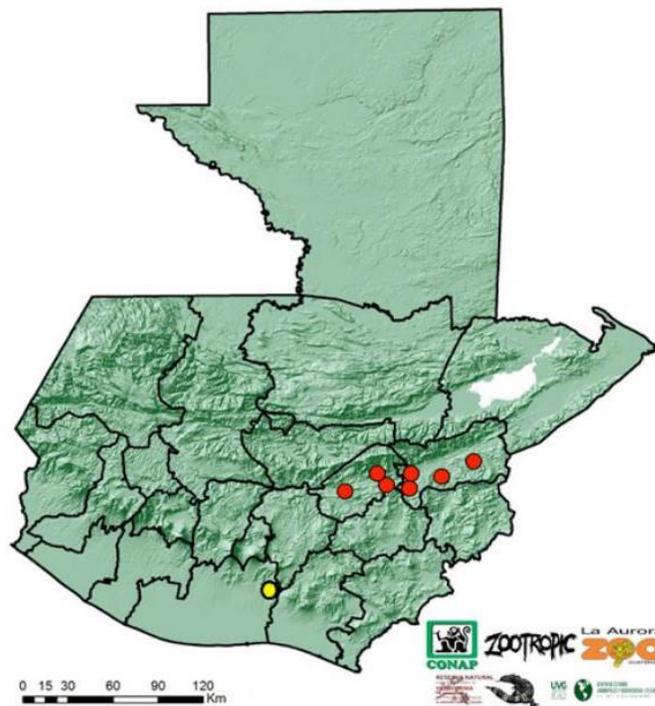
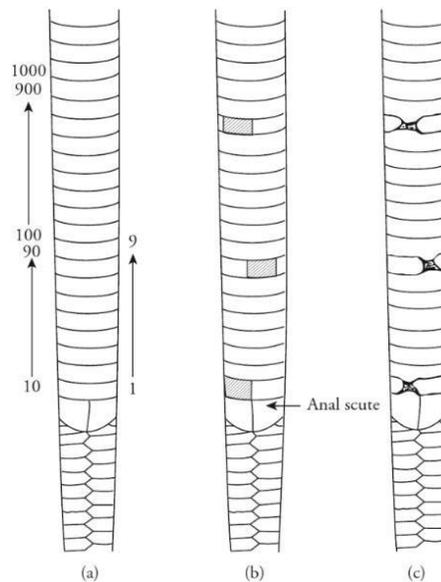


Figura 2. Distribución de *Heloderma charlesbogerti* en Guatemala.

**Figura 3.** Distribución de *Heloderma charlesbogerti* según (CONAP et al., 2020).

### C. Métodos de marcaje para identificación de reptiles

Al coleccionar los individuos de reptiles y específicamente de *Heloderma* se mide del largo de la cloaca a la punta de la nariz o Snout to vent length (SVL) por sus siglas en inglés. Para estudios de ecología se marcan utilizando chips que se insertan de manera subcutánea, los cuales tienen un código único para cada individuo diferente (Ariano-Sánchez et al., 2022). Una de las prácticas más comunes en cuanto a reptiles, es cortar o quitar escamas en un patrón específico que nos indique el número de individuo que tenemos. Debido a que no crecen nuevas escamas, es un método que puede ser confiable por muchos años, a pesar de ser invasivo con el animal (Dodd, 2016). Otro método comúnmente utilizado para reptiles son las inyecciones de elastómeros o plásticos que reaccionan en contacto con luz UV mostrando un resplandor al ser iluminados (Waudby & Petit, 2020).



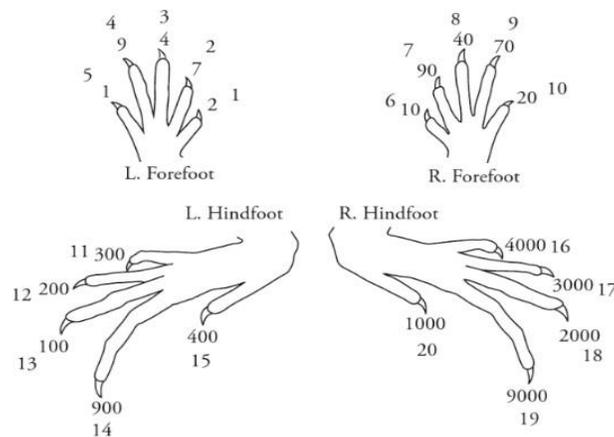
**Figura 4.** Ejemplo de códigos de corte de escamas en la parte ventral (Dodd, 2016).



**Figura 5.** Marcaje en lagartijas e iguanas utilizando implantes

(Dodd, 2016)

Otro método que se ha utilizado en estudios de recaptura de animales es el corte de extremidades o falanges, haciendo un código con los dedos extraídos para poder reconocerlos a pesar del tiempo (Bloch & Irschick, 2005). Se buscan métodos que no sean tan invasivos y más recientemente también se han utilizado métodos menos invasivos como el uso de tintas de tatuaje que solo necesitan una inyección para ser inoculadas y que no se mueven a pesar del tiempo (Petit et al., 2012).



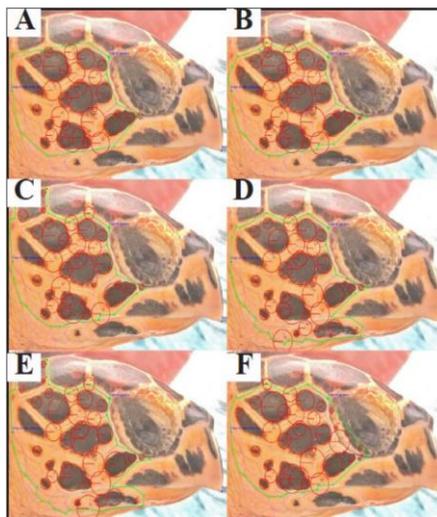
**Figura 6.** Diagrama con el código para marcaje por corte de falanges

(Dodd, 2016)

Uno de los métodos menos invasivos y que está tomando popularidad en la actualidad es el método de foto identificación, que utiliza fotografías para encontrar patrones o escamas distintivas en los reptiles y así comparar con una base de datos que nos permite diferenciar individuos a largo plazo y con cero estrés para el animal (Sacchi et al., 2010).

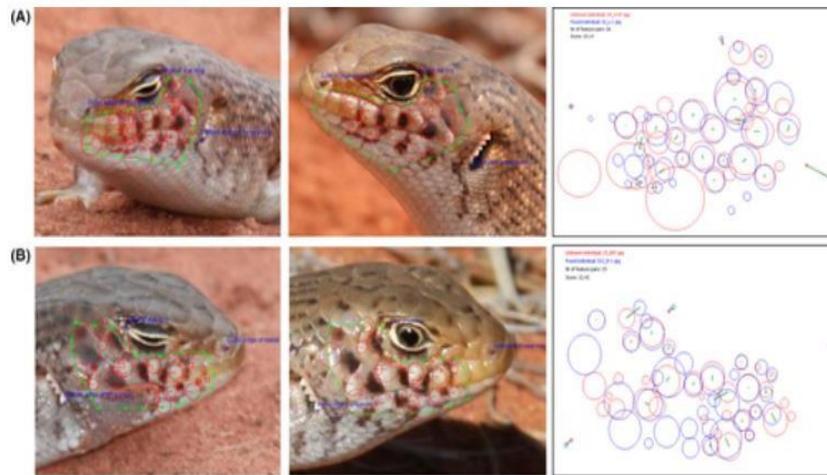
#### **D. Foto-identificación de reptiles**

El método de foto identificación es una forma no invasiva para reconocimiento de individuos, a partir de marcas únicas en la piel o escamas de estos. Este método es comúnmente usado para muestreos de mamíferos, así como delfines, jaguares, jirafas entre otros (Carter et al., 2013; Frère et al., 2010; Gardiner et al., 2014). Recientemente el método se ha utilizado en reptiles y lagartijas pequeñas, como las lagartijas voladoras (Sreekar et al., 2013). Se empezó a hacer también en lagartos más grandes como Varanos, para reducir el riesgo de daño al manejador y también para reducir el estrés que causa en animales más grandes (Moro & MacAulay, 2014).



**Figura 7.** Ejemplo de foto identificación en tortugas, Las letras muestran puntos de referencia mientras que los círculos rojos muestran escamas rodeados de una línea verde que marca el área de interés para la identificación (Steinmetz et al, 2018).

Utilizar el método requiere de fotografías claras y de buena calidad en las que se puedan observar todas las marcas y patrones de cada individuo de un lugar específico del cuerpo. Las fotos pueden ser después procesadas manualmente, sin embargo, esto supone un gasto de tiempo elevado por que se deben comparar todas las fotos para encontrar patrones únicos (Hoefler et al., 2021).



**Figura 8.** Se puede observar el marcaje previo a la foto identificación también utilizado en lagartijas (Sacchi et al., 2010).

Hoy en día los métodos bioinformáticos nos permiten obtener resultados de emparejamiento de fotografías utilizando programas externos, como lo es el programa Automático de foto identificación (APHIS) por sus siglas en inglés (Moya et al., 2015).

El programa anteriormente mencionado puede ser configurado para recibir señales de color o para poner puntos clave manualmente tomando los patrones visualmente, esto nos puede asegurar que se podrán encontrar patrones distintivos incluyendo diferencias en color y en la disposición y ordenación de las escamas (Moya et al., 2015; Salom-Oliver et al., 2022)

#### **E. Método APHIS**

El programa APHIS es un programa de uso libre que nos ofrece dos algoritmos diferentes para emparejar. Uno de estos métodos es un acercamiento basado en características (SPM). El otro método es un acercamiento basado en píxeles (ITM) que tiene una mayor velocidad de procesamiento, pero es dependiente de la calidad de las imágenes en nuestro juego de datos y se recomienda solamente usarlo en casos de luz y calidad de imagen estandarizados (Moya et al., 2015).

El programa compara una muestra desconocida con un catálogo de candidatos conocidos y los puntea basado en su similitud, esto nos entrega una serie de emparejamientos potenciales que tienen que ser luego revisados por el usuario. En el método SPM se debe delimitar el área de interés utilizando tres puntos que deberán ser siempre iguales sin importar el individuo y marcar manualmente las manchas o patrones en el animal, mientras mayor cantidad de manchas, más exacto será el resultado según el manual de usuario.

#### **F. Método Wild-ID**

Este programa puede ser descargado gratis y como el programa anterior, también usa un acercamiento basado en características. Este método se basa en la transformación de característica de escamas, extrayendo características especiales que se llaman “SIFT” y basándose en estas características compara las fotografías. El programa entonces nos otorga 20 posibles emparejamientos, los cuales se revisan manualmente. El programa se favorece de imágenes cortadas para solamente incluir las características importantes y que no posean mucha información de fondo.

#### **G. Método I3S Spot**

I3S es un programa semi automatizado que ayuda a comparar y emparejar características de cada individuo a lo largo del tiempo (Speed et al., 2007). Por medio de puntos clave, como escamas, se puede registrar una huella digital correspondiente a un solo individuo (Brooks et al., 2010). Se utilizan círculos y elipses referenciados en la fotografía y añadidos en una base de datos con dos fotografías del mismo individuo. Las escamas referenciadas deben ser treinta por cada delimitación (Dunbar et al., 2014).

### III. Justificación

Debido a que *Heloderma charlesbogerti* es una especie de lagarto altamente amenazada que se encuentra en el apéndice I de CITES y ya que es afectado por la fragmentación de bosques y el cambio de uso de suelo y porque según CONAP et al (2020) en la Estrategia Nacional de Conservación del Heloderma, es una especie endémica prioritaria para la restauración de bosque al ser este un depredador tope, resulta ser de vital importancia conocer la información acerca de su comportamiento y ecología (Ariano-Sánchez et al., 2020; Ariano-Sánchez & Salazar, 2015). En la mayoría de los casos, para conocer la especie, es necesario realizar estudios que utilizan captura-recaptura, para lo cual se debe identificar a los diferentes individuos. Por lo anterior desde alrededor del 2004, se ha marcado a individuos de la especie utilizando chips, cada uno con identificación única. Este marcaje ha permitido conocer información acerca del rango de hogar, tamaño poblacional y ámbitos de hogar. Debido a lo largo del programa de conservación del heloderma que ha puesto microchips desde 2004 y la expectativa de vida aproximada de 35 años en *Heloderma charlesbogerti* algunas de las recapturas de individuos viejos o longevos muestran que el microchip ha sido encapsulado o no funciona después de pasados los años de permanecer en uso, lo que impide leer el número de identificación de algunos individuos.

Por lo anteriormente mencionado y por el potencial estrés causado en los animales, es que se busca un método de monitoreo e identificación que no sea invasivo con estos. En este estudio se comparará la técnica de foto- identificación utilizando la parte cefálica y la parte cloacal de cada individuo. Esto permitirá el reconocimiento de diferentes individuos, reduciendo el manejo innecesario y por lo tanto el posible estrés causado a cada individuo.

## IV. Objetivos

### A. Objetivo general

Comparar fotografías del área cefálica y del área cloacal del lagarto escorpión *Heloderma charlesbogerti* como herramienta de foto-identificación individual y monitoreo poblacional.

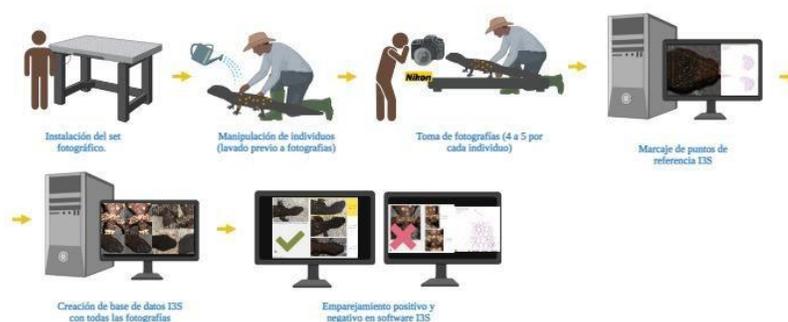
### B. Objetivos específicos

- Crear un catálogo de fotografías referenciadas por medio de escamas, para cabezas y cloacas de individuos de *H. charlesbogerti*
- Validar la eficacia del método de foto-identificación por medio de I3s Spot para diferenciación de individuos de *H. charlesbogerti* comparando fotos de cabezas y cloacas.

## **V. Hipótesis de trabajo**

La foto identificación, utilizando el programa I3S Spot es un método válido para individuos de *Heloderma charlesbogerti*.

## VI. Métodos



**Figura 9.** Diagrama de flujo generado en BioRender que muestra la metodología de manera visual empezando con el set de fotografía hasta la identificación negativa y positiva de los individuos.

### A. Procedimientos

#### - Sitio de muestreo

El estudio se realizó en la Reserva Natural Heloderma, Cabañas, Zacapa. Se encuentra dentro del Valle del Motagua en la vertiente atlántica al este del país, el Valle del Motagua es una línea delgada de hábitat seco que tiene al oeste y al sur, bosques de pino o encino y al norte La Sierra de las Minas (Dyson et al., 2022). La Reserva consta de 128 hectáreas de bosque tropical estacionalmente seco. Es considerado de esta manera por que la lluvia media anual es de solamente 815mm y la temperatura alcanza los 27°C. la época lluviosa dura alrededor de cinco meses desde junio a octubre y en los meses restantes es la época seca, siendo hábitat de plantas de bosque seco como lo son los cactus *Nopalea guatemalensis*, *Opuntia decumbens*, etc. (Ariano-Sánchez & Salazar, 2015).

- Duración

Se realizó una visita durante la temporada de reproducción de los Lagartos. La visita se realizó en el mes de octubre del año 2023

- Tipos de fotografía

Se eligieron lugares comúnmente utilizados para la foto identificación y se obtuvieron dos tipos de fotografía, el primer tipo era tomado desde la parte superior del animal incluyendo la cabeza y la espalda, el segundo tipo se toma de la parte inferior del animal volteado tomando en cuenta la cloaca y una porción del vientre.

- Selección de software

Se utilizaron primero dos programas diferentes APHIS en el cual no se podía delimitar la escama por completo, y WILD-ID en el cual no era posible automatizar la selección y era necesario comparar de manera manual las fotografías. Se seleccionó entonces el software I3S Spot, un programa que utiliza el algoritmo I3S para la comparación e identificación de individuos desconocidos. Para ello es necesario crear una base de datos de individuos previamente identificados y fotografiados, se puede utilizar una fotografía para identificar y añadir a la base de datos, pero mientras más fotografías se obtengan el análisis será más sólido.

- Base de datos

Se obtuvieron 17 individuos para los cuales se tomaron dos fotografías para cabezas y dos para cloacas para un total de 34 fotografías por parte del cuerpo. Utilizando una sola parte del cuerpo por cada base de datos, se añadieron las 34 fotografías utilizando el programa para obtener elipses del tamaño y forma más cercana a las escamas de cada individuo. Estas se colocaron en un área previamente delimitada por

tres puntos diferentes para asegurarnos que todas las fotografías fueran fáciles de sobreponer.

- Emparejamientos y validación del método

Se obtuvieron emparejamientos de seis individuos de los que se contaba con fotos extra, las cuales no habían sido utilizadas para añadir a la base de datos. Se agregaron de la misma forma que las fotografías de la base de datos delimitando el área y marcando las escamas. Se buscó en la base de datos al individuo desconocido y al obtener un emparejamiento positivo con su respectiva identificación la fotografía extra fue añadida a la base de datos para seguir alimentándola.

- Tamaño de muestra

La especie utilizada para la foto identificación es *Heloderma charlesbogerti* cuya población solo se conoce para el Valle del Motagua al ser la misma una especie altamente amenazada. Los números muestrales parecen pequeños al ser 17 individuos, pero tomando en cuenta que hay menos de 700 ejemplares adultos de la especie en vida silvestre, son representativos para una especie amenazada.

- Obtención de las fotografías

Se utilizó un lente AF-S VR Micro-Nikon 105mm f/2.8G y una Cámara DSLR Nikon D500 DX de 20.9 MP utilizando un flash YONGNUO YB968 II inalámbrico para Nikon equipado con un difusor Waka de ocho pulgadas. Se tomó una fotografía a distancia que tenía en el encuadre la cabeza completa con un poco de cuello mostrando el mayor detalle para así ver las manchas características de la especie, así como las escamas que pueden funcionar como un segundo punto de comparación. Se obtuvieron fotos también de la parte de la cloaca por los mismos motivos.



**Figura 10.** Ejemplo del área a fotografiar en el que se vea desde la parte superior la cabeza, incluyendo el cuello y de la parte ventral cercana a la cloaca.

- Ética del estudio

Se obtuvo aprobación del comité de Ética, Uso y Cuidado de animales de la Universidad del Valle de Guatemala (ver Figura 36).

## VII. Resultados

Para construir el catálogo fotográfico se tomaron fotografías de diecisiete individuos de *Heloderma charlesbogerti* tanto de sus cabezas, incluyendo el cuello, como de la cloaca. Este proceso se repitió para obtener una segunda fotografía diferente del mismo individuo para un total de dos fotografías por área del mismo individuo. Se tomó el número de chip de cada uno de los individuos para tener una identificación real y comprobable de los mismos.

Con las fotografías previamente mencionadas se creó un catálogo digital dentro del programa I3S, para esto se eligió una delimitación para cada tipo de foto. En la cabeza el área inicia en la punta de la nariz con un punto azul (Ver Figura 10) y termina utilizando dos puntos azules a la izquierda y derecha en donde la cabeza termina como se muestra en la parte izquierda de la imagen (Ver Figura 10). Posteriormente se colocaron 30 puntos de referencia delimitados por elipses y círculos rojos, los puntos de referencia fueron las escamas. Empezando desde la nariz hacia la parte posterior se marcó la forma, hasta que las 30 escamas fueran marcadas tratando siempre elegir el mismo lado para que las imágenes tuvieran el mayor número de referencias compartidas de individuos iguales.

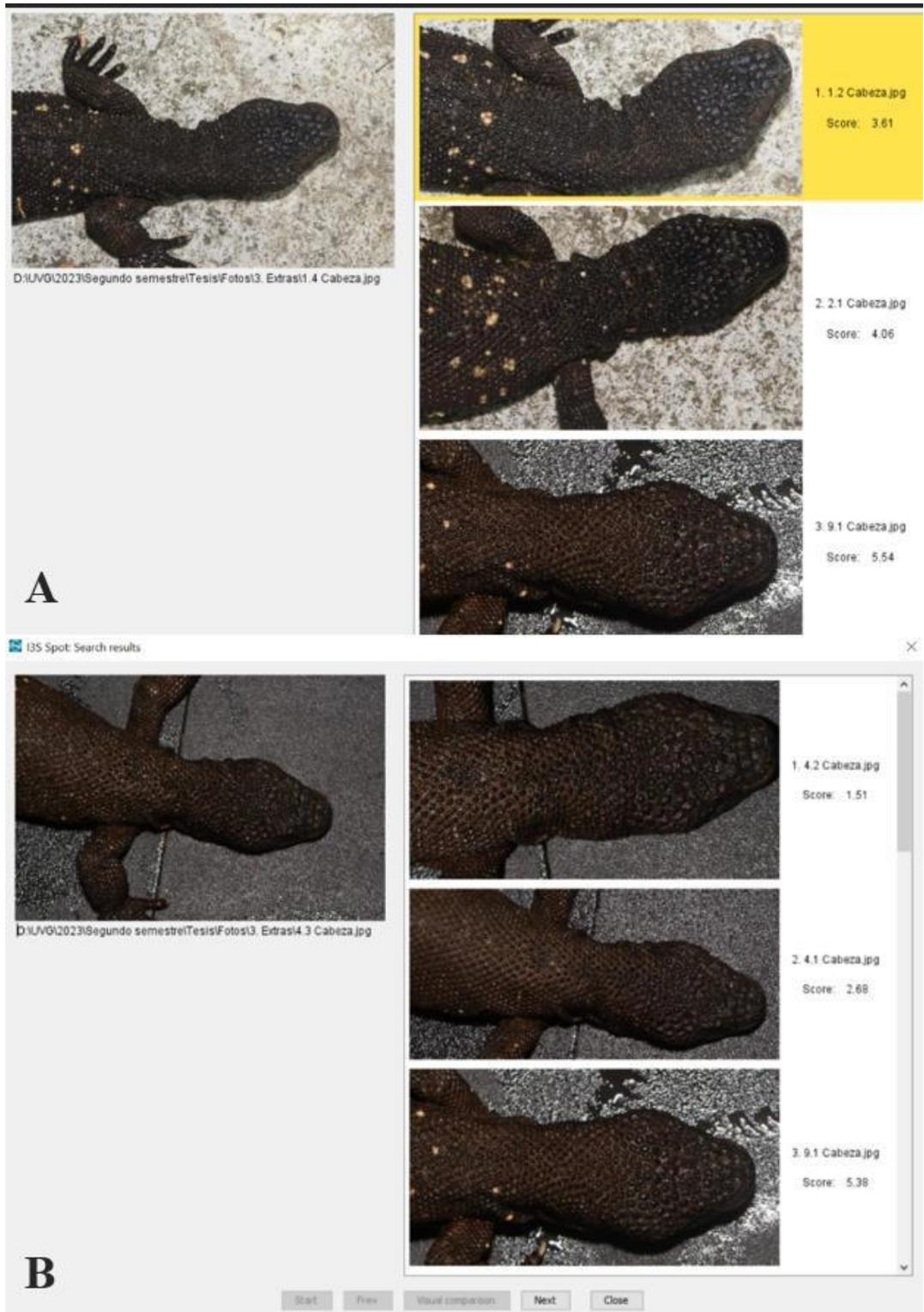


**Figura 11.** Se muestra un ejemplo de los puntos de referencia en azul y de las escamas marcadas con círculos y elipses rojos.

Cada fotografía referenciada, fue utilizada para alimentar la base de datos, la cual esta almacenada en un directorio, clasificado según la parte fotografiada, la cual se utilizará para futura comparación de fotos de individuos desconocidos.

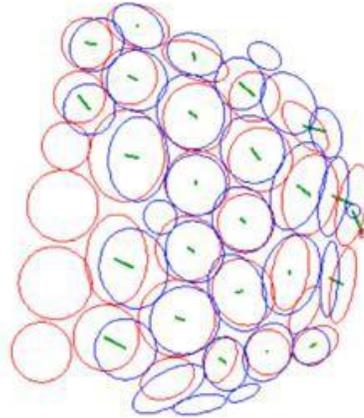
Al colocar una foto de un individuo desconocido marcando los mismos puntos de referencia y las mismas escamas que en las fotografías de la base de datos. se obtuvo una identificación del 100% de las fotos puestas a prueba. Se comprobó esto por estar en el primer puesto de emparejamiento una fotografía del mismo individuo. Esto se puede ver de manera similar reportado por (Sacchi, 2007). La identificación se comprobó siendo por lo menos una de las fotos de referencia la primera opción de emparejamiento (Ver Figura 11) en la que se muestra dos individuos identificados como primera opción. En B se muestra como la primera y la segunda opción son las dos fotografías de referencia y tiene un valor de emparejamiento menor a lo obtenido en A en la que solo se muestra una de las dos fotos de referencia en el puesto Número 1 de identificación marcado en amarillo.

Después de crear la base de datos para cabezas se seleccionaron fotografías de seis de los 17 individuos utilizando fotos adicionales que se habían tomado (diferentes a las utilizadas en la base de datos). Primero se comparó dos fotos de la cabeza del mismo individuo y se obtuvo un gráfico en rojo por cada individuo desconocido sobrepuesto con el del emparejamiento más cercano en azul. Se muestra dos emparejamientos con fotografías extra del mismo individuo para el que no se eligieron exactamente las mismas escamas (Ver Figura 12). Se emparejo con dos diferentes fotografías de la base de datos. En A se observa el emparejamiento con la fotografía 1.1 con un punteo de 5.15 y en B se muestra el emparejamiento con la fotografía 1.2 con un punteo menor de 3.61 por ser escamas con mayor similitud. En A se evidencian elipses rojas que no están sobrepuestos con elipses azules (Ver Figura 12).



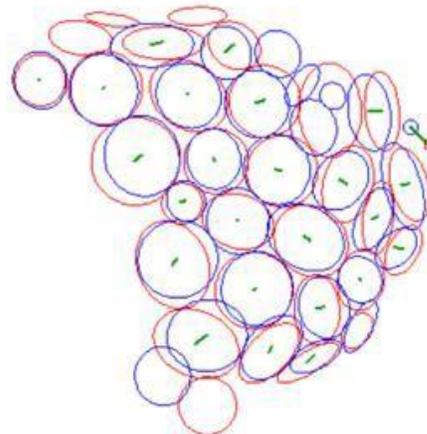
**Figura 12.** Ejemplo de emparejamientos positivos en dos individuos distintos, en A se muestra un valor de 3.61 y en B 1.51 como los emparejamientos más seguros.

Unknown individual: 1.3 Cabeza.jpg  
Found individual: 1.1 Cabeza.jpg  
Nr of feature pairs: 27  
Score: 5.15



**A**

Unknown individual: 1.4 Cabeza.jpg  
Found individual: 1.2 Cabeza.jpg  
Nr of feature pairs: 27  
Score: 3.61

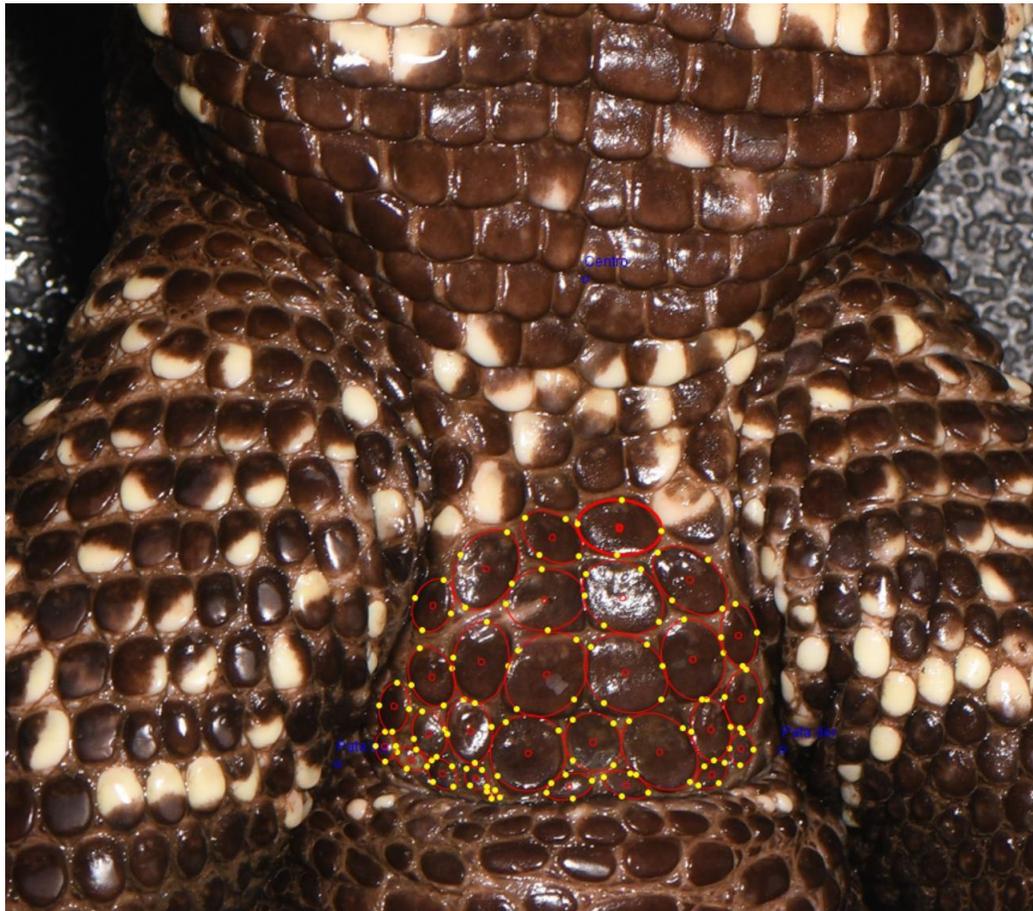


**B**



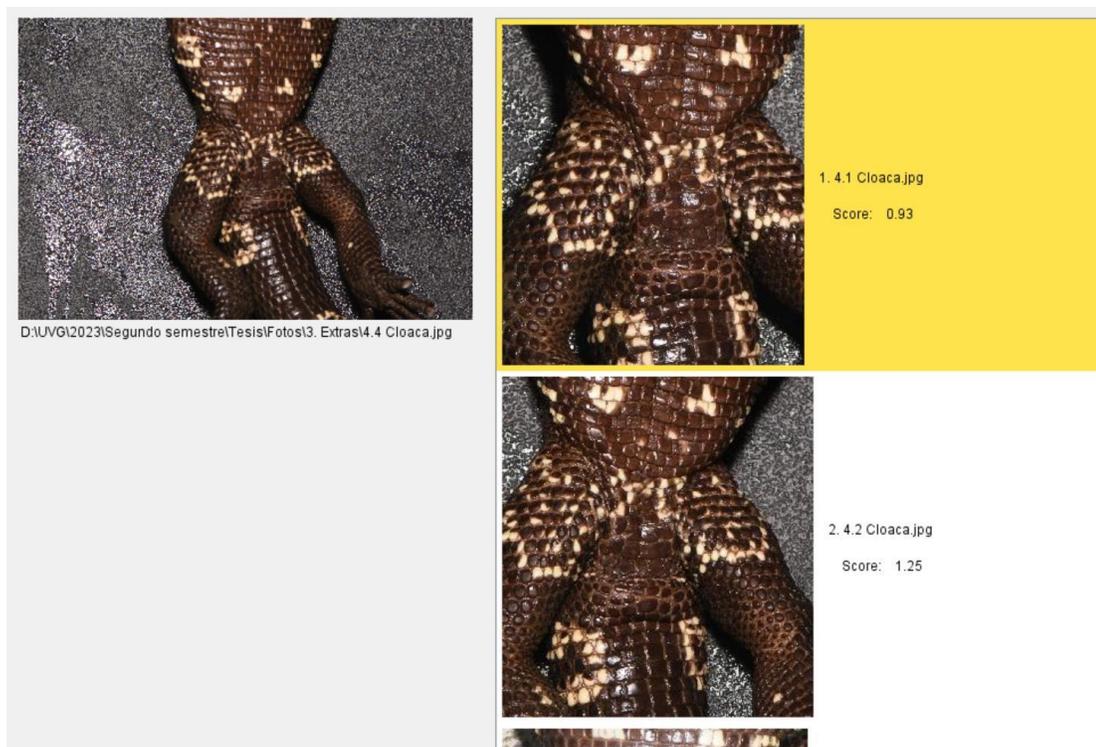
**Figura 13.** Gráfico de emparejamiento de dos fotografías diferentes del mismo individuo con dos fotografías distintas pertenecientes a la base de datos.

Adicionalmente se obtuvo un catálogo fotográfico de cloacas utilizando dos fotografías de cada uno de los 17 individuos utilizados, para esto se seleccionaron las fotografías disponibles y se delimitó el área utilizando puntos azules, uno en cada pierna con el nombre de pierna izquierda y derecha y uno al centro nombrado Centro (Ver Figura 13). Se procedió a marcar las escamas más cercanas a la cloaca y seguir marcando hacia la parte superior de la fotografía empezando siempre por el lado derecho al empezar una nueva línea de escamas. Se delimitaron con elipses rojas que podían ser modificados a en forma de asimilarse lo mayor posible a la escama utilizando para moverlos los puntos amarillos de cada elipse (Ver Figura 13). En esta figura también se puede observar las 30 escamas marcadas y el área delimitada de la cloaca.



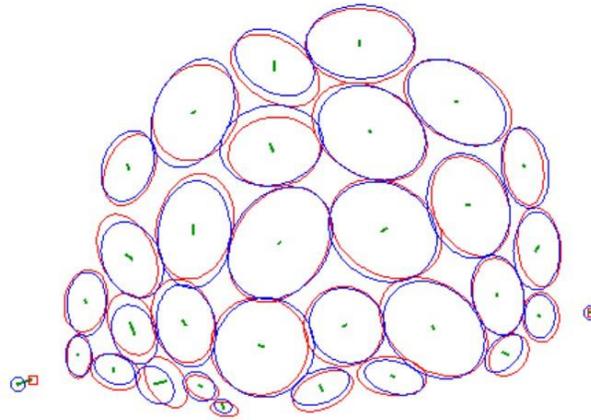
**Figura 14.** Se puede apreciar el área delimitada y las escamas marcadas en la parte de la cloaca, 30 escamas desde lo más cercano de la cloaca hacia arriba.

Se comparó a seis individuos diferentes por medio de las cloacas utilizando para esto la base de datos anteriormente creada. Se puede observar que la primera identificación es de la primera fotografía del mismo individuo y que el emparejamiento que se muestra en segundo puesto es la segunda fotografía del mismo individuo. La identificación con menor puntaje es 0.93 esta a su vez es la primera opción para el programa (Ver Figura 14). Al ver el gráfico de elipses de la primera opción es evidenciado que las elipses del individuo desconocido en rojo se superponen de una manera muy cercana a las elipses del individuo en la base de datos en azul (Ver Figura 15).



**Figura 15.** Se muestra un emparejamiento en el que tanto la primera opción como la segunda pertenecen al mismo individuo.

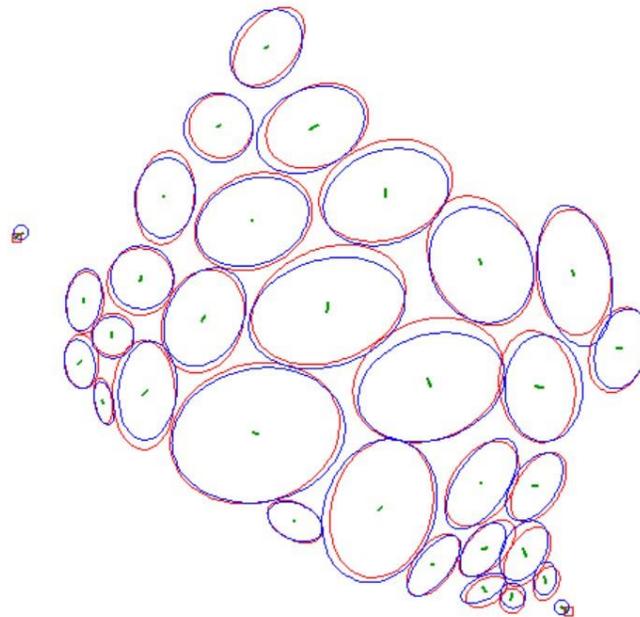
Unknown individual: 4.4 Cloaca.jpg  
Found individual: 4.1 Cloaca.jpg  
Nr of feature pairs: 33  
Score: 0.93



**Figura 16.** Elipses de comparación de las cloacas de dos individuos iguales.

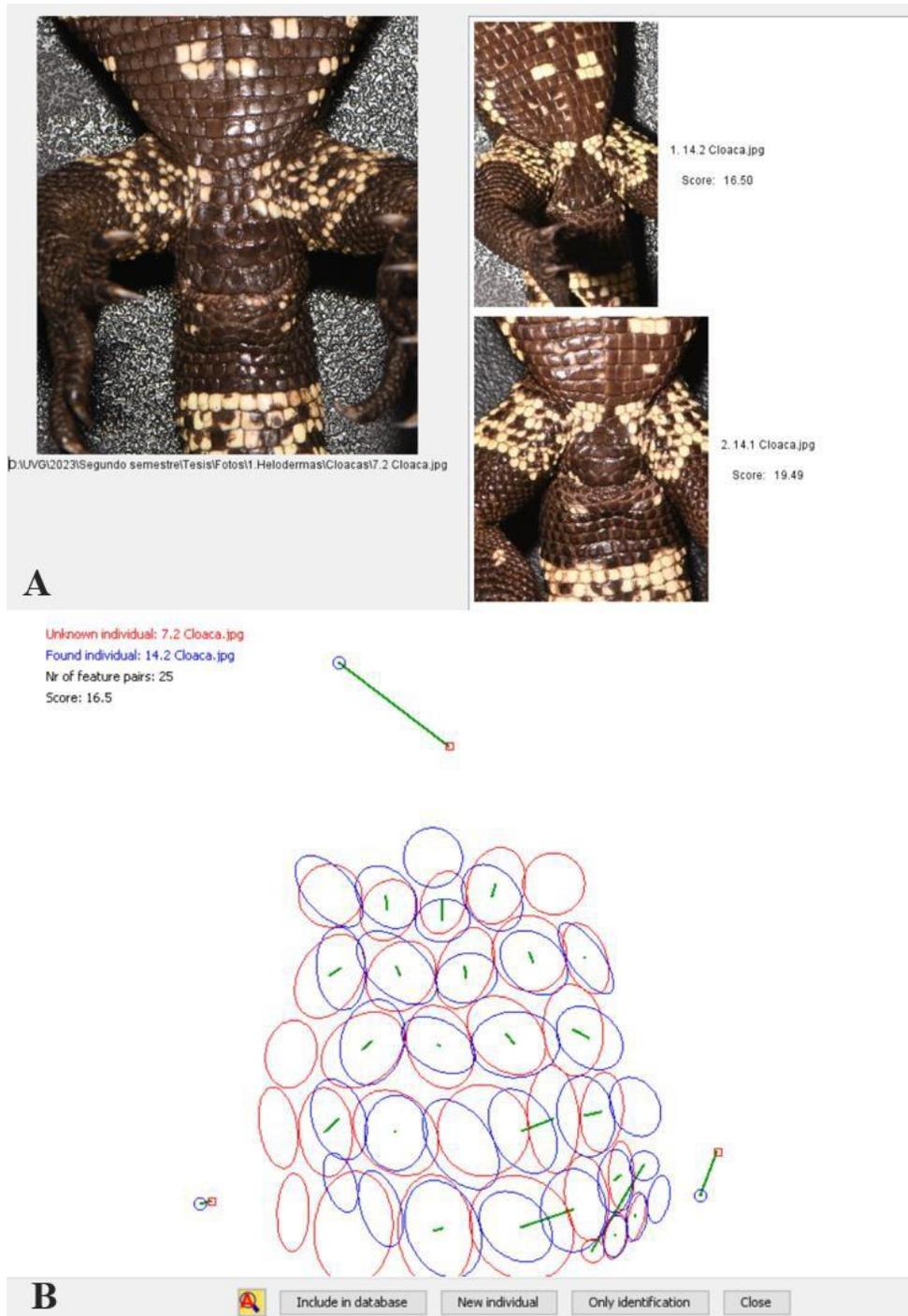
Se repitió el mismo proceso para los seis individuos con fotos disponibles para cloacas y se obtuvo un resultado de emparejamiento de 0.92, el gráfico de elipses obtenido muestra en rojo el individuo desconocido del décimo *H. charlesbogerti* evaluado y en azul el registro en la base de datos del mismo individuo. El emparejamiento de lo mencionado anteriormente muestra un gráfico muy similar con el punteo más bajo (Ver Figura 16).

Unknown individual: 10.4 Cloaca.jpg  
Found individual: 10.2 Cloaca.jpg  
Nr of feature pairs: 33  
Score: 0.92



**Figura 17.** Ejemplo de un emparejamiento muy cercano con un puntaje de 0.92

Se realizó también una prueba negativa utilizando una fotografía de un individuo previo a añadirlo a la base de datos para así asegurarnos de que los emparejamientos fueran negativos. En A se muestran los resultados del emparejamiento con punteo de 16.50 para la primera opción y 19.49 la segunda siendo ambas opciones de individuos diferentes (Ver Figura 17). En B se muestra el gráfico de elipses que muestra en rojo el individuo desconocido y en azul el individuo de la base de datos se ve que ambos gráficos de elipses son completamente distintos. En una línea Verde se ve la distancia diferenciando ambos gráficos.



**Figura 18.** Emparejamiento con su gráfico de elipses de un individuo no perteneciente a la base de datos.

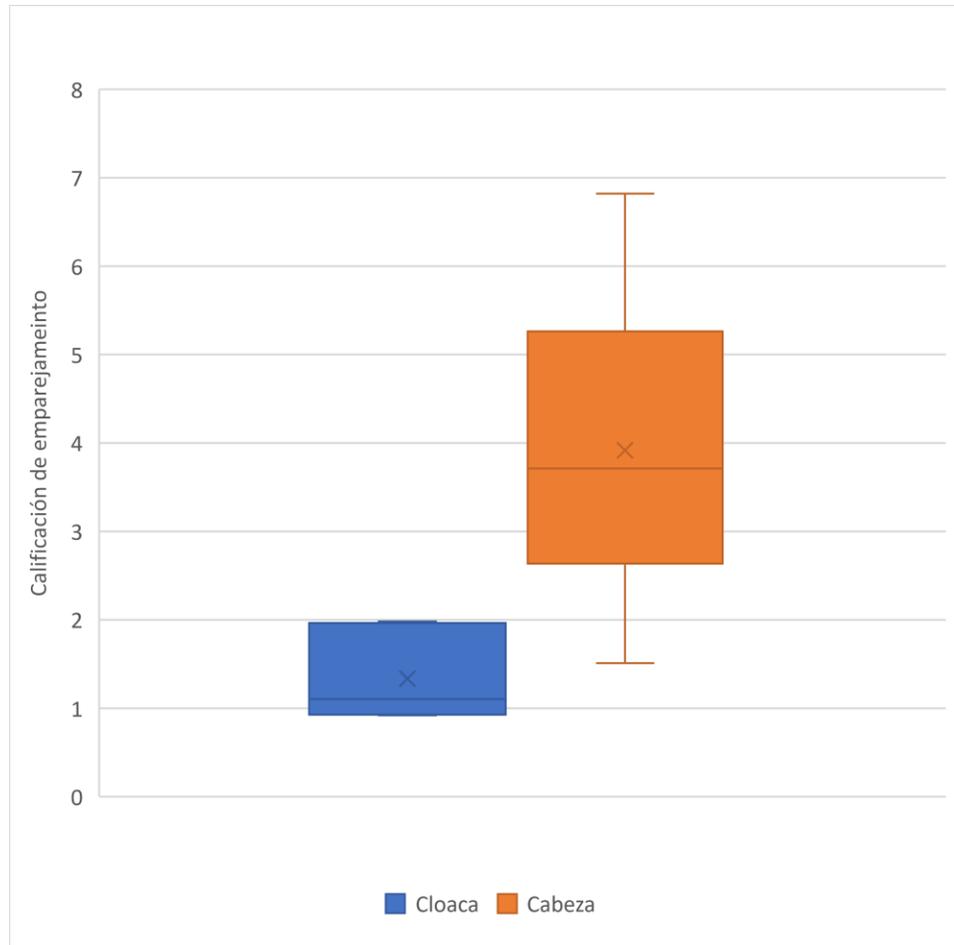
Con base en los resultados de emparejamiento en I3S Spot se compilaron las calificaciones de emparejamiento de seis ejemplares con los que se contaba con fotografías adicionales para evaluar el poder predictivo del software. Estas calificaciones de emparejamiento se muestran en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Calificaciones de emparejamiento de I3S Spot para cabezas y cloacas.**

Valores bajos o cercanos a 1 indican un mejor poder predictivo de identificación, mientras que valores mayores indican un menor poder predictivo de identificación en el emparejamiento. Los valores más cercanos a 1 indican menor diferencia en las fotografías comparadas.

Individuo	Cloaca	Cabeza
H4	0.93	1.51
H6	1.96	3.81
H11	1.05	4.74
H9	1.98	
H10	0.92	
H14	1.16	
H1		3.61
H8		3.01
H17		6.82

Se obtuvo un diagrama de caja y bigotes para los datos de los seis individuos para la cabeza y la cloaca (Ver Cuadro 1 en anexos). El diagrama muestra en azul una menor dispersión y valores más cercanos a cero en individuos utilizando las cloacas con una media de 1.3 y en anaranjado más sutil una mayor dispersión y valores están más alejados de cero con una media de 3.93 para cabezas (Ver Figura 18).



**Figura 19.** Diagrama de Caja y bigotes para las calificaciones del emparejamiento según parte del animal. Valores cercanos a cero indican un mejor emparejamiento y poder de identificación correcta.

Al probar los otros programas se observó que no eran efectivos en la foto-identificación de *H. charlesbogerti* y basado en las pruebas con las fotografías se obtuvo un cuadro comparativo de las limitaciones compartidas o individuales que estos dos programas presentaban y de esta manera podemos evidenciar el por que de su descarte en la selección de un programa para comparar las fotografías de la investigación. Se puede observar que la delimitación de las escamas fue un punto fuerte en la selección ya que ninguno de los dos programas permitía la misma. Otro punto importante es el punteo de emparejamiento que fue más constante con I3S que también presentaba un diagrama de elipses no presente en ninguno de los otros dos programas analizados.

Cuadro 2. Cuadro comparativo de las limitaciones de los dos programas no utilizados.

<b>APHIS</b>	<b>WILD ID</b>
Se delimita las escamas solamente marcando el centro de cada escama.	No se puede delimitar escamas de ninguna manera
No otorga punteos de emparejamiento	Otorga punteos de emparejamiento muy variados con valores diferentes para individuos iguales
No da un diagrama de elipses que muestre el emparejamiento	No entrega un diagrama de elipses que muestre el emparejamiento
Necesita fotografías de alta definición	Necesita fotografías de alta definición
No conserva la base de datos de fotografías	No conserva la base de datos de fotografías
Utiliza algoritmos I3S como proceso de fondo	No utiliza un algoritmo para emparejamientos

## VIII. Discusión

Se creó un catálogo fotográfico con dos fotografías por individuo (Ver Figura 19 a 35), Se trato de procesar las fotografías en dos programas diferentes que son APHIS y Wild ID, el primero presentaba el problema de selección de puntos de referencia ya que no se podía marcar las escamas. El segundo programa tampoco se pudo utilizar puesto que no era automatizado necesitando una revisión manual para las fotografías. Es por esto por lo que se seleccionó el programa I3S sin embargo al procesar las fotografías del catálogo este programa aun presentaba una serie de limitaciones que deben tomarse en cuenta para el correcto uso de la foto identificación.

El primer aspecto que se debe tomar en cuenta es la homogeneidad de condiciones y de fotografías. En este aspecto se busca que las escamas individuales y puntos de interés estén siempre enfocados y bien iluminados. Por la manera en la que las fotografías fueron tomadas la iluminación y enfoque no eran constantes y esto dificulto el marcaje de las escamas. El flash únicamente por los cambios en luz natural no fue suficiente para una iluminación constante (Sannolo et al., 2016). Para esto es mejor utilizar luces fijas para reemplazar o acompañar a la luz del flash, colocar un fondo fijo y tomar las fotografías con tripie para que el movimiento no sea un factor que influya al reconocimiento individual.

Un segundo aspecto para considerar además de la homogeneidad de las fotografías es el contar con un mayor número de fotografías por individuo ya que el programa se beneficia de este aspecto, en el manual de usuario se sugiere usar por lo menos cinco diferentes imágenes por cada individuo (Hartog & Reijns, 2014). Por las limitaciones del estudio las pruebas fueron realizadas con dos fotografías por individuo, se recomienda tomar más fotografías espaciadas en el tiempo una de la otra. Se sugiere que cada imagen tenga un espacio de al menos una hora entre cada una y de ser posible que sean de días diferentes. Se cree que los valores vistos para cabezas en la Figura 18 sugieren que la identificación de las escamas individuales fue afectada por la selección manual de los puntos de referencia con escamas. Añadido a esto se podía observar

presencia de tierra sobre las escamas lo que dificultaba la selección de estas ya que la tierra opacaba la unión entre escamas, para evitar esto se puede mojar al animal para que las escamas sean más notables y no estén cubiertas de tierra. Estos dos factores también pueden ser soportados por el uso de características morfométricas de ser posible para que la meta data del programa utilizado pudiera ser también consultada en la identificación individual de *H. charlesbogerti*.

Se sugiere continuar con el estudio a lo largo del tiempo y realizar recapturas reales y de esta manera poder alimentar la base de datos de un mayor número de ángulos y posibles posiciones de *H. charlesbogerti*. De esta manera se reduce el error humano de delimitar polígonos, círculos o elipses de diferentes tamaños a pesar del tamaño de las escamas. Seguir alimentando la base de datos proveerá valores menores mientras el número de recapturas aumente.

Como se ve en la Figura 18, las fotografías de las cloacas tienen una tendencia a ser más efectivas en la detección, ya que los valores más cercanos a uno son los que más seguridad en el emparejamiento presentan. Las escamas de la cloaca presentan formas más exactas que permiten una delimitación de las elipses más adecuada también presentan menos tierra o polvo de los recintos de retención temporal. También se puede inferir que el movimiento se ve limitado para los individuos de *H. charlesbogerti* al estar completamente de espaldas. Las escamas en la cabeza también están más separadas unas de otras al ser estas osteodermos (Kirby et al., 2020). Estas escamas al presentar un relieve y estar elevadas se ven de diferente forma al cambiar el ángulo de la fotografía lo que dificulta la delimitación de escamas. Al ser las escamas de la cloaca niveladas en la parte ventral del animal es más fácil conservar una forma a pesar de un cambio de ángulo, también son útiles puesto que las heridas en la parte ventral no son comunes lo que permite que las escamas a lo largo del tiempo se mantengan de las mismas formas sin importar el ángulo y el tiempo desde que se ingresó la fotografía a la base de datos.

Algo más que puede influir y se recomienda es comparar las cloacas con otras características del animal. En otros estudios I3S Spot se utiliza con manchas características y no con escamas (Dawson et al., 2021). Se sugiere entonces utilizar escamas de color amarillo en *H. charlesbogerti* para identificar más concretamente en la parte baja de la parte dorsal o en la parte de la cola. Utilizando estos y comparándolas con la cloaca se puede llegar a un patrón o parte del cuerpo definitivo para construir una base de datos más sólida como se mencionó con anterioridad.

En estudios anteriores con otras especies como peces (Haxton, 2021), Tortugas (Calmanovici et al., 2018) (Dunbar et al., 2014), Ranas (Dawson et al., 2021) se puede observar el uso de patrones y manchas en individuos comparados utilizando I3S como el programa principal de foto-identificación. Por lo mismo se sugiere en siguientes estudios utilizar patrones o manchas en *H. charlesbogerti* que permitan utilizar condiciones de fotografías menos exactas para reducir el error humano al seleccionar escamas.

Debido al estado de conservación de *H. charlesbogerti* y ya que la identificación fue correcta en todos los casos evaluados, se puede decir que es una técnica que puede ser añadida a la toma de datos en cada encuentro de individuos nuevos o repetidos. Esto añadirá a la base de datos fotográficos y podrá ser utilizado a futuro para la identificación correcta individual del lagarto escorpión. Las bases de datos creadas pueden ser utilizadas directamente en los programas de conservación y manejo de *H. charlesbogerti* en la Reserva Natural Heloderma.

Los reencuentros después de la identificación podrán ser añadidos como fotografías extra a la base de datos para una mejor identificación. Los individuos nuevos se podrán agregar a la base de datos general que a lo largo del tiempo crecerá y será más exacta, no es necesario empezar una nueva por cada muestreo realizado.

Añadir más fotografías a la base de datos también nos ayudara a encontrar un punto de corte en el que el punteo del programa deje de indicar un emparejamiento positivo ya que en esta investigación con valores de hasta 6 la identificación sigue siendo correcta, por tendencias del programa se sabe que con más individuos este número disminuirá y se acercará más a 1 que es el valor de un emparejamiento exacto.

Aunque las cloacas fueron las que presentaron el menor punteo de emparejamiento haciéndolas la parte más efectiva para la identificación, no cumple con ser la forma que reduzca con mayor eficacia el estrés en los animales o que sea la forma menos invasiva con los mismos. Es por esto por lo que hay que tomar en cuenta al momento de querer hacer una identificación utilizando I3S Spot como programa para la identificación si esta es la parte que nos puede funcionar mejor. Debido al manejo de un animal venenoso que se tiene que hacer por parte de una persona entrenada, las cloacas se vuelven imposibles de utilizar por personas no instruidas para el manejo de *H. charlesbogerti*.

El método de foto-identificación utilizando I3S Spot reduce el costo de los programas de conservación ya que el equipo necesario es poco y no se tiene que colocar ningún objeto en los animales, no hay un costo asociado a la compra de equipo. Otra razón por la cual es un método efectivo es que la manipulación es mínima y esto hace que sea una forma ética y sin estrés para tener información acerca del animal.

Métodos utilizados alternos a la foto identificación pueden afectar a la movilidad o incluso la reproducción de los animales en el caso de implantes UV. Esto a su vez hace que el comportamiento de los animales se vea afectado. Por lo tanto, I3S es un método que puede ser replicado con facilidad con la misma especie o incluso especies diferentes.

## IX. Conclusiones

- Fue posible la identificación individual de *H. charlesbogerti* tanto al usar la identificación basándose en cabezas como en cloacas.
- La foto identificación utilizando cloacas es el método más efectivo para la identificación de individuos de la especie debido a un mejor punteo de emparejamiento.
- Se creó una base de datos de 17 individuos de *H. charlesbogerti* útil para la foto identificación
- La toma de fotografías de cloacas requiere de un mayor conocimiento y experiencia en el manejo de *H. charlesbogerti*, generando mayor estrés.
- Tanto el programa APHIS como Wild ID mostraron no ser efectivos para la foto- identificación de *H. charlesbogerti*.

## X. Recomendaciones

- Se recomienda estandarizar la toma de fotografías utilizando luces de estudio fijas y un trípode, utilizando un fondo completo de color blanco para contrastar con el animal y así obtener el mismo tipo de fotografía constantemente.
- Probar diferentes partes del cuerpo, patrones o colores puede ayudarnos a encontrar un tipo de fotografía que reduzca el estrés y ayude a la identificación, Se recomienda utilizar las colas o los patrones de escamas en color amarillo o crema y no los osteodermos o escamas del animal.
- Se sugiere tomar un mínimo de cinco fotografías. Y espaciar la toma de fotografías del mismo individuo a lo largo del tiempo con por lo menos una hora de separación.
- Se recomienda también el seguir añadiendo fotografías a la base de datos a lo largo del tiempo y buscar la recaptura de los individuos evaluados en este estudio para comprobar el funcionamiento a lo largo del tiempo.
- Se recomienda no procesar fotografías de *H. charlesbogerti* en otros programas como APHIS o WILD ID ya que el reconocimiento es limitado y I3S es capaz del procesamiento y reconocimiento.
- Se recomienda utilizar el método de Foto-Identificación con especies pequeñas ya que con una fotografía macro se puede obtener detalle de escamas que puede ser utilizado para identificar individuos.

## XI. Literatura citada

- Ariano-Sánchez, D. (2006). *The Guatemalan Beaded Lizard: Endangered Inhabitant of a Unique Ecosystem*. *Iguana*, 13(3), 178-183
- Ariano-Sánchez, D. (2008). *Envenomation by a wild Guatemalan Beaded Lizard Heloderma horridum charlesbogerti*. *Clinical Toxicology*, 46(9), 897–899.  
<https://doi.org/10.1080/15563650701733031>
- 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., 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), e3990. <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*. *Mesoamerican Herpetology*. 2 no (1). 64-74
- Bauwens, D., Claus, K., & Mergeay, J. (2018). *Genotyping validates photo-identification by the head scale pattern in a large population of the European adder (Vipera berus)*. *Ecology and Evolution*, 8(5), 2985–2992.  
<https://doi.org/10.1002/ece3.3917>
- Bloch, N., & Irschick, D. J. (2005). *Toe-Clipping Dramatically Reduces Clinging*

*Performance in a Pad-Bearing Lizard (Anolis carolinensis)*. *Journal of Herpetology*, 39(2), 288–293. <https://doi.org/10.1670/97-04N>

Carter, K. D., Seddon, J. M., Frère, C. H., Carter, J. K., & Goldizen, A. W. (2013).

*Fission–fusion dynamics in wild giraffes may be driven by kinship, spatial overlap and individual social preferences*. *Animal Behavior*, 85(2), 385–394.

<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.11.011>

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: Conservation, Natural History, and Husbandry of Reptiles*,

15, 143-149

Dodd, C. K. (2016). *Reptile Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques*.

Oxford University Press.

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>

Dyson, C. J., Pfennig, A., Ariano-Sánchez, D., Lachance, J., Mendelson III, J. R., & Goodisman, M. A. D. (2022). *Genome of the endangered Guatemalan Beaded Lizard, Heloderma charlesbogerti, reveals evolutionary relationships of squamates and declines in effective population sizes*. *G3 Genes/Genomes/Genetics*, 12(12), jkac276. <https://doi.org/10.1093/g3journal/jkac276>

Frère, C. H., Krützen, M., Mann, J., Watson-Capps, J. J., Tsai, Y. J., Patterson, E. M.,

Connor, R., Bejder, L., & Sherwin, W. B. (2010). *Home range overlap,*

*matrilineal and biparental kinship drive female associations in bottlenose*

*dolphins*. *Animal Behaviour*, 80(3), 481–486.

<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2010.06.007>

- 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, W. C., Ignjatovic, V., Summerhayes, R., & Kochva, E. (2006). *Early evolution of the venom system in lizards and snakes. Nature*, 439(7076), Article 7076.  
<https://doi.org/10.1038/nature04328>
- Gardiner, R. Z., Doran, E., Strickland, K., Carpenter-Bundhoo, L., & Frère, C. (2014). A *Face in the Crowd: A Non-Invasive and Cost Effective Photo-Identification Methodology to Understand the Fine Scale Movement of Eastern Water Dragons. PLoS ONE*, 9(5), e96992. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096992>
- Hoefler, S., Rotger, A., Mills, S., & Robinson, N. J. (2021). *Semi-automated photo-identification of Bahamian Racers (Cubophis vudii vudii). Acta Herpetologica*, 16(2), Article 2. [https://doi.org/10.36253/a\\_h-11502](https://doi.org/10.36253/a_h-11502)
- Masaya Arias, L. del C. (2005). *Ecología, ámbito de hogar y abundancia de una de las fuentes de alimento de Heloderma horridum charlesbogerti en Cabañas, Zacapa, Guatemala*. [Thesis, Universidad del Valle de Guatemala].  
<https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/2703>
- Mills, S. K., Rotger, A., Brooks, A. M. L., Paladino, F. V., & Robinson, N. J. (2023). *Photo identification for sea turtles: Flipper scales more accurate than head scales using APHIS. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 566, 151923.  
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2023.151923>
- Moro, D., & MacAulay, I. (2014). *Computer-Aided Pattern Recognition of Large Reptiles as a Noninvasive Application to Identify Individuals. Journal of Applied Animal Welfare Science*, 17(2), 125–135.  
<https://doi.org/10.1080/10888705.2014.883925>

- Moya, Ó., Mansilla, P.-L., Madrazo, S., Igual, J.-M., Rotger, A., Romano, A., & Tavecchia, G. (2015). *APHIS: A new software for photo-matching in ecological studies. Ecological Informatics*, 27, 64–70.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.03.003>
- Muñoz, D. J., Miller, D. A. W., Sutherland, C., & Grant, E. H. C. (2016). *Using Spatial Capture–Recapture to Elucidate Population Processes and Space-Use in Herpetological Studies. Journal of Herpetology*, 50(4), 570–581.  
<https://doi.org/10.1670/15-166>
- Petit, S., Waudby, H. P., Walker, A. T., Zanker, R., Rau, G., Petit, S., Waudby, H. P., Walker, A. T., Zanker, R., & Rau, G. (2012). *A non-mutilating method for marking small wild mammals and reptiles. Australian Journal of Zoology*, 60(1), 64–71. <https://doi.org/10.1071/ZO11088>
- 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): 74-96
- Sacchi, R. (2007). *The Numerical Encoding of Scale Morphology Highly Improves Photographic Identification in Lizards. Acta Herpetologica. N. 1 - January, 2007*, 1000–1009. <https://doi.org/10.1400/77657>
- Sacchi, R., Scali, S., Pellitteri-Rosa, D., Pupin, F., Gentili, A., Tettamanti, S., Caviglioli, L., Racina, L., Maiocchi, V., Galeotti, P., & Fasola, M. (2010). *Photographic identification in reptiles: A matter of scales. Amphibia-Reptilia*, 31(4), 489–502.  
<https://doi.org/10.1163/017353710X521546>
- Salom-Oliver, M., Ruiz de la Hermosa Amengual, A., Aguiló-Zuzama, A., Ribas-Serra,

- A., Vallespir, J., Tejada-Gavela, S., & Pinya, S. (2022). *Plastron color patterns allow for individual photo- identification in two different chelonian species. Canadian Journal of Zoology, 100*(12), 789–798. <https://doi.org/10.1139/cjz-2022-0040>
- Sreekar, R., Purushotham, C. B., Saini, K., Rao, S. N., Pelletier, S., & Chaplod, S. (2013). *Photographic Capture-Recapture Sampling for Assessing Populations of the Indian Gliding Lizard Draco dussumieri. PLOS ONE, 8*(2), e55935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055935>
- Steinmetz, K. (n.d.). *Evaluating the Software P'S Pattern for Photo-Identification of Nesting Hawksbill Turtles (Eretmochelys imbricata)*. Retrieved September 11, 2023, from <http://www.seaturtle.org/mtn/archives/mtn155/mtn155-5.shtml>
- V, R. A., & Campbell, J. A. (2010). *Guatemalan Beaded Lizard (Heloderma horridum charlesbogerti) on the Pacific Versant of Guatemala. The Southwestern Naturalist, 55*(3), 453–454. <https://doi.org/10.1894/GC-204.1>
- Waudby, H. P., & Petit, S. (2020). *Comments on the Efficacy and Use of Visible Implant Elastomer (VIE) for Marking Lizards. The South Australian Naturalist, 85*(1), 7–13. <https://doi.org/10.3316/informit.251857167920976>
- Brooks, K., Rowat, D., Pierce, S. J., Jouannet, D., & Vely, M. (2010). Seeing Spots: *Photo- identification as a Regional Tool for Whale Shark Identification. Western Indian Ocean Journal of Marine Science, 9*(2), Article 2.
- Calmanovici, B., Waayers, D., Reisser, J., Clifton, J., & Proietti, M. (2018). *I3S Pattern as a mark- recapture tool to identify captured and free-swimming sea turtles: An assessment. Marine Ecology Progress Series, 589*, 263–268.

<https://doi.org/10.3354/meps12483>

Chassagneux, A., Jean, C., Bourjea, J., & Ciccione, S. (n.d.). *Unraveling Behavioral Patterns of Foraging Hawksbill and Green Turtles Using Photo-Identification.*

Dala-Corte, R. B., Moschetta, J. B., & Becker, F. G. (2016). *Photo-identification as a technique for recognition of individual fish: A test with the freshwater armored catfish *Rineloricaria aequalicuspis* Reis & Cardoso, 2001 (Siluriformes: Loricariidae).* *Neotropical Ichthyology*, *14*, e150074.

<https://doi.org/10.1590/1982-0224-20150074>

Dawson, J., Panter, C. T., & Zeisset, I. (2021, January 1). *Comparisons of image-matching software when identifying pool frog (*Pelophylax lessonae*) individuals from a reintroduced population.* | *Herpetological Journal* | EBSCOhost.

<https://doi.org/10.33256/31.1.5559>

Dunbar, S. G., Ito, H. E., Bahjri, K., Dehom, S., & Salinas, L. (2014). *Recognition of juvenile hawksbills *Eretmochelys imbricata* through face scale digitization and automated searching.* *Endangered Species Research*, *26*(2), 137–146.

<https://doi.org/10.3354/esr00637>

Haxton, T. (2021). *Use of unique brook trout spot patterns over a short duration for a mark-recapture study.* *Environmental Biology of Fishes*, *104*(11), 1391–1399.

<https://doi.org/10.1007/s10641-021-01169-6>

Kirby, A., Vickaryous, M., Boyde, A., Olivo, A., Moazen, M., Bertazzo, S., & Evans, S. (2020). *A comparative histological study of the osteoderms in the lizards *Heloderma suspectum* (Squamata: Helodermatidae) and *Varanus komodoensis* (Squamata: Varanidae).* *Journal of Anatomy*, *236*(6), 1035–1043.

<https://doi.org/10.1111/joa.13156>

Mills, S. K., Rotger, A., Brooks, A. M. L., Paladino, F. V., & Robinson, N. J. (2023).

*Photo identification for sea turtles: Flipper scales more accurate than head scales using APHIS. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 566, 151923.*

<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2023.151923>

Moya, Ó., Mansilla, P.-L., Madrazo, S., Igual, J.-M., Rotger, A., Romano, A., &

Tavecchia, G. (2015). *APHIS: A new software for photo-matching in ecological studies. Ecological Informatics, 27, 64–70.*

<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.03.003>

Sacchi, R. (2007). *The Numerical Encoding of Scale Morphology Highly Improves*

*Photographic Identification in Lizards. Acta Herpetologica. N. 1 - January, 2007,*

1000–1009. <https://doi.org/10.1400/7765>

Sannolo, M., Gatti, F., Mangiacotti, M., Scali, S., & Sacchi, R. (2016). *Photo-*

*identification in amphibian studies: A test of I3S Pattern. Acta Herpetologica, 63-*

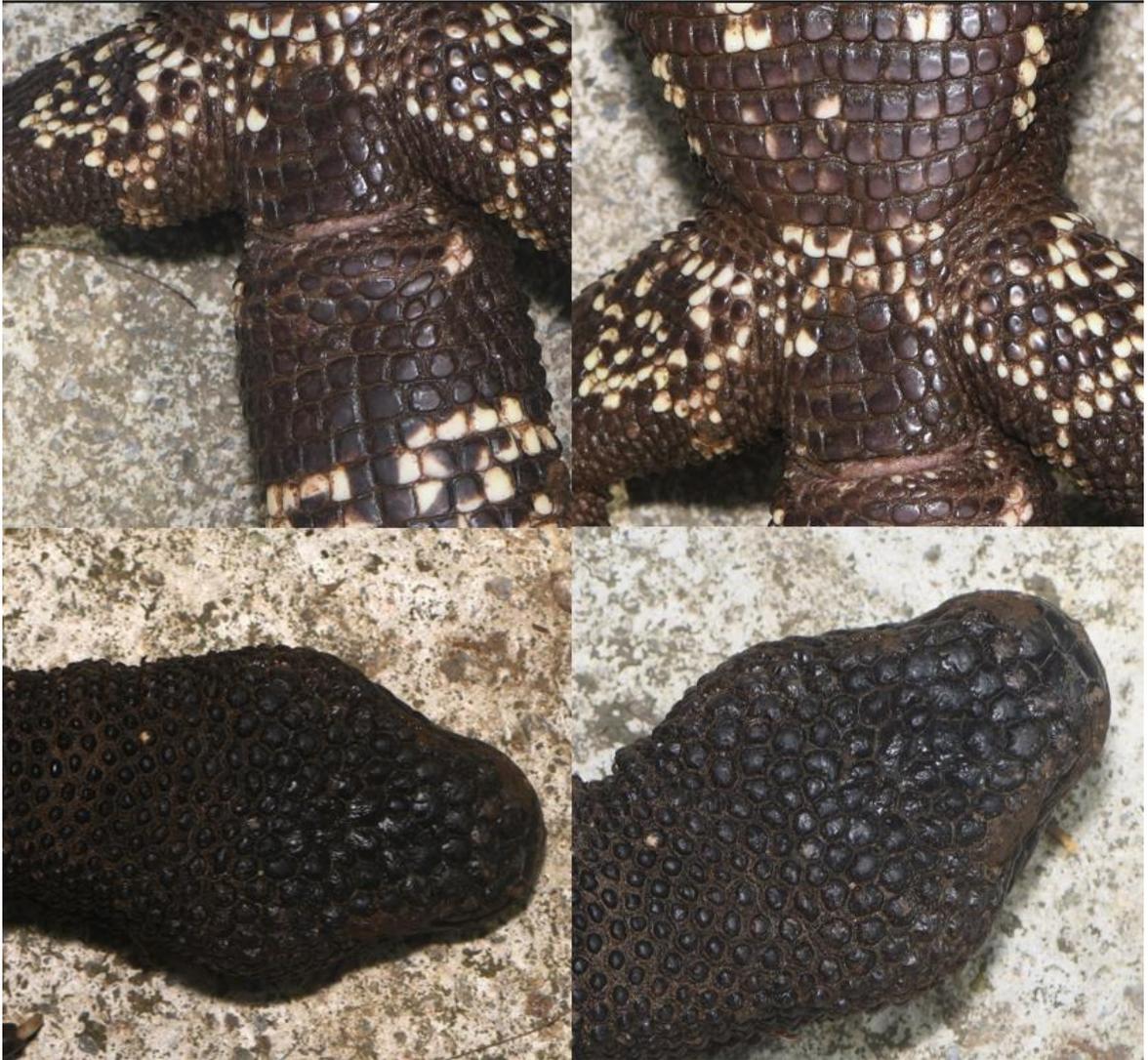
68 Pages. [https://doi.org/10.13128/ACTA\\_HERPETOL-17198](https://doi.org/10.13128/ACTA_HERPETOL-17198)

Speed, C. W., Meekan, M. G., & Bradshaw, C. J. (2007). *Spot the match – wildlife photo-*

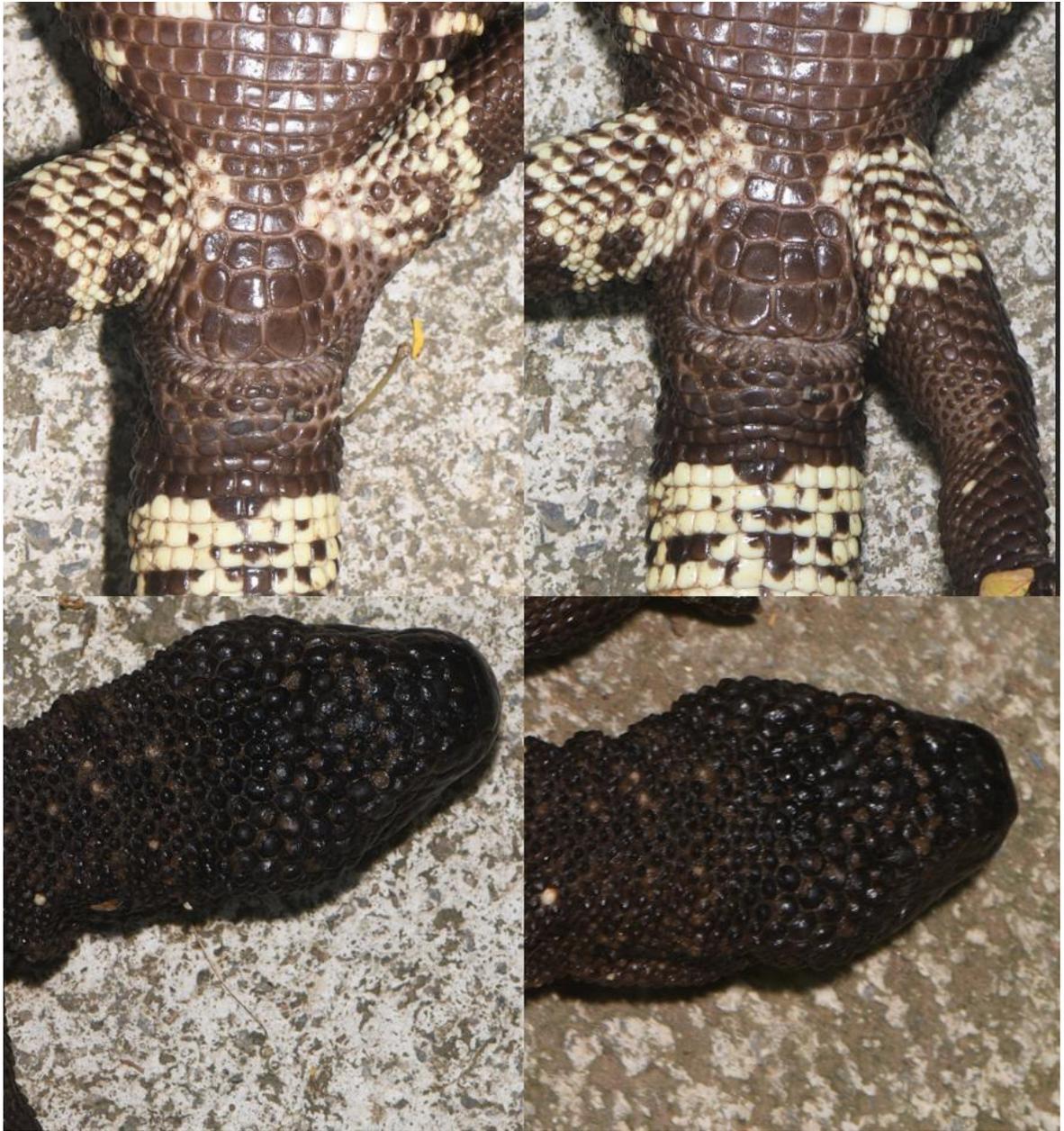
*identification using information theory. Frontiers in Zoology, 4(1), 2.*

<https://doi.org/10.1186/1742-9994-4-2>

## XII. Apéndices



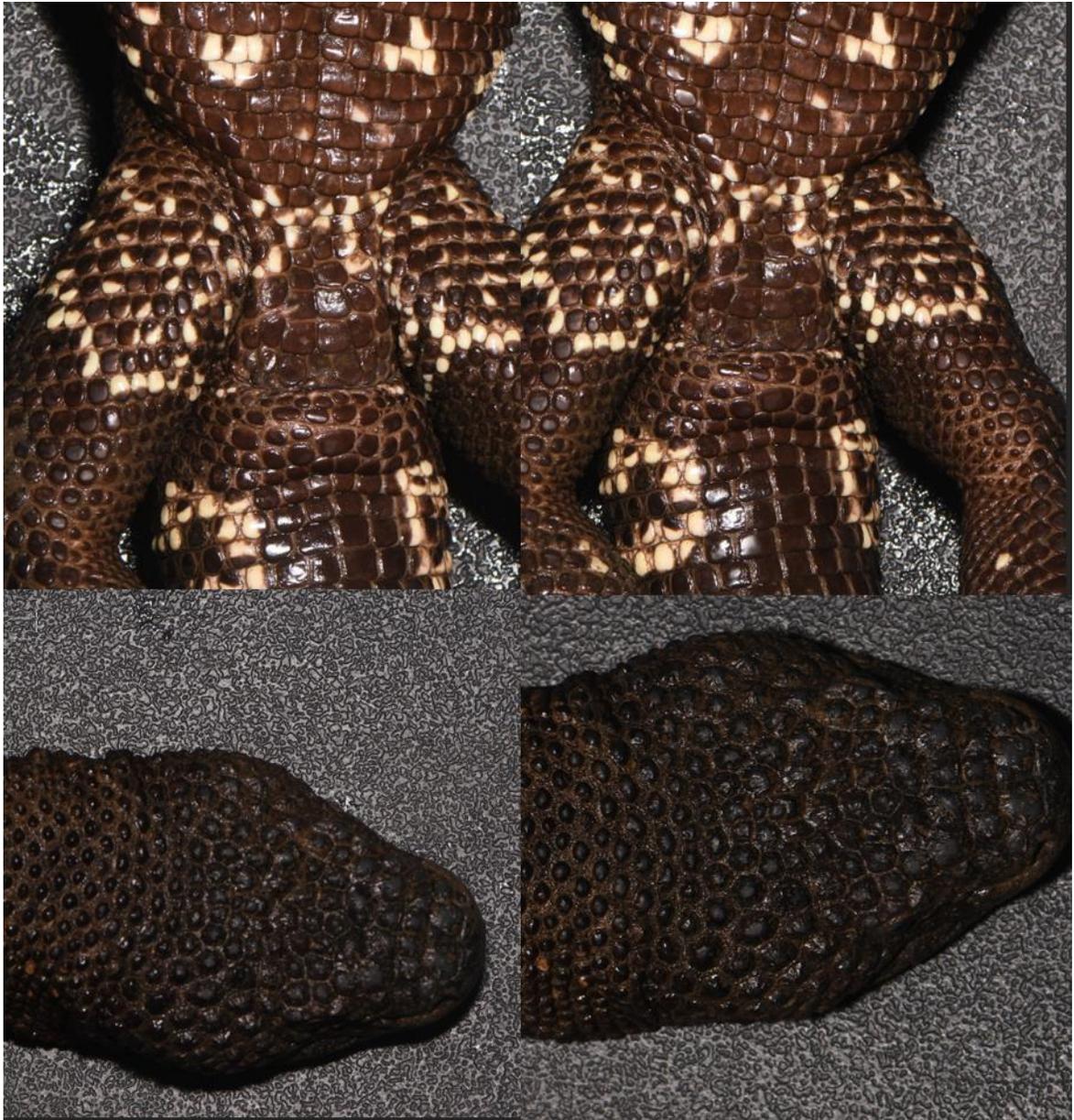
**Figura 20.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 069\*628\*043 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



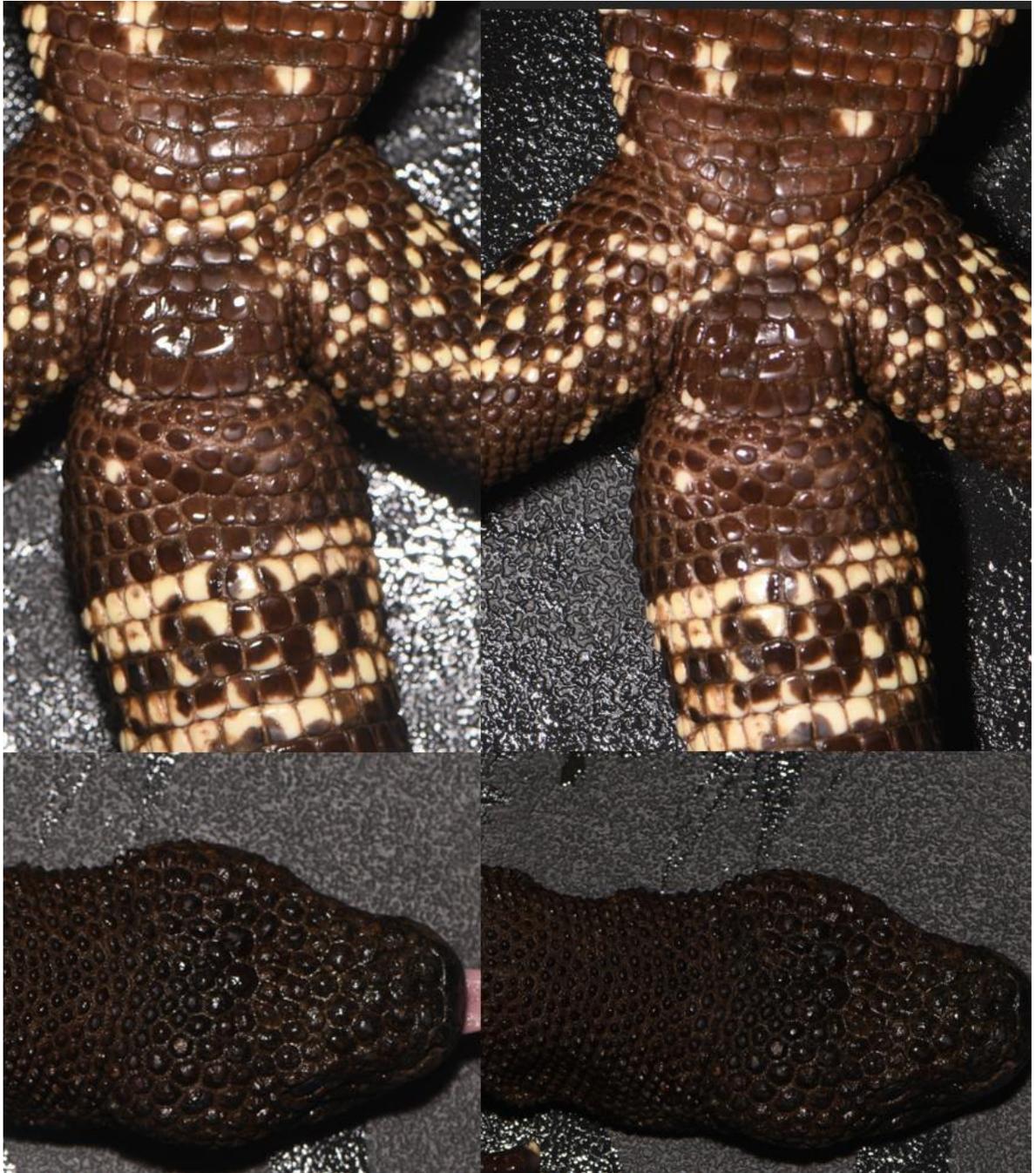
**Figura 21.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 900215006375121 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



**Figura 22.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 900215066372831 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



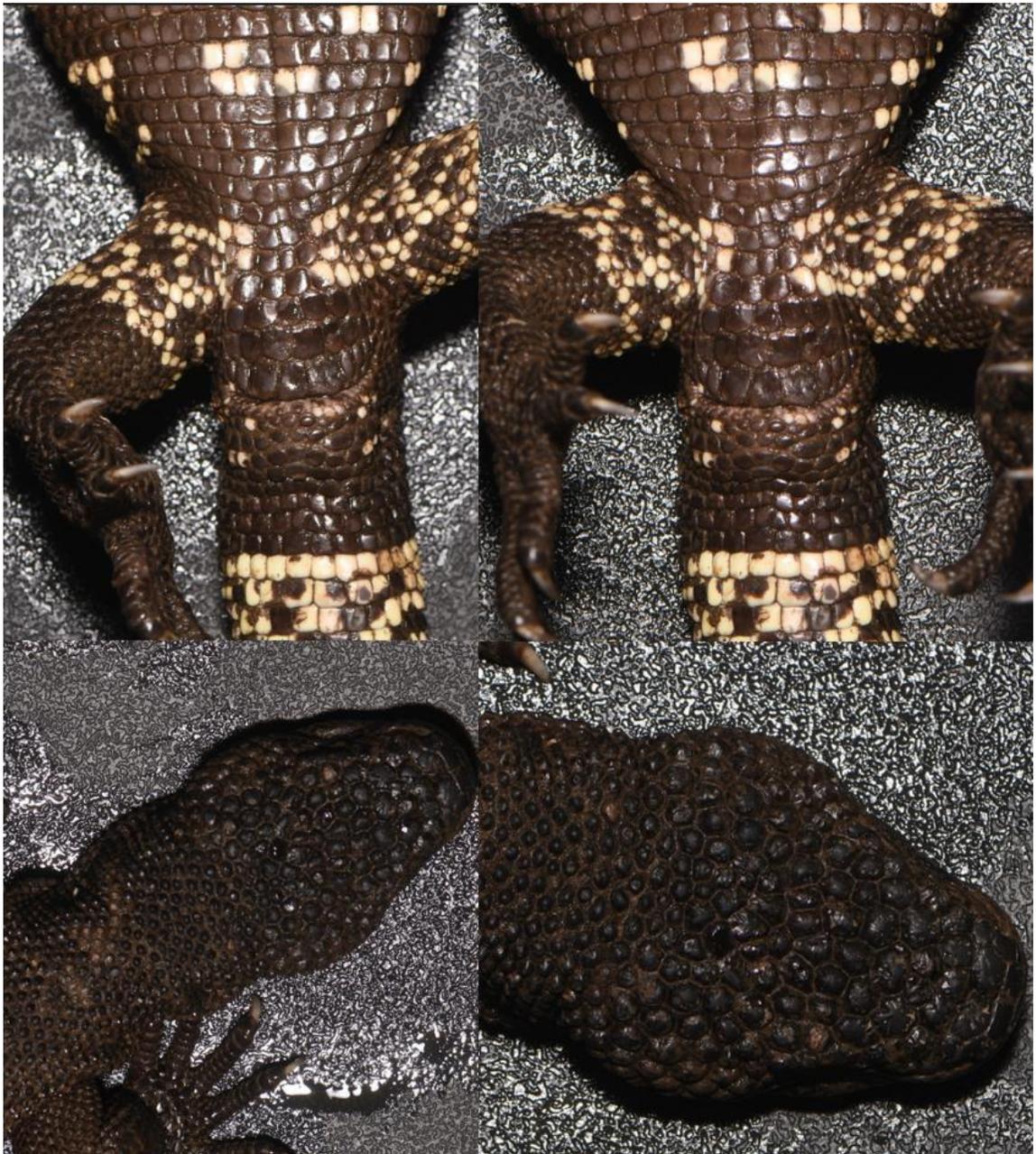
**Figura 23.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 054\*870\*551 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



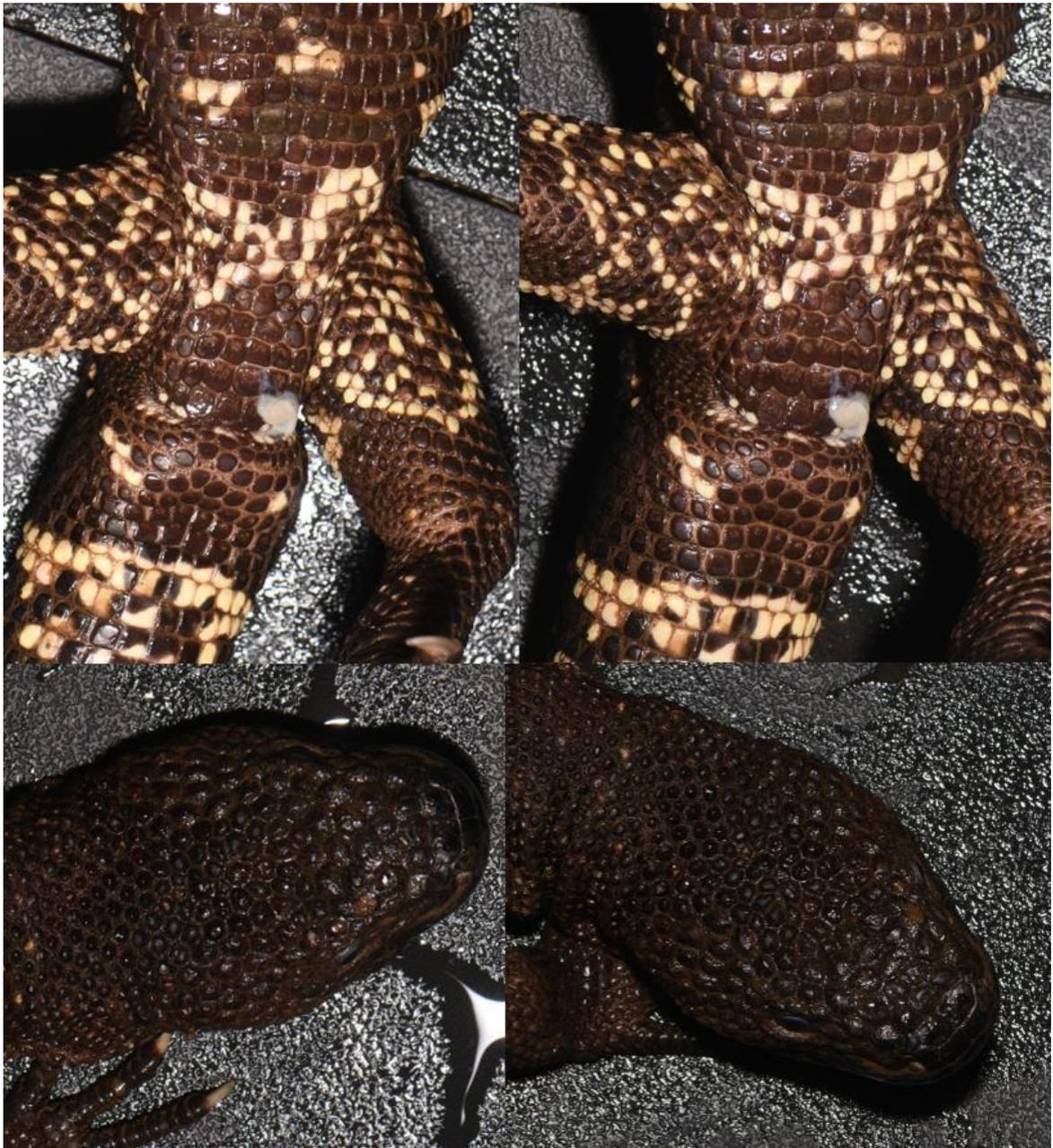
**Figura 24.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 054\*870\*531 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



**Figura 25.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 2008238000617360 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



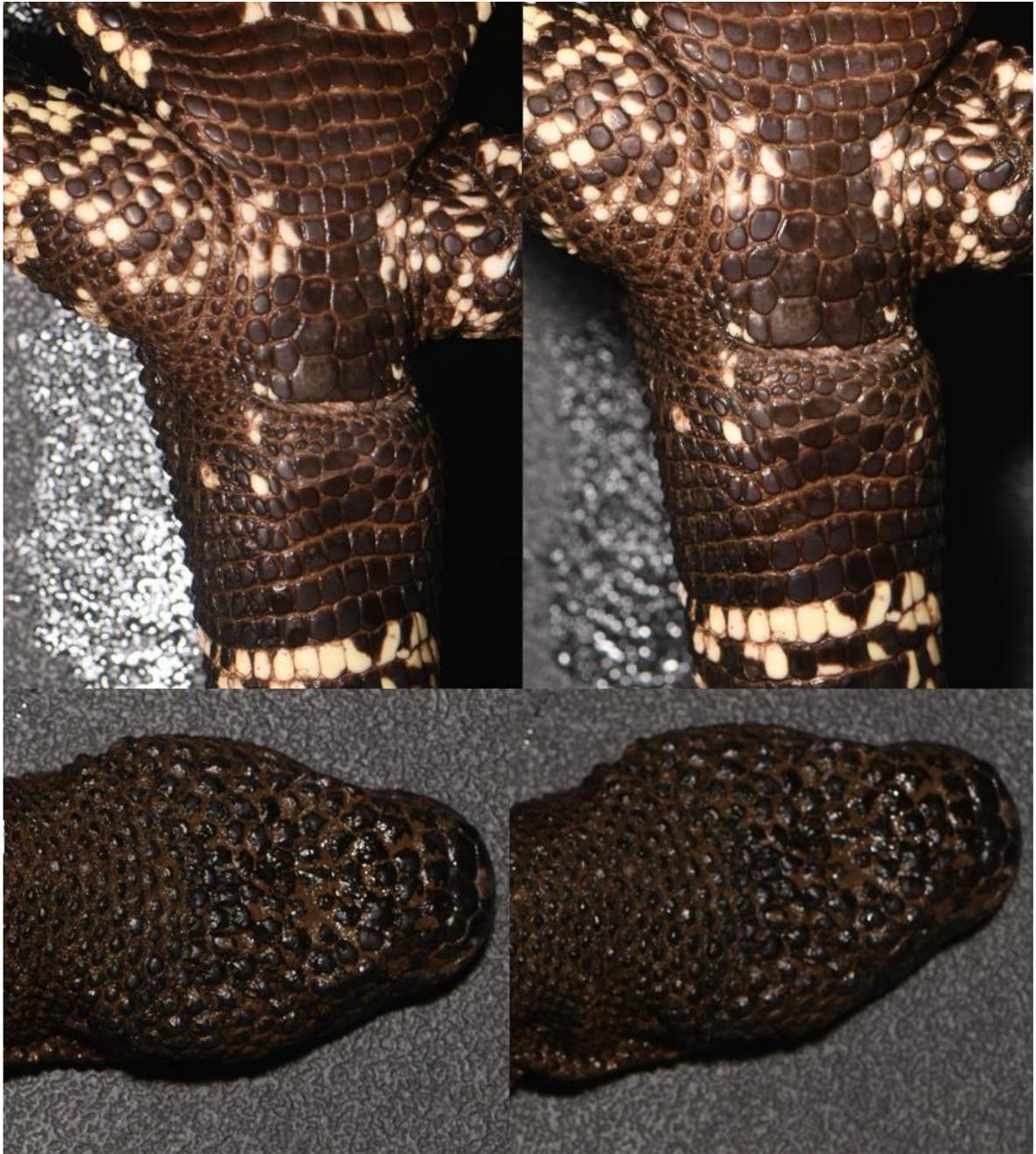
**Figura 26.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 900215066372829 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



**Figura 27.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 208238000017388 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



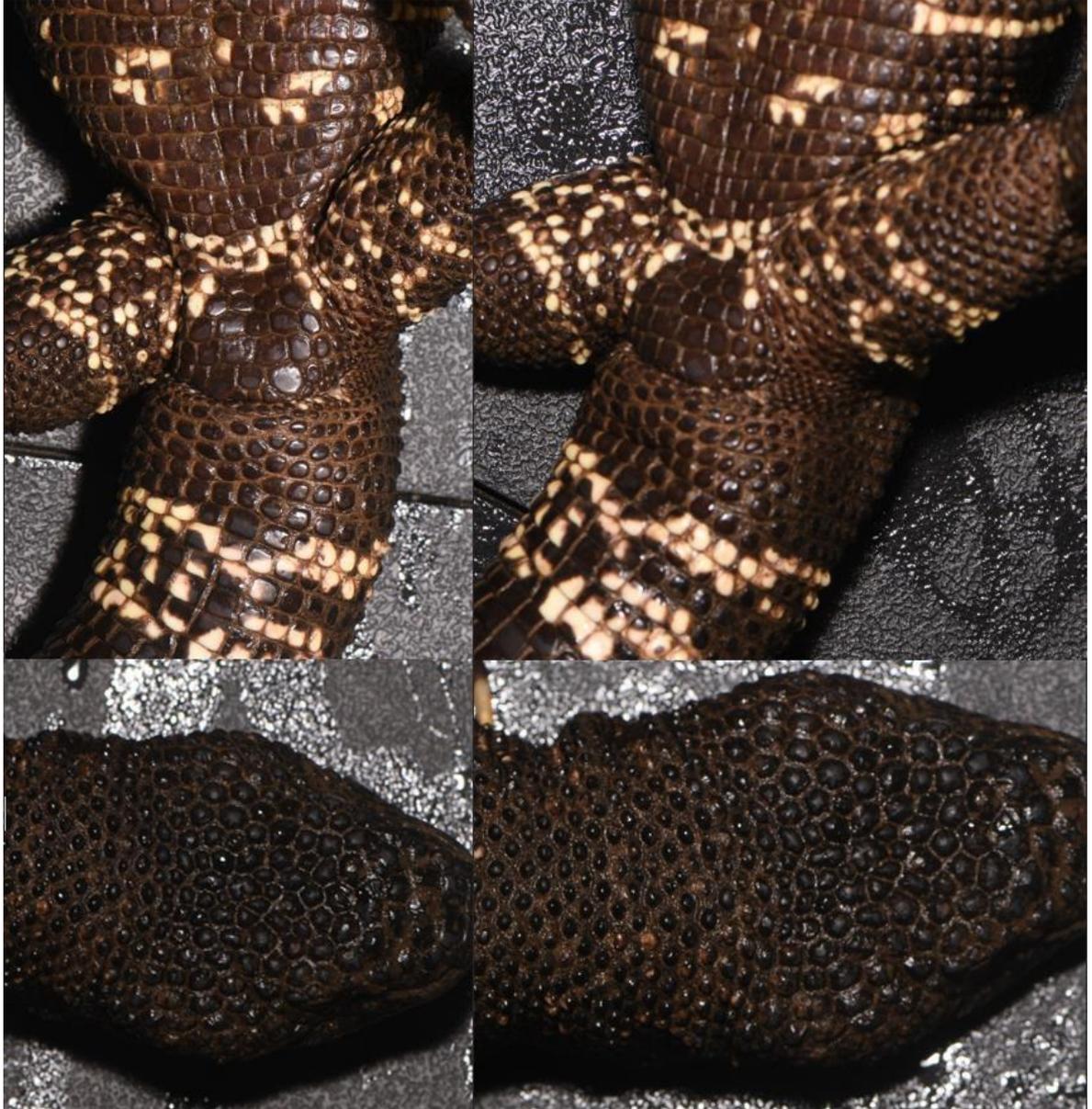
**Figura 28.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 208238000017584 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



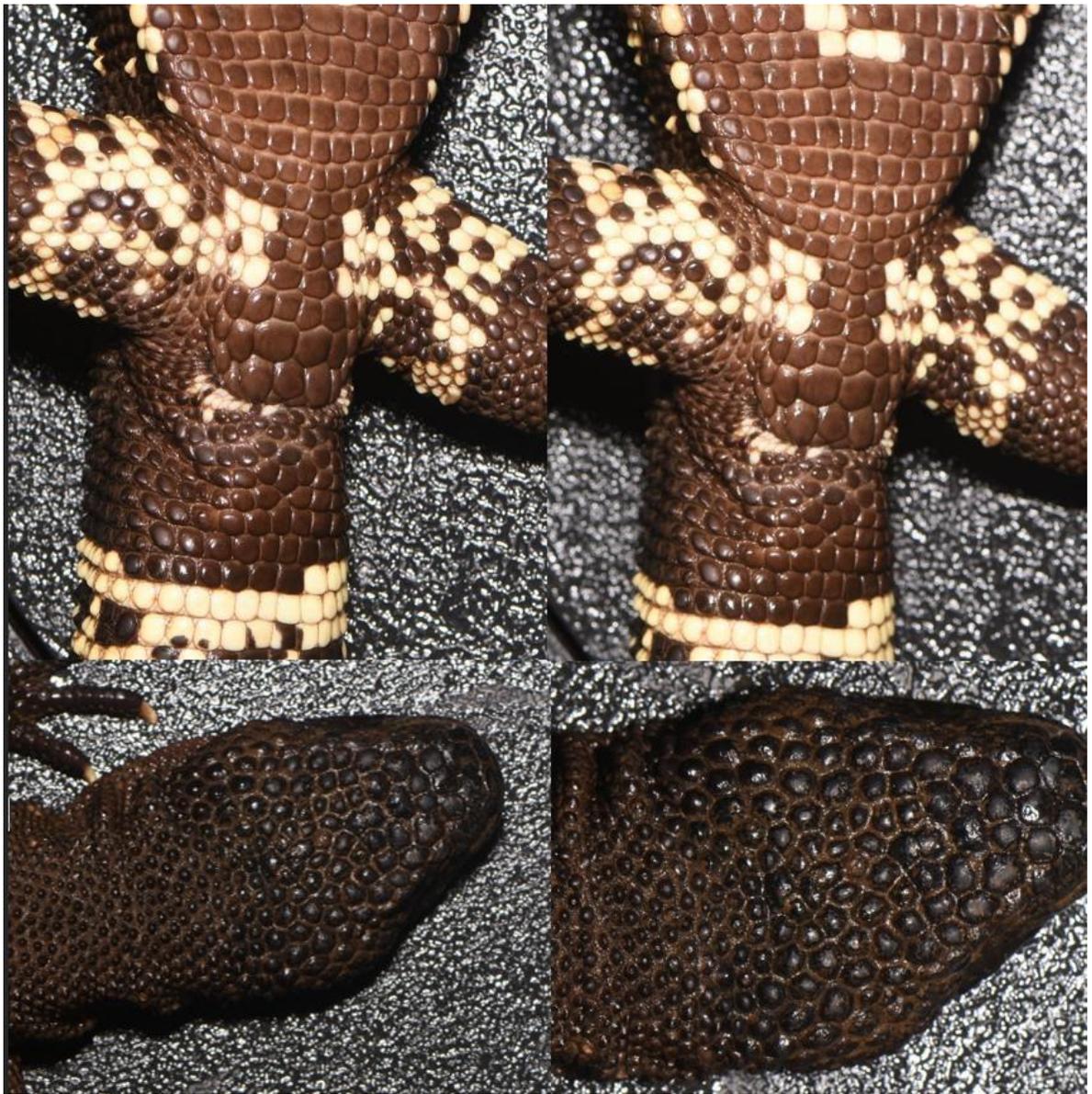
**Figura 29.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 098\*373\*856 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



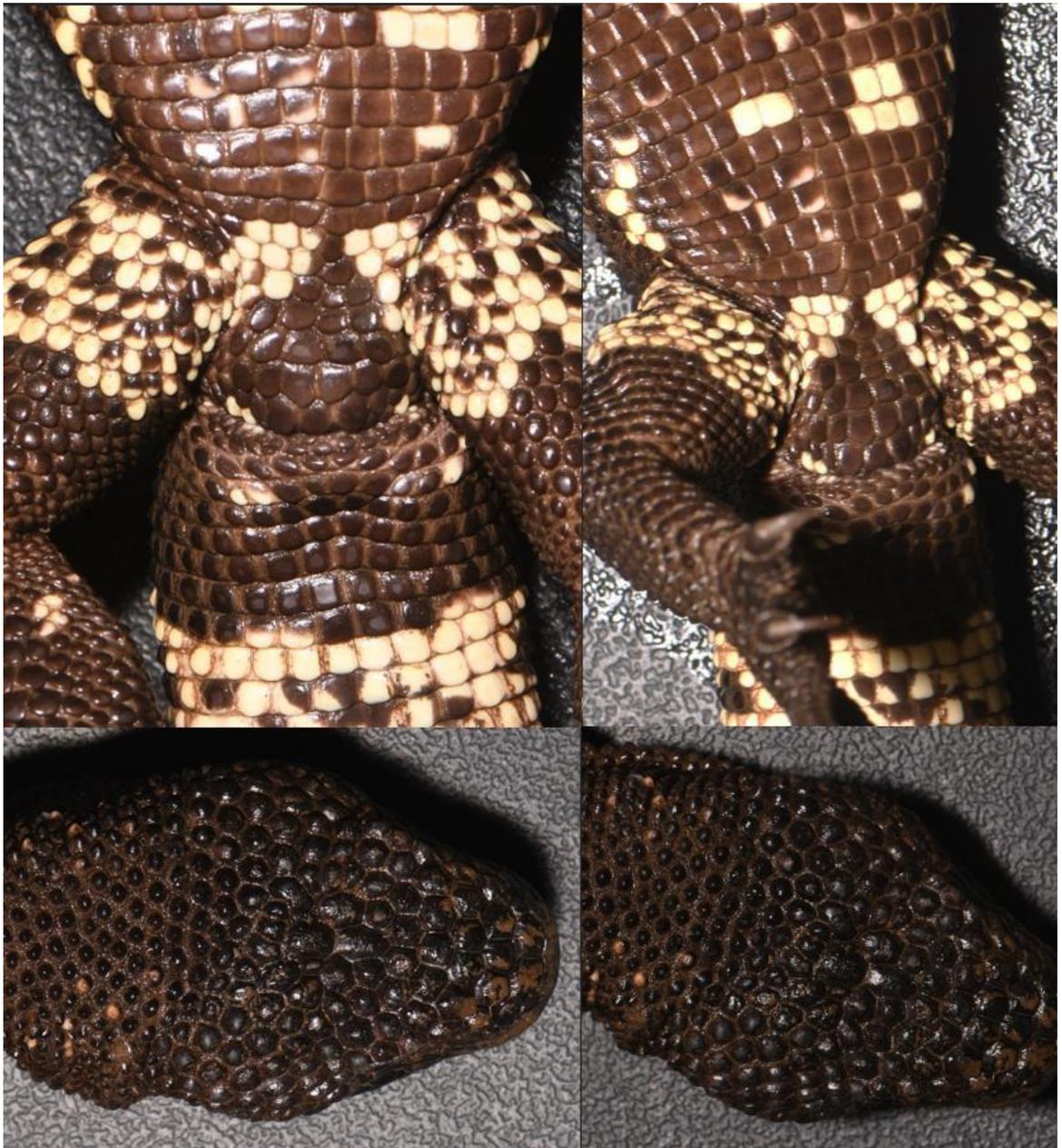
**Figura 30.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 208238000017329 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



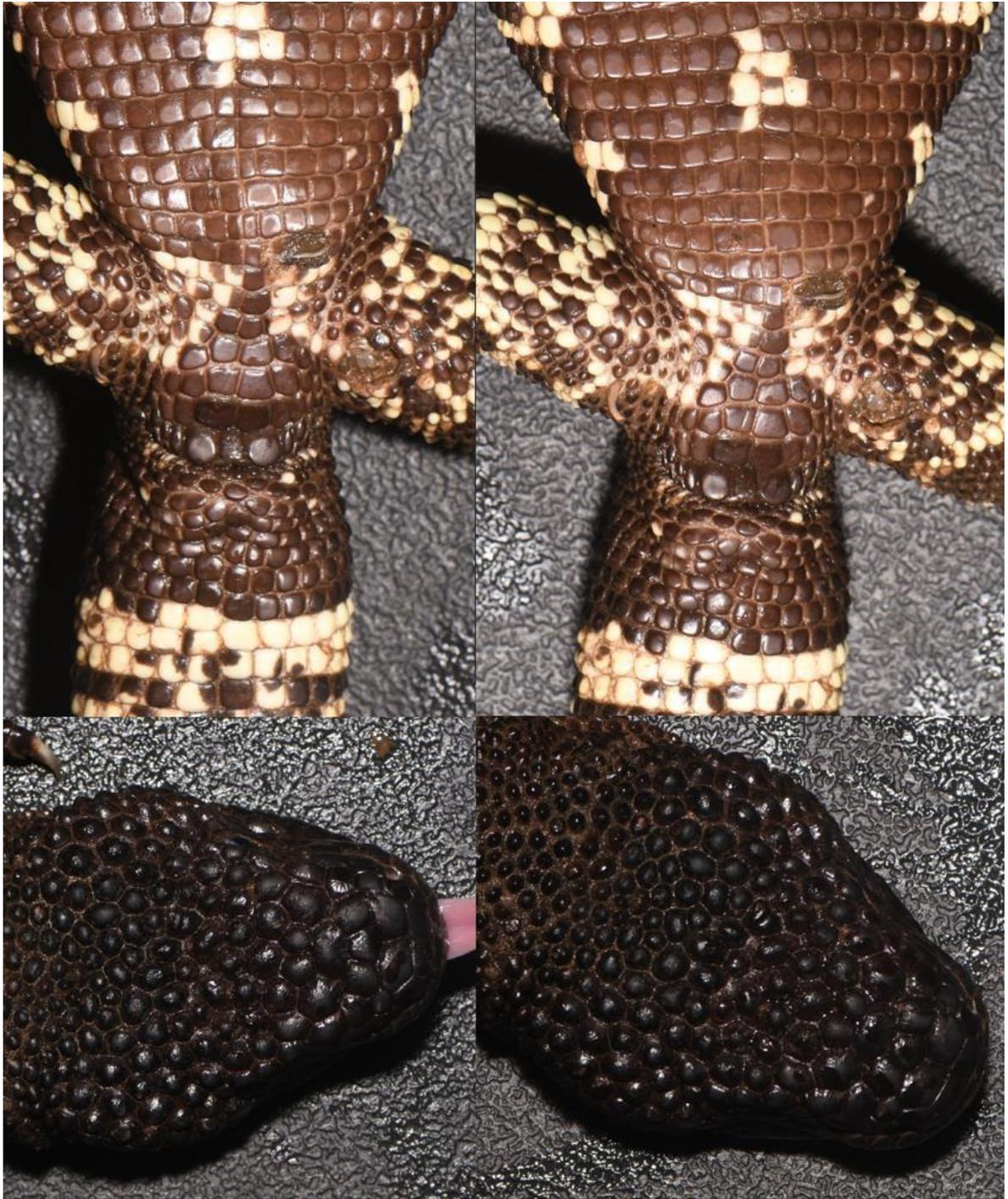
**Figura 31.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 069\*778\*311 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



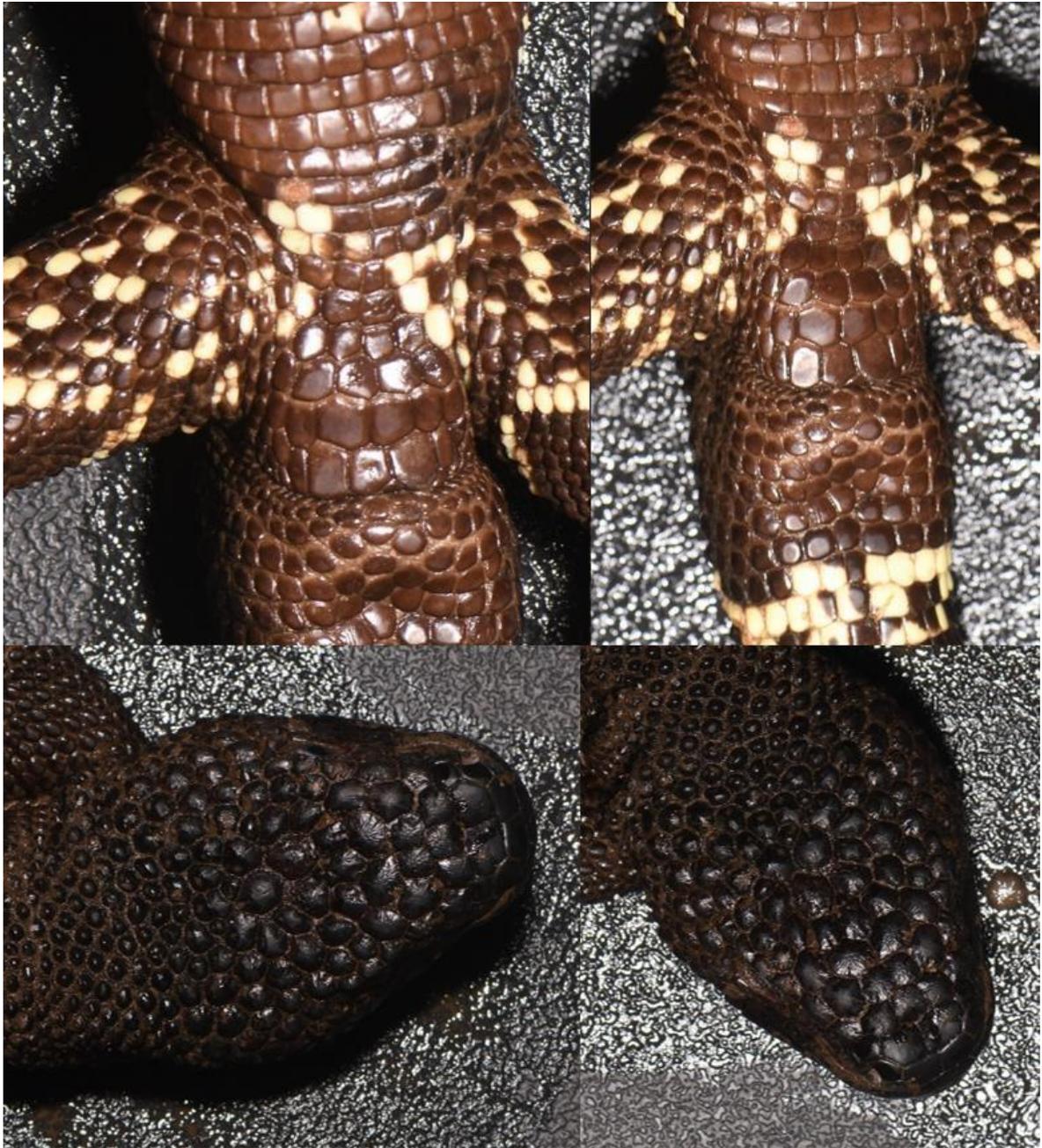
**Figura 32.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 208238000017342 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



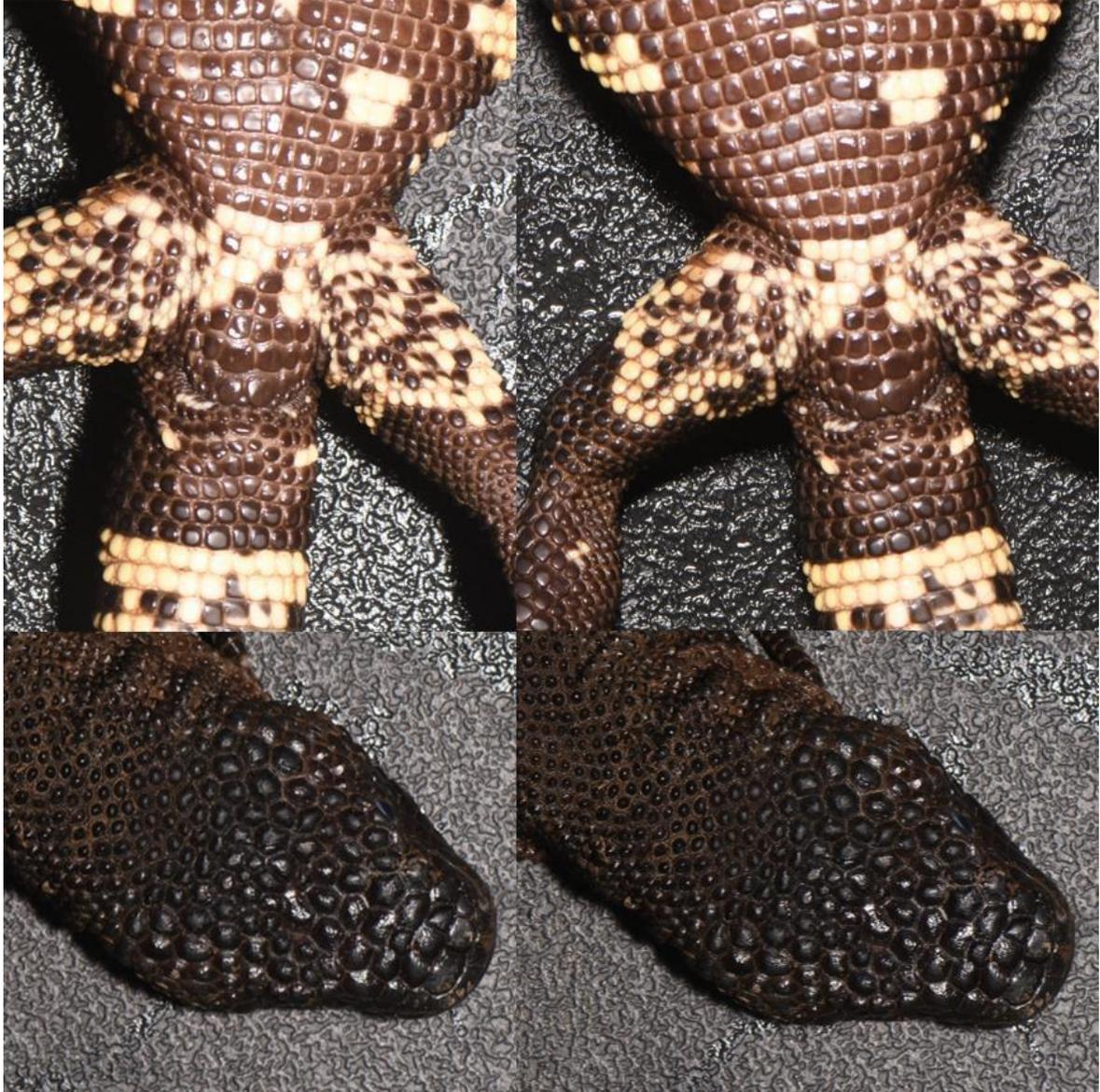
**Figura 33.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 900215006372838 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



**Figura 34.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 900215006372834 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



**Figura 35.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 208238000017384 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



**Figura 36.** Fotografías del *Heloderma charlesbogerti* con número de chip 900215006372837 las cloacas en la parte superior y las cabezas en la parte inferior.



**Comité de Ética, Uso y Cuidado animal de  
la Universidad del Valle de Guatemala**

**CEUCA - UVG**

Investigadores Principales: Luis Rodrigo Morales Santiago (Tesisista) y Daniel Ariano Sánchez (Asesor)  
Edificio y oficina: Departamento de Biología  
E-Mail: mor12136@uvg.edu.gt / dariano@uvg.edu.gt  
Teléfono: 33183154

Guatemala, 4 de septiembre 2023.

Estimados investigadores,

Por este medio se hace constar que la propuesta del proyecto titulado “Reconocimiento de individuos de *Heloderma charlesbogerti* utilizando fotoidentificación en la reserva natural Heloderma” ha sido recibida al Comité de Ética, para el Uso y Cuidado Animal de la Universidad Del Valle de Guatemala (CEUCA – UVG).

Se ha realizado una revisión del protocolo con el fin de asegurar el trato ético a los animales que serán utilizados para cumplir con los propósitos del estudio. Se ha determinado que se cumple con los requisitos necesarios, así como también se ha cumplido con los procedimientos y lineamientos descritos por el comité.

Por este medio se le informa se autoriza llevar a cabo la práctica con animales tal y como se describe en el protocolo aprobado por un período de un año a partir de la fecha de la presente carta.

Se le solicita que, si hubiese necesidad de hacer cualquier otra modificación a lo descrito en la propuesta, se comunique de nuevo con el comité para que dichas enmiendas sean evaluadas de manera que se pueda garantizar que se cumple a cabalidad con los lineamientos del CEUCA-UVG y la regulación nacional.

Sin otro particular quedando a sus órdenes,



MV Vanessa Granados B  
Médico Veterinario  
Colegiado 997  
CEUCA – UVG (Comité de Ética, Uso y Cuidado Animal, Universidad del Valle de Guatemala).

**Figura 37.** Carta de aprobación por parte del comité de ética, para uso y cuidado animal de la Universidad del Valle de Guatemala (CEUCA-UVG)