

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA**  
**UNIDAD ACADÉMICA HERMOSILLO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**VARIACIÓN COLORIMÉTRICA LOCAL Y GEOGRÁFICA DEL  
PLUMAJE DE LA CODORNIZ MOCTEZUMA (*Cyrtonyx montezumae*  
vigors 1830)**

**TESIS**

**QUE COMO PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTA:**

**RENÉ JESÚS TOSCANO MELÉNDREZ**

**Director de tesis**

**DR. ALBERTO MACÍAS DUARTE**

**HERMOSILLO, SONORA.**

**NOVIEBRE DEL 2025**

**VARIACIÓN COLORIMÉTRICA LOCAL Y GEOGRÁFICA DEL  
PLUMAJE DE LA CODORNIZ MOCTEZUMA (*Cyrtonyx montezumae*  
vigors 1830)**

**TESIS**

**QUE COMO PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTA:**

**RENÉ JESÚS TOSCANO MELÉNDREZ**

**HERMOSILLO, SONORA.**

**NOVIEMBRE DE 2025**

## APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis intitulada “Variación colorimétrica local y geográfica del plumaje de la codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae* vigors 1830)” presentada por René Jesús Toscano Meléndrez, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias Ambientales.

---

Dr. Alberto Macías Duarte

Director

---

Dra. Carmen Isela Ortega Rosas

Secretaria

---

Dr. Jesús Raúl Martínez Sandoval

Sinodal

---

Dra. Diana Medina Félix

Sinodal

## DEDICATORIA

A todas las personas que estuvieron a mi lado en este trayecto, muy especialmente mi **Familia** - *“La vida no ha sido fácil, te hace caer, pero te forja para ayudar a tus seres queridos” “Esto es por ustedes”*

A mis **amigos** incondicionales, las personas más fuertes que conozco, ellos me vieron ganar y perder mis batallas, ahí estuvieron – *“Un amigo verdadero celebra tus logros como si fueran suyos”*

A aquellas personas que confiaron y creyeron en mí, sobre todo aquellas que apoyaron cada paso en este duro camino de la investigación – *“Sus palabras de aliento fueron apoyo para avanzar en momentos difíciles”.*

A mis **colegas** de gusto por el campo, las plantas y los animales – *“El amor a la naturaleza y la aventura, se lleva en la sangre”*

A los jóvenes por su esfuerzo en los montajes del laboratorio y su aportación de ideas para mejoras en la metodología de conservación – *“Muchas gracias su apoyo”*

No escribo nombres para no omitir personas - *“Ustedes saben a quiénes les dedico este esfuerzo y cada palabra escrita”.*

Y agradezco especialmente a **ti** por tomarte el tiempo de leer este escrito que es una recopilación de información que inició con mi trabajo en el proyecto ***“Distribution, Ecology, and Genomics of Montezuma Quail, Implications for Conservation”*** el 19 de septiembre 2022.

## AGRADECIMIENTOS

A los doctores miembros del comité Dr. Alberto Macías Duarte-director, Dra. Carmen Isela Ortega Rosas-secretaria, Dr. Jesús Raúl Martínez Sandoval-sinodal y Dra. Diana Medina Félix-sinodal, por su apoyo y disposición en mi preparación profesional en este grado de maestría. Cada una de sus aportaciones fueron de sumamente valiosas para estructurar este escrito.

A Andrew Johnson, encargado de la colección de aves del Museum of Southwestern Biology, por su valiosa contribución con la facilitación a los ejemplares para enriquecer la información de este proyecto.

A Eduardo García Espino por sus aportes fotográficos de campo de la especie *C. montezumae*, por su ayuda al guiar, conducir a los sitios de colecta y su donación de ejemplares para el estudio.

Para finalizar agradecimiento al Departamento de Posgrado de la Maestría en Ciencias Ambientales de la Universidad Estatal de Sonora, Texas Parks & Wildlife, Purdue University y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el año de apoyo financiero.

Agradezco a los propietarios de los ranchos y ejidos que nos permitieron el acceso para coleccionar especímenes incluyendo a Agapito Yépiz (Mesa de las Hormigas), Marín Carrillo (Coyamito Norte), Enrique Baeza (Tinjaja Verde), Mario Fímbrs (El Encino). De igual forma agradezco a quienes coleccionaron ejemplares de codorniz Moctezuma, incluyendo a Rodrigo Munro-Wilson, Eduardo García, Angel Montoya y John McLaughlin y Roberto Rodríguez.

Agradecimientos especiales a las contribuciones para el proyecto con permisos y apoyo logístico para entrar a las propiedades privadas y colectas realizados a lo largo del proyecto: Robert Pérez, John McLaughlin, James Weaver & Patrick Schutz (TPWD), Eduardo García, Alejandro Lozano (UAAAN), José Hugo Martínez & Martín Pereda (UJED), Rodrigo Munro-Wilson, José Manuel Pérez (Cuenca Los Ojos), Leonardo Santana, Nahum Sánchez, Alejandro Torres, Luis Tarango, Genaro Olmos, Manuel García, Salvador Ibarra, Alberto Lafón Terrazas y Carlos Aguirre.

Vale la pena resaltar el increíble y excelente trabajo del equipo de perros de caza para las colectas, que sin ellos esto no sería posible: *Rex* (Braco Alemán), *Drifter* (pointer), *Dot* (pointer), *Josie* (Brittany), *Chispa* (pointer) y *Stevie* (pointer). El aporte de cada uno fueron grandes pasos que sustentaron esta investigación entre otras.

*¡GRACIAS, FIELES AMIGOS COMPAÑEROS DE TRABAJO!*

## RESUMEN

La codorniz Moctezuma *Cyrtonyx montezumae* es un ave indicadora de calidad de hábitat, en esto radica la importancia de su estudio para la conservación de la especie. La pregunta de cómo un ave posee ese grado de importancia para el medio donde vive radica en su función ecológica, dando como resultado un organismo vital para el ecosistema. Su disminución poblacional ha sido notoria por diferentes factores desde los naturales hasta los antropogénicos.

En el presente estudio las codornices fueron colectadas por el equipo de trabajo, sustentado con el correspondiente permiso de colecta científico, manteniendo la ética de caza, el manejo adecuado de las colectas para su preservación y procesamiento. El objetivo del estudio del color de *C. montezumae* es determinar si existe variación geográfica de la coloración en el plumaje y si se encuentra en relación directa con factores ecológicos, ambientales o de adaptación local. En México se procesaron 94 organismos (solamente morfología y conservación del plumaje). Para las metodologías se trabajó con un total de 89 ejemplares procesados con colorimetría puntual, 72 ejemplares montados para colorimetría algorítmica (20 fotografías cada una a 18°) de México y 92 ejemplares de EE.UU. fotografiados para colorimetría algorítmica (4 fotografías una por tracto). La relación colorimétrica entre los ejemplares de la Sierra madre occidental y zona sur de EE. UU., fue significativa, son mayormente influenciadas por las variables bioclimáticas y altitudinales, demostrando que en el resto de las regiones procesadas existe una diferencia colorimétrica. Esta evidencia es una referencia a las adaptaciones alimenticias, territoriales y climáticas.

## ABSTRACT

The Montezuma quail (*Cyrtonyx montezumae*) is a habitat quality indicator bird, so its study is essential for the conservation of the species. The key to a bird's importance to its habitat lies in its ecological function, which makes it a vital organism for the ecosystem. Its population decline has been notable due to various factors, from natural to anthropogenic.

In this study, quail were collected by the team, supported by the corresponding scientific collecting permit, maintaining hunting ethics and proper handling of the collections for their preservation and processing. The objective of studying the color of *C. montezumae* is to determine if there is geographic variation in plumage coloration and if it is directly related to ecological, environmental, or local adaptation factors. In Mexico, 94 organisms were processed (only morphology and plumage preservation). For the methodologies, a total of 89 specimens processed with point colorimetry, 72 specimens mounted for algorithmic colorimetry (20 photographs each at 18°) from Mexico, and 92 specimens from the EE.UU. photographed for algorithmic colorimetry were used (4 photographs, one for each tract). The colorimetric relationship between specimens from the Sierra Madre Occidental and the southern United States was significant, they are mostly influenced by bioclimatic and altitudinal variables, demonstrating that a colorimetric difference exists in the remaining processed regions. This evidence is a reference to dietary, territorial, and climatic adaptations.



## CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
II.1 Distribución de la codorniz Moctezuma .....	4
II.2 Hábitat .....	5
II.3 Reproducción.....	6
II.4 Dieta .....	8
II.5 La especie en la actualidad .....	9
II.6 Plumaje.....	10
II.7 Color y colorimetría .....	17
II.8 Trabajos en colorimetría.....	18
II.9 Colorimetría en aves.....	18
II.10 Trabajos previos de colorimetría en aves .....	18
II.11 Análisis por segmentación.....	20
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
IV. JUSTIFICACIÓN.....	24
V. HIPÓTESIS .....	25
VI. OBJETIVO GENERAL .....	26
VI.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	27
VII. METODOLOGIA .....	28
VII.1 Materiales y métodos.....	28
VII.1.1 Área de estudio .....	28
VII.1.2 Colecta de muestras y su periodo.....	31
VII.1.3 Conservación de las muestras y procesamiento del plumaje. ....	35
VII.1.4 Determinación de edad y sexo .....	37
VII.1.5 Variables ambientales .....	37
VII.1.6 Colorimetría y mediciones .....	37
VIII. RESULTADOS.....	53

VIII.1	Colorimetría puntual.....	53
VIII.1.1	L*, a* y b* .....	53
VIII.1.2	Cr* y hue.....	62
VIII.2	Regresión lineal múltiple multivariada puntual .....	62
VIII.3	Colorimetría por análisis algorítmico de fotografía de alta calidad .....	62
VIII.3.1	L*, a* y b* .....	66
VIII.3.2	Cr* Y hue.....	66
VIII.4	Efectos de las variables ambientales sobre la colorimetría de plumajes .....	71
IX.	DISCUSIÓN.....	89
IX.1	Metodologías empleadas .....	89
IX.2	Análisis inicial justificativo.....	89
IX.3	Análisis RLMM.....	91
IX.4	Consideraciones.....	93
IX.5	Aporte para investigaciones a futuro.....	94
X.	CONCLUSIONES.....	95
XI.	RECOMENDACIONES .....	96
XII.	LITERATURA CITADA.....	97
XIII.	APENDICE .....	103
XIII.1	Manual de montaje de pieles de codorniz Moctezuma .....	109
XIII.2	Anexo fotográfico de <i>Cyrtonyx montezumae</i> en vida libre. ....	140

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Ejemplares macho y hembra de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) vida libre, obtenida de LANDMARK Wildlife Management. ....	11
2.	Macho y hembra de <i>C. montezumae</i> en vida libre, obtenido de Animalia. ....	12
3.	Plumas primarias, secundarias y terciarias, correspondientes a las alas de una hembra de <i>Cyrtonyx montezumae</i> , colectada en Coahuila. ....	13
4.	Espacio tridimensional CIELAB, indicando los ejes $a^*$ (de verde a rojo), $b^*$ (de azul a amarillo) y $L^*$ (luminosidad). ....	19
5.	Representación de la esfera de color 3D de los parámetros cromáticos y las coordenadas de color CIELab en el plano. ....	21
6.	Diagrama de procesamiento de imagen. ....	22
7.	Sitios de colecta de ejemplares de <i>C. montezumae</i> para los montajes en México y sitios de colecta de los ejemplares en EE. UU. ....	29
8.	Clima en los sitios de colecta, media anual. ....	32
9.	Tipos de vegetación en los sitios de colecta de codorniz Moctezuma pública mexicana. ....	33
10.	Distribución y avistamientos de la codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) en México y Estados Unidos. ....	34
11.	Perro braco alemán en muestra de codornices Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ), rancho Terrenates, Municipio de Buenaventura, Chihuahua. ....	36
12.	Tractos de plumas en aves. Esquema tomado de Gill (2007). ....	38
13.	Ejemplares por procesar de codorniz Moctezuma, debidamente etiquetadas. ....	39
14.	Cabina fotográfica, motor a pasos, adaptada a la cámara y programada para uso mediante el teléfono. ....	42
15.	Cámara Canon R6 Mark II y Lente red line 24 a 105 mm de alta definición. ....	43
16.	Ilustración de los Puntos de lectura de color en los tractos ventral, alar derecho, alar izquierdo y espinal de la codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ). ....	44
17.	Distribución de luminosidad $L^*$ en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) macho por estado de los ejemplares colectados en México. ....	57
18.	Distribución de luminosidad $a^*$ en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) macho por estado de los ejemplares colectados en México. ....	58
19.	Distribución de luminosidad $b^*$ en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) macho por estado de los ejemplares colectados en México. ....	59
20.	Distribución de luminosidad $Cr^*$ en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) macho por estado de los ejemplares colectados en México. ....	60
21.	Distribución de luminosidad $hue^*$ en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) macho por estado de los ejemplares colectados en México. ....	61

22.	Diagrama de valores $t$ en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las variables explicativas sobre $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ estandarizadas en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) en México.....	75
23.	Diagrama de valores $t$ en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las 20 tomas sobre $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ estandarizadas.....	76
24.	Diagrama de valores $t$ en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las variables explicativas sobre $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ estandarizadas en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) en México y Estados Unidos (Arizona, Nuevo México y Texas). ....	81
25.	Diagrama de valores $t$ en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las 20 tomas sobre $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ estandarizadas.....	82
26.	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple multivariada que relaciona a las variables de respuesta del espacio de color CIELAB $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) en Nuevo México con toma (niveles 0°, 90°, 180° y 270°) y origen (niveles granja y silvestre) como factores (variables explicativas). ....	83
27.	Diagrama de valores $t$ en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las variables explicativas sobre $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ estandarizadas en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) Estados Unidos (Nuevo México).. ....	84
28.	El efecto de la variable temperatura media anual sobre los resultados de coloración en las codornices de México y EE.UU.....	85
29.	El efecto de la variable altitud sobre los resultados de coloración en las codornices de México y EE.UU.....	86
30.	El efecto de la variable precipitación sobre la coloración en las codornices de México y EE.UU.. ....	87
31.	Relación por región de color donde se encontró que las agrupaciones fueron entre las Sierra Madre Occidental y Sur de EE.UU. ....	88
32.	Secuencia de tomas fotográficas (1-4) de un macho adulto de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) con una rotación de 18° cada una sobre el eje craneocaudal para el análisis algorítmico de color.....	104
Fig. 32.	Continuación (5-8).....	105
Fig. 32.	Continuación (9-12).....	106
Fig. 32.	Continuación (13-16).....	107
Fig. 32.	Continuación (17-20).....	108
33.	Codorniz Moctezuma <i>C. montezumae</i> en postura decúbiteo (decúbiteo ventral en aves) o bien conducta de inmovilidad. Esto aunado a su mimetismo la convierten en un ave imperceptible al ojo humano. ....	140
34.	Covey, alrededor de 12-14 codornices al vuelo, incluso así su percepción es casi nula a la vista. ....	141

35.	Covey al vuelo, en zonas de pastizal con pino. ....	142
36.	Covey al vuelo .....	143
37.	Macho juvenil al vuelo de <i>C. montezumae</i> . ....	144
38.	Covey de codornices capturadas al momento de escapar. ....	145
39.	Macho de <i>C. montezumae</i> al escapar volando en zonas donde el matorral y las nopaleras sustentan la protección para las codornices. ....	146
40.	Codorniz al vuelo en zonas de nopaleras, lugares de este tipo sirven de refugio contra depredadores y el humano. ....	147
41.	Macho de codorniz, se puede apreciar su patrón facial al igual que parte del plumaje característico. Aun teniendo colores así de llamativos el macho posee mimetismo al grado de ser casi invisible en el medio donde reside. ....	148
42.	Diggin o roosts, son rascaderos y dormideros donde las codornices los usan para pernoctar o acicalarse para retirarse o controlar el polvo, parásitos o plumas que no son de utilidad..	149
43.	Roost para pernoctar usados por las codornices. ....	150
44.	Diggin con restos de plumas de codorniz Moctezuma. ....	151
45.	Machos juveniles de codorniz Moctezuma al vuelo. ....	152
46.	Covey de codornices captadas entre pastizal donde claramente se observa el macho del grupo. Estas parvadas se conforman por núcleo familiar. ....	153

## ÍNDICE DE TABLAS

1.	Estandarización para la toma de fotografías .....	41
2.	Valores de variables bioclimáticas usados para la relación de los datos colorimétricos .....	52
3.	Ejemplares procesados en México y EE.UU.....	54
4.	Muestra la media y error estándar de los valores por grupo ( $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) de datos en colorimetría puntual. Variabilidad de color promedio y error estándar de las codornices en ejemplares de México.....	55
5.	Muestra la media y error estándar de los valores por grupo ( $Cr^*$ y $hue^*$ ) de datos en colorimetría puntual. ....	56
6.	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple multivariada que relaciona a las variables de respuesta del espacio de color CIELAB $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en las tomas de colorimetría puntual por tracto de plumajes de machos de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) en México .....	64
7.	Estadísticos por estado de datos de colorimetría algorítmica ( $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) de las muestras colectadas en México 20 fotos.....	67
8.	Estadísticos por estado de datos de colorimetría algorítmica ( $Cr^*$ y $hue^*$ ) de las muestras colectadas en México 20 fotos .....	68
9.	Estadísticos por estado de datos de colorimetría algorítmica ( $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) de las muestras colectadas en México y El MSB Albuquerque Estados Unidos 4 fotografías. Variabilidad de color promedio de las codornices.....	69
10.	Estadísticos por estado de datos de colorimetría algorítmica ( $Cr^*$ y $hue^*$ ) de las muestras colectadas en México y El MSB Albuquerque Estados Unidos 4 fotografías. Variabilidad de color promedio de las codornices.....	70
11.	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple multivariada que relaciona a las variables de respuesta del espacio de color CIELAB $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en de machos de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) en México con 40 variables explicativas.....	73
12.	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple multivariada que relaciona a las variables de respuesta del espacio de color CIELAB $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma ( <i>Cyrtonyx montezumae</i> ) en México con 25 variables explicativas .....	79

## I. INTRODUCCIÓN

El estudio de la fauna silvestre es una herramienta importante para la conservación y restauración de los diferentes ecosistemas. La fauna silvestre juega un papel clave en la cadena tróficas y en el mantenimiento de la biodiversidad en los ecosistemas. En este sentido, las poblaciones de aves son útiles como bioindicadores, polinizadores, dispersores de semillas, depredadores, carroñeros e ingenieros de ecosistemas a través de su comportamiento. Además, las aves son conocidas como uno de los grupos de especies más importantes para la conservación de la biodiversidad (Mariyappan, 2023). Las aves dispersan semillas, proporcionan una buena fertilización para las semillas dándoles condiciones para crecer, posiblemente muchas especies de aves han sido importantes influyentes en la variación de vegetación forestal (Ali, 2010).

Entre las aves, las codornices (Galliformes: Odontophoridae), dependen estrechamente de la vegetación arbórea para su supervivencia (Chávez, 2014), constituyendo un buen modelo para analizar la situación de los ecosistemas forestales en el país. En el ecosistema forestal encuentran las condiciones de hábitat y clima adecuadas para su desarrollo, su estructura multiestratificada y diversidad florística les brinda protección contra depredadores, sitios para reproducción, disponibilidad de alimento y agua (Chávez, 2014).

Los principales rasgos distintivos de las aves, incluyendo plumaje, pico, morfología, fisiología, comportamiento migratorio y sistemas de apareamiento son evidentes adaptaciones producto de miles o millones de años de evolución. Otras adaptaciones notables en aves incluyen la sensibilidad al geomagnetismo, a los rayos ultravioleta, y su avanzada inteligencia (Gill, 2007). La evolución es un proceso continuo, en este aspecto, el estudio de la morfología de las aves, incluyendo el plumaje, aún puede revelar aspectos relevantes de la evolución actual de las poblaciones silvestres y de las consecuencias de los cambios ambientales antropogénicos en dicha evolución.

La codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) es una de las especies de codornices más misteriosas y poco estudiadas (Oaster, 2018) y debido a que es un ave difícil de observar, su biología no se conoce bien. La información sobre la mayoría de los aspectos de su historia de vida es escasa y limitada. Sin embargo, varios autores han publicado detalles de la biología de esta especie (Stromberg *et al*, 2020). Según Cork (2021) la escasa información sobre la codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) probablemente se debe a la incapacidad de los investigadores

para capturar tamaños de muestra suficientes para extraer conclusiones estadísticamente significativas. Inclusive gran parte de los estudios ecológicos de la especie son meramente anecdóticos (Fuentes, 1903, Spaulding, 1949).

La variación geográfica en apariencia es moderada, el plumaje referente a la subespecie del norte *Codornix moctezuma* “mearns quail” que se extiende hacia el suroeste de los Estados Unidos. Se ha observado poca o ninguna variación geográfica en las estrategias de muda reportado en los Estados Unidos, aunque puede haber alguna variación en el tiempo debido a diferentes fenologías reproductivas en todo el territorio mexicano (Stromberg *et al*, 2020).

Estudios de esta especie se realizaron principalmente para el manejo cinegético y la caza, como los realizados por (Bishop, 1964), (Brown, 1979) y (Brown, 1982), describen el uso de hábitat en bosques de encino-pino, comportamiento reproductivo y estructura los grupos “coveys”. Varios estudios fueron innovadores y utilizaron vocalizaciones grabadas, dispositivos de visión nocturna, personas entrenadas y perros de caza para ayudar en la detección de las aves. Estudios recientes en México han contribuido significativamente a la comprensión de la dieta y el uso del hábitat (Stromberg *et al*, 2020)

*Cyrtonyx* presenta el dimorfismo sexual en el plumaje más marcado dentro de la familia Odontophoridae (codornices del Nuevo Mundo). Aún más, los plumajes de los machos presentan una gran variabilidad en sus patrones y color. La medición del color representa una herramienta para develar cuantitativamente estos patrones de variación de color. La variación geográfica de rasgos morfométricos dentro de una especie es frecuentemente de interés en ecología porque puede reflejar adaptación local o plasticidad ambiental. Sin embargo, la medición de color encuentra diversas dificultades debidas a que la percepción que se puede tener varía según la intensidad y el tipo de luz, la extensión manchas, color del fondo, ángulo de medición, además de la sensibilidad y la interpretación personal (Minolta, 1994).

La coloración del plumaje de la codorniz Moctezuma podrá ser aparentemente similar entre los organismos de esta especie, analizando la estructura del color se podrá observar a una escala mayor estas diferencias particulares de existir. En este contexto, la presente investigación analiza la variación colorimétrica del plumaje de la codorniz Moctezuma en su distribución a lo largo de la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico. Esta investigación



aportará información novedosa tanto al conocimiento morfológico como a la nueva aplicación de técnicas fotogramétricas para estudios ecológicos en aves.

## II. MARCO TEÓRICO

### II.1 Distribución de la codorniz Moctezuma

Antes de la década de 1950, todo el conocimiento sobre la codorniz Moctezuma era restringido a descripciones generales de hábitat, como distribución, elevación y tipo de preferencias. La distribución de la codorniz Moctezuma en los Estados Unidos se extiende hasta Arizona, Nuevo México y Texas. Sin embargo, gran parte de su distribución es dentro de México (Oaster, 2018).

En México, la codorniz es residente en el interior y en laderas adyacentes del norte de Sonora y el noroeste de Chihuahua, y desde el sureste de Coahuila al sur hasta el centro de Oaxaca, pero disminuyendo dentro de esta área. La distribución actual en Chihuahua ha sido actualizada y verificada (Stromberg *et al*, 2020). La codorniz Moctezuma generalmente se encuentra en encinales (*Quercus* spp.) de las tierras altas a lo largo de la Sierra Madre. La especie puede encontrarse hasta 25 km al oeste de Sásabe, Sonora (Stromberg *et al*, 2020).

En Texas, la *C. montezumae* ocupa una distribución naturalmente fragmentada asociada principalmente con cadenas montañosas aisladas de la región Trans-Pecos por encima de los 1300 m de elevación. Los estudios de esta región (2004-2007) detectaron codorniz Moctezuma en las porciones de Barrilla, Chinati, Chisos, Cuesta del Burro, Davis, Del Norte, Elephant y Glass del suroeste de Stockton Plateau y Oak Hills (*Departamento de Parques y Vida Silvestre de Texas, no publicado*). En la región de Edwards Plateau de Texas, esta codorniz ahora está restringida a una región a lo largo de la escarpa occidental de Balcones centrada en el condado de Edwards (Stromberg *et al*, 2020).

En Arizona, se encuentra en cordilleras como Baboquivari, San Luis, Pajarito, Atascosa, Canelo Hills, Tumacacori, Santa Rita, Patagonia, Huachuca y Chiricahua, con poblaciones más pequeñas en Catalinas, Rincons, Galiuros, Dragoons, Pinaleños, Whetstones y la zona boscosa de Mogollon Rim, al norte de las montañas del río Gila. Los informes sobre la codorniz de Moctezuma del reciente proyecto “Arizona Breeding Bird Atlas”, incluyeron localidades del norte cerca de Prescott y Flagstaff, pero es posible que esta especie se haya vuelto rara al norte del río Salt (Stromberg *et al*, 2020).

En Nuevo México, los estudios en la década de 1990 verificaron la distribución original de estas aves en las siguientes cadenas montañosas: Alamo Hueco, Animas, Bear, Big Burro, Big Hatchet, Cooke's, Guadalupe (extremo suroeste del condado de Hidalgo), Jicarilla, Little Hatchet, Mimbres, Mogollon, Mule, Peloncillo, Pinos Altos, Sacramento, San Andrés, San Luis, San Mateo, Sibley, Sierra las Uvas y Whitewater (D. Holdermann, datos no publicados). Estos estudios detectaron poblaciones en Dog, Cedar y Sierra las Uvas donde las codornices no se habían registrado anteriormente. Más recientemente, Oaster documentó y estudió la codorniz de Montezuma en las montañas Capitan de Nuevo México. Presente en las montañas Black Range, Brokeoff, Capitan, Datil, Gallinas y Florida (D. Baca, comunicación personal). También presente en las cordilleras de Buena Vista, Luera, Burrito, Magdalenas, Órgano, Pirámide, Sierra Blanca y Vera Cruz, y posiblemente presente en las cordilleras de Saliz, Sierra Ricas y San Francisco (A. Montoya, comunicación personal) (Stromberg et al, 2020).

## II.2 Hábitat

La *C. montezumae* se encuentra en varios distritos. Es un ave de laderas de montañas y valles más altos, evitando las temperaturas cálidas intermedias desiertos sin árboles (Bailey, 1928). El hábitat de *C. montezumae* es único en comparación con otras especies de codornices del suroeste de Estados Unidos. A diferencia otras aves de caza populares como la codorniz escamosa (*Callipepla squamata*) y la codorniz de Gambel (*Callipepla gambelii*), que habitan pastizales desérticos (Silvy, 2007) y matorrales desérticos ribereños. (Gullion 1960, Kamees *et al.* 2008), las codornices Moctezuma habitan principalmente en bosques de pinos (*Pinus spp.*), bosques de encino (*Quercus spp.*) y bosques de piñones (*Pinus spp.*) o bosques de enebros (*Juniperus spp.*) en toda su extensión (Oaster, 2018).

La mayoría de las poblaciones de codornices Moctezuma residen en áreas que superan los 1,500 m.s.n.m (Oaster, 2018). Sin embargo, hay poblaciones que se pueden encontrar en elevaciones tan bajas como 450 m en Edwards County (Edwards Plateau, Texas) (Brennan *et al.* 2017). En estas elevaciones, se ha descubierto que las codornices Moctezuma habitan en las escarpadas y empinadas porciones, que es único de otras especies de codornices del suroeste (Oaster, 2018). Parte del terreno accidentado y empinado puede ser atribuido a los tipos de hábitat donde se encuentran las codornices Moctezuma antes mencionados.

En bosques de pino y encino, es considerada una “especie indicadora” de ese tipo de vegetación en todo México. En ocasiones se encuentra asociado con campos de maíz cercados y plantaciones de maguey en el centro México y en rastrojos de maíz en ranchos en hábitat de robles justo al este de Moctezuma, Sonora (Stromberg *et al*, 2020). La cubierta debe estar bien distribuida por todo el paisaje para cubrir las necesidades de cobertura de esta especie. El porcentaje y la distribución de parches de hábitat adecuados determinarán la cantidad de uso que recibe un pasto determinado (Brown, 1982).

La vegetación proporciona cobertura para los polluelos en crecimiento, mientras que los insectos proporcionan la proteína vital para el desarrollo de los pollos (Oaster, 2018). Durante los años de precipitación promedio o superior al promedio, la cobertura y los alimentos son abundantes para las codornices Moctezuma adultas y juveniles, lo que generalmente permite una reproducción exitosa. Cuando las precipitaciones en verano son inferiores al promedio, la cobertura y los alimentos escasean, lo que conduce a una menor reproducción en las poblaciones de codornices Moctezuma (Brown, 1978).

La depredación de *C. montezumae* por aves rapaces ha sido ampliamente documentada., siendo el halcón de Cooper (*Accipiter cooperii*), el halcón de cola roja (*Buteo jamaicensis*), el aguilucho pálido (*Circus cyaneus*), el halcón de brillos afilados (*Accipiter striatus*), el halcón de Harris (*Parabuteo unicinctus*) y el búho real (*Bubo virginianus*) los más documentados (Oaster, 2018). Aunque los depredadores aviares causan una mayoría de las mortalidades, cánidos, félidos, inclemencias del tiempo y colisiones vehiculares también son factores de mortalidad (Stromberg 2000).

### II.3 Reproducción

Cada año, las *C. montezumae* pasan por cuatro temporadas: 1) Covey (pequeño grupo de aves que viven y se desplazan juntas fuera de la temporada reproductiva, a la par de la temporada de crianza) entre octubre y febrero (a veces hasta marzo) aproximadamente, 2) Apareamiento en marzo a mayo, 3) Anidación en mayo a julio (a veces hasta agosto). y 4) Crianza en junio a septiembre, incluye la incubación y el cuidado de los polluelos. (Oaster, 2018). Durante la temporada de nidadas, las codornices Moctezuma viven en grupos, que normalmente consisten en una unidad familiar (es decir, 2 adultos y la descendencia) de la temporada reproductiva anterior.

Sin embargo, una bandada puede estar formada por jóvenes perdidos/huérfanos y adultos sin éxito reproductivo (Brown, 1978).

El sistema de apareamiento y la proporción de sexos es monógamo en la mayoría de los años. En años muy húmedos, las hembras pueden formar parejas secuenciales con varios machos y pueden poner múltiples nidadas, que luego son atendidas sólo por los machos (Stromberg *et al.*, 2020). También se ha reportado poliandria seriada, o una secuencia de apareamiento de las hembras con diferentes machos para poner múltiples nidadas (Stromberg, 2000). Las codornices son especies de selección *r*, esto es, tienen tasas de reproducción elevadas y longevidades relativamente reducidas, cuyas poblaciones están fuertemente influenciadas por el clima, particularmente las precipitaciones (Brennan, 2007).

La temporada Covey normalmente ocurre de agosto-febrero. Después de la temporada de crianza, llega la temporada de apareamiento, que puede ocurrir desde principios de febrero-abril. Cuando comienza la temporada de apareamiento, las parvadas comienzan a separarse y las codornices Moctezuma forman parejas para la temporada de reproducción (Oaster, 2018).

A diferencia de la temporada de anidada y apareamiento, la temporada de anidación y crianza varía de un año a otro, dependiendo de las precipitaciones (Brown, 1989, Stromberg 1990). La anidación puede ocurrir en julio o tan pronto como en agosto y se pueden encontrar crías en diciembre (Bishop, 1964).

La codorniz Moctezuma generalmente se desplaza cuando se alimenta entre sitios de alimentación o descanso, puede moverse sólo a 10 m/h. Por lo general, no se mueven en absoluto cuando se les perturba para pasar desapercibida. A menudo corren después de aterrizar ya que es más difícil volar por segunda vez. Los vuelos repentinos desde un comienzo generalmente constan de 1 a 2 segundos de vuelo, deslizándose con giros bruscos ocasionales y caídas al pasto. Los individuos duermen en círculos cerrados, en el suelo en copas poco profundas, con la cabeza orientada hacia afuera, en contacto casi total con otros individuos (Stromberg *et al.*, 2020).

En Arizona, el apareamiento es de marzo a mayo y la anidación entre finales de septiembre y aparentemente coincidiendo con la lluvia verano. Los nidos de codorniz son abovedados contruidos con revestimiento de pasto u hojas de roble (*Quercus*) y techados con pasto, 15 cm de diámetro y 10 cm de alto. La nidada promedio es de 6-14 huevos blancos, aunque a menudo

manchados, con un promedio de 32 x 25 mm. Incubación 25-26 días, los machos pueden incubar huevos y ayudar con las crías (Carroll, 1994).

## II.4 Dieta

En cuanto a la dieta de la codorniz Moctezuma, Hernández-Tellez *et al.* 2004, mostraron que los bulbos de *Oxalis* y el grano de trigo constituyen los principales alimentos en el invierno, mientras que *Chenopodium sp.* aporta la mayor cantidad de aminoácidos. El consumo de insectos y su contribución de nutrientes es poco significativo. Considerando que durante el invierno las codornices no se encuentran en etapas de reproducción o crecimiento, la concentración de nutrientes estimada parece ser apropiada para cubrir requerimientos de la especie.

López Bujanda (2019), mostró que las bellotas de *Quercus spp.* (31.87%), rizomas de *Cyperus fendlerianus* (17.59%), semillas de *Phaseolus acutifolius* (12.99%), semillas de *Paspalum spp.* (6.69%) e insectos (3.95%) fueron los principales alimentos de la codorniz en Arizona, mientras que en Nuevo México fueron los rizomas de *Cyperus fendlerianus* (30.82%), semillas de *Phaseolus acutifolius* (17.67%), bulbos de *Cyperus spp.* (16.95%), insectos (6.90%) y bulbos de *Oxalis spp.* (6.25%).

Paredes Acuña (2022), mostró que la dieta invernal de la codorniz en Arizona estuvo conformada principalmente por tallos subterráneos (*Oxalis spp.* y *Cyperus spp.*), frijoles téparis y bellotas. En Nuevo México, los principales alimentos fueron bulbos de *Cyperus spp.*, frijoles de *Macroptilium sp.* y granos de panizo aserrín (*Panicum hallii*). En Texas, la dieta invernal estuvo representada por frijoles de *Rhynchosia senna*, granos de panizo aserrín y tallos subterráneos (*Cyperus spp.* y *Allium spp.*), mientras que la dieta de primavera estuvo constituida por tallos subterráneos (*Cyperus spp.* y *Oxalis spp.*) y frijoles de *R. senna*.

Castro Moreno (2024), catalogó 10 principales alimentos que conformaron más del 90% de la dieta en Arizona, los cuales fueron bulbos de *Oxalis spp.* (28.32%), bellotas de *Quercus spp.* (27.20%), rizomas y bulbos de *Cyperus spp.* (20.91%), semillas de *Setaria spp.* (6.75%), frijoles *Phaseolus acutifolius* (2.77%), semillas de *Paspalum sp.* (2.49%), semillas de *Euphorbia spp.* (2.32%), semillas de *Panicum spp.* (1.56%) y fruto/semillas de *Rhus spp.* (1.29%). Los 10 principales alimentos que conformaron más del 95% de la dieta global en Sonora fueron bulbos de *Oxalis spp.* (48.02%), frijoles *Phaseolus acutifolius* (39.43%), semillas de *Panicum spp.* (7.05%),

bellotas de *Quercus spp.* (2.70%), hormigas (0.66%), semillas de *Lupinus neomexicanus* (0.42%), Artrópodos (0.26%), semilla desconocida (0.24%), semillas de *Hexasepalum teres* (0.19%) y escarabajo *Phaedon sp.* (0.18%). La composición total e individual, así como la diversidad total de la dieta, están directamente relacionadas con las precipitaciones de verano y con las temporadas de cacería, la edad y el sexo de las codornices (Castro, 2024).

*C. montezumae* tiene alimentación omnívora, su dieta y la selección de alimentos cambia estacionalmente, pero las raíces y bulbos se consumen durante todo el año. Las bellotas se consumen básicamente durante la estación seca. Los insectos, que tienen actividad más visible durante las lluvias de verano, se observan con mayor frecuencia en la dieta durante esa época. Durante el otoño, consumen una variedad de semillas de gramíneas (Castro, 2024).

## II.5 La especie en la actualidad

La codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) se encuentra en la lista de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Diario Oficial de la Federación, 2019) como especie sujeta a protección especial. En Estados Unidos, es ave de caza muy popular en Arizona y Nuevo México, aunque ha presentado disminución de sus poblaciones (Mesta *et al.*, 2011). En Texas, la codorniz Moctezuma se encuentra protegida debido al peligro de extirpación. Además de su importancia cinegética, *C. montezumae* posee relevancia ecológica al ser especie indicadora de la calidad del hábitat en ecosistemas de pastizal y bosque de pino-encino, ya que depende de estos ecosistemas para obtener alimento y refugio de las hierbas nativas (Stromberg *et al.*, 2020).

### Dimorfismo sexual

Codorniz terrestre de tamaño mediano, con una longitud de unos 20 a 23 cm, masa media 195 g para machos, 176 g para hembras (Stromberg *et al.*, 2020). En ciertas especies, los diferentes colores que conforman el plumaje se distribuyen formando manchas de colores. El tamaño de estas manchas es tan importante como la medición del color que las forma (Hill, 1992, 1998b). En el caso de las manchas de color negro, el tamaño es generalmente la única variable utilizada. La medición de estas manchas presenta normalmente problemas por su superficie irregular. Una manera sencilla de medirlas puede ser superponer a la mancha un papel milimétrico transparente y contar todos los cuadrados que la contienen, obteniendo de esta manera la superficie en milímetros cuadrados (Senar, 1993).

El macho tiene llamativo patrón de cara de arlequín en blanco y negro, esto es, posee cara blanca, con 2 cuñas oscuras que se extienden sobre las coberteras auriculares y barbilla y garganta negras bordeadas debajo por una banda transversal blanca en el cuello. Los flancos son gris oscuro y tupidos cubierto de manchas blancas (en poblaciones de Estados Unidos y el norte de México), partes superiores de color marrón grisáceo a marrón canela y barradas o manchadas de negro, estas plumas con franjas centrales pálidas (blanquecino en la población del norte), parte media de las partes inferiores desde el pecho hasta las coberteras infracaudales castaño profundo, volviéndose negra debajo de la cola, pico de color gris azulado en los bordes interior e inferior de la mandíbula superior y el borde superior de mandíbula inferior (se vuelve negra en los ejemplares) (Figura 1) (Stromberg, 1990)

La hembra muestra un patrón facial vago del macho, especialmente más oscuro, cuña debajo del ojo, más pálido y marrón en general, con partes inferiores de color marrón pálido (como el color de las hojas de roble de invierno), con vetas blanquecinas a beige, un patrón fino de manchas y barras negruzcas, no tan obviamente marcada con color gris azulado como en el macho, y la cresta dorsal de la mandíbula superior (culmen) es de color marrón oscuro en lugar de negro (Figura 2) (Stromberg *et al*, 2020). Ambos sexos tienen patas de color gris azulado con garras relativamente largas (Stromberg *et al*, 2020).

La codorniz Moctezuma tiene 10 plumas primarias (numeradas distalmente, p1 a p10), 12 secundarias (numerados proximalmente, s1 a s9, e incluyendo 3 terciarias, numerados distalmente, t1 a t3), y 12 rectrices (numeradas r1 a r6, a cada lado de la cola) (Figura 3). Las alas son moderadamente redondeadas (el primario más largo está entre p6-p8 y el primario más externo, p10, es un 25% más corto que la primaria más larga) y la cola consta de rectrices pequeñas y suaves, oscurecidas por las coberteras caudales superiores (Stromberg *et al*, 2020).

## II.6 Plumaje

Las plumas del cuerpo que mantienen a una ave cálida y seca pueden ayudar a esconderlo de los depredadores y sus presas a través de un mayor camuflaje o señalar la calidad de un pájaro a posibles compañeros (Terrill, 2023). Las plumas no evolucionaron para volar, sin embargo, las plumas son usadas como refuerzo contra superficies verticales, se alargan para ayudar en maniobras abruptas aéreas o se vuelven extremadamente alargados para exhibiciones sexuales (Terrill, 2023).



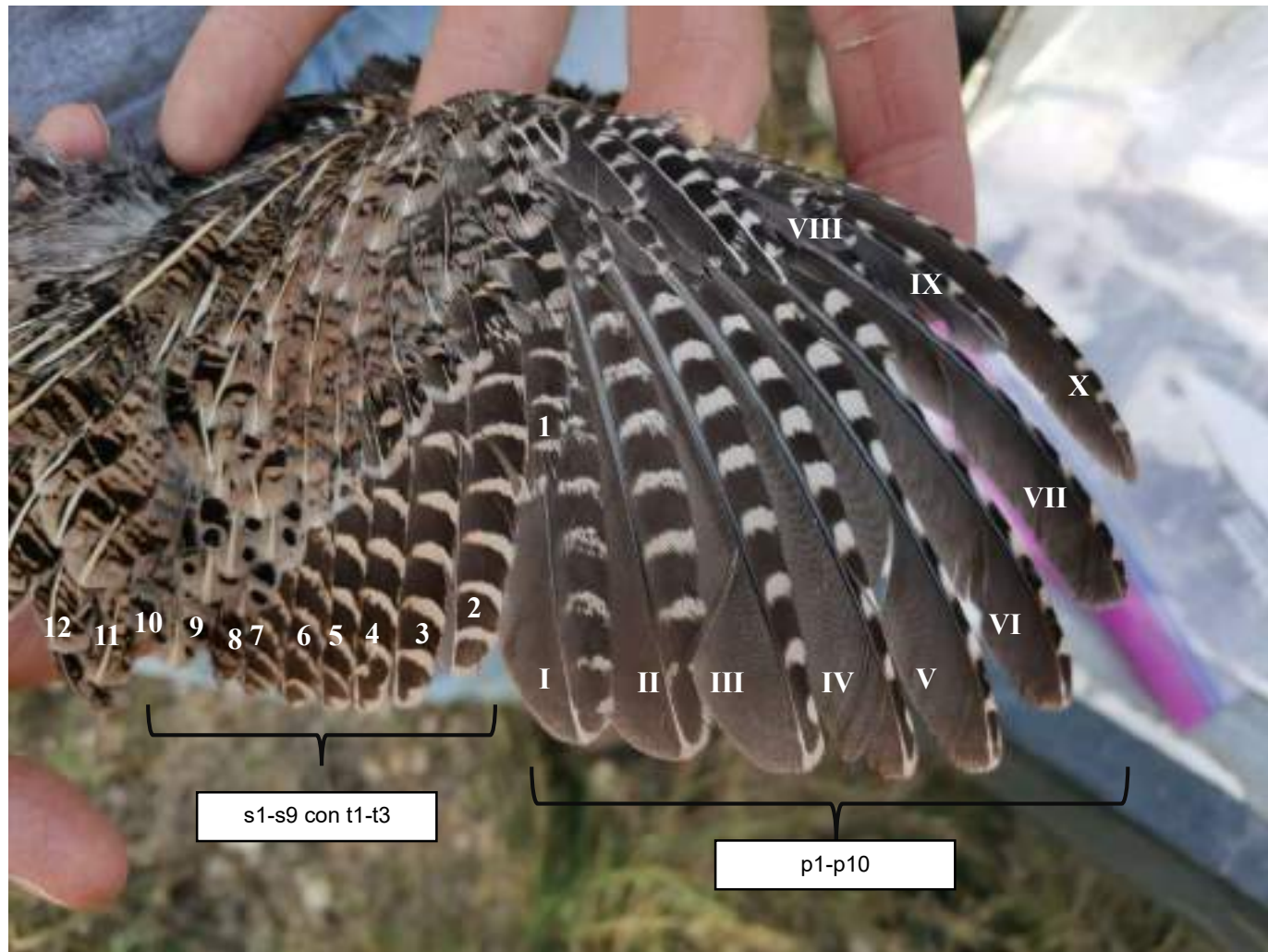


**Figura 1.** Ejemplares macho y hembra de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) vida libre, obtenida de LANDMARK Wildlife Management.



**Figura 2.** Macho y hembra de *C. montezumae* en vida libre, obtenido de Animalia.





**Figura 3.** Plumas primarias, secundarias y terciarias, correspondientes a las alas de una hembra de *Cyrtonyx montezumae*, colectada en Coahuila.

Las plumas poseen la función de termorregulación o impermeabilización y pueden incorporar colores brillantes para fines sexuales, señalización o colores crípticos para camuflarse (Terrill, 2023). Se mudan con regularidad dependiendo de la función y de la edad del ave (pollos, juveniles, subadultos y adultos). La muda prejuvenil ocurre temprana y principalmente de mayo a septiembre en América del Norte, el plumaje juvenil se desgasta solo brevemente. Similar al femenino excepto que la nuca tiene barras transversales en lugar de rayas longitudinales, la corona es más oscura, con marcas negruzcas más extensas, partes inferiores menos rosadas y más blanquecinas, a menudo fuertemente teñidas, las plumas del pecho y del abdomen lateral son manchadas (transversalmente) negro y con rayas blancas, muslos, cloaca y coberteras infracaudales de color amarillo pálido a marrón claro (Stromberg *et al*, 2020).

Macho y hembra son similares en plumaje básico, pero las 2 primarias plumas externas (p9-p10) y todas las coberteras primarias se conservan como plumas juveniles. Las p9-p10 juveniles son más estrechas y contrastantes en comparación con las primarias internas formativas (p1-p8), y las coberteras primarias juveniles proximales más cortas (Pyle, 1997)

Las plumas pueden considerarse como conjuntos jerárquicos funcionales con una combinación independiente. Esta compleja estructura jerárquica integra aspectos de la morfología de las plumas, las aves pueden producir fenotipos nuevos y complejos (Prum y Dyck, 2003).

Los estudios correlacionales identifican patrones de morfología de las plumas asociados con factores bióticos o abióticos en ambos sexos, en todas las poblaciones y especies (Terrill, 2023). Estos patrones pueden ayudar a dilucidar hipótesis específicas sobre las bases mecanicistas de las funciones de las plumas, que luego pueden ser sujetas a pruebas experimentales. Cuando se conoce la base de los estudios evolutivos y ecológicos pueden facilitar la comprensión de las compensaciones morfológicas cuando operan presiones selectivas en competencia los mismos módulos jerárquicos de plumas. Los paisajes selectivos<sup>1</sup> de plumas y la novedad en la estructura de las plumas pueden abrir un gran potencial para la evolución morfológica (Terrill, 2023).

---

<sup>1</sup> El paisaje selectivo de las funciones de las plumas es complejo y multidimensional. Diferentes funciones pueden ser desempeñadas por distintos niveles jerárquicos de la estructura de la pluma, lo que permite tanto la multifuncionalidad como procesos evolutivos independientes sobre funciones separadas dentro de una misma pluma.

El ocultarse es la primera función de los patrones de color de las aves, no sólo de aquellos que son obviamente crípticos, pero también tienen muchos patrones atrevidos o brillantes que combinan el entorno habitual de un pájaro. Algunos patrones de colores llamativos reducen el contraste entre la forma de un pájaro o esquema y su fondo (Gill, 2007). La menor reflectividad de la superficie dorsal oscura de un ave interactúa visualmente con la parte inferior clara contrastante para disfrazar su contorno, ayudándolo a coincidir con su fondo (Gill, 2007). Las ventajas de los patrones de colores llamativos para la exhibición visual durante la temporada de reproducción pueden complementar o tener prioridad sobre la necesidad de ocultarse. Mientras que el contrasombreado mejora el ocultarse (Gill, 2007).

Las aves que vuelan en ráfagas cortas tienden a tener alas redondeadas con plumas de baja relación de aspecto, que son menos eficientes, pero requieren menos energía para el despegue y permiten una mayor maniobrabilidad (Tobalské *et al.*, 2003). Las plumas también juegan un papel termorregulador en ambientes cálidos, un papel poco apreciado de las plumas en la termorregulación es la desviación de la radiación solar para mantener frescas a las aves (Medina *et al.*, 2018). Las aves pueden manipular sus propiedades termorreguladoras a través de la posición, erigiendo plumas para aumentar su volumen total y atrapar el calor (McFarland y Budgell, 1970), o moviendo plumas para exponer apteria (piel desnuda), donde el calor puede ser transferido a el aire circundante para enfriar (Gerken *et al.*, 2006). Las apterías probablemente facilitan el movimiento de la piel y las plumas. También facilitan la pérdida de calor durante el vuelo, quizás su característica más importante (Gill, 2007).

Las plumas se componen principalmente de beta-queratina, un polímero proteico fibroso que forma filamentos microscópicos que tienen fuertes propiedades mecánicas. Las Beta-queratinas tienen algunas propiedades mecánicas similares a las de las alfa-queratinas que se encuentran en la piel de todos los vertebrados, incluidos los humanos y las aves, pero son un grupo de proteínas completamente no relacionado y que son muy diferentes en estructura molecular de la de las alfa-queratinas (Gill, 2007). Las plumas de vuelo tienden a ser oscuras porque la melanina

---

Las fuerzas selectivas que actúan sobre las plumas incluyen todas sus funciones, el desgaste, la muda, y la manera en que estos aspectos interactúan con el entorno del ave.

de los pigmentos que producen este color oscuro puede fortalecer plumas contra la degradación (Bonser, 1995).

Las plumas más llamativas se llaman vetadas (Gill, 2007). Incluyen las plumas de contorno más pequeñas que cubren la superficie del cuerpo y las plumas más grandes de vuelo de las alas y la cola. La suave disposición superpuesta de plumas vetadas reduce las turbulencias del aire durante el vuelo. La eficiencia de los vuelos está directamente ligada a la estructura de las plumas primarias. Las modificaciones estructurales importantes de estos son poco comunes (Gill, 2007).

Los colores de las plumas vienen en todos los tonos y matices, debido a los pigmentos de biocromo depositados en las púas y bárbulas características a escala nanométrica de las estructuras de las plumas y se producen de forma natural. Los compuestos químicos que absorben la energía de ciertas longitudes de onda de la luz y que reflejan la energía de otras longitudes de onda para producir los colores observados. Los colores estructurales surgen de la alteración física de los componentes de la luz incidente. Los pigmentos y la estructura a menudo operan juntos (Gill, 2007). Las tres categorías principales de pigmentos de las plumas son melaninas, carotenoides y porfirinas. Las melaninas producen tonos tierra: grises, negros, marrones y colores ante. Los carotenoides producen amarillos brillantes, naranjas, rojos, ciertos azules y verdes, excepto en loros. Las porfirinas son responsables de los colores de plumas particularmente brillantes de color marrón y verde y un magenta único (Gill, 2007).

La coloración de las plumas está asociada a varias funciones clave para la supervivencia de las aves como termorregulación, camuflaje ante, comunicación visual durante interacciones antagonistas, de cortejo, alarma y advertencia a los depredadores. La mayoría de los colores del plumaje en las aves son producidos por la combinación de uno o varios tipos de pigmentos, entre los cuales, los más frecuentes y extendidos son los carotenoides, porfirinas y melaninas. Las características estructurales de las plumas tienen un papel importante en la coloración, influyendo en la dispersión de la luz a través de espacios microscópicos de aire o sobre la absorción y reflexión de la luz, por ejemplo, en las plumas iridiscentes de los colibríes y en algunos tipos de plumajes azules o blancos (Cadena *et al*, 2015).

## II.7 Color y colorimetría

Cuando la luz incide sobre un objeto, parte del espectro visible es absorbido por el objeto y parte es reflejada, la parte reflejada es la que estimula la retina y la que nos da la sensación de color (Senar, 2004). El color es la respuesta mental al estímulo que una radiación visible produce en la retina, y que se transmite al cerebro por el nervio óptico, es considerado un concepto psicofísico, relacionado a la vez con la psicología del observador, la fisiología de la visión y la energía radiante espectral de la fuente de luz (Martínez, 2014).

La colorimetría triestímulo es la ciencia que estudia el color y describe de forma numérica los aspectos psicofísicos atribuidos al color y que están dentro de nuestros límites de percepción visual, incorpora las propiedades del sistema visual humano en la cuantificación objetiva de los estímulos luminosos visibles (Martínez, 2014). Como el color percibido es una propiedad del ojo humano y el cerebro, y no una propiedad física, la colorimetría esta inevitablemente ligada a la biología de la visión (Martínez, 2014).

Las mediciones de color pueden definirse según diferentes sistemas (p. ej., Munsell, CIE Yxy, CIE Lab, CIE LCH), pero uno de los más utilizados es el sistema de color CIE LCH, que proporciona valores independientes de tono, croma y luminosidad, los parámetros generalmente utilizados para definir un color (Quesada, 2006).

Espacio de color es tridimensional, aproximadamente uniforme, generado mediante la representación gráfica en coordenadas rectangulares,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , con cantidades definidas (CIE, 2004). Las distancias euclidianas en el espacio de color CIELAB pueden utilizarse para representar aproximadamente la magnitud percibida de las diferencias de color entre estímulos de color de objetos del mismo tamaño y forma, vistos en un entorno idéntico de blanco a gris medio, por un observador fotópicamente adaptado a un campo de cromaticidad no muy diferente al de la luz diurna promedio. En caso de condiciones desviadas, la correlación entre las diferencias de color calculadas y percibidas puede verse afectada (CIE, 2004).

El espacio de color CIE 1976  $L^* a^* b^*$  o CIELAB (Figura 5), es un espacio tridimensional, que tiene componentes que pueden ser interpretadas de la siguiente forma: los valores de  $L^*$  indican la claridad que va desde el negro al blanco, los valores de  $a^*$  indican los colores que van desde los

tonos verdes a los rojos y los valores de  $b^*$  indican los colores que van desde los tonos azules a los amarillos (Martínez, 2014).

## II.8 Trabajos en colorimetría

Martínez (2014) cuantificó la evolución de color en post-cosecha del chile Habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) obteniendo las mediciones utilizando un sistema de visión por computadora, desarrollando algoritmos con la capacidad de segmentar, extraer y procesar la información de color a partir de imágenes digitales.

El algoritmo establece las tareas para segmentar imágenes correspondientes a cada ejemplar, tomando como referencia tanto el color del objeto como del fondo de la imagen original (Martínez, 2014). El algoritmo realiza la conversión de espacios de color, encuentra los píxeles de interés, dichos píxeles fueron proporcionados por el algoritmo para la segmentación del objeto. Posteriormente calcula el valor promedio de cada uno de los componentes ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), una vez obtenidos los valores de los componentes  $a^*$  y  $b^*$ , calcular el valor de croma  $Cr_{ab}^*$ ; finalmente se calcula el ángulo de tono. Una vez extraídos los parámetros, se realiza el cálculo del valor promedio para finalmente almacenar de forma ordenada los parámetros de color (Martínez, 2014).

## II.9 Colorimetría en aves

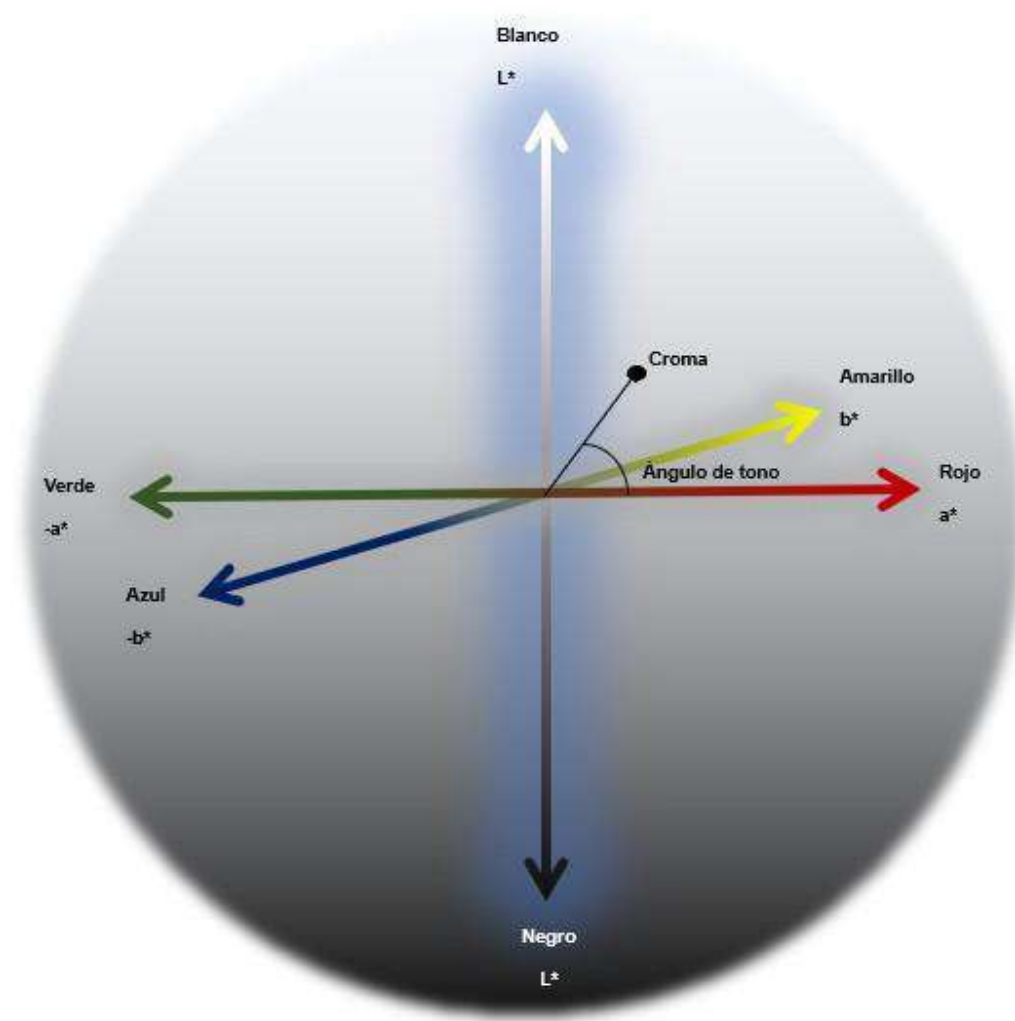
La pigmentación del plumaje es fundamental para el fenotipo de un ave. La deposición de los pigmentos causa que un ave sea críptica o conspicua, según el contexto ambiental. La variación geográfica en la melanina del plumaje tiende a ser predecible, lo que sugiere que los aspectos del clima causan una correspondencia local del plumaje con el medio ambiente (Mattinson, 2021). Las coloraciones marrones o con manchas que desdibujen el contorno del ave en el medio favorecen que este sea poco conspicuo y se confunda con el color de su entorno, la cual es llamada coloración críptica (Senar, 2004).

El análisis de la coloración de las plumas permite determinar la capacidad de un ave para discriminar variaciones en la coloración de las estructuras de los pollos en el ambiente de semioscuridad de un nido, o cómo de conspicuo o críptico puede resultar el plumaje de una misma especie en diferentes ambientes (Pérez, 2013).

## II.10 Trabajos previos de colorimetría en aves

Aparentemente no existen trabajos de colorimetría en aves. Mattinson y Witt (2021), mos-



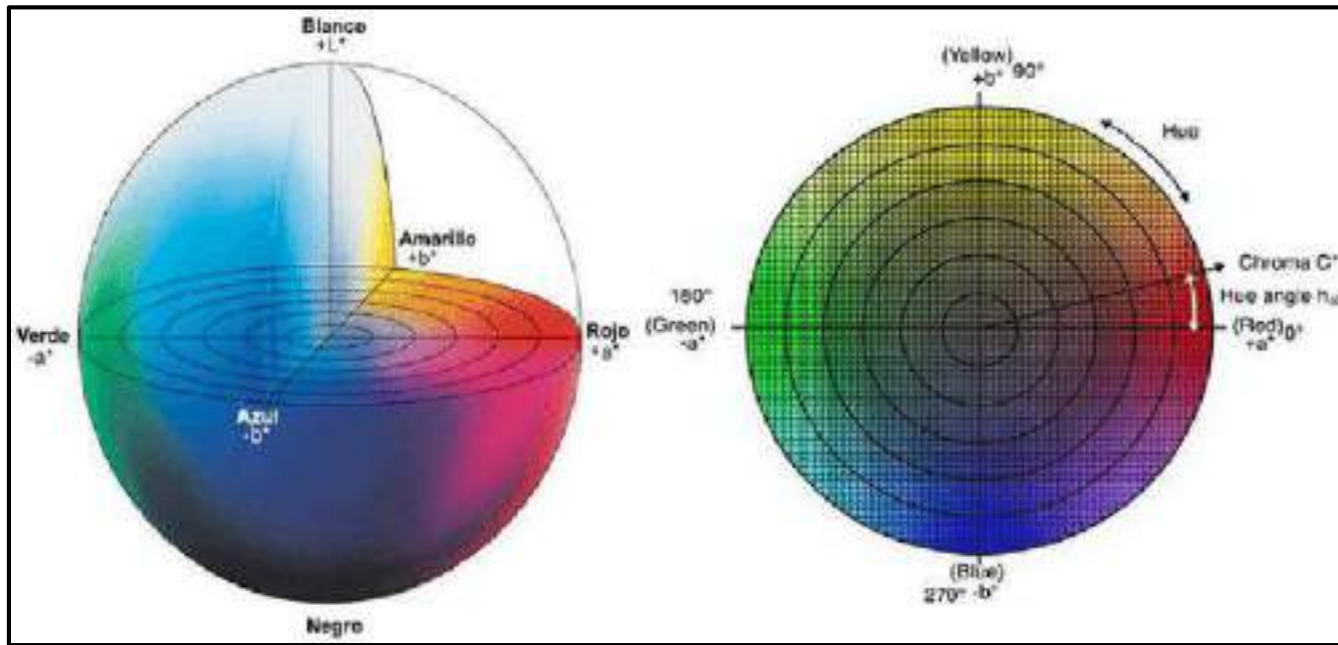


**Figura 4.** Espacio tridimensional CIELAB, indicando los ejes  $a^*$  (de verde a rojo),  $b^*$  (de azul a amarillo) y  $L^*$  (luminosidad).

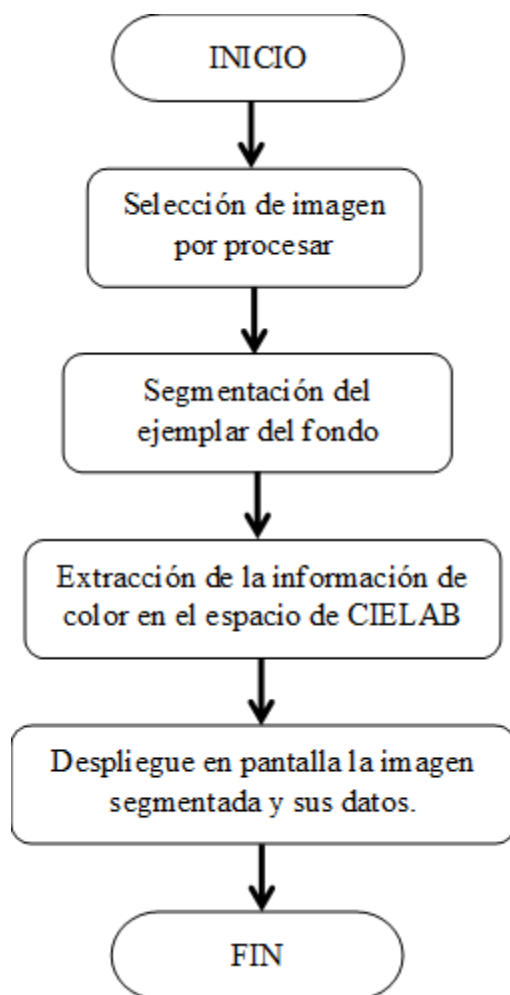
traron que el grado de la pigmentación de los búhos varía de manera continua y gradual a lo largo de gradientes de elevación repetidos, respalda la hipótesis de que la adaptación ecogeográfica en una escala fina puede haber sido el factor predominante de la variación del plumaje y que las subpoblaciones más claras o más oscuras probablemente se hayan diversificado in situ en respuesta a factores ambientales.

### II.11 Análisis por segmentación

La segmentación es el proceso por el cual se extrae de la imagen información subyacente para su posterior uso basada en dos principios fundamentales: discontinuidad y similitud. La segmentación orientada a bordes (discontinuidad) y la orientada a regiones (similitud). Una región es en general un área de la imagen en la que sus píxeles poseen propiedades similares (de intensidad, color, etc.), mientras que un borde es una línea que separa dos regiones, por tanto, de diferentes propiedades (discontinuidad). Tanto la detección de bordes como la de regiones implican una manipulación de la imagen original de forma que los valores de los píxeles originales son modificados mediante ciertas funciones de transformación u operadores (Martínez, 2014).



**Figura 5.** Representación de la esfera de color 3D de los parámetros cromáticos y las coordenadas de color CIE Lab en el plano.



**Figura 6.** Diagrama de procesamiento de imagen.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los cambios en la distribución geográfica y las disminuciones poblacionales de la codorniz Moctezuma a lo largo de México y sur de Estados Unidos, provocado por diferentes factores tanto naturales como antropogénicos, despertó el interés por el estudio de esta especie lo que llevó a realizar investigaciones alrededor de ella sobre la genética, distribución (Stromberg *et al*, 2020 y Oaster, 2018) y alimentación “Castro (2024), Paredes Acuña (2022) y López Bujanda (2019)”. Con el conocimiento de la dieta de la codorniz Moctezuma se podría reintroducir en diferentes zonas a lo largo de lo que solía ser su distribución natural, para obtener una rápida adaptabilidad y mayor supervivencia.

Es conocido entre cazadores y estudiosos de la codorniz Moctezuma que los machos pueden mostrar marcadas diferencias en plumaje, incluyendo, intensidad de color marrón y su extensión en el pecho y vientre, extensión del plumaje negro y el tamaño y forma de las motas blancas inmersas en el plumaje negro, entre otros. De esta forma, la variación evidente en el plumaje de los machos merece un abordaje científico explícito. Debido a la amplia distribución de la codorniz Moctezuma en zonas que presentan condiciones ambientales existentes en los ecosistemas de bosque pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.), esta investigación busca conocer si variaciones colorimétricas del plumaje de esta especie se explican por la existencia de variación ambiental a lo largo de su distribución geográfica.

## IV. JUSTIFICACIÓN

La información relacionada con la codorniz Moctezuma, específicamente con su plumaje es limitada. En este estudio intenta cuantificar el color del plumaje de la codorniz Moctezuma con el fin de conocer la variación morfológica en coloración que pueden existir en su rango de distribución, generando conocimiento nuevo de esta especie, a nivel colorimétrico de las plumas, utilizando análisis estadísticos multivariados.

Identificar las diferencias morfológicas basadas en el color del plumaje de la codorniz Moctezuma, proporcionará datos que relacionan la información adaptativa de esta especie con las condiciones del ecosistema en el que reside, reflejados a partir de los hábitos alimenticios, ecológicos y ambientales.

La escasa información sobre estudios del plumaje llevó a encontrar trabajos relacionados con colorimetría en otras especies de aves relacionado a manchas, alimentación, distribución y genética en su mayoría. En este contexto, la falta de información justifica el presente trabajo para ampliar en conocimiento alrededor de la codorniz Moctezuma, esperando que este sea relevante para el manejo y conservación de esta especie. Esta información se sumará a la literatura científica que se ha generado recientemente sobre la dispersión, alimentación y estructura genética de las poblaciones de la especie. Por lo anterior, y ya que es una especie en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Pr), se pretende beneficiar a esta especie, al ecosistema y al uso que se le pueda dar al mismo en la República mexicana (Sierra madre Oriental, Occidental y eje Neovolcánico) y Sur de Estados Unidos (Texas, Arizona y Nuevo México), donde los descensos poblacionales de *C. montezumae* se han percibido en mayor proporción.

## V. HIPÓTESIS

Los factores ambientales y geográficos, como latitud, altitud, y los parámetros meteorológicos, influyen en la variación colorimétrica del plumaje de la codorniz Moctezuma a lo largo de su distribución de la Sierra Madre Oriental, Occidental y Eje Neovolcánico revelando adaptación local o plasticidad fenotípica.

## VI. OBJETIVO GENERAL

Determinar la variación geográfica de la coloración del plumaje de la Codorniz Moctezuma (*C. montezumae*), usando colorimetría fotográfica y métodos estadísticos multivariados, aunado a los factores ecológicos y ambientales, para explicar las diferencias morfológicas entre los individuos de esta especie.



## VI.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características que describan la variación en el color del plumaje, para estandarizar un método de análisis para la colorimetría de la codorniz Moctezuma.
- Caracterizar la morfología del color del plumaje individual por localidad de estudio por medio de mediciones estandarizadas para describir variación local de la especie.
- Relacionar las características morfológicas del color del plumaje de los individuos entre sitios, por medio de técnicas de inferencia estadística pertinentes, para probar hipótesis que expliquen la variación colorimétrica de los ejemplares muestreados por regiones biogeográficas (Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y Eje Neovolcánico).

## VII. METODOLOGIA

### VII.1 Materiales y métodos

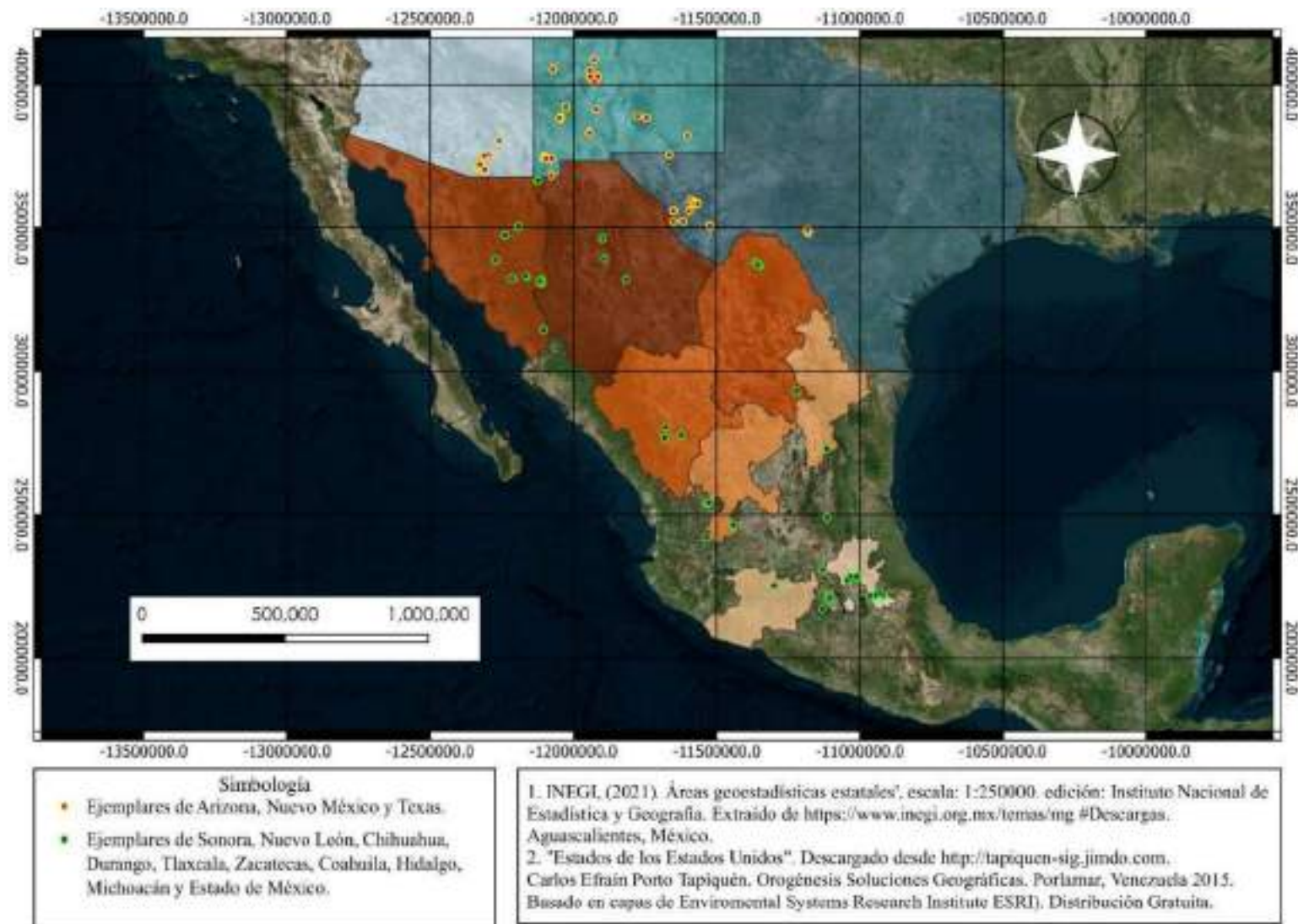
#### VII.1.1 Área de estudio

Las colectas de las codornices Moctezuma se realizaron en los estados mexicanos de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Durango, Michoacán, Tlaxcala, Hidalgo y Estado de México y estas comprende las localidades en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y Eje Neovolcánico donde naturalmente se encuentra el hábitat de la codorniz (Figura 7). Se analizaron también ejemplares de Arizona, Nuevo México y Texas, depositados en el Museum of Southwestern Biology.

Sonora representa 9.2% del territorio nacional, 45.23% del territorio pertenece a las Sierras y Llanuras Sonorenses y 18.36%, a las Sierras y Valles del Norte, 48% de su territorio presenta clima seco y semiseco localizado en la Sierra Madre Occidental, 46.5%, muy seco en las Llanuras costeras del Golfo y Sonorense, 4%, templado subhúmedo hacia el este de la entidad, el resto tiene clima cálido subhúmedo en el sureste. El 81.6% de la superficie de Sonora (14 647 982.2 hectáreas) está cubierta de vegetación natural, distribuida de la siguiente manera: matorral xerófilo (58.2%), selva (16.1%), pastizal (13.5%), bosque (11.1%) y otro tipo de vegetación (1.1%) (INEGI, 2013).

Chihuahua se ubica al norte de la República Mexicana, es el más grande, comprende una superficie de 247 487 km<sup>2</sup>, que lo sitúa en primer lugar en cuanto a extensión, representa 12.6% de la superficie total nacional y está integrado por 67 municipios (INEGI, 2003). Se puede dividir en 3 zonas naturales: Mesa Central o Altiplano, Sierra Madre Occidental y Zona Desértica. La primera, se localiza en la parte central del estado, la constituyen las llanuras y las grandes extensiones susceptibles de explotación: la segunda, se encuentra al oeste con terrenos accidentados formados por cañones y barrancas, y es la parte que atraviesa la Sierra Madre Occidental (INEGI, 2003).

Coahuila de Zaragoza ocupa la parte central de la franja de entidades continentales que hacen frontera en el norte del país con los Estados Unidos de América. Con una extensión de 151 578 37 km<sup>2</sup>, o sea 7.8% del total nacional. El clima seco, los suelos muchas veces salinos, la escasez de aguas superficiales y subterráneas, han condicionado el establecimiento de las poblaciones, y formas peculiares de aprovechamiento de las tierras (INEGI, 1983).



**Figura 7.** Sitios de colecta de ejemplares de *C. montezumae* para los montajes en México y sitios de colecta de los ejemplares en EE. UU.

Nuevo León abarca 64 081.94 km<sup>2</sup>, predominan los climas semiáridos y extremosos. El estado engloba porciones importantes de tres de las grandes regiones naturales o provincias fisiográficas del país: La Sierra Madre Oriental, que domina todo el panorama occidental y meridional del estado y cuyas sierras alargadas de calizas, ya alternándose con valles amplios y bolsones, o elevándose como gran cordillera de cumbres muy abruptas, separan en sentido noroeste-sureste las tierras altas del suroeste neolonés de las extensas llanuras de llamado plano inclinado (INEGI, 1986).

Zacatecas posee una extensión territorial de 74 479.7 km<sup>2</sup>, que representa 3.8% de la superficie nacional y lo ubica, de acuerdo con su tamaño, en el décimo lugar a nivel nacional (CONABIO, 2021). Una entidad predominantemente árida, con cinco tipos de ecosistemas: matorral xerófilo, pastizal, bosque templado, selva seca e incluso una pequeña proporción de bosque (CONABIO, 2021).

Durango posee una extensión territorial de 123 451.29 km<sup>2</sup>, con una larga historia de migración de flora y fauna. Esto permite que casi todos los tipos de vegetación de México estén representados en la entidad: matorrales xerófilos y vegetación halófila en la región Árida y Semiárida, pastizales y mezquitales en la región de los Valles, bosques templados de pino-encino, pequeños enclaves de bosque mesófilo en la región de la Sierra, y bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios en las Quebradas al oeste de la entidad (CONABIO, 2021). Posee las primeras reservas de la biosfera Mapimí y Michilía. El estado posee una superficie de 876 036 ha de áreas naturales protegidas oficialmente decretadas (CONABIO, 2021).

Michoacán de Ocampo representa el 3.0% de la superficie del país. Michoacán de Ocampo colinda al norte con Jalisco, Guanajuato y Querétaro, al este con Querétaro, México y Guerrero, al sur con Guerrero y el Océano Pacífico, al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco (INEGI, 2015).

Tlaxcala es de 4 060.923 Km, siendo por esto el estado más pequeño, pues sólo el Distrito Federal tiene una superficie menor. Por otra parte, el territorio estatal tiene una altura sobre el nivel del mar en promedio de 2 400 metros, a continuación, se presentan los cuadros tanto de la superficie territorial como de la altura sobre el nivel del mar, desglosados por municipio (INEGI, 1985). Presenta una temperatura media anual de entre 12° y 18° C, la del mes más frío oscila entre 3° y 18° C (INEGI, 1985).

Hidalgo forma parte de la zona centro del país y con sus 20 905.12 km<sup>2</sup> de superficie. Su territorio está constituido por cadenas montañosas, lomeríos y llanuras, aunque también hay algunos valles, mesetas y cañones. El paisaje semiárido pasando por los bosques templados de las partes altas y las selvas perennifolias de las laderas orientales, la zona forma parte del Eje Neovolcánico, está integrada por llanuras y lomeríos (INEGI, 1992).

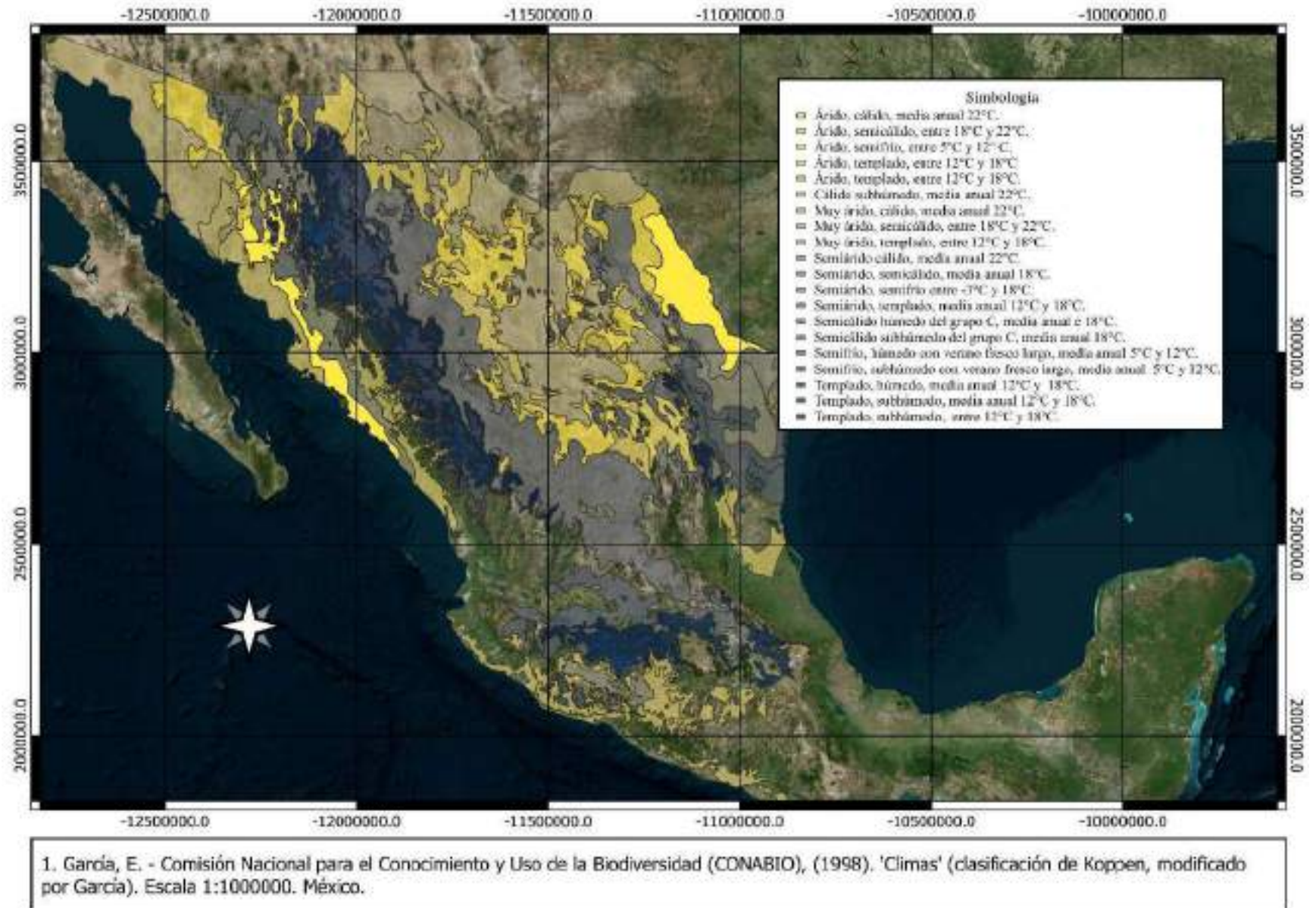
El Estado de México posee una extensión territorial de 22 499.95 km<sup>2</sup>, dada la ubicación geográfica del territorio, el clima dominante debería ser tropical, sin embargo, las variaciones del relieve originan diversidad de climas. Existe el templado subhúmedo C(w), el cálido A(w), el semiárido templado B(s), el frío E(T)H y semifrío C(E) (Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2009).

Se muestran en las siguientes imágenes los mapas con la información consultada antes de la visita a los sitios para conocer información básica sobre las zonas a recorrer y las posibles contingencias ambientales con las que se puede enfrentar al estar en campo. Mapa del clima anual alrededor de los sitios de colecta (Figura 8), el uso de suelo y vegetación (Figura 9) y los sitios según eBird de los avistamientos reportados de codorniz Moctezuma (Figura 10).

#### VII.1.2 Colecta de muestras y su periodo

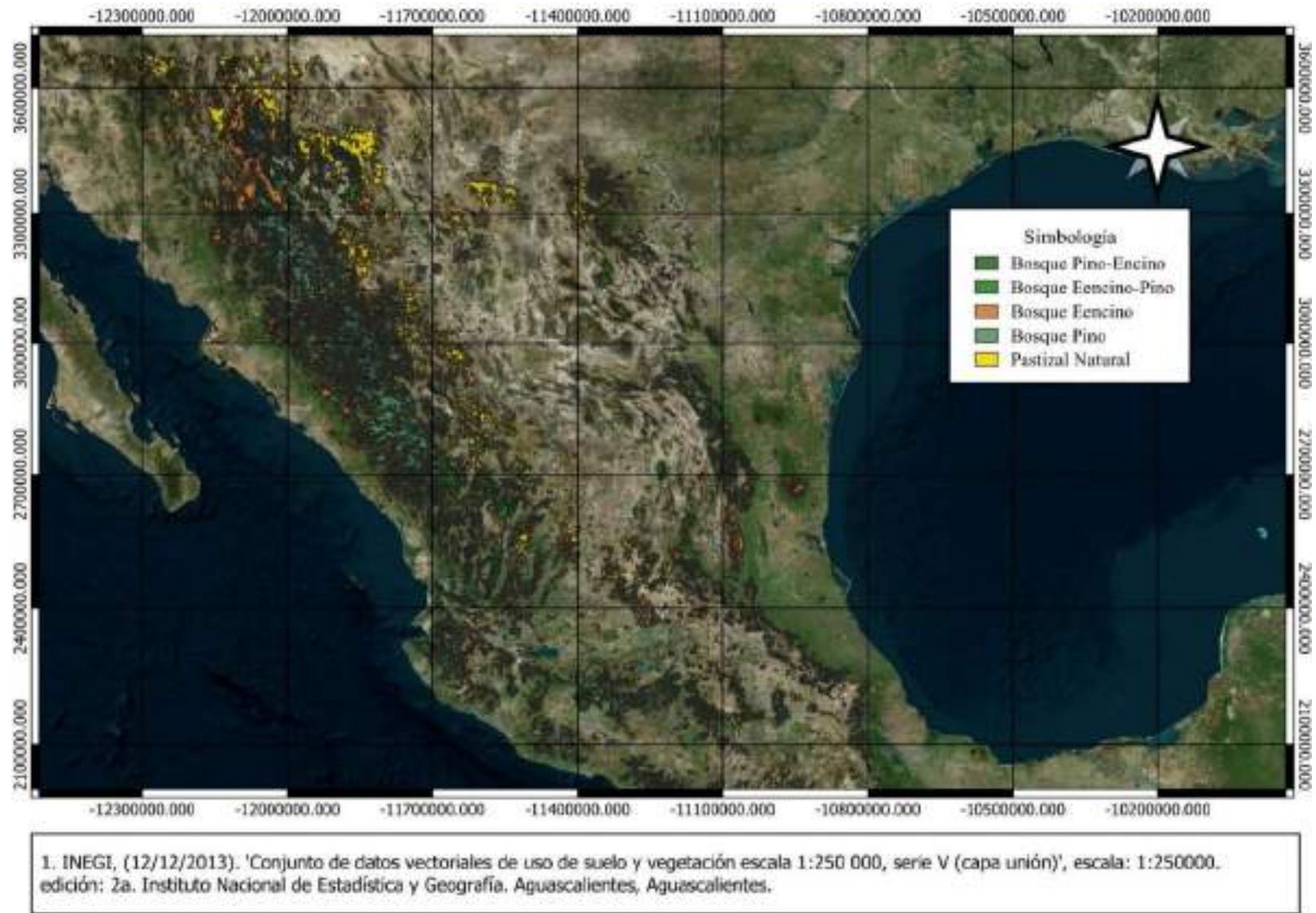
La colecta científica de los ejemplares de codorniz Moctezuma fue realizada bajo las autorizaciones Oficio N° SGPA/DGVS/00787/21, Oficio N° SGPA/DGVS/05321/22, Oficio N° SPARN/DGVS/02020/23, Oficio N° SPARN/ DGVS/10711/23 Oficio N° SPARN/DGVS/11844/24 y Oficio N° SBRA/ DGVS/01113/25 emitidos por la Dirección General de Vida Silvestre de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Las colectas se llevaron a cabo de noviembre de 2021 a noviembre de 2024, aunque con mayor frecuencia de septiembre hasta mayo, evitando interferir con la etapa reproductiva de la especie.

Al ubicarse en el sitio donde se realizarían las colectas, se procede a grabar las diferentes rutas donde se hará la búsqueda de los ejemplares, tanto en aplicación para obtener un *track* en formato GPX, KML y TCX, como en formato escrito, esto para tener un respaldo. Dentro de los formatos se encuentra también el formulario de avistamientos, para respaldo de presencia en dado caso de no obtener capturas.

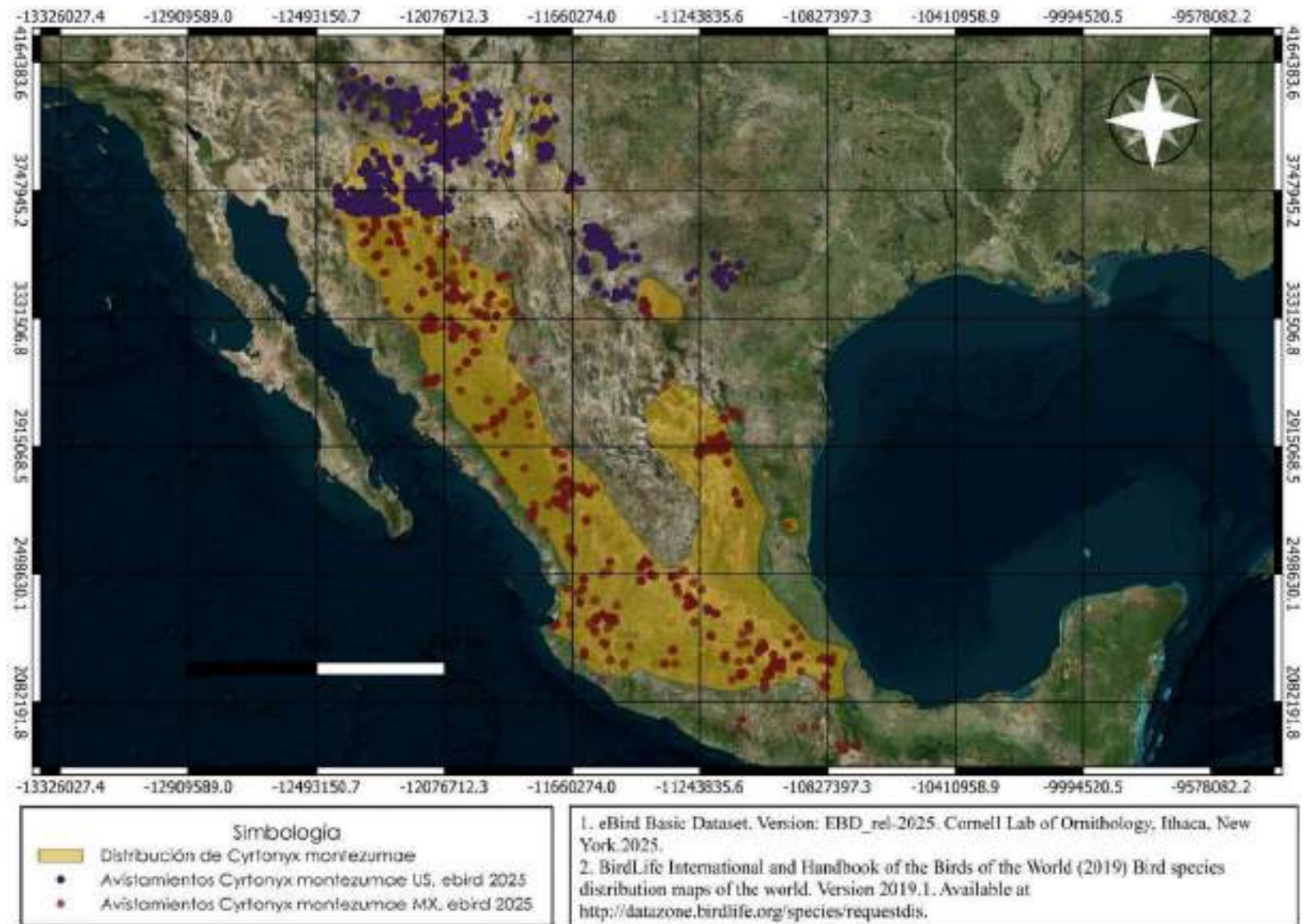


**Figura 8.** Clima en los sitios de colecta, media anual.





**Figura 9.** Tipos de vegetación en los sitios de colecta de codorniz Moctezuma pública mexicana.



**Figura 10.** Distribución y avistamientos de la codorniz Moctezuma (*Cyrtornyx montezumae*) en México y Estados Unidos.



Dentro de la investigación se tuvo una variación que no considerada. Aunque la mayoría de las colectas se hizo en épocas donde los adultos ya habían mudado, como reportó Randel *et al* (2019) sugieren que la codorniz Moctezuma podría reproducirse más tarde de lo reportado previamente a finales de septiembre-octubre y la muda primaria de plumas en las codornices Moctezuma debería extenderse hasta mediados de febrero para los individuos (Randel, 2019), donde se infiere que, la muda post reproductiva cercana al frío puede influir en cambios de color.

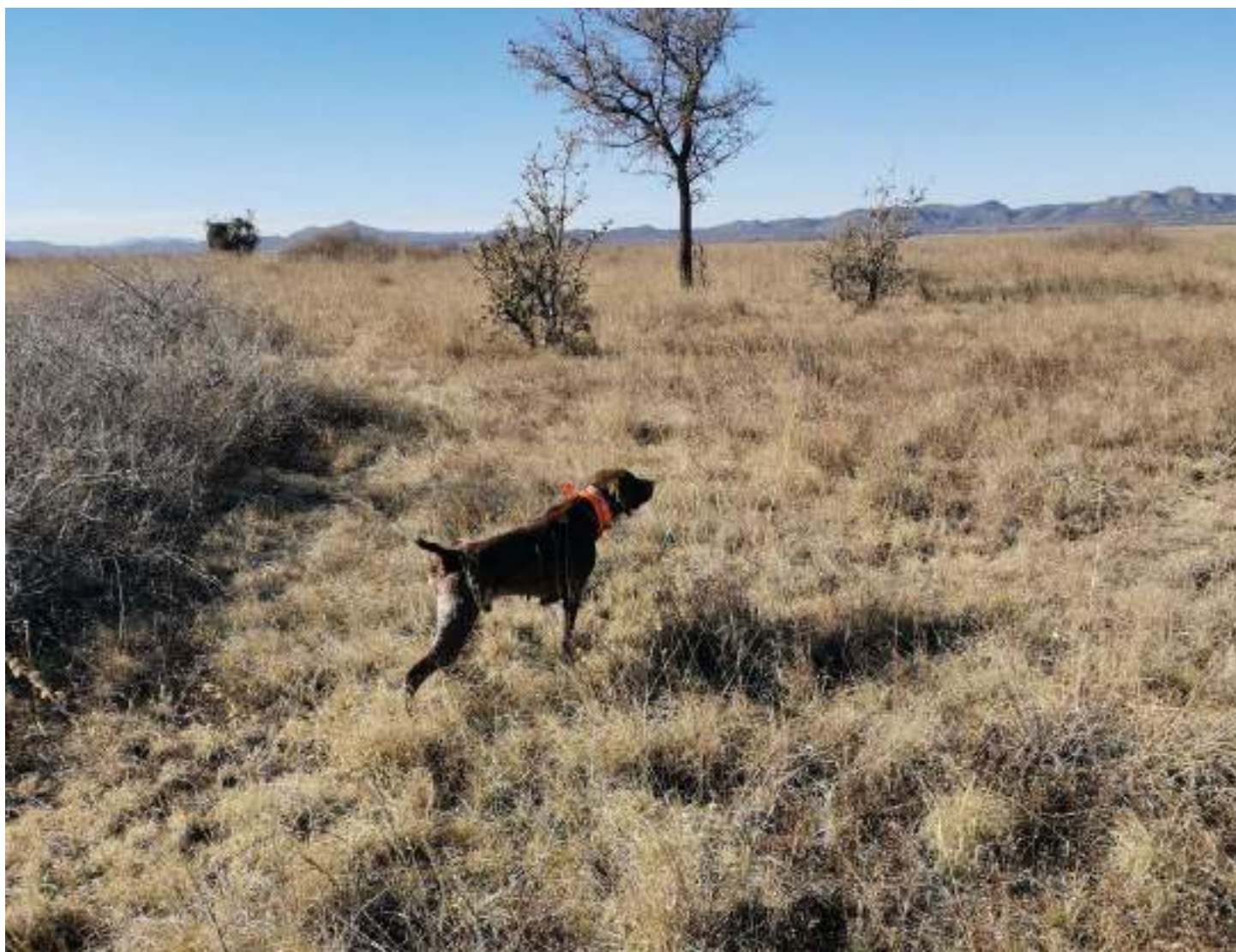
Las colectas se realizaron con búsqueda y monitoreo con perros de caza para rastreo, entrenados en la localización del olor a plumas similar a lo realizado por Bishop (1964): “*La forma más efectiva de localizar aves fue mediante el uso de un perro de caza, sin ellos, no habría sido posible recopilar los datos, las observaciones en las áreas de estudio se realizaron haciendo trabajar al perro sobre toda el área de la forma más eficiente posible, en ocasiones, cuando no se encontró la parvada, se encontraron excavaciones recientes en el área inmediata, lo que indicó que las aves aparentemente habían sido pasadas por alto. Las condiciones climáticas, la eficiencia del perro y la actividad de las aves parecieron determinar el éxito*” y Palafox *et al.* en 2007.

Los canidos utilizados para este proyecto se monitorearon y controlaron por medio de collares acompañado de órdenes por comandos hablados. En la zona de colecta, con el o los perros (con sus correspondientes collares) se comenzó el recorrido tomando el tracks de ruta con los perros orbitando a los colectores durante el transecto. Para la colecta se utilizaron tres escopetas calibre 20GA. Fue necesario ese calibre con munición para aves, garantizando que las colectas se preservaran en el mejor estado posible para su análisis. Fue necesario usar perros entrenados en rastreo de aves para ayudar a la detección de la codorniz Moctezuma durante muestreos de transectos conducidos en bosques de pino y encino (Figura 11).

#### VII.1.3 Conservación de las muestras y procesamiento del plumaje.

Los ejemplares capturados se resguardaron junto con su etiqueta de identificación, esta se asignó el orden que fue realizada la captura en el sitio, las coordenadas geográficas, hora de captura, notas adicionales, etc. Para garantizar que el ave reduzca el tiempo de rigor mortis, el ejemplar se llevó al hielo y posteriormente a congelar a una temperatura de -4 °C, para su transportación al laboratorio.

Para la conservación de la piel se utilizó los procedimientos del manual: *Basic Bird Skin Preparation Manual* (Penalba, 2013) & *Manual of Ornithology* (Proctor, 1993). Ellos muestran



**Figura 11.** Perro braco alemán en muestra de codornices Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*), rancho Terrenates, Municipio de Buenaventura, Chihuahua

un detallado procedimiento para retirar el material proteico-muscular al igual que los órganos para análisis futuros, un correcto manejo para la restauración, conservación de la piel y el plumaje, para la posterior medición del color.

Aunque las plumas cubren todo el cuerpo de un ave, en la mayoría de las plumas no están adheridas a la piel de manera uniforme. Más bien, las inserciones de plumas se agrupan en densas concentraciones llamadas tractos o pterilae, que están separados por regiones de piel con pocas o ninguna pluma llamada apteria. Los tractos de plumas en sí no son evidentes sin un examen detenido, porque las plumas se extienden desde ellos para cubrir todo el cuerpo. Los nueve tractos principales de plumas se subdividen en hasta 100 agrupaciones separadas, que distinguen los taxones de aves (Gill, 2007). Aún no se ha establecido la importancia funcional de los tractos de plumas y los apterios. Durante años, los ornitólogos dudaron de que tuvieran función (Gill, 2007)

#### VII.1.4 Determinación de edad y sexo

Macho (juvenil vs. adulto) se determinó siguiendo el protocolo y guía fotográfica de López-Bujanda (2019), el cual se basa en las diferencias de coloración y de patrones en las plumas coberteras de las alas.

#### VII.1.5 Variables ambientales

Los datos pertinentes a latitud, altitud, parámetros meteorológicos, vegetación, altura se tomaron tanto de las aplicaciones para la grabación de rutas (Wikiloc y Gaia GPS), como de las bases de datos de CONABIO y el INEGI y los bioclimas se obtuvieron de WorldClim.

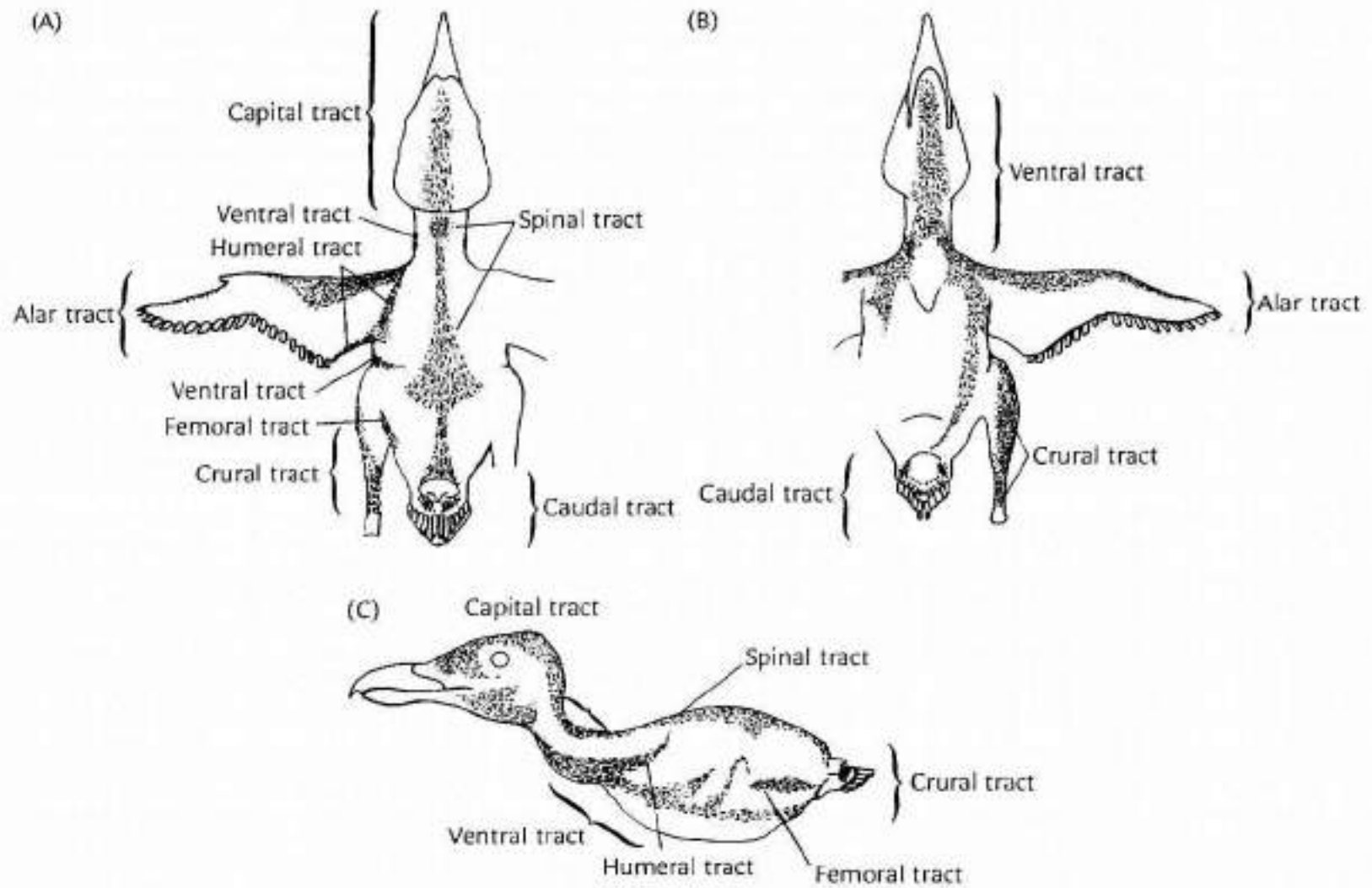
#### Criterio de selección en zona de búsqueda

Para los sitios de colecta se siguieron los parámetros de hábitat donde la codorniz Moctezuma reside, (Figura 9) *Cobertura vegetal del hábitat en los sitios de colectas*.

En los sitios de colecta se consultó con las personas que están en contacto directamente con la codorniz Moctezuma (*que conocen aproximadamente la ubicación de las codornices por avistamientos en el lugar*), se procedió a acceder a los sitios acompañados de un guía de campo y se realizaron las debidas colectas por sitio.

#### VII.1.6 Colorimetría y mediciones

##### Colorimetría



**Figura 12.** Tractos de plumas en aves. Esquema tomado de Gill (2007).



**Figura 13.** Ejemplares por procesar de codorniz Moctezuma, debidamente etiquetadas.



Para la medición del color del plumaje de la codorniz Moctezuma se hizo con dos métodos,

- 1) medición puntual del color en tractos de plumas y 2) el análisis algorítmico del color en fotografías.

La medición puntual se midió un total de 4 tractos, basados en la importancia de uso y variación visual del plumaje. Se tomaron las medidas del rango del color, para el análisis de colorimetría por medio de colorímetro Chroma Meter CR-400/410, para obtener el valor numérico referente al color presente en las plumas. Todas las mediciones se catalogaron dentro de sus respectivas variables para obtener las posibles diferencias y/o similitudes en relación con los factores medio ambientales a los que se somete la codorniz Moctezuma.

El método algorítmico se realizó por medio de una cabina fotográfica, un motor a pasos y una cámara de alta resolución (Figura 14), se obtuvo una secuencia fotográfica por ejemplar de fotos para captar la coloración del ave en su mayor capacidad. Se creará una base de datos de imágenes para el análisis por medio de algoritmos en la coloración.

Se utilizaron los siguientes estándares en la cabina (Neewer Photo Studio Light Box, 16"×16" Carpa de Luz de Disparo con Brillo Ajustable, Kit de Iluminación de Mesa Plegable y Portátil para Fotografía con 120 Luces LED y 4 Colores de Fondo) (se utilizó el fondo verde con las siguientes especificaciones:  $L^* = 65.66$ ,  $a^* = -46.15$  y  $b^* = 48.28$ , para contraste con el ave), cámara fotográfica (Figura 15) (Canon R6 Mark II y Lente red line 24 a 105 mm) lente de la cámara y motor, para captar las imágenes con la misma calidad en cada toma.

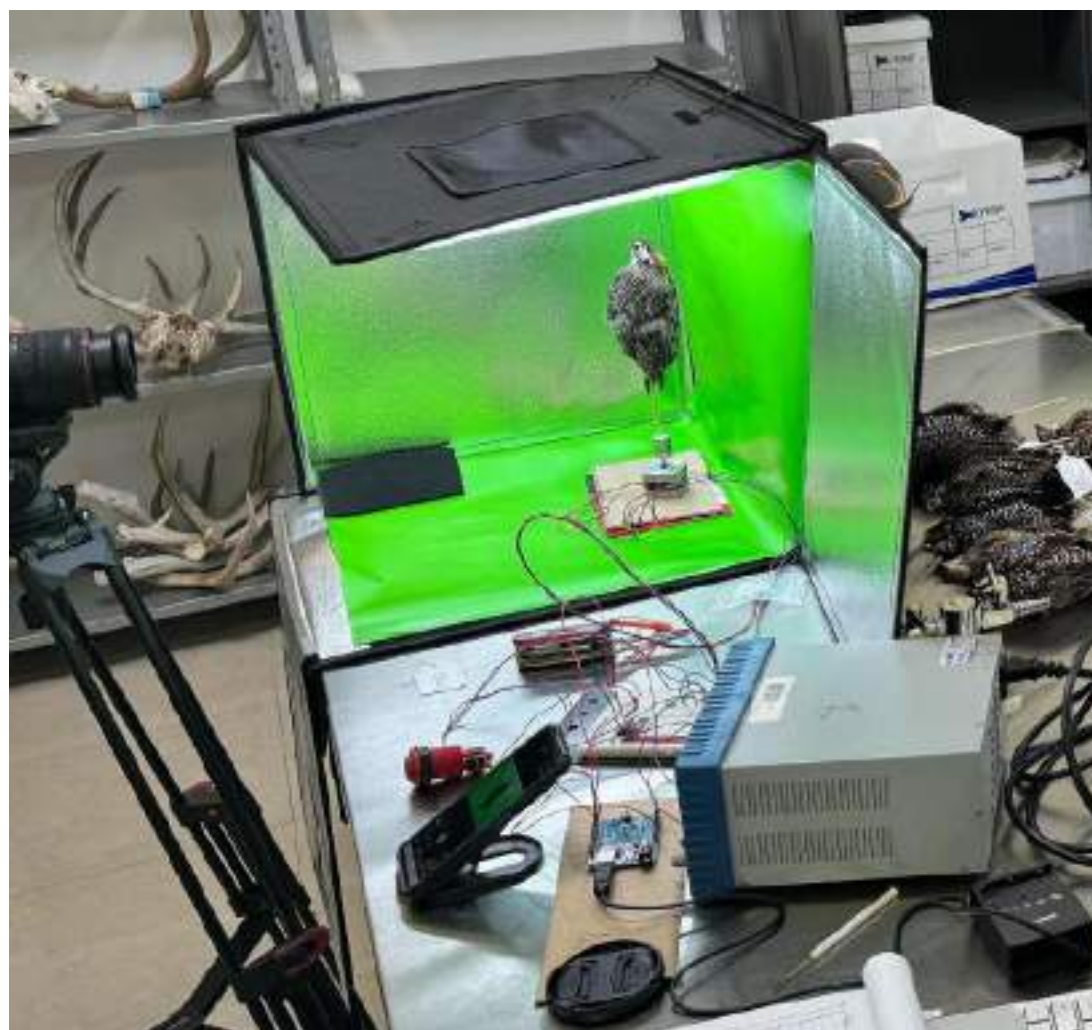
#### Colorimetría puntual

##### 1. Medición puntual colorimétrica

Se realizaron un total de 94 organismos procesados con un total de 89 montajes de codornices para su preservación según los manuales antes mencionados, y una vez montadas, en ellas se medirán los parámetros de color con el colorímetro Minolta. Se extrajeron tres mediciones (para reportar promedio de color) de cada uno de los cuatro tractos principales, donde la codorniz suele tener mayor convivencia visual en la parvada. Las muestras se tomaron de manera lineal para evitar la mayor cantidad de variaciones en la obtención de los datos para su promedio una vez procesados.

**Tabla 1.** Estandarización para la toma de fotografías

<b>Fuente de corriente directa para el motor a pasos</b>	<b>Interfaz de Comunicación</b>	<b>de Estandarización de Cámara</b>	<b>de Cabina Fotográfica</b>
<b>Volts: 24.0 Vcd</b> <b>AMP: 1.0</b>	Arduino UNO	Profundidad: 61 mm lente Apertura del diafragma: 1/25 Velocidad de obturación F: 5.6 ISO: 100	Distancia del lente al montaje: 53 cm Distancia del suelo a la cámara: 123 cm

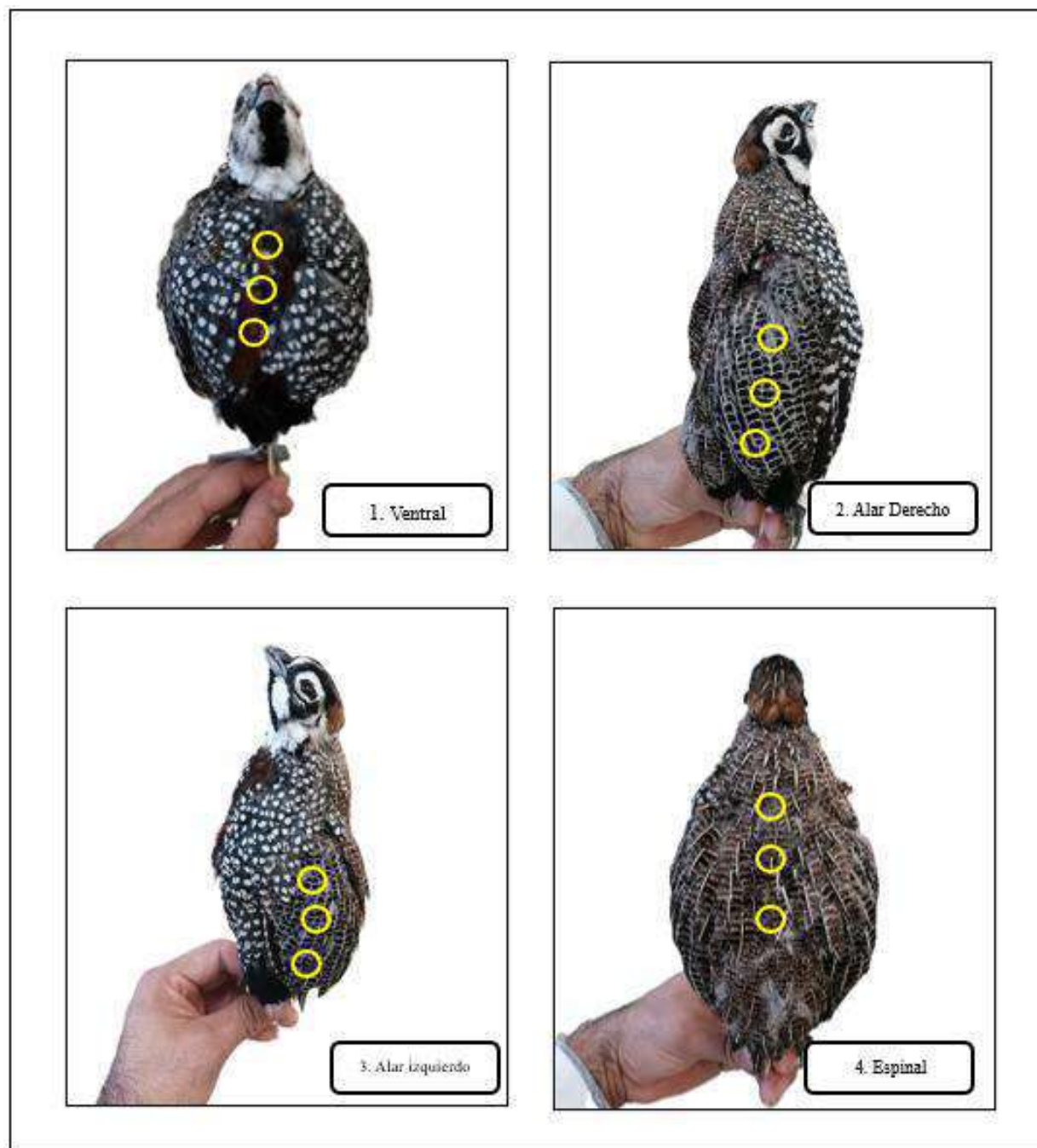


**Figura 14.** Cabina fotográfica, motor a pasos, adaptada a la cámara y programada para uso mediante el teléfono.





**Figura 15.** Cámara Canon R6 Mark II y Lente red line 24 a 105 mm de alta definición



**Figura 16.** Ilustración de los Puntos de lectura de color en los tractos ventral, alar derecho, alar izquierdo y espinal de la codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*).

Al igual que el resto de las aves su plumaje se compone de tractos o secciones de plumas que agrupadas que recubren el cuerpo una vez acomodadas y dispersas (Stromberg et al, 2020).

### Fotografía y análisis algorítmico

## 2. Análisis de base de datos de imagen

Se construyó una base de datos de imágenes de las 72 codornices montadas enfocados en la colorimetría completa del ave. Se llevó a cabo de la siguiente manera:

Diseño y estandarización del área para la adquisición de imágenes, donde se estableció todos los parámetros de cada una de las fotografías para generar una sola línea fotográfica teniendo en cuenta lo siguiente: 20 fotos por ejemplar (rotando la codorniz en un motor programado a pasos a  $18^\circ$  en rotación de  $360^\circ$ ), una cámara (Canon EOS R6m2) de alta calidad y resolución (6000 x 4000, 350 pp), distancia focal (61 mm), lente fijo, apertura, tiempo de exposición 1/25 s e ISO-100. 20 fotos por  $18^\circ$  para abarcar los ángulos del ave en su mayoría, así el algoritmo analizará el ave profundamente en coloración.

Procesamiento de la imagen con segmentación algorítmica y reconocimiento de color por codorniz (organización de las imágenes para un correcto procesamiento) con el software MATLAB (2025). Se empleó el software MATLAB (versión R2025a) para el procesamiento de imágenes digitales. Inicialmente, cada imagen se leyó como una matriz tridimensional de valores RGB (rojo, verde, azul). A continuación, se aplicó la conversión al espacio de color perceptualmente uniforme CIELAB mediante la función `rgb2lab`, lo cual transforma valores RGB al modelo CIE 1976 Lab\* ( $L^*$  = luminosidad,  $a^*$  = verde-rojo,  $b^*$  = azul-amarillo). Para evitar la contribución del fondo o “background” al promedio cromático, se generó una máscara binaria que identificó y excluyó los píxeles del fondo, sólo los píxeles correspondientes a la región de interés se conservaron. Sobre éstos se calculó la media de cada componente  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , obteniendo un único vector representativo por imagen. Este enfoque asegura que la estimación del valor colorimétrico promedio sea robusta frente a contaminación del fondo y permite comparaciones precisas entre regiones anatómicas o diferentes muestras (MathWorks, 2025).

Análisis de las imágenes con el Software MATLAB (por medio del ToolBox) con algoritmos base de Umbralización “Thresholding” realizando un análisis de coloración enfocado

en aves, para obtener promedio total del plumaje, por medio de la prueba de las bases de datos (MATLAB, 2025).

Para poder clasificar las variables a medir, se seccionó el organismo por región corporal teniendo en cuenta el nacimiento de las plumas en cada tracto del ave según (Gill, 2007). La división se llevará a cabo tomando las siguientes secciones corporales: Tracto ventral, tracto espinal, tracto alar derecho e izquierdo. La división que hace (Gill, 2007) en su libro es con el fin de catalogar regiones corporales, muestra las partes donde crecen las plumas en el cuerpo de las aves.

#### Datos colorimétricos

El procesamiento de las coordenadas CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) se llevó a cabo con el uso de los datos “brutos” una vez obtenidos del procesamiento MATLAB y se trabajó con el programa R (R Core Team, 2024). Aunado a lo anterior se anexó las medidas morfológicas (Anexo I), obtenidas de cada ejemplar procesado para conocer variaciones que puedan ayudar a la relación de color morfología.

#### Análisis estadísticos

Los datos obtenidos del software MATLAB que fueron las coordenadas esféricas CIELAB (rangos de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), los parámetros *Croma* (que tan vivido o tenue es el color) y el ángulo *hue* (el matiz de los parámetros de color obtenidos), se procesaron por medio de un análisis estadístico preliminar discriminativo y posteriormente se procedió con la Regresión Lineal Múltiple Multivariada (RLMM).

Para obtener un mejor procesamiento de las variables colorimétricas, se realizó un tratamiento inicial obteniendo el promedio, error estándar, IC 95% y MANOVA, con esto aumento viabilidad de los datos a trabajar, contemplando los grupos datos originales. Este procesamiento proporcionó la referencia del grupo de datos a trabajar ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) o ( $Cr^*$  y *hue*).

Se realizó el análisis multivariado de varianza “Multivariate Analysis of Variance”, con ello se buscó evaluar más de una variable dependiente como es el caso del presente estudio, buscando una variación significativa para el procesamiento en la Regresión Lineal Múltiple Multivariada (RLMM). Se utilizó el análisis de regresión lineal múltiple multivariada (RLMM) para determinar si la variación geográfica en la colorimetría del plumaje de la codorniz Moctezuma está asociada

a factores ecológicos y ambientales. La regresión lineal múltiple multivariada es una extensión de la regresión lineal que permite modelar simultáneamente múltiples variables dependientes cuantitativas como función de un conjunto común de variables independientes. Este enfoque permite considerar las correlaciones entre las variables dependientes, mejorando la eficiencia de las estimaciones y la potencia de las pruebas estadísticas (Rencher, 2012). El modelo de RLMM estima los efectos de  $q$  variables explicativas  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_q)$  sobre  $p$  respuestas  $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_p)$  a partir de sus valores observados en  $n$  unidades de muestreo. En este estudio, la respuesta multivariada son los valores del espacio CIELAB  $\mathbf{y} = (L^*, a^*, b^*)$ , donde los componentes colorimétricos son  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (de rojo a verde),  $b^*$  (de amarillo a azul) de diferentes secciones del plumaje de las codornices (ver abajo).

El modelo de la RLMM es:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{XB} + \mathbf{E}$$

donde  $\mathbf{Y}_{n \times p}$  denota la matriz de respuestas para las  $n$  fotografías,

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} L_1 & a_1^* & b_1^* \\ L_2 & a_2^* & b_2^* \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ L_n & a_n^* & b_n^* \end{pmatrix}$$

$\mathbf{X}_{n \times (q+1)}$  es la matriz de variables explicativas aumentada con una primera columna de solo unos (matriz de diseño),

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1q} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2q} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nq} \end{pmatrix}$$

$\mathbf{B}_{(q+1) \times p}$  es la matriz de coeficientes o efectos,

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \beta_{0L^*} & \beta_{0a^*} & \beta_{0b^*} \\ \beta_{1L^*} & \beta_{1a^*} & \beta_{1b^*} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{qL^*} & \beta_{qa^*} & \beta_{qb^*} \end{pmatrix}$$

y  $\mathbf{E}_{n \times p}$  es la matriz de errores (variación no explicada por el modelo de regresión) cuyos  $n$  renglones  $\mathbf{e} = (e_L, e_{a^*}, e_{b^*})$  tienen distribución normal multivariada,

$$\mathbf{e} \sim \text{NMV}(\mathbf{0}, \mathbf{\Sigma})$$

donde  $\Sigma$  es la matriz de varianzas y covarianzas del error. El estimador de máxima verosimilitud de  $\hat{\mathbf{B}}$  dadas las matrices de respuestas y variables explicativas observadas  $\mathbf{Y}$  y  $\mathbf{X}$ , respectivamente, es:

$$\hat{\mathbf{B}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}$$

Y su matriz de varianzas y covarianzas muestrales es:

$$\hat{\Sigma}_{\hat{\mathbf{B}}} = \hat{\Sigma} \otimes (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$$

donde  $\otimes$  denota el producto Kronecker y  $\hat{\Sigma}$  es el estimador de la matriz de varianzas y covarianzas del error

$$\hat{\Sigma} = \frac{1}{n - q - 1} \mathbf{E}^T \mathbf{E}$$

donde:

$$\mathbf{E} = (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\mathbf{B}})^T (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\mathbf{B}})$$

Todas las estimaciones anteriores fueron calculadas usando el paquete stats del programa estadístico R (R Core Team, 2025).

Se utilizó la hipótesis multivariada estándar,

$$H_0: \mathbf{CBM} = \mathbf{0}$$

para determinar:

- 1) si la  $i$ -ésima ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) variable explicativa tuvo un efecto significativo en al menos una de las tres respuestas, esto es,

$$H_0: \begin{pmatrix} \beta_{1L^*} & \beta_{1a^*} & \beta_{1b^*} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{qL^*} & \beta_{qa^*} & \beta_{qb^*} \end{pmatrix} = \mathbf{0}$$

- 2) si la  $i$ -ésima ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) variable explicativa tuvo un efecto significativo en al menos una de las tres respuestas colorimétricas, esto es,

$$H_0: \begin{pmatrix} \beta_{iL^*} \\ \beta_{ia^*} \\ \beta_{ib^*} \end{pmatrix} = \mathbf{0}$$

Esta hipótesis es instrumentada a partir de las matrices:

$$\mathbf{C}_{1 \times (1+q)} = (0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad \dots \quad 0)$$

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

donde el único 1 en  $\mathbf{C}$  está en la posición  $i + 1$ . Se utilizó la traza de Pillai ( $V$ ) (Rechner, 2012) como el estadístico de prueba de la hipótesis multivariada estándar arriba planteada, calculado mediante la expresión:

$$V = \text{traza}(\mathbf{H}(\mathbf{H} + \mathbf{E})^{-1})$$

donde

$$\mathbf{H} = (\mathbf{C}\hat{\mathbf{B}}\mathbf{M})^T (\mathbf{C}(\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{C}^T)^{-1} (\mathbf{C}\hat{\mathbf{B}}\mathbf{M})$$

$$\mathbf{E} = (\mathbf{Y}\mathbf{M})^T (\mathbf{I} - \mathbf{X}(\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T)^{-1} (\mathbf{Y}\mathbf{M})$$

Se utilizó la aproximación a  $F$  de Rao (Rechner, 2012) para estimar el valor de significancia observado de la hipótesis multivariada estándar. La hipótesis multivariada estándar fue evaluada mediante la función `linearHypothesis` el paquete `car` (Fox y Weisberg, 2019) de R. El valor de significancia aplicado para todas las pruebas estadísticas fue  $\alpha = 0.05$ . Se realizó una corrección de Bonferroni para corregir el valor de  $\alpha$  por  $q$  pruebas múltiples. De esta forma, el valor corregido de  $\alpha$  aplicado fue  $\frac{\alpha}{q} = \frac{0.05}{40} = 0.001$ .

Se utilizó una gráfica de valores  $t$  para en el espacio CIELAB estandarizado (ver abajo) visualizar los efectos de aquellas variables explicativas cuyas hipótesis multivariadas estándar fueron rechazadas. Los valores  $t$  corresponden al estadístico de la prueba de Wald para la  $i$ -ésima variable explicativa de la  $j$ -ésima respuesta:

$$t_{ij} = \frac{\hat{\beta}_{ij} - 0}{\hat{\sigma}_{\hat{\beta}_{ij}}}$$

donde  $\hat{\sigma}_{\hat{\beta}_{ij}}$  es el error estándar de  $\hat{\beta}_{ij}$ .

Las variables explicativas consideradas fueron las 19 variables bioclimáticas de BIOCLIM (bio1, bio2, ..., bio19), altitud, latitud, longitud, región (Sierra Madre Oriental, Sierra Madre

Occidental o Eje Neovolcánico) y la variable intrínseca edad (adulto o juvenil). Se realizaron cuatro análisis de RLMM:

- 1) Respuestas  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  puntuales medidas con colorímetro ( $p = 3$ ) en cuatro tractos (ventral, alar derecho, alar izquierdo y espinal) en cada una de 89 codornices (México solamente). De esta forma, se incluye en el predictor lineal de efectos aditivos el factor TRACTO con sus cuatro niveles.
- 2) Respuestas  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  total determinadas algorítmicamente ( $p = 3$ ) en 20 tomas fotográficas en una secuencia de giro del eje craneocaudal a cada  $18^\circ$  (una revolución) en cada una de 72 codornices (México solamente). De esta forma, se incluye en el predictor lineal de efectos aditivos al factor TOMA con sus 20 niveles ( $0^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $36^\circ$ , ...,  $348^\circ$ ) pero se excluyen a bio4, bio5, bio8 y bio10 por generar problemas de varianzas muestrales de los coeficientes de regresión.
- 3) Respuestas  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  total determinadas algorítmicamente ( $p = 3$ ) en 4 tomas fotográficas en una secuencia de giro del eje craneocaudal a cada  $90^\circ$  (frontal, flanco derecho, posterior, flanco izquierdo, tomas 1, 6, 11 y 16 en 2) en cada una de 164 codornices (México y EE. UU.). De esta forma, se incluye en el predictor lineal de efectos aditivos al factor TOMA con sus cuatro niveles.
- 4) Respuestas  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  total determinada algorítmicamente ( $p = 3$ ) en 4 tomas fotográficas en una secuencia de giro del eje craneocaudal a cada  $90^\circ$  (frontal, flanco derecho, posterior, flanco izquierdo, tomas 1, 6, 11 y 16 en 2) en cada una de 16 codornices de granja y 16 codornices silvestres en Nuevo México, EE. UU. De esta forma, se incluye en el predictor lineal de efectos aditivos el factor TOMA con sus cuatro niveles en interacción con el factor SILVESTRE (niveles granja y silvestre).

Las variables de respuesta y las variables explicativas (excepto las variables indicadoras para los factores *EDAD*, *REGION*, *TOMA* y *SILVESTRE*) fueron estandarizadas para todos los análisis, esto es, centradas en cero y escaladas por su desviación estándar. Se evaluó cualitativamente la normalidad multivariada de los residuales (**E**) de cada modelo de RLMM.



En el estudio se maneja más de una variable dependiente (como  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del espacio CIELAB) y más de dos niveles en su factor, la traza del valor de Pillai puede exceder 1, por la suma de varios componentes.

Se busca conocer si los grupos presentan mayor el valor de Pillai con mayor efecto explicativo de las variables independientes sobre el conjunto de variables dependientes.

El estadístico de Pillai se define como:

$$V = \text{tr}(H(H + E)^{-1})$$

donde:

H = Suma de cuadrados y productos del modelo (hypothesis).

E = Error o residuos (error matrix).

tr = traza de la matriz (suma de sus valores propios).

Las escalas de las variables del color pueden resultar distintas manejando gran cantidad de datos y los resultados pueden variar (por ejemplo, *hue* va de 0 a 360,  $L^*$  de 0 a 100, y  $a^*$ ,  $b^*$  pueden ser positivos o negativos), por lo tanto, para el tratamiento de los datos se estandarizó (z-score) para minimizar el sesgo del MANOVA por las escalas manejadas. Esto garantiza separar fenómenos visuales distintos dentro de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  donde se pueda verificar si hay cambios en el plano cromático y en las variables de  $Cr^*$ , *hue* para poder percibir diferencias en brillo, saturación o ángulo para obtener un análisis más específico y comparable.

En el estudio se manejó más de una variable dependiente (como  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del espacio CIELAB) y más de dos niveles en su factor, la traza del valor de Pillai puede exceder 1, por la suma de varios componentes.

*Dado que las colectas, las donaciones y los montajes, se hicieron en Estados Unidos, no se tuvo control del procesamiento de los organismos, únicamente se controló la toma fotográfica, por lo tanto, se adaptó la metodología al tipo de montaje de MBS.*

**Tabla 2.** Valores de variables bioclimáticas usados para la relación de los datos colorimétricos

Referencia
bio1 = Temperatura media anual
bio2 = Rango medio diurno (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
bio3 = Isotermalidad (bio2/bio7) ( $\times 100$ )
bio4 = Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$ )
bio5 = Temperatura máxima del mes más cálido
bio6 = Temperatura mínima del mes más frío
bio7 = Rango anual de temperatura (bio5-bio6)
bio8 = Temperatura media del trimestre más húmedo
bio9 = Temperatura media del trimestre más seco
bio10 = Temperatura media del trimestre más cálido
bio11 = Temperatura media del trimestre más frío
bio12 = Precipitación anual
bio13 = Precipitación del mes más lluvioso
bio14 = Precipitación del mes más seco
bio15 = Estacionalidad de las precipitaciones (coeficiente de variación)
bio16 = Precipitación del trimestre más lluvioso
bio17 = Precipitación del trimestre más seco
bio18 = Precipitaciones del trimestre más cálido
bio19 = Precipitación del trimestre más frío

## VIII. RESULTADOS

Se realizaron montajes de pieles y sus lecturas colorimétricas (con colorímetro) de 89 ejemplares. Se realizó el análisis algorítmico fotográfico de 164 ejemplares (México y EE.UU.), 92 proporcionados por el *Museum of Southwestern Biology*. De los 101 ejemplares capturados que se procesaron, 94 organismos (no todos pudieron tener un montaje completo para el análisis algorítmico fotográfico), 89 ejemplares se procesaron con colorimetría puntual, 72 ejemplares de México y 92 de EE.UU. fotografiados para el análisis algorítmico del color, de los cuales 16 fueron de cautiverio (Tabla 3), teniendo datos para procesar el análisis de Regresión Lineal Múltiple Multivariada (RLMM).

### VIII.1 Colorimetría puntual

#### Colorimetría puntual en 4 tractos

Se procesaron un total de 89 ejemplares de *C. montezumae*, colectadas en México de 2022-2024, obteniendo datos CIELAB con colorímetro. Se obtuvo un total de 42 ejemplares de NEOV, 38 ejemplares de SMOC y 9 ejemplares de SMOR. Se encontró un promedio general de  $\bar{L}^* = 30.91 \pm 0.83$  de  $\bar{a}^* = 3.42 \pm 0.19$  y en de  $\bar{b}^* = 8.94 \pm 0.37$ . Los promedios obtenidos en los datos procesados para  $\bar{Cr}^* = 9.73 \pm 0.38$  y para  $hue = 70.83 \pm 0.70$ . La variación geográfica promedio por estado se evidencia por diferencias en los parámetros (0 y Tabla 5).

En la dispersión de los promedios, se observó una oscilación entre algunas variables de color y como los promedios rondan en zonas cercanas entre sí. Las variables dependientes como lo son  $L^*$ ,  $a^*$  y  $hue$  varían un poco en cuanto a la dispersión de sus datos, varían influenciado por la cantidad  $n$  de datos colectados, que se observaron en el comportamiento de los promedios individuales con respecto a su varianza. Se usó este método estadístico para conocer la medida de respuesta de las variables dependientes entre sí y ver la presencia del efecto en conjunto entre ellas simultáneamente

#### VIII.1.1 $L^*$ , $a^*$ y $b^*$

La relación del promedio de los datos muestra que existe evidencia suficiente para hacer uso de la información colorimétrica en los estados de colecta (MANOVA, traza de *pillai*  $V = 1.2531$ , aproximación F de Rao = 5.978, g.l. = 27, 225. y  $p < 0.001$ ).

**Tabla 3.** Ejemplares procesados en México y EE.UU.

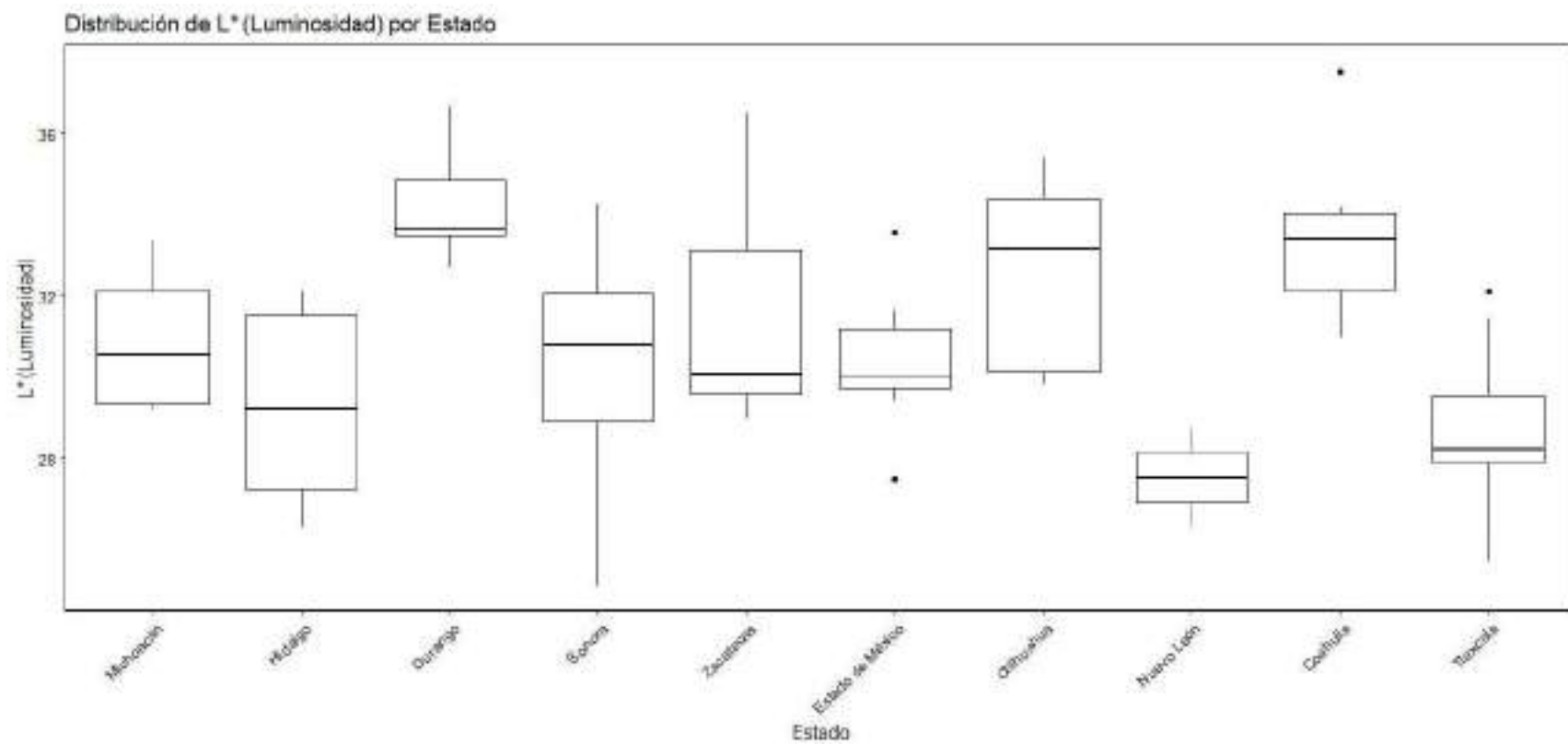
Actividad	Cantidad
Codornices colectadas (Machos)	101
Codornices procesadas en laboratorio (montajes)	94
Codornices procesadas con Colorimetría puntual	89
Codornices procesadas con Análisis algorítmico	72 México
con el Software MATLAB	76 EE.UU. Vida libre
	16 EE.UU. Granja
Estados procesados	Sonora, Nuevo León, Chihuahua, Durango, Tlaxcala, Zacatecas, Coahuila, Michoacán, Hidalgo y Estado de México. Texas, Arizona y Nuevo México.

**Tabla 4.** Muestra la media y error estándar de los valores por grupo ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) de datos en colorimetría puntual. Variabilidad de color promedio y error estándar de las codornices en ejemplares de México

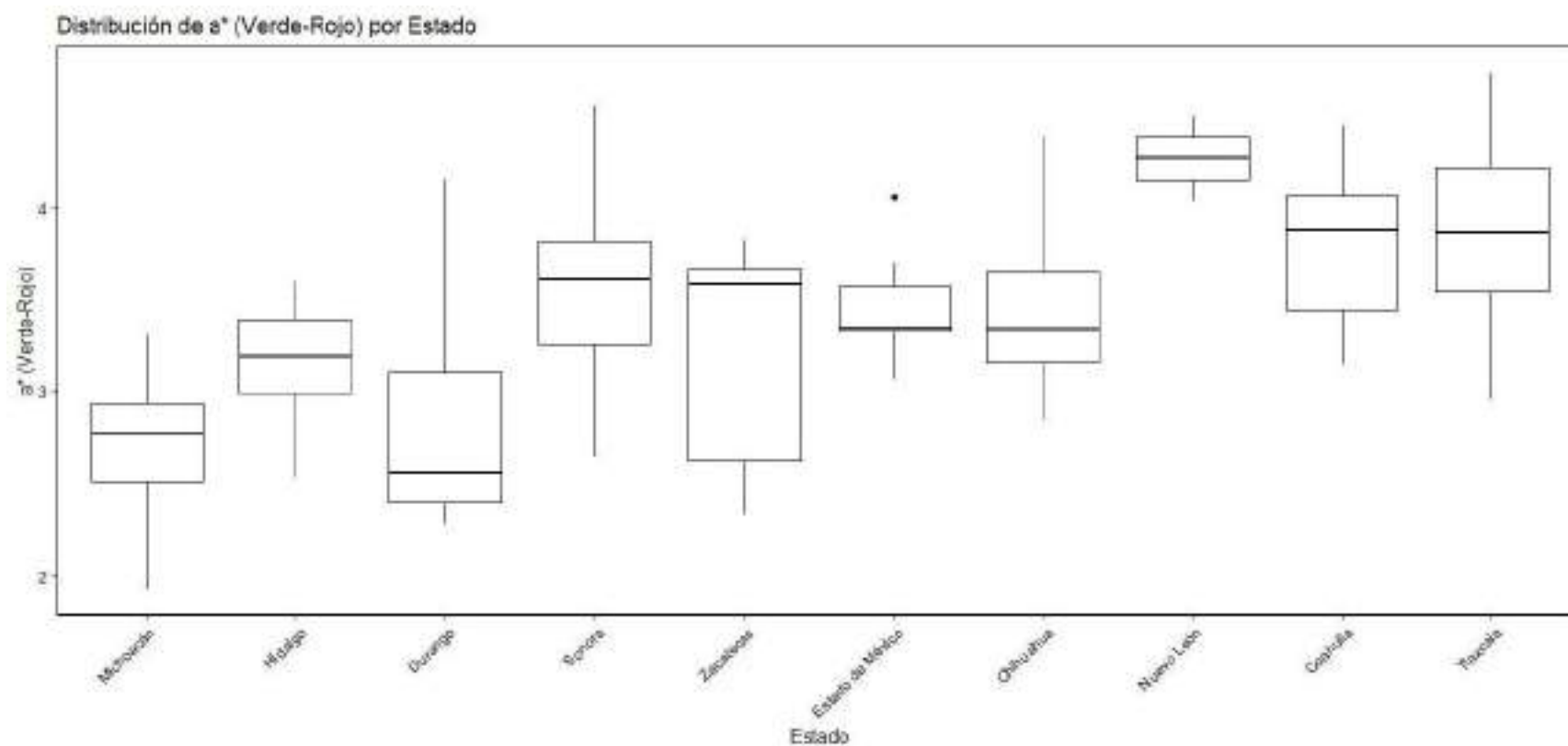
Estado	Colectas	$\bar{L}^* \pm \text{E.E.} (\bar{L}^*)$	$\bar{a}^* \pm \text{E.E.} (\bar{a}^*)$	$\bar{b}^* \pm \text{E.E.} (\bar{b}^*)$
Chihuahua	9	$32.60 \pm 0.83$	$3.48 \pm 0.19$	$9.03 \pm 0.29$
Coahuila	7	$33.54 \pm 0.93$	$3.79 \pm 0.20$	$9.51 \pm 0.72$
Durango	7	$34.23 \pm 0.56$	$2.86 \pm 0.26$	$8.72 \pm 0.65$
Estado De México	7	$30.40 \pm 0.71$	$3.46 \pm 0.12$	$8.97 \pm 0.21$
Hidalgo	6	$29.28 \pm 1.04$	$3.15 \pm 0.16$	$8.21 \pm 0.31$
Michoacán	4	$30.91 \pm 0.99$	$2.69 \pm 0.28$	$7.98 \pm 0.33$
Nuevo León	2	$27.53 \pm 1.23$	$4.26 \pm 0.23$	$9.16 \pm 0.30$
Sonora	22	$30.35 \pm 0.52$	$3.56 \pm 0.11$	$8.42 \pm 0.24$
Tlaxcala	18	$28.64 \pm 0.45$	$3.79 \pm 0.13$	$10.68 \pm 0.29$
Zacatecas	7	$31.56 \pm 1.05$	$3.19 \pm 0.24$	$8.69 \pm 0.34$
Total	89	$30.91 \pm 0.83$	$3.42 \pm 0.19$	$8.94 \pm 0.37$

**Tabla 5.** Muestra la media y error estándar de los valores por grupo ( $Cr^*$  y  $hue^*$ ) de datos en colorimetría puntual.

Estado	Colectas	$\bar{Cr}^* \pm \text{E.E.} (\bar{Cr}^*)$	$\bar{hue}^* \pm \text{E.E.} (\bar{hue}^*)$
Chihuahua	9	$9.83 \pm 0.62$	$71.06 \pm 1.21$
Coahuila	7	$10.44 \pm 1.37$	$70.91 \pm 0.26$
Durango	7	$9.22 \pm 1.63$	$72.59 \pm 1.06$
Estado De México	7	$9.74 \pm 0.37$	$69.94 \pm 1.27$
Hidalgo	6	$8.88 \pm 0.72$	$70.25 \pm 0.66$
Michoacán	4	$8.55 \pm 0.73$	$73.23 \pm 2.33$
Nuevo León	2	$10.34 \pm 0.35$	$68.48 \pm 4.13$
Sonora	22	$9.34 \pm 0.49$	$69.80 \pm 0.79$
Tlaxcala	18	$11.53 \pm 0.62$	$70.91 \pm 0.76$
Zacatecas	7	$9.40 \pm 0.83$	$71.12 \pm 1.25$
Total	89	$9.73 \pm 0.74$	$70.83 \pm 1.37$

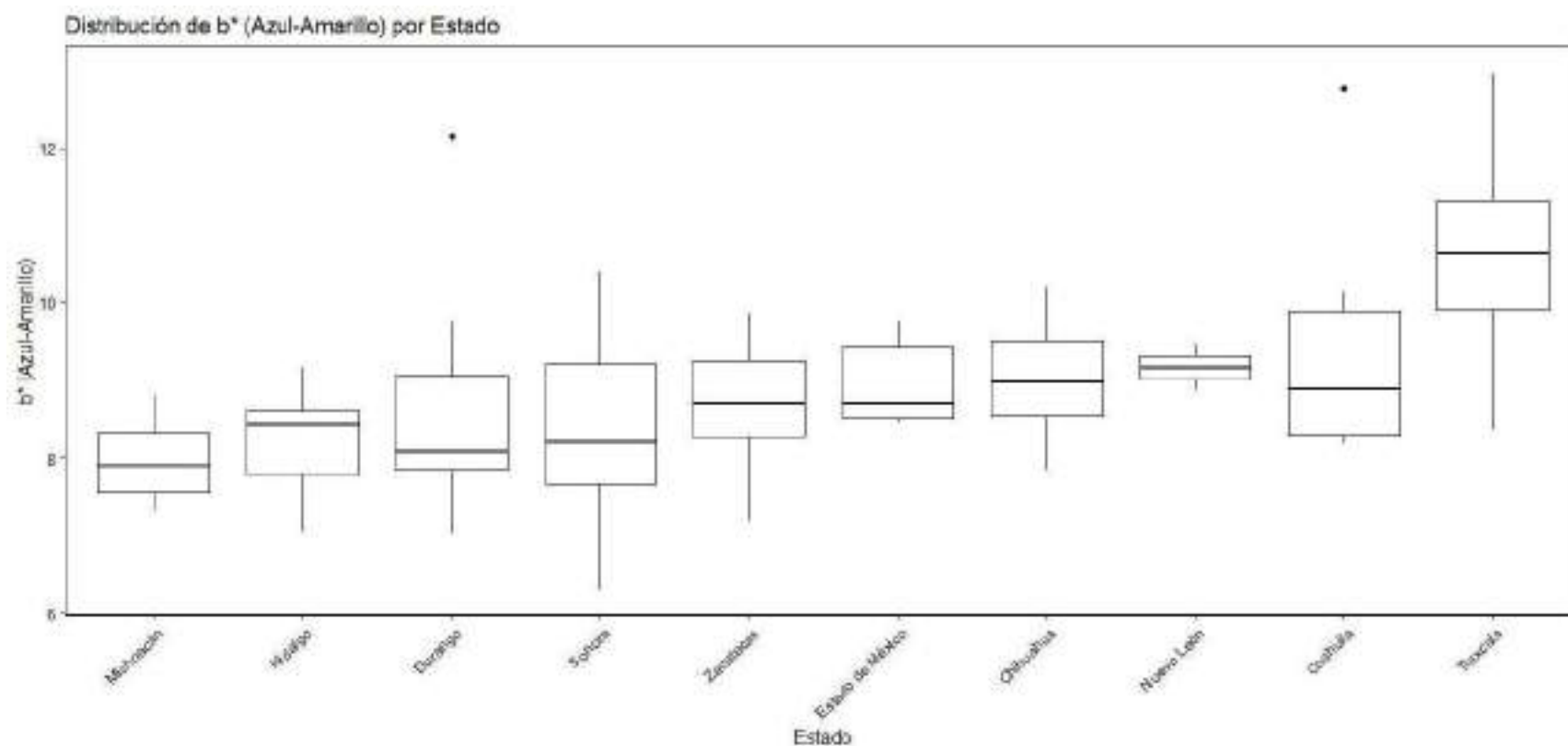


**Figura 17.** Distribución de luminosidad  $L^*$  en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) macho por estado de los ejemplares colectados en México.

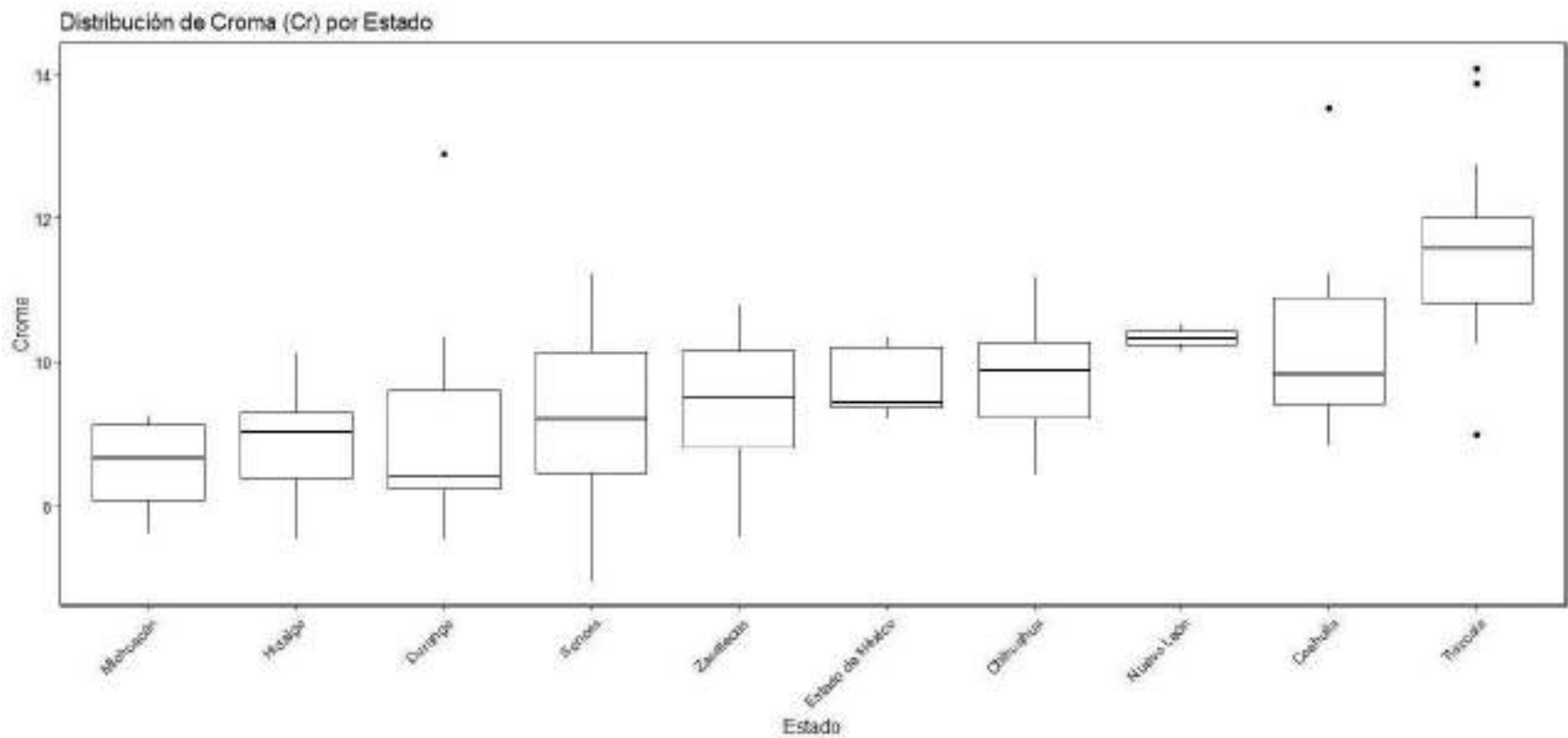


**Figura 18.** Distribución de luminosidad  $a^*$  en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) macho por estado de los ejemplares colectados en México.

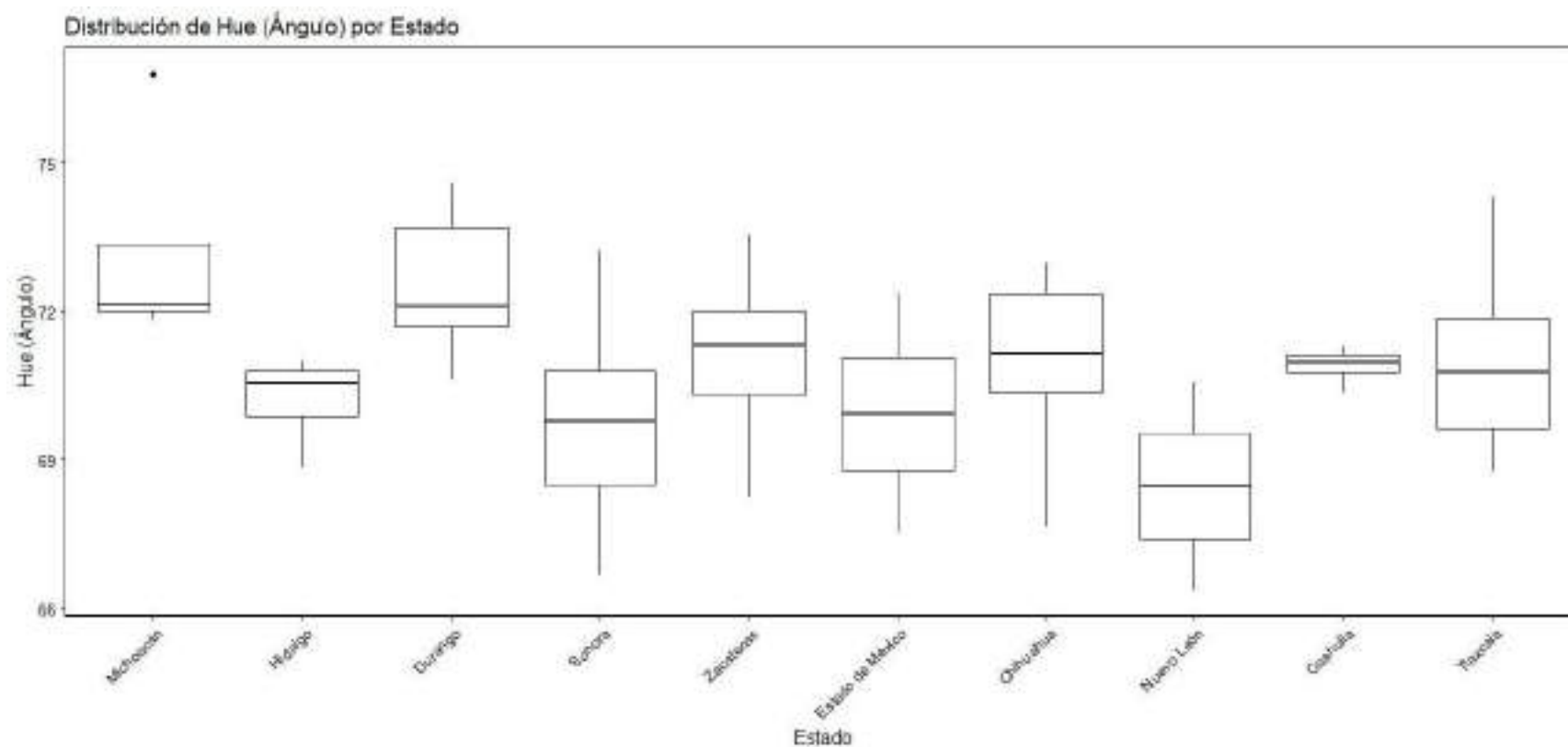




**Figura 19.** Distribución de luminosidad  $b^*$  en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) macho por estado de los ejemplares colectados en México.



**Figura 20.** Distribución de luminosidad  $Cr^*$  en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) macho por estado de los ejemplares colectados en México.



**Figura 21.** Distribución de luminosidad *hue*\* en plumajes de ejemplares de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) macho por estado de los ejemplares colectados en México.

### VIII.1.2Cr\* y hue

Se encontró evidencia que el tratamiento de los datos procesados para obtener  $Cr^*$  y *hue* resulta menos eficaz en el uso de la información por la relación con la cantidad de datos (MANOVA Traza de Pillai  $V=0.6969$ , aproximación F de Rao = 4.457, g.l. = 18, 150. y  $p < 0.001$ ).

### VIII.2 Regresión lineal múltiple multivariada puntual

Las variables explicativas tuvieron un efecto sobre las variables colorimétricas (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.466$ , aproximación F de Rao = 2.651, g.l.= 951,  $P < 0.001$ ).

En el análisis según el ajuste Bonferroni para controlar la familiaridad entre datos, no resultaron variables significativas en  $\frac{\alpha}{22} = 0.002$ . Las variables que pueden ser influyentes con una  $p < 0.05$  en el color de las codornices serían precipitación y edad para este análisis.

EDAD, traza de Pillai  $V = 0.029$ , aproximación F de Rao = 3.093, g.l.= 22, 951,  $P < 0.027$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente oscuras y en zonas rojas.

BIO15 Estacionalidad de las precipitaciones (coeficiente de variación), traza de Pillai  $V = 0.029$ , aproximación F de Rao = 3.096, g.l.= 22, 951,  $P < 0.027$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $a^*$  y  $b^*$ , con coloraciones en la zona de los amarillos y en zonas rojas.

BIO 17 Precipitación del trimestre más seco, traza de Pillai  $V = 0.031$ , aproximación F de Rao = 3.383, g.l.= 22, 951,  $P < 0.019$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $b^*$ , con coloraciones mayormente luminosas y en zonas azules.

BIO19 Precipitación del trimestre más frío, traza de Pillai  $V = 0.027$ , aproximación F de Rao = 2.907, g.l.= 22, 951,  $P < 0.035$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , con coloraciones mayormente oscuras, en zonas rojas y en zonas azules.

### VIII.3 Colorimetría por análisis algorítmico de fotografía de alta calidad

#### Procesamiento de 20 fotografías

El proceso fotográfico se realizó con ( $n=164$ ) ejemplares de *C. montezumae*, un total de ( $n= 72$ ) de México, ( $n= 76$ ) colectados en vida libre y un total de ( $n= 16$ ) de granja de aves en Estados Unidos desde 1916-2021, obteniendo los datos CIELAB por medio de un análisis algorít-

**Tabla 6.** Resultados del análisis de regresión lineal múltiple multivariada que relaciona a las variables de respuesta del espacio de color CIELAB  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en las tomas de colorimetría puntual por tracto de plumajes de machos de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en México (Análisis 1, ver texto) con 22 variables explicativas. Las respuestas y variables explicativas continuas fueron estandarizadas. El estadístico traza de Pillai, y sus valores  $F$  y  $P$ , corresponden a la prueba de hipótesis estándar multivariada de la variable explicativa tiene un efecto en al menos una respuesta (ver texto). Los valores  $t$  son los valores del estadístico de Wald (ver texto). Las variables en negritas son aquellas en las que se rechazó la hipótesis estándar multivariada con un valor de significancia corregido de  $\frac{\alpha}{22} = 0.002$ .

Variable	Coeficientes de regresión			Traza de Pillai	Aprox. $F_{951}^{22}$	P	Valores t		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$				$L^*$	$a^*$	$b^*$
<b>edad</b>	-0.269	0.064	0.019	0.029	3.093	0.027	-2.067	0.469	0.149
<i>lat</i>	-0.206	0.691	1.179	0.005	0.574	0.633	-0.225	0.719	1.310
<i>lon</i>	0.099	0.442	1.344	0.003	0.366	0.777	0.071	0.304	0.986
<i>bio1</i>	1.692	-0.605	-0.560	0.005	0.484	0.694	0.805	-0.275	-0.271
<i>bio2</i>	1.554	-0.927	-1.481	0.012	1.240	0.295	1.071	-0.609	-1.040
<i>bio3</i>	-2.026	1.149	1.591	0.009	0.948	0.418	-1.025	0.555	0.820
<i>bio5</i>	-3.071	1.572	2.397	0.013	1.410	0.240	-1.193	0.582	0.948
<i>bio6</i>	2.483	-1.584	-2.258	0.011	1.152	0.328	1.102	-0.670	-1.021
<i>bio8</i>	-0.715	0.117	-0.231	0.001	0.084	0.969	-0.361	0.056	-0.119
<i>bio9</i>	-0.024	0.193	0.211	0.003	0.360	0.782	-0.097	0.735	0.862
<i>bio11</i>	-2.111	1.158	1.442	0.013	1.334	0.263	-1.284	0.672	0.893
<i>bio12</i>	-1.062	1.129	2.054	0.020	2.108	0.099	-1.021	1.035	2.012
<i>bio13</i>	-0.401	-0.369	-1.390	0.010	1.066	0.364	-0.457	-0.402	-1.618
<i>bio14</i>	-0.201	0.067	0.296	0.014	1.455	0.227	-0.717	0.229	1.077
<b>bio15</b>	-0.433	0.703	1.325	0.029	3.096	0.027	-0.891	1.382	2.779
<i>bio16</i>	1.692	-1.370	-1.786	0.014	1.528	0.207	1.310	-1.012	-1.409
<b>bio17</b>	0.290	-0.133	-0.601	0.031	3.383	0.019	0.901	-0.394	-1.903
<i>bio18</i>	-0.049	0.299	0.477	0.007	0.724	0.538	-0.147	0.861	1.466
<b>bio19</b>	-0.412	0.449	1.253	0.027	2.907	0.035	-0.742	0.771	2.297
<i>elevation</i>	-0.268	0.073	-0.161	0.002	0.165	0.920	-0.536	0.140	-0.328

<i>SMOC</i>	0.113	-0.428	-0.654	0.003	0.299	0.826	0.161	-0.581	-0.949
<i>SMOR</i>	-1.162	0.576	0.275	0.006	0.597	0.617	-1.092	0.516	0.263

---

mico por segmentación. Se obtuvo un total de 11 ejemplares de Arizona, 26 ejemplares de Nuevo México (Vida libre), 16 ejemplares de NM de granja y 39 ejemplares de Texas

Para el total de las muestras y estados analizados en México únicamente, se encontró un promedio general en  $L^* = 20.32 \pm 0.96$ ,  $a^* = -0.72 \pm 0.45$  y  $b^* = 1.00 \pm 0.26$ . Una vez procesados los datos CIELAB se obtuvo el *Croma* y *hue* respectivamente de cada una de las 20 fotografías. Los promedios obtenidos en los datos procesados para  $Cr^* = 1.78 \pm 0.25$  y para  $hue = 147.64 \pm 0.76$  (Tabla 7 y Tabla 8).

### **Procesamiento de 4 fotografías**

Para el total de las muestras y estados analizados en México y Estados Unidos, se encontró un promedio general en  $L^* = 21.11 \pm 0.83$ ,  $a^* = -0.74 \pm 0.38$  y  $b^* = 1.94 \pm 0.26$ . Una vez procesados los datos CIELAB se obtuvo el *Croma* y *hue* respectivamente en cada tracto y cada ave para  $Cr^* = 2.63 \pm 0.25$  y  $hue = 139.05 \pm 13.11$  (Tabla 9 y Tabla 10).

#### **VIII.3.1 $L^*$ , $a^*$ y $b^*$**

##### **Variaciones colorimétricas por conjunto fotográfico**

El análisis de la relación del promedio de los datos por grupo fotográfico (20 fotografías) mostró que existe evidencia suficiente para hacer uso de la información de los estados. Para México (MANOVA, traza de pillai  $V = 0.955$ , aproximación F de Rao = 3.219, g.l. = 27, 186. y  $p < 0.001$ ).

La relación de los promedios (4 fotografías) evidencia un mayor efecto en los datos de México y Estados Unidos (MANOVA, traza de pillai  $V = 1.297$ , aproximación F de Rao = 9.587, g.l. = 36, 453. y  $p < 0.001$ ).

#### **VIII.3.2 $Cr^*$ Y *hue***

##### **Variaciones colorimétricas por conjunto fotográfico**

El análisis del promedio de los datos por grupo fotográfico (20 fotografías) mostró que existe relación menor para hacer uso de la información de los estados. Para México (MANOVA, traza de pillai  $V = 0.457$ , aproximación F de Rao = 2.042, g.l. = 18, 124. y  $p < 0.012$ ).

La relación de los promedios (4 fotografías) evidencia un menor efecto para  $Cr^*$  y *hue* en los datos de México y Estados Unidos (MANOVA, traza de pillai  $V = 0.907$ , aproximación F de



**Tabla 7.** Estadísticos por estado de datos de colorimetría algorítmica ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) de las muestras colectadas en México 20 fotos.

Estado	Colectas	$\bar{L}^* \pm \text{E.E.} (\bar{L}^*)$	$\bar{a}^* \pm \text{E.E.} (\bar{a}^*)$	$\bar{b}^* \pm \text{E.E.} (\bar{b}^*)$
Chihuahua	8	$22.52 \pm 0.88$	$-0.80 \pm 0.45$	$0.95 \pm 0.21$
Coahuila	5	$24.25 \pm 1.84$	$-1.12 \pm 0.56$	$1.6 \pm 0.19$
Durango	6	$18.89 \pm 0.70$	$-1.05 \pm 0.15$	$0.77 \pm 0.23$
Estado de México	5	$18.15 \pm 0.27$	$-0.58 \pm 0.19$	$0.99 \pm 0.28$
Hidalgo	6	$16.41 \pm 0.48$	$-0.6 \pm 0.07$	$0.65 \pm 0.26$
Michoacán	3	$16.51 \pm 1.06$	$-0.87 \pm 0.22$	$0.82 \pm 0.37$
Nuevo León	2	$22.3 \pm 1.56$	$-0.53 \pm 1.95$	$0.79 \pm 0.43$
Sonora	22	$23.86 \pm 0.66$	$-1.35 \pm 0.27$	$1.41 \pm 0.16$
Tlaxcala	9	$19.60 \pm 0.75$	$0.44 \pm 0.34$	$0.93 \pm 0.26$
Zacatecas	6	$20.71 \pm 1.39$	$-0.78 \pm 0.36$	$1.07 \pm 0.24$
Total	72	$20.32 \pm 0.96$	$-0.72 \pm 0.45$	$1.00 \pm 0.26$

**Tabla 8.** Estadísticos por estado de datos de colorimetría algorítmica ( $Cr^*$  y  $hue^*$ ) de las muestras colectadas en México 20 fotos

Estado	Colectas	$\bar{Cr}^* \pm \text{E.E.} (\bar{Cr}^*)$	$\bar{hue}^* \pm \text{E.E.} (\bar{hue}^*)$
Chihuahua	8	$1.83 \pm 0.22$	$167.25 \pm 21.82$
Coahuila	5	$2.30 \pm 0.30$	$128.66 \pm 5.53$
Durango	6	$1.52 \pm 0.12$	$160.16 \pm 13.13$
Estado de México	5	$1.42 \pm 0.19$	$140.09 \pm 14.83$
Hidalgo	6	$1.34 \pm 0.14$	$166 \pm 12.68$
Michoacán	3	$1.41 \pm 0.29$	$153.26 \pm 15.14$
Nuevo León	2	$2.23 \pm 0.55$	$158.49 \pm 3.55$
Sonora	22	$2.37 \pm 0.18$	$148 \pm 5.55$
Tlaxcala	9	$1.71 \pm 0.24$	$117.69 \pm 20.61$
Zacatecas	6	$1.68 \pm 0.30$	$136.82 \pm 14.77$
Total	72	$1.78 \pm 0.25$	$147.64 \pm 12.76$

**Tabla 9.** Estadísticos por estado de datos de colorimetría algorítmica ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) de las muestras colectadas en México y El MSB

Albuquerque Estados Unidos 4 fotografías. Variabilidad de color promedio de las codornices.

Estado	Colectas	$\bar{L}^* \pm \text{E.E.} (\bar{L}^*)$	$\bar{a}^* \pm \text{E.E.} (\bar{a}^*)$	$\bar{b}^* \pm \text{E.E.} (\bar{b}^*)$
Arizona	11	$26.11 \pm 0.79$	$-0.80 \pm 0.15$	$5.37 \pm 0.32$
Chihuahua	8	$22.42 \pm 0.91$	$-0.88 \pm 0.43$	$0.97 \pm 0.20$
Coahuila	5	$24.35 \pm 1.84$	$-1.16 \pm 0.64$	$1.61 \pm 0.23$
Durango	6	$18.49 \pm 0.56$	$-0.94 \pm 0.24$	$0.68 \pm 0.27$
Estado de México	5	$17.94 \pm 0.29$	$-0.80 \pm 0.15$	$1.07 \pm 0.29$
Hidalgo	6	$16.38 \pm 0.42$	$-0.53 \pm 0.11$	$0.60 \pm 0.26$
Michoacán	3	$16.30 \pm 0.93$	$-0.89 \pm 0.21$	$0.85 \pm 0.34$
Nuevo León	2	$22.16 \pm 1.51$	$-0.73 \pm 1.73$	$0.88 \pm 0.33$
Nuevo México	42	$23.82 \pm 0.48$	$-0.28 \pm 0.18$	$5.59 \pm 0.31$
Sonora	22	$23.86 \pm 0.67$	$-1.33 \pm 0.27$	$1.37 \pm 0.15$
Texas	39	$22.61 \pm 0.35$	$-0.87 \pm 0.07$	$4.27 \pm 0.12$
Tlaxcala	9	$19.39 \pm 0.69$	$0.32 \pm 0.34$	$0.94 \pm 0.30$
Zacatecas	6	$20.57 \pm 1.36$	$-0.70 \pm 0.39$	$1.05 \pm 0.20$
Total	164	$21.11 \pm 0.83$	$-0.74 \pm 0.38$	$1.94 \pm 0.26$

**Tabla 10.** Estadísticos por estado de datos de colorimetría algorítmica ( $Cr^*$  y  $hue^*$ ) de las muestras colectadas en México y El MSB

Albuquerque Estados Unidos 4 fotografías. Variabilidad de color promedio de las codornices.

Estado	Colectas	$\bar{Cr}^* \pm E.E (\bar{Cr}^*)$	$\bar{hue}^* \pm E.E (\bar{hue}^*)$
Arizona	11	$5.68 \pm 0.56$	$101.65 \pm 4.26$
Chihuahua	8	$1.83 \pm 0.44$	$165.53 \pm 37.34$
Coahuila	5	$2.41 \pm 0.63$	$127.30 \pm 12.28$
Durango	6	$1.49 \pm 0.23$	$168.21 \pm 43.94$
Estado de México	5	$1.52 \pm 0.42$	$118.09 \pm 20.63$
Hidalgo	6	$1.38 \pm 0.26$	$173.66 \pm 34.81$
Michoacán	3	$1.45 \pm 0.51$	$157.50 \pm 38.52$
Nuevo León	2	$2.27 \pm 0.96$	$181.40 \pm 51.39$
Nuevo México	42	$5.86 \pm 0.62$	$96.66 \pm 3.02$
Sonora	22	$2.35 \pm 0.33$	$150.12 \pm 11.07$
Texas	39	$4.61 \pm 0.23$	$104.33 \pm 1.87$
Tlaxcala	9	$1.68 \pm 0.53$	$122.33 \pm 37.16$
Zacatecas	6	$1.66 \pm 0.65$	$140.92 \pm 37.71$
Total	164	$2.63 \pm 0.49$	$139.05 \pm 25.69$

Rao = 10.450, g.l. = 24, 302, y  $p < 0.001$ ).

#### VIII.4 Efectos de las variables ambientales sobre la colorimetría de plumajes

El análisis procesamiento de 20 imágenes por algoritmo de segmentación (20 fotos/macho, México solamente) arrojó que las variables explicativas tuvieron un efecto sobre las variables colorimétricas (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 1.071$ , aproximación  $F$  de Rao = 19.421, g.l. = 120, 4197,  $P < 0.001$ ). Once variables bioclimáticas influenciaron  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  (Tabla 13 y Fig. 26), tomando en cuenta las diferencias entre tomas (Tabla 11 y Figura 22).

Las variables mayormente influyentes fueron:

EDAD (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.083$ , aproximación  $F$  de Rao = 42.221, g.l. = 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $b^*$ , teniendo coloraciones más oscuras y mayormente en las zonas azules.

bio1 = Temperatura media anual, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.035$ , aproximación  $F$  de Rao = 17.054, g.l. = 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $b^*$ , con coloraciones mayormente luminosas y en zonas azules.

bio6 = Temperatura mínima del mes más frío, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.020$ , aproximación  $F$  de Rao = 9.343, g.l. = 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente oscuras y en zonas rojas.

bio11 = Temperatura media del trimestre más frío, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.026$ , aproximación  $F$  de Rao = 12.322, g.l. = 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $a^*$  y  $b^*$ , con coloraciones en zonas verdes y en zonas amarillas.

bio12 = Precipitación anual, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.075$ , aproximación  $F$  de Rao = 37.972, g.l. = 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente luminosas y en zonas rojas.

bio13 = Precipitación del mes más lluvioso, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.051$ , aproximación  $F$  de Rao = 25.098, g.l. = 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente oscuros y en zonas rojas.

bio14 = Precipitación del mes más seco, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.031$ , aproximación  $F$  de Rao = 14.666, g.l.= 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente luminosos y en zonas rojas.

bio15 = Estacionalidad de las precipitaciones (coeficiente de variación), (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.034$ , aproximación  $F$  de Rao = 16.521, g.l.= 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente luminosos y en zonas rojas.

bio16 = Precipitación del trimestre más lluvioso, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.042$ , aproximación  $F$  de Rao = 20.388, g.l.= 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente oscuros y en zonas verdes.

bio17 = Precipitación del trimestre más seco, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.051$ , aproximación  $F$  de Rao = 25.049, g.l.= 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente oscuros y en zonas verdes.

bio18 = Precipitaciones del trimestre más cálido, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.037$ , aproximación  $F$  de Rao = 17.978, g.l.= 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $b^*$ , con coloraciones mayormente luminosas y en zonas amarillas.

bio19 = Precipitación del trimestre más frío, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.045$ , aproximación  $F$  de Rao = 21.760, g.l.= 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente luminosas y en zonas verdes.

Altitud, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.034$ , aproximación  $F$  de Rao = 16.440, g.l.= 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente luminosas y en zonas verdes.

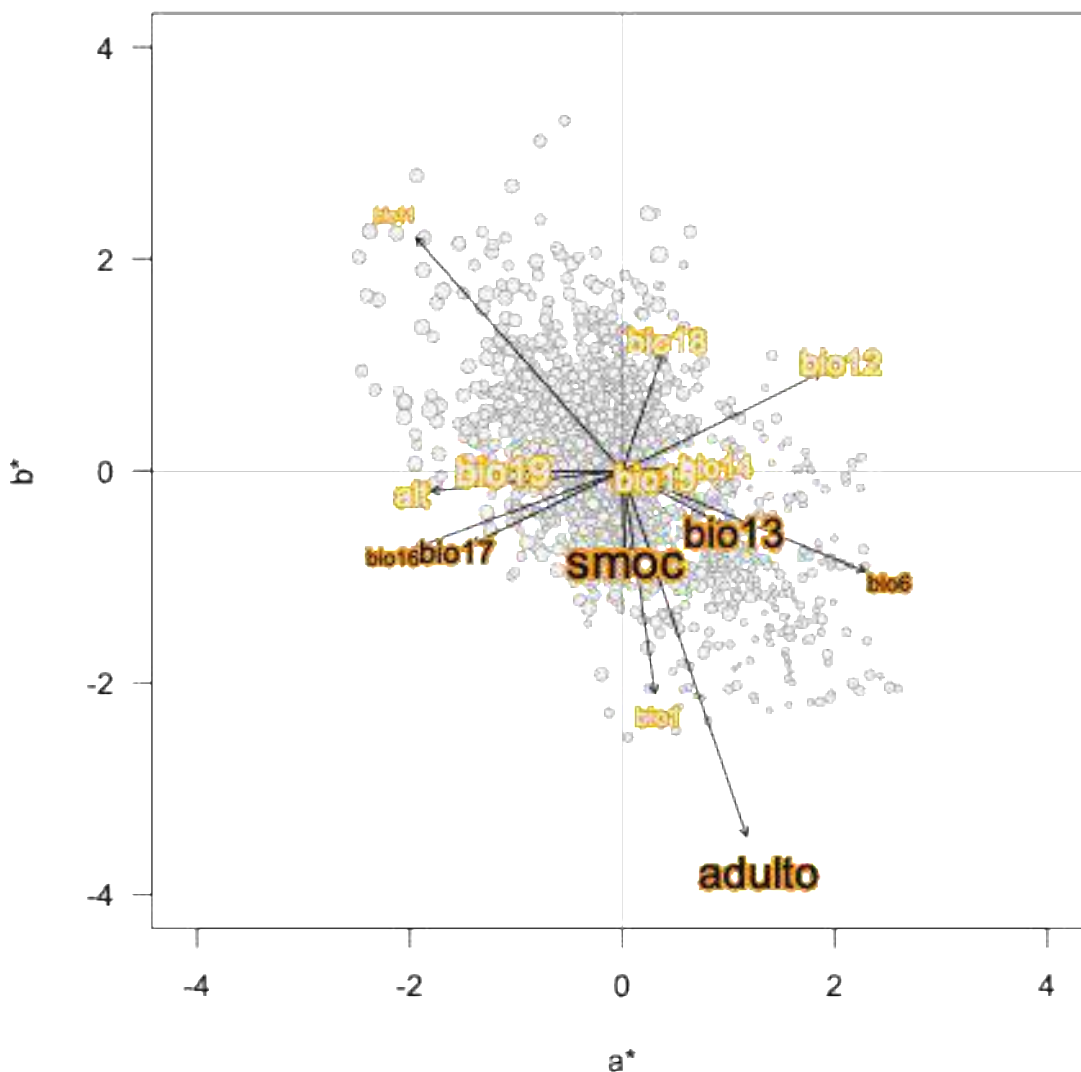
Región, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.100$ , aproximación  $F$  de Rao = 51.858, g.l.= 3, 1397,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $b^*$ , con coloraciones mayormente oscuras y en zonas azules.

**Tabla 11.** Resultados del análisis de regresión lineal múltiple multivariada que relaciona a las variables de respuesta del espacio de color CIELAB  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en México (Análisis 2, ver texto) con 40 variables explicativas. Las respuestas y variables explicativas continuas fueron estandarizadas. El estadístico traza de Pillai, y sus valores  $F$  y  $P$ , corresponden a la prueba de hipótesis estándar multivariada de la variable explicativa tiene un efecto en al menos una respuesta (ver texto). Los valores  $t$  son los valores del estadístico de Wald (ver texto). Las variables en negritas son aquellas en las que se rechazó la hipótesis estándar multivariada con un valor de significancia corregido de  $\frac{\alpha}{40} = 0.00125$ .

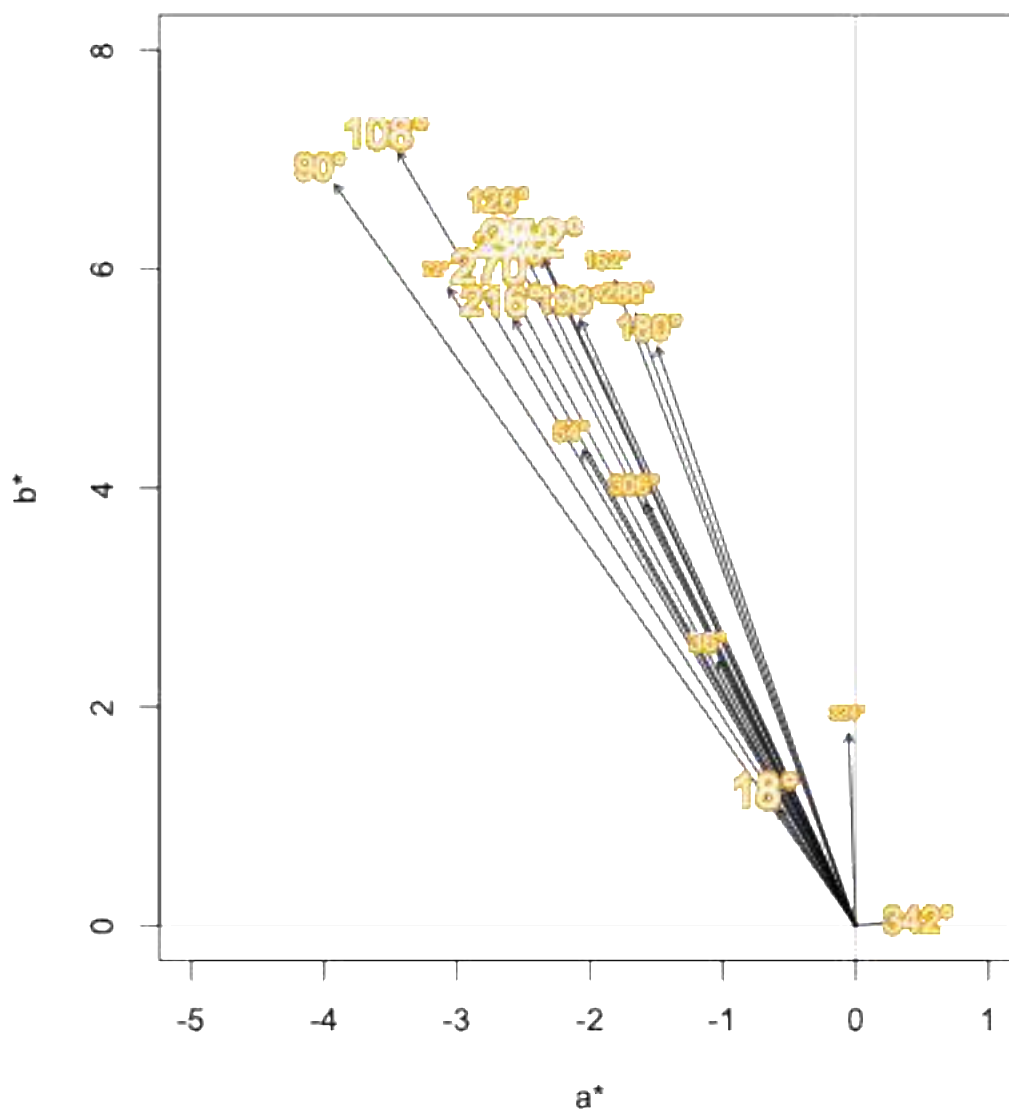
Variable	Coeficientes de regresión			Traza de Pillai	Aprox. $F_{1397}^3$	$P$	Valores $t$		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$				$L^*$	$a^*$	$b^*$
<b>adulto</b>	-0.406	0.142	-0.444	0.083	42.221	<0.00001	-9.202	2.678	-7.876
<i>lat</i>	0.788	-0.794	0.712	0.006	3.007	0.02936	2.761	-2.316	1.950
<i>lon</i>	0.028	1.159	-1.450	0.008	3.536	0.01429	0.066	2.235	-2.624
<b>bio1</b>	1.326	0.394	-2.849	0.035	17.054	<0.00001	2.867	0.709	-4.809
<i>bio2</i>	0.051	1.708	-0.848	0.010	4.648	0.00307	0.114	3.186	-1.485
<i>bio3</i>	-0.252	-1.555	-0.289	0.008	3.982	0.00774	-0.457	-2.343	-0.408
<b>bio6</b>	-0.985	2.572	-1.139	0.020	9.343	<0.00001	-2.407	5.228	-2.173
<i>bio7</i>	-0.176	-1.553	1.239	0.003	1.199	0.30892	-0.199	-1.468	1.099
<i>bio9</i>	0.128	-0.027	0.070	0.002	0.957	0.41214	1.561	-0.272	0.664
<b>bio11</b>	0.188	-3.234	3.904	0.026	12.322	<0.00001	0.310	-4.435	5.025
<b>bio12</b>	2.036	1.842	0.973	0.075	37.972	<0.00001	5.695	4.287	2.126
<b>bio13</b>	-2.586	0.825	-0.478	0.051	25.098	<0.00001	-8.255	2.192	-1.191
<b>bio14</b>	0.415	0.200	0.009	0.031	14.666	<0.00001	4.611	1.853	0.082
<b>bio15</b>	0.921	0.128	-0.025	0.034	16.521	<0.00001	5.699	0.661	-0.119
<b>bio16</b>	-0.896	-2.357	-0.935	0.042	20.388	<0.00001	-2.044	-4.475	-1.666
<b>bio17</b>	-0.534	-0.417	-0.218	0.051	25.049	<0.00001	-4.979	-3.231	-1.586
<b>bio18</b>	0.652	0.125	0.387	0.037	17.978	<0.00001	5.529	0.883	2.564
<b>bio19</b>	1.393	-0.526	-0.003	0.045	21.760	<0.00001	7.381	-2.321	-0.011
<b>altitud</b>	0.781	-0.697	-0.079	0.034	16.440	<0.00001	5.523	-4.107	-0.439
<b>SMOC</b>	-2.165	0.016	-0.466	0.100	51.858	<0.00001	-10.867	0.067	-1.825
<i>SMOR</i>	0.216	-0.897	1.059	0.005	2.471	0.06033	0.629	-2.169	2.403
18°	0.126	-0.079	0.154	0.001	0.585	0.62473	1.110	-0.583	1.060

Variable	Coeficientes de regresión			Traza de Pillai	Aprox. $F_{1397}^3$	$P$	Valores $t$		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$				$L^*$	$a^*$	$b^*$
36°	0.298	-0.140	0.350	0.007	3.405	0.01709	2.628	-1.032	2.413
<b>54°</b>	0.423	-0.279	0.630	0.018	8.360	0.00002	3.737	-2.052	4.342
<b>72°</b>	0.592	-0.417	0.844	0.032	15.182	<0.00001	5.226	-3.067	5.822
<b>90°</b>	0.633	-0.534	0.982	0.039	18.774	<0.00001	5.589	-3.921	6.773
<b>108°</b>	0.593	-0.469	1.025	0.041	19.660	<0.00001	5.232	-3.445	7.066
<b>126°</b>	0.504	-0.356	0.935	0.034	16.463	<0.00001	4.447	-2.614	6.446
<b>144°</b>	0.389	-0.321	0.890	0.029	13.858	<0.00001	3.430	-2.358	6.136
<b>162°</b>	0.286	-0.247	0.855	0.027	12.785	<0.00001	2.521	-1.814	5.896
<b>180°</b>	0.245	-0.204	0.766	0.022	10.412	<0.00001	2.160	-1.495	5.284
<b>198°</b>	0.253	-0.282	0.803	0.022	10.716	<0.00001	2.234	-2.072	5.533
<b>216°</b>	0.355	-0.350	0.803	0.023	10.826	<0.00001	3.130	-2.574	5.534
<b>234°</b>	0.468	-0.345	0.877	0.030	14.296	<0.00001	4.133	-2.535	6.049
<b>252°</b>	0.529	-0.321	0.884	0.033	15.900	<0.00001	4.667	-2.357	6.094
<b>270°</b>	0.541	-0.355	0.847	0.031	14.732	<0.00001	4.780	-2.605	5.838
<b>288°</b>	0.504	-0.225	0.811	0.031	14.823	<0.00001	4.451	-1.656	5.593
<b>306°</b>	0.401	-0.216	0.559	0.015	7.267	0.00008	3.542	-1.586	3.853
324°	0.286	-0.007	0.254	0.008	3.572	0.01359	2.525	-0.054	1.751
342°	0.176	0.038	0.005	0.003	1.288	0.27696	1.549	0.277	0.037





**Figura 22.** Diagrama de valores  $t$  en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las variables explicativas sobre  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  estandarizadas en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en México (Análisis 2, ver texto). Se excluyen los niveles del factor TOMA y aquellas variables que no resultaron significativas en la prueba de hipótesis estándar multivariada. Las puntas de las flechas denotan los valores  $t$  de la variable señalada para  $a^*$  y  $b^*$ . El tamaño de la etiqueta denota el valor absoluto de  $t$  para  $L^*$ . El color interior de la etiqueta denota valor  $t < 0$  (negro) o valor  $t > 0$  (blanco) de la variable señalada para  $L^*$ . Los círculos grises son los residuales del modelo de regresión lineal múltiple multivariada, donde el tamaño es proporcional al valor del residual en el eje  $L^*$ .



**Figura 23.** Diagrama de valores  $t$  en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las 20 tomas sobre  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  estandarizadas. La toma frontal es el nivel de referencia. Las tomas a 18°, 36°, 324° y 342° no resultaron significativas en la prueba de hipótesis estándar multivariada. Las puntas de las flechas denotan los valores  $t$  de la toma señalada para  $a^*$  y  $b^*$ . El tamaño de la etiqueta denota el valor absoluto de  $t$  para  $L^*$ . El color interior de la etiqueta denota valor  $t < 0$  (negro) o valor  $t > 0$  (blanco) de la variable señalada para  $L^*$ .

Los resultados del análisis de 4 imágenes por algoritmo de segmentación (4 tomas/macho, México y EE.UU.) proveyeron evidencia contundente que las variables explicativas tuvieron un efecto sobre las variables colorimétricas (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 1.424$ , aproximación  $F$  de Rao = 20.453, g.l.= 75,1698,  $P < 0.001$ ). Cuatro variables bioclimáticas influenciaron  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  (Tabla 12 y Figura 24), tomando en cuenta las diferencias entre tomas (Tabla 12 y Figura 25).

Edad, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.028$ , aproximación  $F$  de Rao = 5.361, g.l.= 3, 564,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $b^*$ , con coloraciones mayormente oscuras y en zonas azules.

bio3 = Isotermalidad, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.030$ , aproximación  $F$  de Rao = 5.907, g.l.= 3, 564,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente oscuras y en zonas verdes.

bio12 = Precipitación anual, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.073$ , aproximación  $F$  de Rao = 14.751, g.l.= 3, 564,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente luminosas y en zonas rojas.

bio16 = Precipitación del trimestre más lluvioso, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.046$ , aproximación  $F$  de Rao = 9.059, g.l.= 3, 564,  $P < 0.001$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $a^*$  y  $b^*$ , con coloraciones verdes y amarillas.

bio19 = Precipitación del trimestre más frío, (hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.021$ , aproximación  $F$  de Rao = 3.998, g.l.= 3, 564,  $P < 0.00781$ ), influyendo mayormente en los parámetros de color en  $L^*$  y  $a^*$ , con coloraciones mayormente luminosas y en zonas verdes.

Región: Para las zonas de colectas se encontró que se agrupan de dos formas la sierra madre occidental y la parte sur de EE. UU. Con coloraciones aproximadas a la zona de los rojos y oscuros, así como la sierra madre oriental y el Eje Neovolcánico, cercanos a las zonas verdes mayormente luminosos.

En el análisis de procesamiento de 4 imágenes por algoritmo de segmentación de Nuevo México de vida libre y granja, no se encontró evidencia suficiente para diferenciar o ser significativa alguna de las variables explicativas de origen (silvestre vs. granja) y toma ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ ), todas las variables procesadas presentaron un efecto sobre las variables colorimétricas

(hipótesis multivariada estándar, traza de Pillai  $V = 0.693$ , aproximación  $F$  de Rao = 16.432, g.l.= 9,492,  $P < 0.001$ ).

En cuanto al análisis de las 20 fotografías de *C. montezumae* en México comparado con el análisis 3 de 4 fotografías de México y EE. UU., resultó que las variables bio12 = Precipitación anual, bio16 = Precipitación del trimestre más lluvioso y bio19 = Precipitación del trimestre más frío, fueron las variables independientes que mayormente influyen en común en los tratamientos de datos.

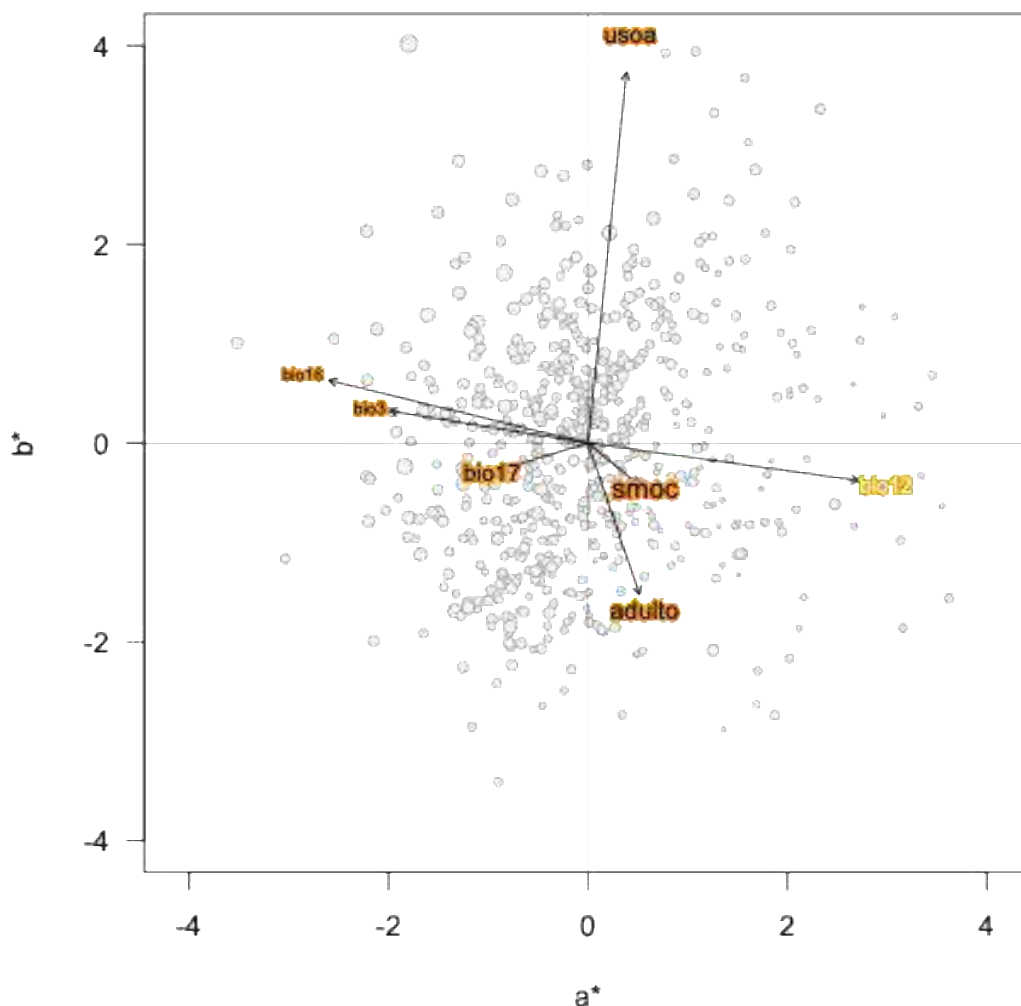
La variación colorimétrica del plumaje de la codorniz Moctezuma es evidente en las regiones del norte y sur de México y sur de Estados Unidos. En los análisis por procesamiento de 20 y 4 imágenes por algoritmo de segmentación, las regiones mayormente influenciadas en parámetros CIELAB fueron Sierra Madre Occidental y las regiones de EE.UU. (Figura 31). En el análisis de 20 imágenes se procesaron datos de México el cual arrojó 31 variables significativas del total procesadas y el análisis de 4 imágenes por algoritmo de segmentación proporcionó 10 variables significativas. La evaluación de datos se centró en estos dos procedimientos ya que nos muestran el mejor procesamiento colorimétrico de los dos países. Las regiones de la zona norte de México (SMOC) y sur de estados unidos resultaron ser influenciadas por las variables bioclimáticas y geográficas, por lo tanto, las zonas de la SMOR y NEOV son regiones colorimétricamente distintas a estas por la poca influencia de las variables en cuestión.

El análisis de procesamiento de 4 imágenes por algoritmo de segmentación de las muestras de *C. montezumae* de Nuevo México de vida libre y granja. Silvestre, 90°, 180° y 270°. Se excluyeron niveles de las TOMAS y aquellas variables que no resultaron significativas en el análisis en la prueba de hipótesis estándar multivariada, descartando este análisis para estas muestras ya que no se resaltó relación específica entre variables.

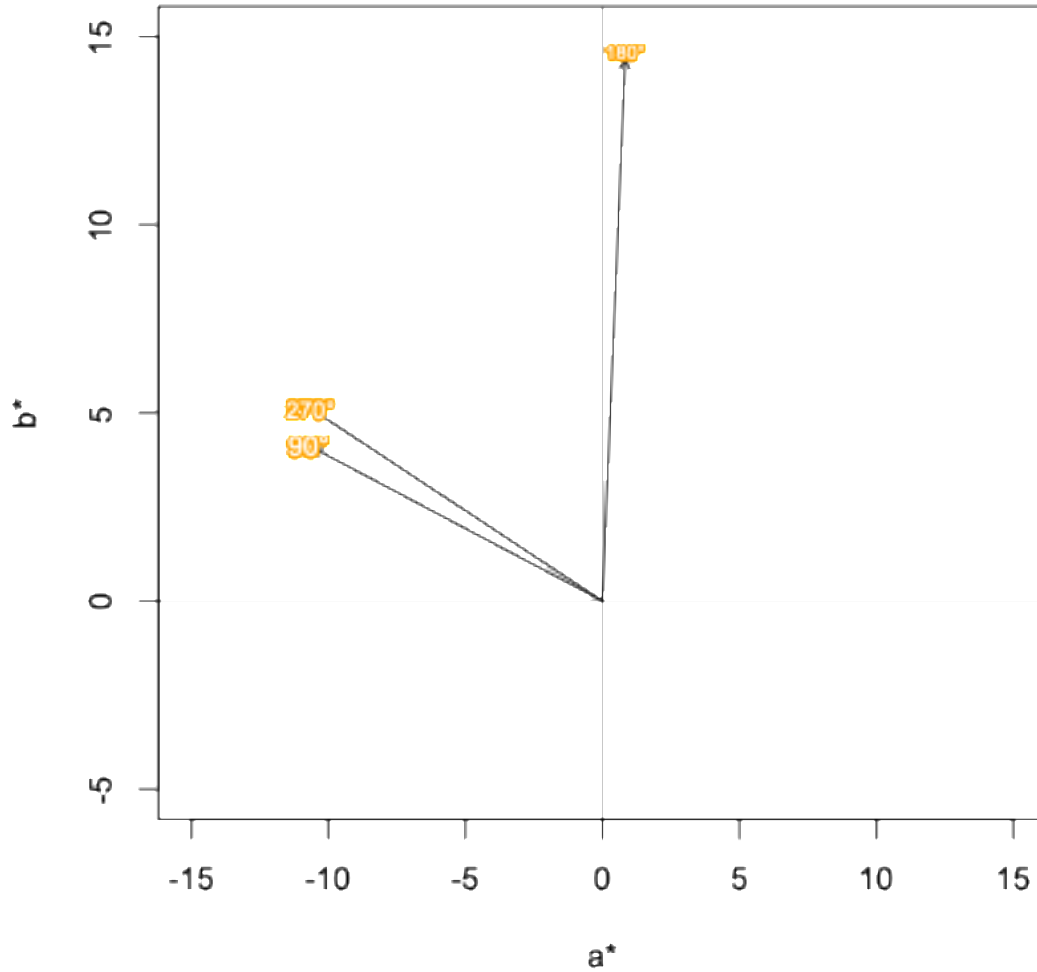
**Tabla 12.** Resultados del análisis de regresión lineal múltiple multivariada que relaciona a las variables de respuesta del espacio de color CIELAB  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en México (Análisis 3, ver texto) con 25 variables explicativas. Las respuestas y variables explicativas continuas fueron estandarizadas. El estadístico traza de Pillai, y sus valores  $F$  y  $P$ , corresponden a la prueba de hipótesis estándar multivariada de la variable explicativa tiene un efecto en al menos una respuesta (ver texto). Los valores  $t$  son los valores del estadístico de Wald (ver texto). Las variables en negritas son aquellas en las que se rechazó la hipótesis estándar multivariada con un valor de significancia corregido de  $\frac{\alpha}{25} = 0.002$ .

Variable	Coeficientes de regresión			Traza de Pillai	Aprox. $F_{564}^3$	$P$	Valores $t$		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$				$L^*$	$a^*$	$b^*$
<b>adulto</b>	-1.486	0.099	-0.336	0.028	5.361	0.00120	-3.668	0.738	-2.176
<i>lat</i>	4.680	0.082	-0.304	0.019	3.734	0.01118	2.603	0.138	-0.444
<i>lon</i>	0.820	-0.279	-1.263	0.011	2.047	0.10628	0.555	-0.569	-2.239
<i>bio1</i>	4.372	-2.116	0.172	0.009	1.652	0.17641	1.463	-2.140	0.151
<i>bio2</i>	2.803	1.252	-0.508	0.020	3.838	0.00971	1.291	1.743	-0.614
<b>bio3</b>	-2.435	-2.410	0.453	0.030	5.907	0.00057	-0.949	-2.839	0.463
<i>bio6</i>	0.744	0.592	-0.672	0.004	0.822	0.48189	0.314	0.756	-0.746
<i>bio7</i>	-3.476	-1.488	0.961	0.011	2.132	0.09508	-0.932	-1.206	0.676
<i>bio9</i>	-0.094	0.313	-0.290	0.012	2.227	0.08407	-0.162	1.638	-1.322
<i>bio11</i>	-4.012	1.575	1.175	0.003	0.656	0.57919	-0.930	1.103	0.715
<b>bio12</b>	4.680	2.567	-0.411	0.073	14.751	<0.00001	2.344	3.884	-0.540
<i>bio13</i>	-4.747	1.365	0.122	0.010	1.887	0.13064	-2.149	1.868	0.145
<i>bio14</i>	1.391	-0.137	-0.159	0.014	2.604	0.05110	2.386	-0.710	-0.715
<i>bio15</i>	1.886	-0.114	-1.078	0.021	3.990	0.00789	1.598	-0.291	-2.396
<b>bio16</b>	-2.110	-3.677	1.031	0.046	9.059	<0.00001	-0.705	-3.711	0.903
<i>bio17</i>	-1.967	-0.267	-0.094	0.033	6.482	0.00026	-3.040	-1.247	-0.380
<i>bio18</i>	0.927	0.286	-0.143	0.011	2.166	0.09093	1.178	1.097	-0.477
<b>bio19</b>	3.087	-1.179	-0.263	0.021	3.998	0.00781	2.698	-3.113	-0.603
<i>altitud</i>	1.773	-0.293	0.510	0.013	2.434	0.06405	2.316	-1.158	1.748
<b>SMOC</b>	-6.831	0.372	-0.352	0.040	7.792	0.00004	-4.531	0.745	-0.612
<i>SMOR</i>	-0.282	-0.184	0.751	0.006	1.060	0.36556	-0.200	-0.395	1.397
<b>USOA</b>	-5.948	0.322	3.589	0.092	19.156	<0.00001	-3.368	0.552	5.331

Variable	Coeficientes de regresión			Traza de Pillai	Aprox. $F_{564}^3$	$P$	Valores $t$		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$				$L^*$	$a^*$	$b^*$
<b>90°</b>	4.805	-1.325	0.588	0.258	65.513	<0.00001	12.628	-10.52	4.055
<b>180°</b>	2.584	0.104	2.085	0.283	74.227	<0.00001	6.790	0.829	14.374
<b>270°</b>	4.938	-1.318	0.729	0.271	69.789	<0.00001	12.979	-10.47	5.026



**Figura 24.** Diagrama de valores  $t$  en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las variables explicativas sobre  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  estandarizadas en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en México y Estados Unidos (Arizona, Nuevo México y Texas) (Análisis 3, ver texto). Se excluyen los niveles del factor TOMA y aquellas variables que no resultaron significativas en la prueba de hipótesis estándar multivariada. Las puntas de las flechas denotan los valores  $t$  de la variable señalada para  $a^*$  y  $b^*$ . El tamaño de la etiqueta denota el valor absoluto de  $t$  para  $L^*$ . El color interior de la etiqueta denota valor  $t < 0$  (negro) o valor  $t > 0$  (blanco) de la variable señalada para  $L^*$ . Los círculos grises son los residuales del modelo de regresión lineal múltiple multivariada, donde el tamaño es proporcional al valor del residual en el eje  $L^*$ .

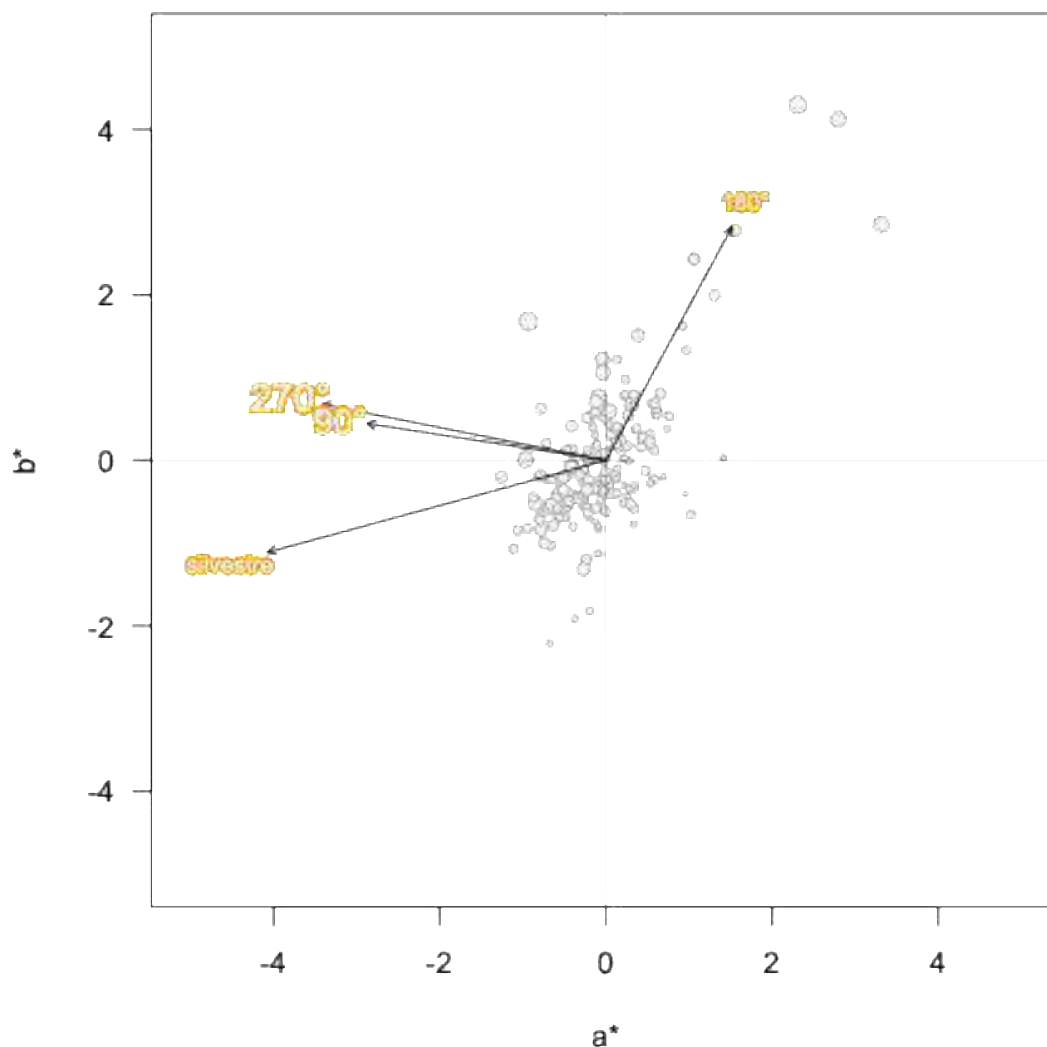


**Figura 25.** Diagrama de valores  $t$  en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las 20 tomas sobre  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  estandarizadas. La toma frontal es el nivel de referencia. Las tomas a  $18^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $324^\circ$  y  $342^\circ$  no resultaron significativas en la prueba de hipótesis estándar multivariada. Las puntas de las flechas denotan los valores  $t$  de la toma señalada para  $a^*$  y  $b^*$ . El tamaño de la etiqueta denota el valor absoluto de  $t$  para  $L^*$ . El color interior de la etiqueta denota valor  $t < 0$  (negro) o valor  $t > 0$  (blanco) de la variable señalada para  $L^*$ .

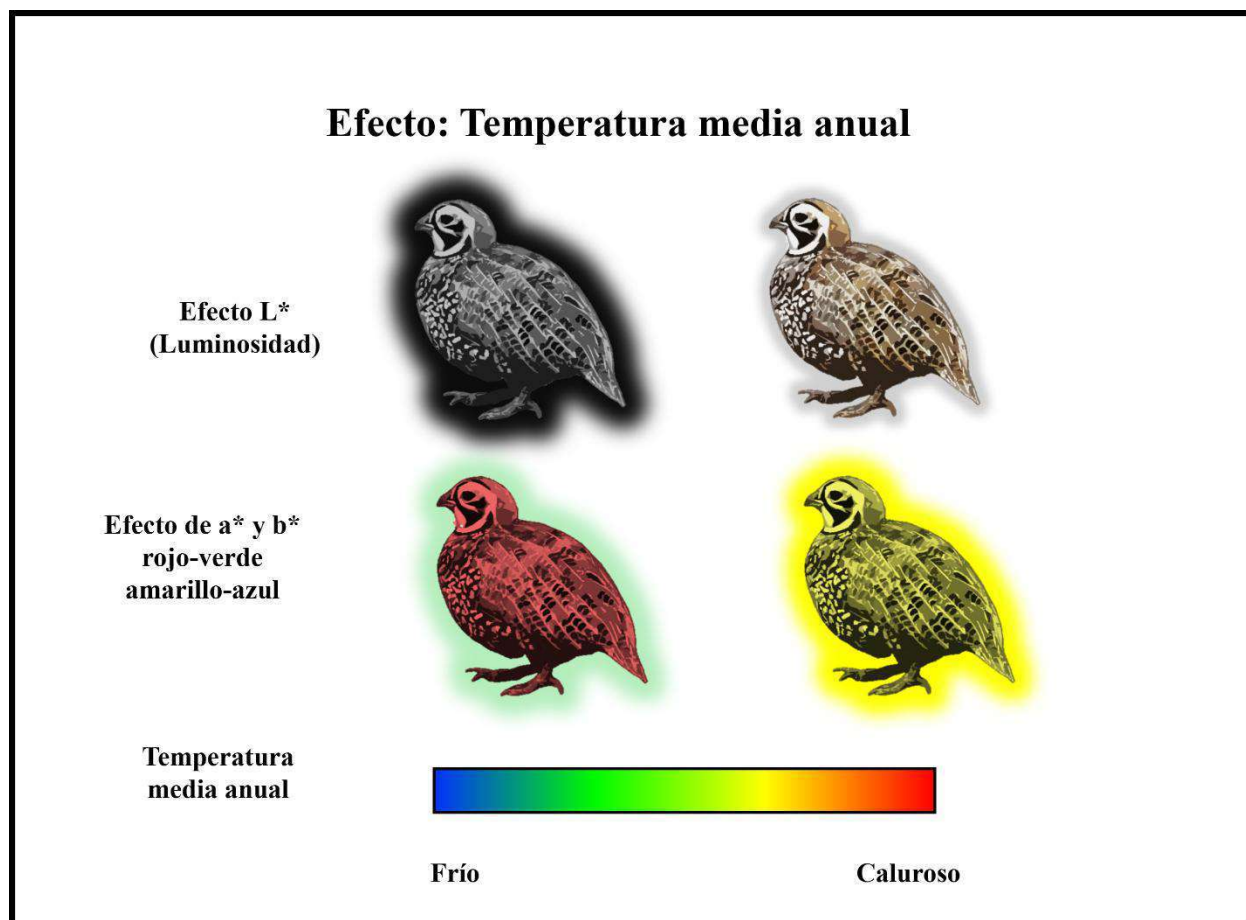


**Figura 26.** Resultados del análisis de regresión lineal múltiple multivariada que relaciona a las variables de respuesta del espacio de color CIELAB  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en Nuevo México (Análisis 4, ver texto) con toma (niveles  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$ ) y origen (niveles granja y silvestre) como factores (variables explicativas). Las respuestas fueron estandarizadas. El estadístico traza de Pillai, y sus valores  $F$  y  $P$ , corresponden a la prueba de hipótesis estándar multivariada de la variable explicativa tiene un efecto en al menos una respuesta (ver texto). Los valores  $t$  son los valores del estadístico de Wald (ver texto). Las variables en negritas son aquellas en las que se rechazó la hipótesis estándar multivariada con un valor de significancia corregido de  $\frac{\alpha}{3} = 0.017$ .

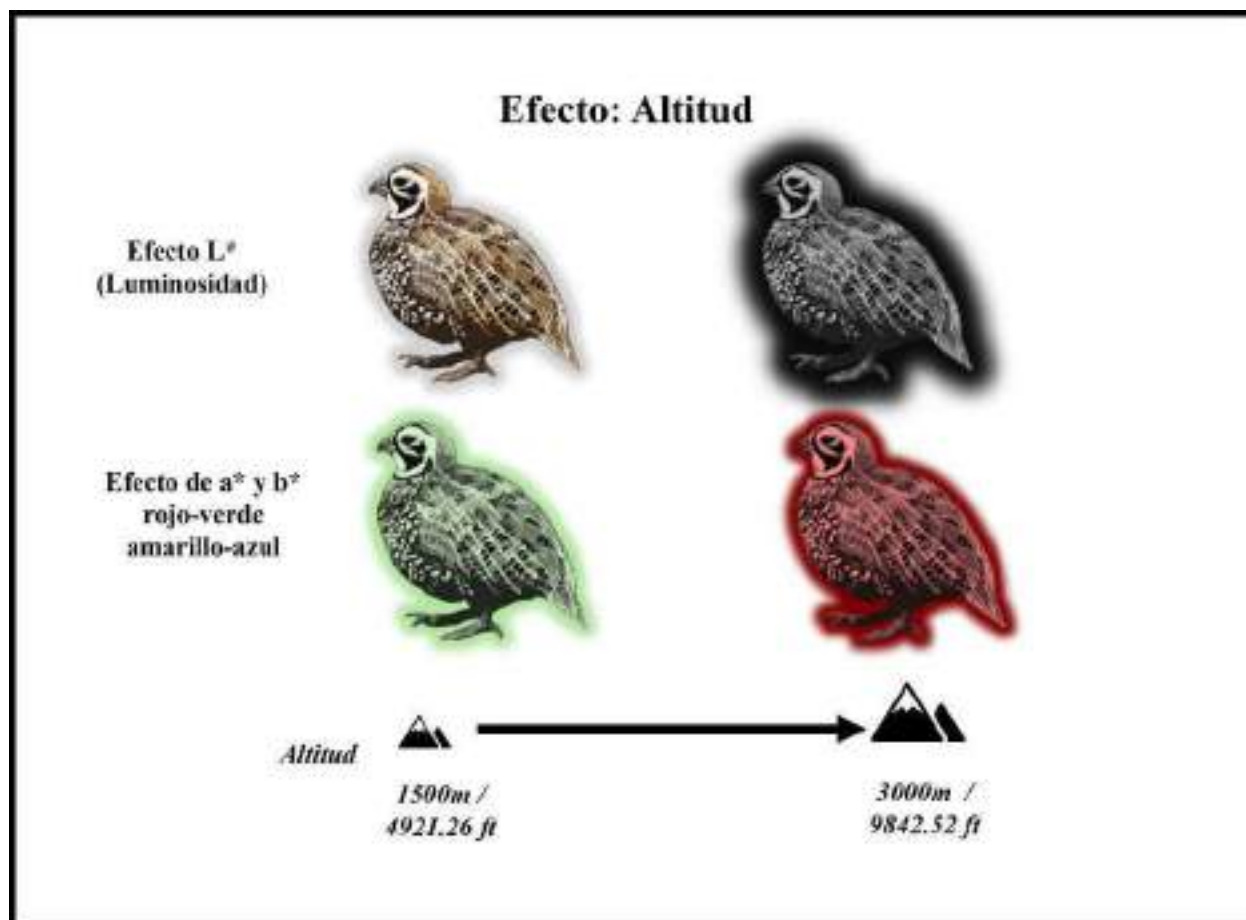
Variable	Coeficientes de regresión			Traza de Pillai	Aprox. $F_{161}^2$	$P$	Valores $t$		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$				$L^*$	$a^*$	$b^*$
<b>silvestre</b>	0.367	-0.920	-0.345	0.395	35.083	<0.0001	2.811	-9.050	-2.470
<b>90°</b>	1.189	-0.892	0.191	0.384	33.508	<0.0001	6.630	-6.389	0.992
<b>180°</b>	0.461	0.470	1.202	0.204	13.745	<0.0001	2.569	3.369	6.262
<b>270°</b>	1.376	-1.059	0.290	0.475	48.594	<0.0001	7.674	-7.590	1.508



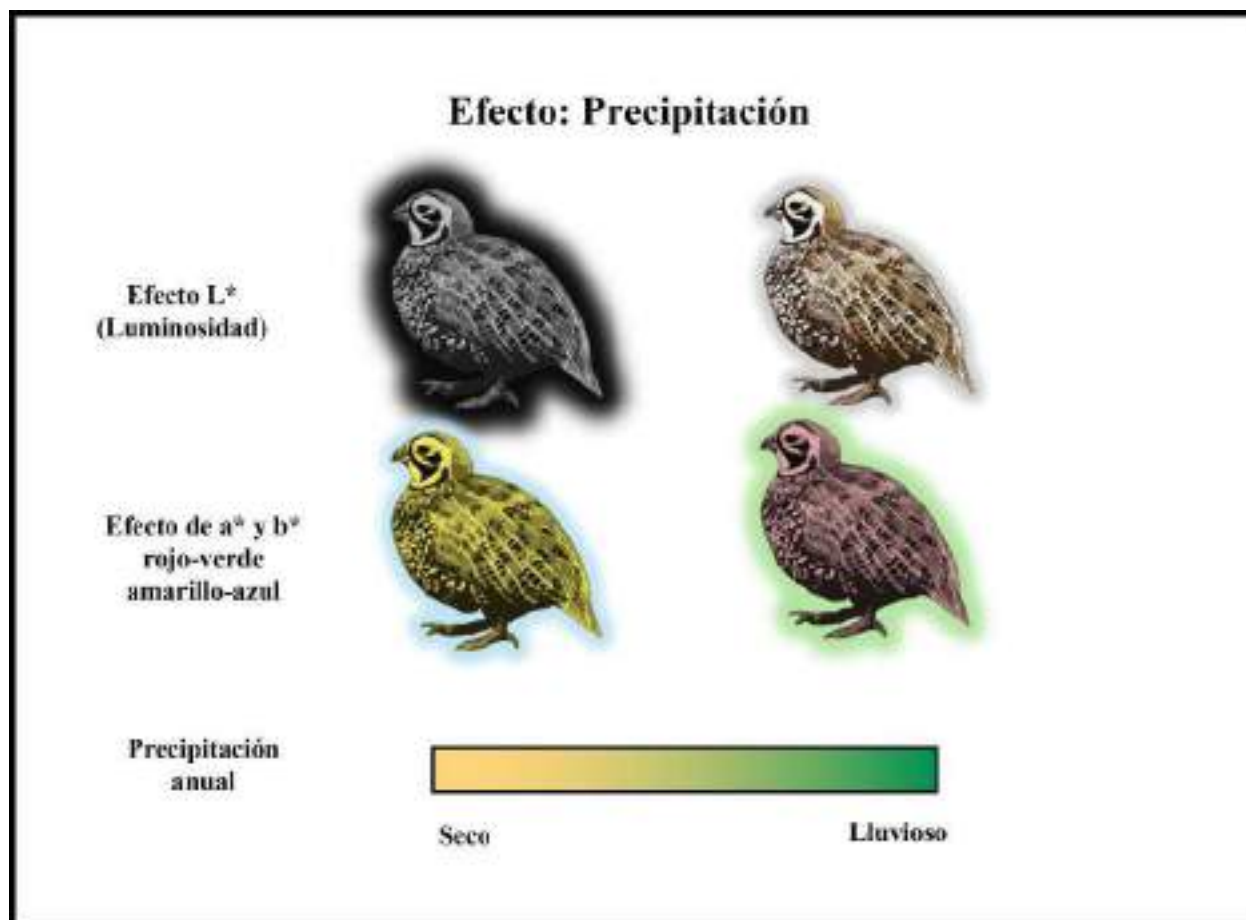
**Figura 27.** Diagrama de valores  $t$  en el espacio de color CIELAB para la visualización de los efectos de las variables explicativas sobre  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  estandarizadas en fotografías de plumajes de machos de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) Estados Unidos (Nuevo México) (Análisis 4, ver texto). Se excluyen 4 niveles del TOMA y aquellas variables que no resultaron significativas en la prueba de hipótesis estándar multivariada. Las puntas de las flechas denotan los valores  $t$  de la variable señalada para  $a^*$  y  $b^*$ . El tamaño de la etiqueta denota el valor absoluto de  $t$  para  $L^*$ . El color interior de la etiqueta denota valor  $t < 0$  (negro) o valor  $t > 0$  (blanco) de la variable señalada para  $L^*$ . Los círculos grises son los residuales del modelo de regresión lineal múltiple multivariada, donde el tamaño es proporcional al valor del residual en el eje  $L^*$ .



**Figura 28.** El efecto de la variable temperatura media anual sobre los resultados de coloración en las codornices de México y E.U. Muestra como en regiones frías el plumaje suele ser mayormente oscuro, el color está localizado en las zonas de rojo mayormente y en los verdes en minoría. Y en regiones calurosas el plumaje suele ser mayormente claro o luminoso, el color está localizado en las zonas de amarillas mayormente.

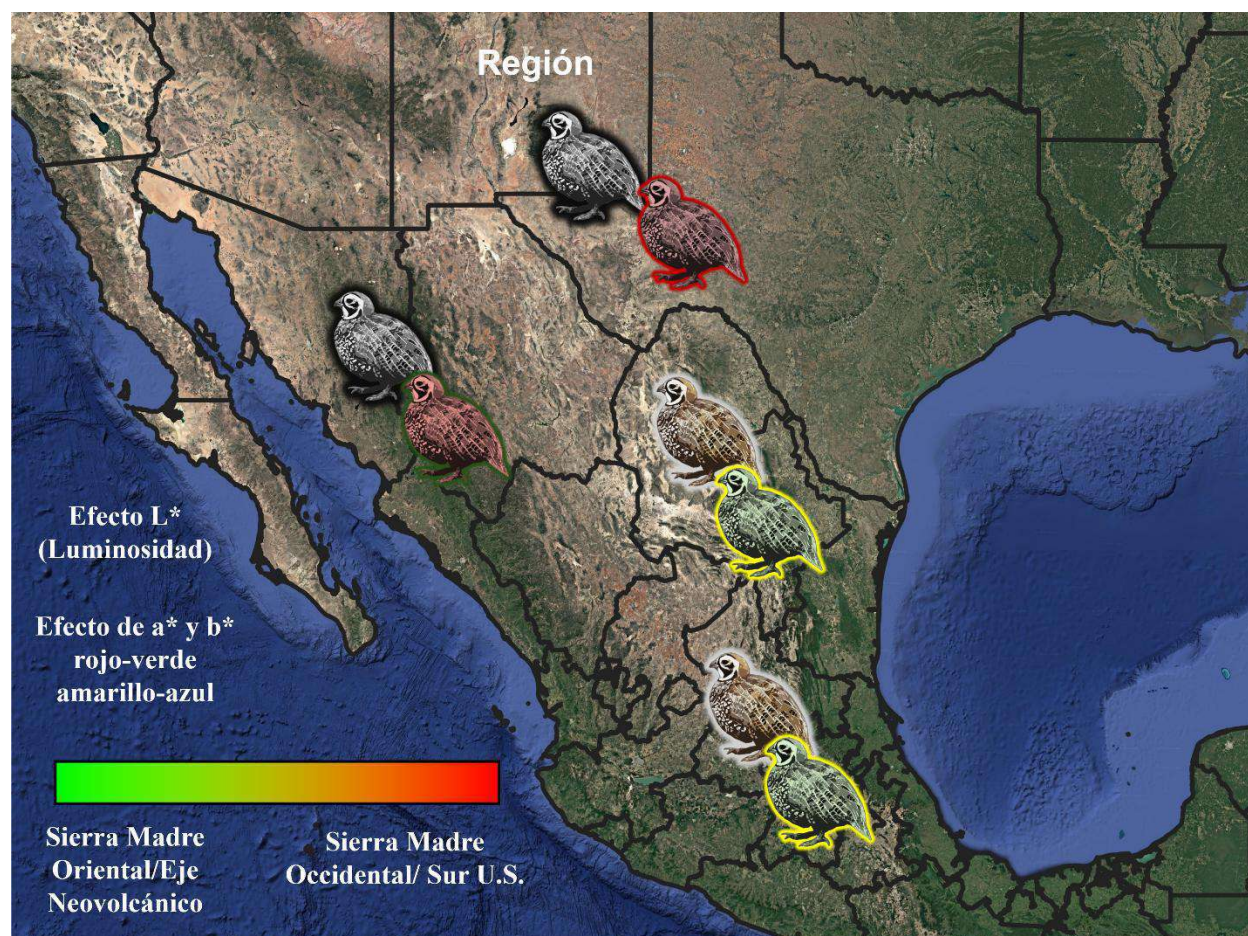


**Figura 29.** El efecto de la variable altitud sobre los resultados de coloración en las codornices de México y E.U. Muestra como en regiones el plumaje suele ser mayormente el color está localizado en las zonas verdes mayormente. Y en regiones altas el plumaje suele ser mayormente oscuro, el color está localizado en las zonas de rojas o marrones mayormente. La variable  $b^*$  no presento efecto mayormente visible al análisis.



**Figura 30.** El efecto de la variable precipitación sobre la coloración en las codornices de México y EE.UU. Muestra como en regiones secas el plumaje suele ser mayormente oscuro, el de color están localizadas en las zonas de amarillo mayormente y en los azules en minoría. Y en regiones lluviosas el plumaje suele ser mayormente claro, en los efectos del color están localizadas en las zonas de amarillas mayormente.





**Figura 31.** Relación por región de color donde se encontró que las agrupaciones fueron entre las Sierra Madre Occidental y Sur de EE.UU., el plumaje es oscuro y la coloración es similar en resultados los rangos de coloración en la zona de los rojos con una pequeña diferenciación en los datos en los verdes de la región norte, por otro lado, está relación el Eje Neovolcánico y la Sierra madre Oriental la similitud de la luminosidad y los rangos de verdes y amarillos.

## IX. DISCUSIÓN

Esta investigación proporciona evidencia convincente que apoyan la hipótesis de que las variables colorimétricas del plumaje están influidas por las variables bioclimáticas y medioambientales en la distribución de *C. montezumae* en la Sierra Madre Oriental, Occidental y Eje Neovolcánico. Esta influencia ambiental sobre el plumaje de los machos puede indicar adaptación local o plasticidad ambiental. Los resultados obtenidos son de muestras tomadas por región para hacer una comparativa por sitio cubierto en las colectas de *C. montezumae*.

### IX.1 Metodologías empleadas

Para la adaptación de la metodología puntual, se seleccionaron los tractos como referencia visual del ave, similar a lo realizado por Quesada (2006). El análisis de plumas y aves completas del Carbonero común (*Parus major*) en campo y laboratorio de este autor demostró la consistencia del método con herramientas portátiles para la medición directa y/o la recolección de plumas y posterior medición de estas en laboratorio. Dado que la obtención de datos por medio de lecturas con equipos directamente sobre el ave es, a priori, el procedimiento más realista para determinar la coloración del plumaje. Sin embargo, dado que los dispositivos son sensibles, costosos y a menudo no son totalmente portátiles, su funcionamiento se compromete a llevarlos al campo (Quesada, 2006).

En la metodología de análisis fotográfico de alta calidad por segmentación algorítmico se utilizó base del procedimiento implementado por Martínez Sandoval (2014). Estableciendo la base diferencia el análisis y el tipo de organismo, se adaptó al uso del algoritmo para el análisis enfocado a esta ave. El presente método fue el que proporcionó mayor cantidad de información teniendo en cuenta el ave completa promediando cada píxel en cada una de las fotos según el análisis.

### IX.2 Análisis inicial justificativo

Se realizaron dos MANOVAs por separado con el fin de evaluar diferencias entre los estados para un mejor procesamiento: 1) variables directas del espacio *CIELAB*, y 2) con variables derivadas (*Croma* y *hue*), para las dos metodologías y las 4 combinaciones de datos. Esta separación se realizó para evitar redundancias estadísticas y respetar la distinta naturaleza de las

variables. Todos los análisis MANOVA fueron diseños de medidas repetidas, con el factor *SEXO* y las plumas tratadas como mediciones replicadas dentro de cada individuo (Cuthill, 1999).

La aproximación indica que existe mayor efecto explicativo en la variable independiente, esta medida de la proporción de varianza es explicada por el modelo en comparación con la varianza total, proporcionando una mejor opción el uso de los datos para proceder con el análisis de la Regresión Lineal Múltiple Multivariada (RLMM).

Los datos  $Cr^*$  y *hue* se sometieron a MANOVA, dando como resultados menor diferenciación para la Regresión Lineal Múltiple Multivariada y por lo tanto los resultados para el análisis de estos no fueron óptimos para el estudio. Por lo anterior en el análisis para estas variables se encontró que, el *Croma* como v. cuantitativa continua (lineal) y el *hue* como v. cuantitativa circular (angular), aumentan la complejidad del análisis aunado a las variables medio ambientales. Derivado de lo anterior se dedujo que *hue* no puede procesarse como una variable numérica simple sin considerar es un tipo de variable angular. Debido a la naturaleza de la información procesada en este estudio pertinente a  $Cr^*$  y *hue* que constan de una variable lineal y una variable circular se denominan datos cilíndricos. La variable circular se diferencia de la variable lineal en que se mide en una escala circular, donde los ángulos  $0^\circ$  y  $360^\circ$  representan el mismo número. Tanto los datos circulares como los cilíndricos requieren métodos de análisis especiales debido a la periodicidad en la escala de una variable circular (Cremers *et al*, 2019).

Se evaluaron si los estados influyen significativamente en el conjunto de parámetros de color en el análisis MANOVA. Los resultados del estadístico de Pillai's Trace indicó que, si hay diferencias multivariadas significativas entre grupos definidos por una variable independientes entre los estados, tanto en las coordenadas CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) y menor proporción en los parámetros derivados (*Croma* y *Hue*), lo que sugiere que la variación del color no solo ocurre en componentes individuales, sino en el perfil completo de color. De los parámetros antes mencionados los que poseen mayor diferencia entre grupos son las coordenadas CIELAB por lo tanto se optó por trabajar con el análisis de la RLMM con dichas variables colorimétricas.

Los intervalos de confianza al 95% para los promedios muestran márgenes amplios en ciertos estados, esto se debe al tamaño de muestra por sitio que indicaría baja precisión en las estimaciones. Esto sugiere alta variabilidad en los datos y poca representatividad del promedio



para cada grupo analizado. Este comportamiento podría atribuirse a una heterogeneidad en las muestras por localidad.

### IX.3 Análisis RLMM

Para el manejo de los datos se tomó la referencia de CIE en su reporte técnico se recomienda que todos los cálculos numéricos se realicen utilizando el número completo de dígitos significativos proporcionados por los datos de las tablas publicadas en las normas CIE de colorimetría. Los resultados finales deben redondearse al número de dígitos significativos indicado por la precisión de las mediciones (CIE, 2004).

El uso de una RLMM se justifica debido a la naturaleza multivariada de las variables de color CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), las cuales son dimensiones correlacionadas de una misma propiedad (el color), así como por la presencia de múltiples variables bioclimáticas que podrían actuar como predictores comunes (Rencher, 2012). Permite conocer la existencia del efecto significativo de las variables bioclimáticas y morfológicas (conjunto de variables independientes  $x$ ), contra las variables CIELAB (conjunto de variables dependientes  $y$ ) usando el estadístico de prueba Pillai's Trace.

Colorimetría puntual en tractos de las muestras de *C. montezumae* indicó una relación entre las variables *EDAD* (niveles juvenil y adulto), bio15 (estacionalidad de las precipitaciones), bio17 (precipitación del trimestre más seco) y bio19 (precipitación del trimestre más frío), aunque no mostro la influencia del factor *REGION*. Esto nos indica posiblemente una baja eficacia en el método puntual para detectar efectos. Se encontró evidencia de que en los sitios con mayor precipitación las coloraciones están en las zonas amarillas y rojas, en sitios secos con precipitación se encuentra plumaje más luminoso y cercano a las zonas azules, mientras que en los sitios más fríos con precipitación podemos encontrar plumajes más oscuros en zonas rojas y azules. Sin embargo, las variables que resultaron ser influyentes nos sugieren cambios estacionales, donde se aprecia la interacción del ave en su medio ambiente en las condiciones mayormente extremas al cambiar las estaciones, estas mismas proporcionan cambios en la flora que alteran la calidad y disponibilidad de alimentos presentes en el invierno.

Se hace presente en las variables bioclimáticas los meses donde la precipitación es mayor, el frío el calor, con la temperatura media anual, altitud y edad. Los sitios de colecta donde la temperatura presente es mínima o máxima, la coloración suele ser mayormente, luminosas, verdes

y variando en amarillas y azules. De los resultados obtenidos para los sitios con mayor precipitación, se encontró variabilidad en presentan coloración, en sitios secos son mayormente amarillos y verdes y en sitios lluviosas coloraciones rojas.

El análisis de 4 imágenes por algoritmo de segmentación de las muestras de *C. montezumae* procesadas en México y Estados Unidos, se observó mayor relación entre las variables colorimétricas y las factor *EDAD*, bio3 (isotermalidad), bio12 (precipitación anual), bio13 (precipitación del mes más lluvioso), bio16 (precipitación del trimestre más lluvioso), bio19 (precipitación del trimestre más frío), SMOC (Sierra Madre Occidental), *PAIS* (niveles México y EE.UU) , 90°, 180° y 270°, (Tabla 12). Donde se observa que las relaciones de color están presentes, por lo general son en los trimestres donde hay mayor actividad de precipitación y frío.

*C. montezumae* en su hábitat se ven sometidos a los picos climáticos más representativos en el año causan modificaciones colorimétricas adaptativas, como lo encontró Mattinson (2021) en *Ecogeography of Plumage Pigmentation in Great Horned Owls* expresado en las reglas ecogeográficas que describen esta previsibilidad: la regla de Gloger predice que las poblaciones en ambientes más húmedos y cálidos estarán más pigmentadas, la regla de Bogert predice más pigmentación en ambientes fríos. Mattinson (2021) habla sobre el aumento de las precipitaciones, las elevaciones más altas se asocian con características variables de la cubierta vegetal, incluyendo una mayor proporción de bosques de coníferas en el suroeste de Estados Unidos y la altitud se relaciona con otras variables ambientales que pueden afectar la coloración del plumaje, como la radiación solar.

La variable temperatura mostró que en sitios más fríos se encuentran plumaje más oscuro y coloraciones mayormente rojas y verdes, mientras que en sitios más calurosos son más cercanos a zonas amarillas. La altitud mostró que en los sitios con altitudes bajas (1,500 m. aprox.) las coloraciones son luminosas, con coloraciones en la zona verde y en altitudes mayores (3,000 m. aprox.) son plumajes oscuros con coloraciones en zonas rojas. El efecto de la precipitación es en sitios secos el plumaje es oscuro con coloración mayormente amarillos y azules, en los sitios con mayor precipitación el plumaje es más luminoso con coloraciones en zonas rojas y verdes. La coloración nos mostró dos grupos basados en la *REGIÓN*, se encontró que la Sierra Madre Occidental y la parte sur de EE. UU., con coloraciones cercanas a la zona de los rojos y oscuros, así como la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico, los podemos localizar en las zonas verdes

mayormente luminosos para ambos. En este estudio se encontró evidencia que apoya la regla de Bogert y basados en temperatura (calidad) y humedad, donde se encontró una relación similar en la pigmentación en zonas frías y húmedas hay menor pigmentación. Por otra parte, contradice la regla Gloger enfocado en la humedad, este estudio encontró que en lugares más húmedos la luminosidad es mayor y por lo tanto la pigmentación es menor.

#### IX.4 Consideraciones

El desarrollo y uso de la metodología implementada, se adaptó a la información disponible relacionada con el procesamiento de *C. montezumae* en particular. Mattinson y Witt (2021) encontraron que sus hallazgos sugieren que la variación en la pigmentación del plumaje se entiende mejor como una variación ecogeográfica continua, consistente con las predicciones ecogeográficas, y que actualmente se mantiene a lo largo de múltiples gradientes ambientales que caracterizan la topografía de “isla del cielo” del suroeste de EEUU .

Al igual como lo describe (Pérez, 2013) , *“El sentido de la vista es el encargado de procesar la información emitida por el color del plumaje y los tegumentos de las aves. Dado que en muchas ocasiones estas coloraciones van dirigidas a ser percibidas por otros individuos, cuando medimos el color es necesario tener en cuenta las particularidades del sistema visual del receptor”*. El enfoque para el análisis del color de *C. montezumae* se centró en el cómo la visión humana percibe la coloración en una especie interactuando con el ecosistema, reflejo de la presión selectiva (encontrar pareja, diferenciar sus pollos, mimetismo, etc.), para adaptarse con fin de sobrevivir en el medio que los rodea. Los factores de selección sexual, mimetismo y adaptación a las condiciones que rodea a esta especie pueden ser favorecidas por la coloración del plumaje con la finalidad de persistir a la fuerte selección natural.

La relación de variables en las regiones de Texas, Arizona, Nuevo México y la Sierra Madre Occidental en el análisis de 4 imágenes por algoritmo de segmentación, es más fuerte entre las variables colorimétricas analizadas. En su estudio (Mathur, 2023), demuestra que la estructura genómica poblacional de *C. montezumae* evoluciona como una especie en anillo, donde las poblaciones terminales existentes de Arizona y Texas han estado separadas. Los resultados agrupan la coloración de la codorniz Moctezuma por región según las variables bioclimáticas más representativas en dos grupos de *REGIÓN* y tiene un comportamiento similar al estudio genético de Mathur (2023).

Se puede asumir que la variación de color y la genética de las codornices de la zona norte, mayormente se encuentra en sitios alejados a los extremos de su distribución como lo sugiere Sánchez (2020), con la baja variabilidad genética observada en las poblaciones de la codorniz Moctezuma está determinada por la ubicación y por el arreglo geográfico que presentan. Las codornices que se encuentran en el límite norte de su distribución están separadas entre sí por extensas áreas desérticas, las cuales no representan hábitat potencial de distribución. Por otra parte, contemplando lo alejado que puedan localizarse las poblaciones de codornices en su aislamiento, se espera que los dos factores principales que afectan la distribución de la variación genética dentro de una especie, la deriva genética y la selección natural, promuevan individualmente la divergencia de las poblaciones periféricas (Lesica, 1995). Lo cual explicaría modificaciones en la coloración del plumaje, como una adaptación de la especie a los cambios en su entorno ecosistémico, dicho de otra manera, como la especie sufre un cumulo de alteraciones mínimas hasta hacerlos significativos al grado de alterar su morfología.

#### IX.5 Aporte para investigaciones a futuro

La creación de la base de datos fotográfica es de gran relevancia para investigaciones comparativas futuras para contribuir a la conservación de la especie y la comprensión de diferentes fenómenos biológicos de la morfología.

## X. CONCLUSIONES

La presente investigación analizó la relación colorimétrica entre los factores ambientales y ecológicos a los que está sometida *C. montezumae* generando información que puede apoyar la conservación y restauración de la especie, analizando los cambios que puedan generar la base de la modificación colorimétrica a nivel genético, químico o bioquímico y tener una relación adaptativa a los ecosistemas. Los hábitats de la especie se han deteriorado debido a factores antropogénicos, uso de suelo ganadero, caza, condiciones que la misma naturaleza ejerce (estrés por depredación, radiación, disponibilidad de alimento, partículas en el entorno, enfermedades, parásitos, etc.), causando deterioro morfológico (pérdida o alteración progresiva de la forma, estructura o integridad física de un organismo), disminuciones poblacionales y posiblemente deterioro genético (pérdida de la calidad, diversidad o funcionalidad del material genético de una especie).

Los resultados colorimétricos de las dos metodologías empleadas sugieren el uso para un mejor análisis, el manejo algorítmico para el procesamiento de fotografías de alta calidad, esto proporciona datos más acertados del promedio del color del ave en todos los píxeles.

El estudio ilustró que la relación de variables señala diferencia colorimétrica que existente entre los individuos de *C. montezumae* en las regiones donde habita a lo largo de la Sierras Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico y la línea de estados de la zona sur de EE.UU.

Aunque no pueda observarse la diferencia en color a simple vista, esto puede ser indicio de separación poblacional de la misma especie por las condiciones geográficas, medio ambientales o ecológicas. Evidencia de que el color tiene relación con factores alimenticios, territoriales y climáticos enfocados a la adaptación la codorniz Moctezuma.

## XI. RECOMENDACIONES

El estudio de la colorimetría de *C. montezumae* está en sus inicios con un gran campo de aplicaciones, a partir de esto, basados en el valor y la importancia de esta especie como indicadora de calidad de hábitat tenemos en puerta a una gran cantidad de estudios a su alrededor para continuar con su investigación. Así, como diferentes autores se han dedicado al trabajo de conocer la función de la coloración del plumaje de distintas aves, se tomó como punto de partida para estructurar la base metódica del manejo y uso de los ejemplares en este proyecto. Por nuestra parte se espera que este mismo impulse investigaciones futuras.

Al continuar con la investigación alrededor de la coloración y los patrones del plumaje de *C. montezumae*, se recomienda abordar temas como el estudio de patrones ocultos de las aves o patrones visibles que puede no percibir el ojo humano. La base de la implementación metodológica del análisis fotográfico por medio del algorítmico de segmentación puede expandirse para el análisis de la colorimetría, espectro UV o IR, usando métodos espectrofotométricos, químicos y tecnológicos (para conocer la cuantificación de los elementos que constituyen la estructura química del color). Con una estructura en el diseño metódico puede alcanzarse otros niveles de análisis morfológico, llegando a nuevos resultados. Así, la rama colorimétrica puede ir de la mano con los estudios de ADN, dieta, hábitos, distribución poblacional, microbiología, etc. Con esto se centraría en la búsqueda las posibles respuestas a las relaciones morfológicas en función de la ecología del ave dentro del hábitat. Un estudio potencial es la relación de las diferencias en rangos de color aunado a la dieta ya conocida de la especie en cuestión, conocer la línea directa de esta relación puede darnos idea de la calidad alimenticia con fines de conservación.

## XII. LITERATURA CITADA

- Albers, R. P. (1990). Choices of feeding habitat by relict Montezuma quail in central Texas. *Wilson Bulletin*.
- Ali, M. &. (2010). Ecological Importance of Birds. Isparta , Turkey.
- Bailey, F. M. (1928). *Birds of New Mexico*. Washington, D.C., USA.: Judd and Detweiler.
- Bent, A. C. (1932). *Life histories of North American gallinaceous birds*. Washington, D.C., USA: United States Government Printing Office.
- BirdLife International and Handbook of the Birds of the World. (2019). *Bird species distribution maps of the world*. Obtenido de <http://datazone.birdlife.org/species/requestdis>.
- Bishop, R. A. (1964). *The Mearns quail (Cyrtonyx montezumae mearnsi) in southern Arizona*. Tucson, USA.: Thesis, University of Arizona.
- Bishop, R. A. (1965). Seasonal food selection of Arizona Mearns quail. *Journal of Wildlife Management*, 29:813–819.
- Bravo, C. C. (2016.). Dietary divergence in the most sexually size-dimorphic bird. *The Auk*, 133: 178-197. doi:10.1642/AUK-15-206.1
- Brennan, L. A. (2007 ). *Texas quails, ecology and management*. Texas : A&M University Press, College .
- Brennan, L. A. (2017.). Montezuma quail. En *The upland and webless migratory game birds of Texas*. (págs. 206–217 in T. E. Fulbright, editor.). College Station, USA: Texas A&M University Press.
- Brown R. (1978). *An ecological study of Mearns' quail*. Tucson, USA: Arizona Game and Fish Department Federal Aid in Wildlife Restoration Project W-78-R-22.
- Brown, D. E. (1989). Arizona game birds. En *Mearns' (Montezuma) quail*. (págs. 105–121 in). Tucson, USA: University of Arizona Press.
- Brown, D. E. (1989a). Mearns' (Montezuma) quail. Arizona.
- Brown, R. L. (1982). Effects of livestock grazing on Mearns quail in southeastern Arizona. *Journal of Wildlife Management*, 35:727–732.
- Cadena Ortiz, e. a. (2015). Alteraciones de coloración en el plumaje de aves silvestres del Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, B75-B90, Vol. 7.
- Carroll, P. (1994). Family Odontophoridae (New World Quails). *Papers in Natural Resources*, 648.
- Castro, N. (2024). *Composición de la Dieta Invernal de la Codorniz Moctezuma (Cyrtonyx montezumae Vigors 1830) en Arizona y Sonora*. Tesis.

- Chavarria, P. M. (2012a). Use of portable infrared cameras to facilitate detection and capture success of Montezuma quail. *Proceedings of the National Quail Symposium*, 7: 333-338.
- Chavarria, P. M. (2013). *Ecology of Montezuma quail in Southeast Arizona*. Texas A&M University.: Thesis.
- Chávez, G. (2014). Las Codornices de Bosques y Selvas. Retos De Manejo y Conservación de da Fauna Silvestre. *Rev. Mex. Cien. For. Vol. 5 Núm. 23*.
- CIE, C. I. (2004). *CIE 15: Technical Report: Colorimetry, 3rd edition*. CIE.
- CONABIO. (abril de 2021). *La Biodiversidad en Durango Estudio de Estado*. Obtenido de [https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/region/eeb/files/DURANGO\\_resumen.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/region/eeb/files/DURANGO_resumen.pdf)
- CONABIO. (abril de 2021). *La Biodiversidad en Zacatecas Estudio de Estado*. Obtenido de [https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/region/eeb/files/ZACATECAS\\_resumen.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/region/eeb/files/ZACATECAS_resumen.pdf)
- Cork, K. D. (2021). Montezuma Quail (*Cyrtonyx montezumae*) foraging in a pinyon-juniper woodland. *The Wilson Journal of Ornithology*, 133(4) : 645-648. doi:<https://doi.org/10.1676/20-00026>
- Cremers j., P. H. (2019). Regression Models for Cylindrical Data in Psychology. *Multivariate Behavioral Research*. doi:<https://doi.org/10.1080/00273171.2019.1693332>
- Cuthill, I. C. (1999). Plumage Reflectance and the Objective Assessment of Avian Sexual Dichromatism. *The American Naturalist*, 153, No. 2, pp. 183-200.
- eBird Basic Dataset. (Feb de 2024.). *EBD\_relFeb-2024*. Obtenido de Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York.
- Engel-Wilson R., a. W. (2002.). Arizona quail: species in jeopardy? En W. P. S. J. DeMaso, & T. P. Department (Ed.), *Quail V: Proceedings of the Fifth National Quail Symposium* (págs. 1-7). Austin, USA.
- Fuertes, L. A. (1903). With the Mearns quail in southwestern Texas. *Condor*.
- García, E. -C. (11 de 05 de 2001). *Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Obtenido de (Clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000.: file:///D:/UNIVERSIDAD%20ESTATAL%20DE%20SONORA/Proyecto%20Codorniz%20Moctezuma/Mapas%20Proyecto%20Codorniz%20Moctezuma%20y%20MCA/SHP/Clima/clima1mgw/clima1mgw.html
- Gill, F. (2007). Ornithology. En W. H. COMPANY (Ed.). New York, NY 10010, United States of America. Obtenido de [www.whfrecman.com](http://www.whfrecman.com)
- Greene, C. D. (2013). *Ecology of Montezuma quail in the Davis Mountains of Texas*. Thesis, Sul Ross State University, Alpine, Texas, USA.



- Gullion, G. W. (1960). The ecology of Gambel's quail in Nevada and the arid Southwest. *Ecology*, 41:518–536.
- Hernández Tellez, M. S. (2004). Composicion de la Dieta de la Codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en municipios del noroeste del Estado de México. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernandez, F. L. (2006a). Habitat characteristics of Montezuma quail foraging areas in west Texas. En *Wildlife Society Bulletin* (págs. 34: 856-860). doi:10.2193/0091-7648(2006)34[856:HCOMQF]2.0.CO;2
- Hernández, F. L. (2006b). Habitat characteristics of Montezuma quail foraging areas in west Texas. *Wildlife Society Bulletin* , 34:856–860.
- Hill, G. E. (1992). Proximate basis of variation in carotenoid pigmentation in male House Finches. *Auk*.
- Hill, G. E. (1998). Plumage redness and pigment symmetry in the House Finch. . En *J. Avian, Biol.* (págs. 29: 86–92.).
- INEGI. (marzo de 1983). *Síntesis Geográfica del Estado de Coahuila*. Obtenido de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220952/702825220952\\_1.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220952/702825220952_1.pdf)
- INEGI. (agosto de 1983). *Síntesis Geográfica del Estado de Tamaulipas*. Obtenido de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220822/702825220822\\_1.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220822/702825220822_1.pdf)
- INEGI. (febrero de 1985). *Anuario Estadístico de Tlaxcala*. Obtenido de Tomo I: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1290/702825151690/702825151690\\_1.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1290/702825151690/702825151690_1.pdf)
- INEGI. (junio de 1986). Obtenido de Síntesis geográfica del estado de Nuevo León: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220747/702825220747\\_1.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220747/702825220747_1.pdf)
- INEGI. (1992). *Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo*. Obtenido de [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220945/702825220945\\_1.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220945/702825220945_1.pdf)
- INEGI. (2003). *Síntesis de Información Geográfica del Estado de Chihuahua*. Obtenido de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224332/702825224332\\_1.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224332/702825224332_1.pdf)
- INEGI. (2013). *Conociendo Sonora*. Obtenido de [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)
- INEGI. (2015). *Anuario estadístico y geográfico de Michoacán de Ocampo*. Obtenido de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2015/702825076139.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076139.pdf)

- INEGI. (04 de 08 de 2015). *Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Obtenido de Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie V (capa unión)', escala: 1:250000. edición: 2a. Aguascalientes, Aguascalientes.
- INEGI. (10 de 02 de 2021). *Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Obtenido de Áreas geoestadísticas estatales', escala: 1:250000. edición: 1.: <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#Descargas>
- Inteligencia Artificial*, Declaración sobre uso de IA: En el desarrollo de este trabajo, el autor(s) utilizó IA por la consulta de comandos para el tratamiento de datos. Tras el uso de esta herramienta, el autor revisó cuidadosamente el contenido y asumen la responsabilidad. (2025). Obtenido de ChatGPT: <https://chatgpt.com/>
- Kamees, L. T. (2008). *New Mexico's quail: biology, distribution and management recommendations*. Obtenido de New Mexico Department of Game and Fish.
- Leopold, A. S. (1957). Natural history of the Montezuma quail in Mexico. *Condor* , 59:3–26.
- Lesica, P. y. (1995). When are peripheral populations valuable for conservation? . *Conservation Biology* , 9:753-760.
- Lignon, J. S. (1961). *New Mexico birds and Where to Find Them*. Albuquerque, USA: University of New Mexico Press.
- López Bujanda, O. E. (2019). Dieta Invernal de la Codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en Arizona y Nuervo México. En *Tesis*. Hermosillo, Sonora, México.
- Mariyappan, M. e. ( 2023). Ecological Role and Ecosystem Services of Birds: A Review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13, 76-87. doi:10.9734/IJECC/2023/v13i61800
- Martínez, J. (2014). *Análisis del Color en Post-cosecha de Chile Habanero basado en Sistemas de Visión por Computadora*. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Baja California.
- Mathur S, T. J. (2019). *Evidence of genetic erosion in a peripheral population of a North American game bird: the Montezuma quail (Cyrtonyx montezumae)*. *Conserv Genet*. doi: <https://doi.org/10.1007/s10592-019-01218-9>
- Mathur, S. T. (2023). An evolutionary perspective on genetic load in small isolated populations as informed by whole genome resequencing and forward-time simulations. *Evolution*, 77(3), 690–704. doi:<https://doi.org/10.1093/evolut/qpac061>
- MathWorks. (2025). *Convert RGB to CIE 1976 Lab (R2025a), rgb2lab*. Obtenido de <https://www.mathworks.com/help/images/ref/rgb2lab.html>
- MathWorks. (2025). *Color space conversion – Convert RGB to CIE 1976 Lab\*. \**. Obtenido de <https://www.mathworks.com/help/images/understanding-color-spaces-and-color-space-conversion.html>

- MATLAB. (2025). *The MathWorks, Inc.* Obtenido de <https://www.mathworks.com/>
- Mattinson, P. &. (2021). *Ecogeography of Plumage Pigmentation in Great Horned Owls*. University of New Mexico MSC03-2020, , Department of Biology and Museum of Southwestern Biology, , Albuquerque, NM 87131 USA.
- Mesta, R. E. (2011). La conservación y el manejo de codornices del norte de México. En *Temas sobre conservación de vertebrados silvestres en México. Ira. edición* (pág. 49±191). SEMARNAT, México.
- Minolta, L. (1994). *Precise color communication: color control from feeling to instrumentation*. Osaka: Minolta Corporation Ltd.
- Oaster, E. A. (2018). Ecology of Mearns' Quail (*Cyrtonyx montezumae*) in the Capitan Mountains of New Mexico. En *Thesis*.
- Oberholser, H. C. (1974). *The bird life of Texas. Volume 1*. Austin, USA: University of Texas Press.
- Palafox, L. H. (2007). *Densidad poblacional y uso del hábitat de la codorniz Moctezuma (Cyrtonyx moctezuma) en Hualtepec, Hidalgo*. (Vol. Veterinaria ). México .
- Paredes Acuña, A. G. (2022). Composición de la Dieta de la Codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en el Límite Norte de su Distribución. En *Tesis*. Hermosillo, Sonora, México.
- Penalba, J. &. (2013). *Museum of Vertebrate Zoology*. Obtenido de Basic Bird Skin Preparation Manual: [https://mvzhandbook.berkeley.edu/wp-content/uploads/sites/46/2020/05/PrepLab\\_MVZbirdskinmanual\\_web.pdf](https://mvzhandbook.berkeley.edu/wp-content/uploads/sites/46/2020/05/PrepLab_MVZbirdskinmanual_web.pdf)
- Pérez, L. (2013). La medición del color: técnicas y fundamentos para el estudio de la ecología de las aves. *Revista de Anillamiento*.
- Proctor, N. &. (1993). *Manual of Ornithology "Avian Structure & Function"*. Nueva York.
- QGIS Development Team. (2023). *QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project*. Obtenido de <https://www.qgis.org/>
- Quesada J. and Senar J. (2006). Comparing plumage colour measurements obtained directly from live birds and from collected feathers: the case of the great tit *Parus major*. *JOURNAL OF AVIAN BIOLOGY*, 37: 609-616.
- R Core Team. (2024). *A Language and Environment for Statistical Computing\_*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria: <<https://www.R-project.org/>>.
- Randel, C. I. (2019). Estimating Montezuma Quail Hatch Date Using Primary Molt at Harvest. *Wildlife Society Bulletin*, 1–3. doi:10.1002/wsb.1017
- Rencher, A. C. ( 2012). *Methods of multivariate analysis (3rd ed.)*. Wiley.
- Sánchez, E. (2020). *Variabilidad y Estructura Genética en Poblaciones de la Codorniz Moctezuma (Cyrtonyx montezumae) en el Límite Norte de su Distribución*. Hermosillo, Sonora.

- Sanders, C. G. (2012 ). *An evaluation of a presence-absence survey to monitor Montezuma quail in western Texas*. Texas A&M University-Kingsville: Thesis.
- Secretaria del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2009). *Iniciativa ante el Cambio Climático en el Estado de México*. Obtenido de 2. Descripción del Estado de México: [https://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma\\_pdf\\_cam\\_clima\\_2.pdf](https://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma_pdf_cam_clima_2.pdf)
- Senar, J. C. (1993). Variation in black bib of the Eurasian Siskin (*Carduelis spinus*) and its role as a reliable badge of dominance. *Auk*: 110: 924–927.
- Senar, J. C. (2004). ¿Cómo se mide el plumaje? En J. C. Senar, *Mucho más que plumas* (págs. 51-62). Barcelona: Institut de Cultura de Barcelona, Ajuntament de Barcelona.
- Silvy, N. J. (2007). Scaled quail ecology and life history. En *L. A. Brennan* (págs. 65–88). Texas A&M University Press, College Station, USA: Texas quails: ecology and management..
- Sorola, S. K. (1986). *Investigation of Mearns' quail distribution*. *Texas Parks and Wildlife*. Austin, USA: Department Final Report Project W-108-R-9.
- Spaulding, E. S. (1949). *The Quails*. New York: The MacMillan Co. 123 p.
- Spears, G. S. (1993). Optimum seral stage for northern bobwhites as influenced by site productivity. . *Journal of Wildlife Management* , 57:805–811.
- Stromberg et al. (2020). *Montezuma Quail (Cyrtonyx montezumae), version 1.0. Birds of the World (P. G. Rodewald, Editor). Cornell Lab of Ornithology, doi: 10.2173/bow.monqua.01*. Ithaca, NY, USA.
- Stromberg M. R. (2000). *Moctezuma quail (Cyrtonyx moctezuma)*. (Vol. No. 254). (y. F. En A. Poole, Ed.) Washington, D. C., EUA.: Academy of Natural Sciences/American Ornithologists' Union.
- Stromberg, M. R. (1990). Movements and roost characteristics of Montezuma quail in southeastern Arizona. . *Condor* .
- Swarth, H. S. (1909). Distribution and molt of the Mearns quail. *Condor* , 11:38–43.
- Terrill, S. &. (2023). Feather function and the evolution of birds. *Biological Reviews*, 540–566. doi:10.1111/brv.12918
- Vigers, N. A. (1830.). Notices on some new species of birds. *Zoological Journal* , 5:273-275.
- WorldClim. (2025). *WorldClim: Maps, graphs, tables, and data of the global climate*. Obtenido de <https://www.worldclim.org/>

### XIII. APENDICE

En este capítulo final se muestran los anexos ejemplificando como fueron las 20 tomas fotográficas de codornices utilizadas para el procedimiento de análisis algorítmico, un manual práctico de montajes de como conservar y preservar el plumaje de las aves enfocado al uso en investigación en laboratorio y un anexo fotográfico de la codorniz Moctezuma *Cyrtonyx montezumae* en vida libre proporcionado por Eduardo García Espino, este último anexo es con fin de mostrar a la codorniz Moctezuma en su hábitat.

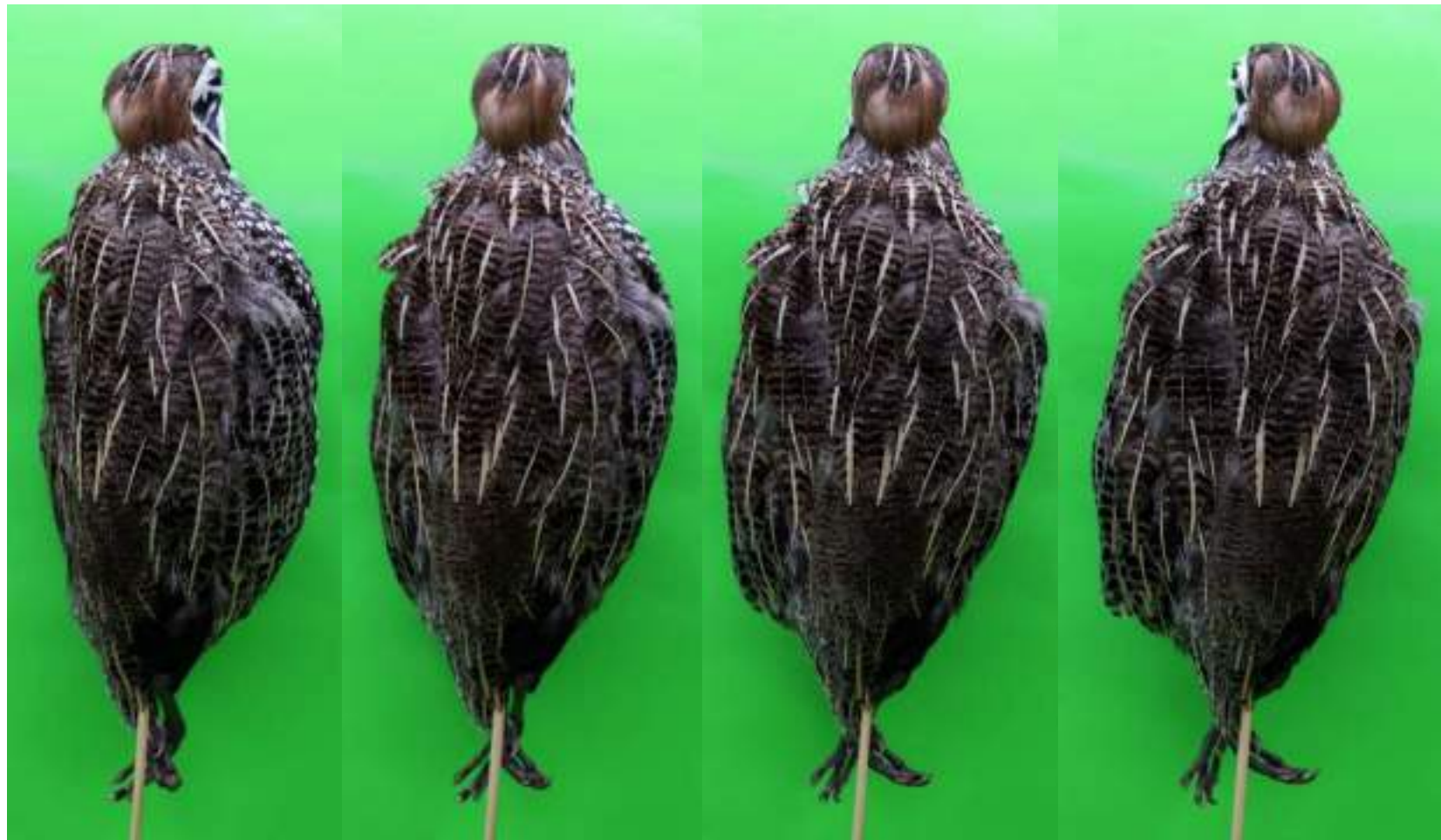


**Figura 32.** Secuencia de tomas fotográficas (1-4) de un macho adulto de codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) con una rotación de 18° cada una sobre el eje craneocaudal para el análisis algorítmico de color.



**Fig. 32.** Continuación (5-8).





**Fig. 32.** Continuación (9-12).





**Fig. 32.** Continuación (13-16).



**Fig. 32.** Continuación (17-20).

### XIII.1 Manual de montaje de pieles de codorniz Moctezuma

Manual fue diseñado con los procedimientos utilizados para los montajes en la Universidad Estatal de Sonora en el Laboratorio de Vertebrados. Estos montajes mantuvieron un estándar homogeneizando la calidad de la conservación para un mejor análisis. La preservación de esta colección se encuentra dentro de la universidad exclusivamente para investigación.

### **Metodología**

1. Una vez descongelado y tomadas las medidas morfológicas del ejemplar se inicia con el retirado de la piel. El corte se hace de la parte media del ave (la pechuga) unos 5 cm hacia la cola. Se usa el cúter y charola de disección.



2. Continúa con el corte hasta liberar uno de los muslos, en este punto el ave comenzará a tener mayor movilidad al retirar la piel, el corte se debe hacer en una sola vez lo más limpio posible. Se usa el cúter y tijeras de disección.





3. Cortar, contemplando el dobléz del muslo alrededor de 5 cm al corte, una vez retirado continuar cortando hacia la parte espinal del ave antes de proceder al corte del otro muslo. Se usa el cúter y tijeras de disección.



4. Liberar y cortar el otro muslo del ave exactamente de la misma manera que el anterior, una vez liberado las extremidades se podrá proceder al corte de la cola, liberar ambos muslos da mayor facilidad para trabajar la piel con los cortes. Se usa el cúter y tijeras de disección.



5. Una vez que los cortes están listos se continua con la cola (esta parte es más sensible a los cortes porque está la cloaca del ave). Este corte debe realizarse con tijeras, cuando se llegue a la base de la cola. Se usa el cúter y tijeras de disección.



6. Después de realizar el corte a la cola, es más sencillo retirar la piel del área espinal, deteniendo el plumaje y cortando con el cúter al ras del cuerpo del ave.





7. Una vez que el retirado de la piel por la parte espinal llega un punto rígido de las alas, girar el ave para retirar la piel de la pechuga. El corte a las alas se realiza en la base de estas con las tijeras de disección. Al igual que el piernil se corta de forma más limpia posible.



8. Lo siguiente es el corte alrededor del buche, es una membrana delgada que es fácil de confundir y cortar. En esta ave es posible encontrar perdigones de las escopetas, retirar y se continuar. Aquí se usa cúter para estos cortes.





9. Retirar la piel del cuello y nuca, hasta descubrir el cráneo para continuar con los cortes. Se usa cúter.



10. Llegando a la base del cráneo, se corta los canales laterales auditivos, justamente al ras del cráneo, a partir de aquí los cortes son con sumo cuidado para sacar el parpado de cada cuenca sin cortarlo de más, ni tampoco dañar el ojo.



11. Retirar las cuencas oculares, se realiza el corte en las zonas delgadas entre el ojo y la hendidura del cráneo en la parte ocular al grado que debe salir completo sin reventarse. Se usa cúter.





12. Realizar el corte en la base del cráneo hasta llegar a la parte baja del cuello, una vez ahí se gira la cabeza y corta en “V” por la parte baja del pico, despegando así el cuerpo o tronco del ave del cráneo con la piel.





13. Ahora se debe retirar el cerebro del ave para proceder a limpiar completamente el cráneo. Se usa pinzas.





14. En este paso se debe retirar cualquier órgano que se necesite para trabajarlo. Se aprovecha que el ave esta descongelada. En este caso será el buche, el cual se guarda para otras investigaciones debidamente etiquetado.



15. Lavado de la piel y las plumas, lavar con jabón líquido para retirar toda la suciedad, plumas sueltas, sangre y cualquier cosa en el plumaje. Lavar igual la charola de disección para tener todo limpio antes del siguiente paso.

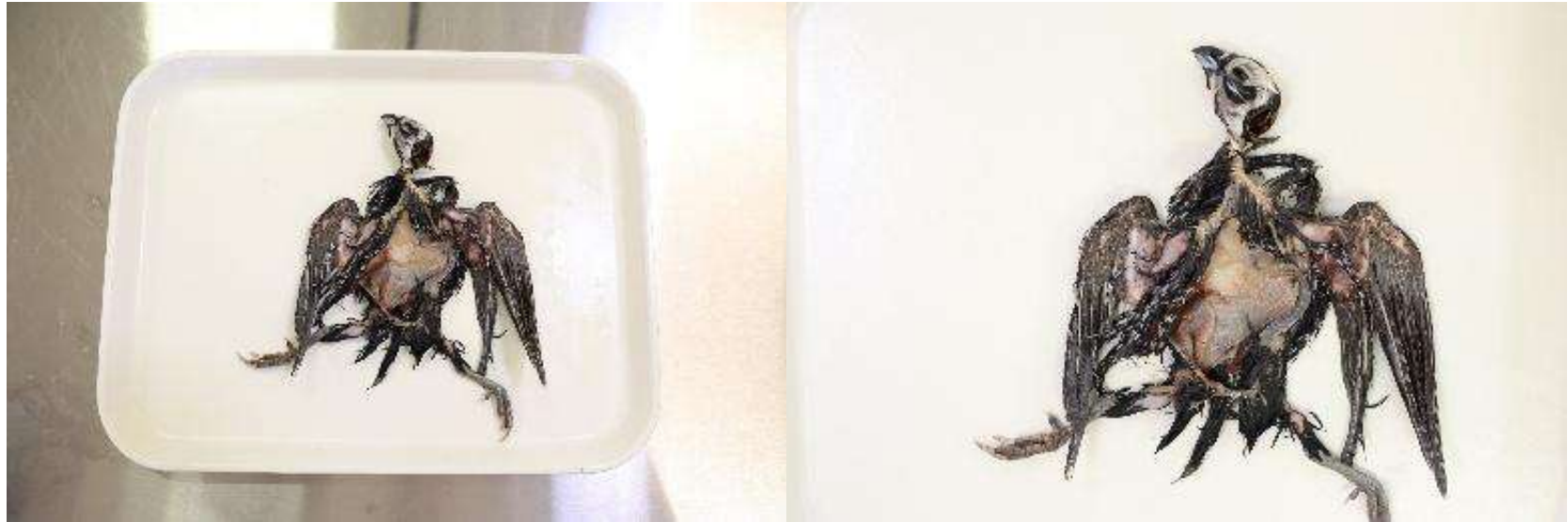








16. Una vez lavado y limpio el plumaje se destiende y retira la mayor cantidad de humedad posible.



17. Rellenar con alcanfor o si no se usa ningún conservador procede al siguiente paso.



18. Rellenar las cavidades craneales y los muslos con suficiente algodón, esto es para que los párpados no se hundan, el cráneo que firme y las patas tengan forma definida.





19. Preparar el cuerpo del ave (usar un palillo de madera grande y envolver en algodón, agregar un pedazo de esponja o espuma a la altura del cuello para más adelante fijar las alas con un alfiler).
20. Introducir el relleno a la piel del ave (tip: se usar pegamento para adherir la punta a la base del cráneo donde se rellenó con algodón). Usar el punzón para introducir las partes de algodón que se pegen con la humedad.





21. Comenzar con la costura con hilo y aguja recurva, asegurar cada unión para que no se abra (investigar sobre el nudo de sutura medica o veterinaria). Ayudar con el punzón para acomodar el algodón.







22. Cerrar completamente la piel del ave, las plumas siguen húmedas, aun no se ven agradables a la vista.



23. Secar las plumas con pistola de calor, puede ser de ayudar de un cepillo para separar un poco las plumas aglomeradas, usar una temperatura baja o media con la velocidad alta. No usar la pistola directa o quemaras la piel.









24. Una vez seca el ave fijar con alfileres las alas a los costados para dar forma en el secado. El acomodo es a criterio de cómo se requiera conservar el ejemplar.



25. Dejar secar de 1 a 3 días para que la piel endurezca y pueda permanecer en la postura adecuada para su preservación, etiquetar el ejemplar con todas las especificaciones acorde al proyecto.







**Materiales:**

Charola de disección

Kit de disección

Servilletas

Alcohol isopropílico en una dilución 70/30 con agua destilada

Alfileres

Palillos para brochetas

Algodón

Alcanfor (de ser el caso)

Pistola de calor

Guantes

Etiquetas

Aguja e hilo

**Notas adicionales:**

Usar guantes y recordar lo siguiente “*Se está trabajando con materia de laboratorio para disección, es peligroso un corte*”. Tener cuidado en cada corte al ejemplar, la piel es muy delgada y cualquier mal movimiento puede arruinar el montaje trabajo. Si el ave fue colectada con escopeta, habrá perdigones o zonas en el ave destrozadas. Desinfecta todo área de trabajo y utensilios. Depende del rigor mortis, pero en ocasiones la piel suele estar seca y adherida al musculo del ave.

XIII.2 Anexo fotográfico de *Cyrtonyx montezumae* en vida libre.



**Figura 33.** Codorniz Moctezuma *C. montezumae* en postura decúbito (decúbito ventral en aves) o bien conducta de inmovilidad. Esto aunado a su mimetismo la convierten en un ave imperceptible al ojo humano.





**Figura 34.** Covey, alrededor de 12-14 codornices al vuelo, incluso así su percepción es casi nula a la vista.





**Figura 35.** Covey al vuelo, en zonas de pastizal con pino.





**Figura 36.** Covey al vuelo



**Figura 37.** Macho juvenil al vuelo de *C. montezumae*.



**Figura 38.** Covey de codornices capturadas al momento de escapar.





**Figura 39.** Macho de *C. montezumae* al escapar volando en zonas donde el matorral y las nopaleras sustentan la protección para las codornices.





**Figura 40.** Codorniz al vuelo en zonas de nopaleras, lugares de este tipo sirven de refugio contra depredadores y el humano.



**Figura 41.** Macho de codorniz, se puede apreciar su patrón facial al igual que parte del plumaje característico. Aun teniendo colores así de llamativos el macho posee mimetismo al grado de ser casi invisible en el medio donde reside.



**Figura 42.** Diggin o roosts, son rascaderos y dormitorios donde las codornices los usan para pernoctar o acicalarse para retirarse o controlar el polvo, parásitos o plumas que no son de utilidad.





**Figura 43.** Roost para pernoctar usados por las codornices



**Figura 44.** Diggin con restos de plumas de codorniz Moctezuma.





**Figura 45.** Machos juveniles de codorniz Moctezuma al vuelo.



**Figura 46.** Covey de codornices captadas entre pastizal donde claramente se observa el macho del grupo. Estas parvadas se conforman por núcleo familiar.