

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN DE LAS AVES EN LOS ECOSISTEMAS  
ÁRIDOS Y SEMIÁRIDOS DE COAHUILA, MÉXICO.

Tesis

Que presenta EBER GABRIEL CHÁVEZ LUGO

como requisito parcial para obtener el grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Noviembre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN DE LAS AVES EN LOS ECOSISTEMAS  
ÁRIDOS Y SEMIÁRIDOS DE COAHUILA, MÉXICO.

**Tesis**

Que presenta EBER GABRIEL CHAVEZ LUGO

como requisito parcial para obtener el grado de DOCTOR EN  
CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Dr. Juan Antonio Encina Domínguez

Director (UAAAN)

Dr. Juan Manuel Pech Canché

Director Externo (UV)

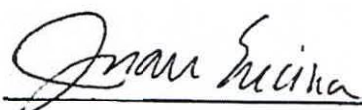
Torreón, Coahuila.

Noviembre, 2025


DIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN DE LAS AVES EN LOS ECOSISTEMAS  
ÁRIDOS Y SEMIÁRIDOS DE COAHUILA, MÉXICO.

Tesis

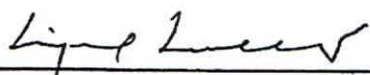
Elaborada por EBER GABRIEL CHAVEZ LUGO como requisito parcial para  
obtener el grado de Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria con la  
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría.



Dr. Juan Antonio Encina Domínguez  
Director



Dr. Juan Manuel Pech Canché  
Asesor



Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque  
Asesor



Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez  
Asesor



Dr. Jose Eduardo Garcia Martínez  
Asesor



Dr. Jorge Enrique Ramírez Albores  
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno  
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda  
Subdirector de Postgrado

## **Agradecimientos**

Agradezco a todos y cada una de las personas involucradas en el proceso de mi formación profesional. Al comité de asesoría por sus comentarios, a los Drs. Juan Encina y Jorge Ramírez por los consejos, correcciones y su apoyo. A Juan Pech por su respaldo, asesoría y su amistad. A la Dra. Claudia Moreno por recibirme en su laboratorio como parte de una estancia académica. A Erika Cruz por su apoyo en campo y revisiones a los manuscritos. Agradezco también ala SECIHTI por la beca de manutención durante el tiempo del programa del Doctorado. De igual manera, agradezco a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y personal del Rancho Experimental Ganadero “Los Ángeles” por todas las facilidades otorgadas durante el trabajo de campo y apoyo en actividades académicas. Y a todas aquellas personas que aportaron su granito de arena durante todo este tiempo, Gracias

## Dedicatoria

A ti, mi compañera de campo, de aventuras y de vida. Gracias por estar siempre a mi lado, por ser el soporte que me impulsa y la razón por la que lucho por ser mejor cada día. Te dedico este logro, Erika, y todos los que el futuro nos tenga preparados.

La esperanza es esa  
cosa con plumas que  
se posa en el alma,  
y entona melodías sin palabras,  
y no se detiene para nada

- Emily Dickinson



# Carta de aceptación

## Artículo 1



*conservation*

an Open Access Journal by MDPI



### CERTIFICATE OF ACCEPTANCE



The certificate of acceptance for the manuscript (**conservation-3153611**) titled:  
Protected and unprotected areas as refuges for bird conservation in the southeastern Coahuila, Mexico

Authored by:

Eber G. Chavez-Lugo; Jorge E. Ramírez-Albores; Marlín Pérez-Suárez; Erika J. Cruz-Bazan; Juan A. Encina-Domínguez; Arturo Cruz-Anaya

was accepted in *Conservation* (ISSN 2673-7159) on 27 September 2024



academic Open Access Publishing  
since 1996

Basel, September 2024

Dr. Antoni Margalida  
Editor-in-Chief

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2.1.        Diversidad de aves .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2.2.        Estudios ecológicos acerca de las aves .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2.3.        Estado de conservación de las aves .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2.4.        Perturbación ambiental por actividades humanas .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>3. ARTÍCULOS .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>3.1.        Artículo 1: Protected and unprotected areas as refuges for<br/>bird conservation in southeastern Coahuila, Mexico .....</b> | <b>7</b>  |
| <b>Articulo 2: De las montañas al valle: el Aguila Real (<i>Aquila chrysaetos</i>) en<br/>Coahuila, México. ....</b>                       | <b>25</b> |
| <b>4. CONCLUSIÓN .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>5. REFERENCIAS.....</b>   | <b>42</b> |

## **Resumen**

Diversidad y conservación de las aves en los ecosistemas áridos y semiáridos  
de Coahuila, México.

Eber Gabriel Chavez Lugo  
Doctorado en Ciencias en Producción Agropecuaria  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Juan Antonio Encina Domínguez  
Director de tesis

El sureste de Coahuila alberga una elevada diversidad de aves, resultado de su variada topografía y de la coexistencia de distintos tipos de hábitat. El análisis de comunidades en áreas protegidas y no protegidas registró una notable riqueza específica, incluyendo especies endémicas y migratorias, lo que demuestra que ambos tipos de ambientes contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad regional y a la conectividad ecológica. Estas condiciones posicionan a Coahuila como una zona estratégica para la conservación avifaunística en el norte de México. Paralelamente, la modelación del hábitat del Águila Real (*Aquila chrysaetos*) permitió identificar áreas prioritarias para su conservación en regiones montañosas y de matorral desértico, reforzando la necesidad de conservar la heterogeneidad del paisaje y promover estrategias de manejo integrales que aseguren la persistencia de las aves y la funcionalidad ecológica de los ecosistemas áridos y semiáridos del estado.

Palabras clave: Áreas naturales protegidas, Avifauna, Biología de la conservación, Corredores biológicos, Distribución de especies.



## **Abstrac**

Diversity and Conservation of Birds in the Arid and Semiarid Ecosystems of  
Coahuila, Mexico

Eber Gabriel Chávez Lugo

To obtain the degree of Doctor of Science in Agricultural Production  
Antonio Narro Autonomous Agrarian University

Dr. Juan Antonio Encina Domínguez  
Thesis director

The southeastern region of Coahuila hosts a high diversity of bird species resulting from its varied topography and the coexistence of multiple habitat types. The analysis of bird communities in protected and unprotected areas revealed remarkable species richness, including endemic and migratory species, demonstrating that both environments contribute to regional biodiversity maintenance and ecological connectivity. These conditions position Coahuila as a strategic area for avifaunal conservation in northern Mexico. Additionally, habitat modeling of the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) identified priority areas for its conservation in mountainous and desert scrub regions, emphasizing the need to preserve landscape heterogeneity and promote integrated management strategies that ensure the persistence of bird populations and the ecological functionality of arid and semi-arid ecosystems across the state.

Keywords: Avifauna, Biological corridors, Conservation biology, Protected natural areas, Species distribution.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las aves constituyen uno de los grupos de vertebrados más diversos y ampliamente distribuidos del planeta. Su presencia en prácticamente todos los ecosistemas las convierte en indicadores biológicos clave para evaluar la salud ambiental, los procesos ecológicos y los efectos del cambio climático. Además, desempeñan funciones ecológicas esenciales, como la dispersión de semillas, el control de poblaciones de insectos y la polinización, contribuyendo al equilibrio de los ecosistemas y al bienestar humano (Sekercioglu, 2006; Whelan et al., 2015).

México se distingue por su gran riqueza avifaunística y se posiciona entre los países con mayor diversidad de aves a nivel mundial (Navarro-Sigüenza et al., 2014). Esta diversidad se debe a la amplia variedad de climas, ecosistemas y gradientes altitudinales que caracterizan su territorio. En particular, las regiones áridas y semiáridas del norte del país, aunque menos estudiadas que las zonas tropicales, mantienen una notable diversidad de especies adaptadas a condiciones extremas de temperatura y escasez de agua, demostrando una gran capacidad de resiliencia ecológica (Ramírez-Ojeda, et al., 2024). Se estima que en el mundo existen 10404 especies de aves, en México se tiene el registro de 1107 especies registradas, de las cuales 294 se encuentran en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Navarro- Sigüenza *et al.*, 2014).

El estado de Coahuila ocupa una posición estratégica dentro del noreste de México, conformando una zona de transición entre desiertos, sierras y valles que alberga una amplia variedad de hábitats, desde matorrales y pastizales hasta bosques templados de coníferas. Esta heterogeneidad ambiental ha favorecido la presencia de una rica avifauna, incluyendo especies endémicas y migratorias de importancia ecológica y de conservación. Coahuila también forma parte de una de las principales rutas migratorias del continente americano, funcionando

como un corredor biológico que conecta las poblaciones de aves del norte con las del centro y sur del continente (Howell y Webb, 1995; Berlanga et al., 2010). En Coahuila se han registrado 429 especies, de éstas, 52 se encuentran incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, de las cuales 29 están bajo protección especial, 10 amenazadas y 13 en peligro de extinción, (CONABIO, 2018).

Las aves se han encontrado tanto en tierra como en el mar, en la mayoría de los hábitats desde desiertos más bajos hasta las montañas (BirdLife International, 2008). Sin embargo, las poblaciones de muchas especies de aves están disminuyendo debido a la pérdida de hábitats naturales, por la contaminación, los plaguicidas, derrames de sustancias químicas, la caza excesiva, depredación por especies introducidas o especies domésticas, como perros y gatos, que no están bajo control (CCA, 1999).

Las actividades humanas, como el aprovechamiento de los recursos, tienen relevancia en la composición de paisajes interviniendo en el desarrollo de fauna silvestre. Por tal motivo es importante conocer como las aves responden a los ecosistemas con actividades de producción debido a su sensibilidad a las alteraciones ambientales (González-Ortega *et al.*, 2003).

La degradación de los ecosistemas disminuye las poblaciones silvestres provocando la pérdida de poblaciones o extinción de especies a escala local o regional, por esto es importante contar con información confiable y precisa que sustente las estrategias propuestas para un buen uso, manejo y conservación de las especies (Álvarez-Mondragón y Morrone, 2004).

Por tal motivo se planteó como objetivo analizar la diversidad especies de aves silvestre en Coahuila, por medio de muestreos en campo y registros históricos. Los resultados obtenidos muestran las áreas de importancia para la conservación de la ornitofauna en el estado, y esta actualización de la situación actual de las comunidades de aves ayuda a implementar estrategias que ayuden a mitigar los

efectos negativos del desarrollo humano en contra de la diversidad de aves causado por alteraciones en el ecosistema como fragmentación de hábitat y desplazamiento de especies residentes.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Diversidad de aves**

México se distingue a nivel mundial por su notable riqueza avifaunística: alberga alrededor del 11 % de todas las especies de aves conocidas, de las cuales aproximadamente una quinta parte son endémicas del territorio nacional. Sin embargo, una proporción considerable de esta diversidad enfrenta algún grado de amenaza, ya que entre el 26 % y el 33 % de las especies se encuentran incluidas en listas de riesgo tanto nacionales como internacionales. La mayor concentración de especies se ubica principalmente a lo largo de la vertiente del Golfo de México y en la Península de Yucatán, regiones que funcionan como importantes núcleos de diversidad y endemismo (Navarro-Sigüenza et al., 2014).

### **2.2. Estudios ecológicos acerca de las aves**

El estudio de las comunidades de aves en función de gradientes ambientales — como la altitud, la cobertura vegetal o el grado de perturbación— ha permitido comprender los factores que determinan su distribución y abundancia. La elevación, por ejemplo, es uno de los gradientes más utilizados en ecología por su sencilla medición, aunque su influencia es compleja al depender de múltiples variables ambientales interrelacionadas (Lookingbill y Urban, 2005). En la investigación ornitológica se ha documentado que algunas especies pueden ocupar amplios rangos altitudinales, mientras que otras se restringen a zonas específicas, lo cual las convierte en indicadores útiles de las condiciones ambientales y de los tipos de vegetación (Almazán-Núñez et al., 2009; Jaime-Escalante et al., 2016). Estas variaciones en la composición específica a lo largo del gradiente reflejan los cambios ambientales y facilitan la identificación de especies indicadoras, sobre todo en regiones con transiciones ecológicas marcadas, donde la vegetación desempeña un papel fundamental en la

estructura y riqueza de las comunidades de aves (Ter Braak y Prentice, 2004; Whittaker, 1967).

El análisis de la diversidad en hábitats sometidos a distintos niveles de alteración ha revelado que las comunidades de aves no siempre responden de manera lineal al grado de perturbación. Se ha observado que los ambientes agrícolas y urbanos, aunque estructuralmente diferentes a los ecosistemas naturales, pueden albergar una diversidad considerable de especies (Schondube et al., 2018). Esto indica que la intensidad del disturbio no es necesariamente el factor determinante de la composición de las comunidades. De hecho, algunos elementos presentes en las áreas urbanizadas —como la heterogeneidad estructural o la disponibilidad de alimento— pueden favorecer la presencia de especies generalistas o adaptables, lo que convierte a estos ambientes en espacios funcionales alternativos para ciertas aves (MacGregor-Fors y Schondube, 2011).

### **2.3. Estado de conservación de las aves**

El aprovechamiento intensivo de los recursos naturales ha generado profundas alteraciones en los ecosistemas, reflejadas en la degradación, fragmentación y pérdida de hábitats. A estos impactos se suman la contaminación, la introducción de especies exóticas y la sobreexplotación, factores que han reducido drásticamente las poblaciones de numerosas especies, llevando algunas incluso a la extinción (Dirzo et al., 2014). La disminución de la biodiversidad no solo implica la pérdida de especies, sino también de funciones ecológicas esenciales como la regulación hídrica, la fertilidad del suelo y la provisión de alimentos y recursos forestales. En consecuencia, la conservación de las aves adquiere una relevancia prioritaria, pues contribuye al mantenimiento de procesos ecológicos fundamentales y al equilibrio ambiental que sostiene la vida humana.

## **2.4. Perturbación ambiental por actividades humanas**

Las actividades humanas han sido responsables de una acelerada pérdida de biodiversidad a escala global. La destrucción y fragmentación de los hábitats, la cacería, la sobreexplotación de especies silvestres y la introducción de organismos exóticos son algunas de las principales causas de este deterioro (Pimm y Brooks, 1997). Se estima que, de continuar las tendencias actuales, entre el 10 % y el 50 % de la biodiversidad mundial podría desaparecer durante el próximo siglo, lo que hace urgente el establecimiento de estrategias de manejo y conservación más efectivas (Mace et al., 2006).

Los estudios sobre diversidad de aves en paisajes modificados han resultado esenciales para entender cómo responden las comunidades a la transformación del entorno (Fuentes-Moreno et al., 2020). La conversión de ecosistemas naturales en monocultivos (como palma de aceite, caña de azúcar o eucalipto) ha demostrado afectar negativamente la estructura y composición de las comunidades, reduciendo la disponibilidad de hábitats adecuados y la oferta de recursos (Yahya et al., 2017; Giubbina et al., 2018). Tales transformaciones limitan la permanencia de especies sensibles a la perturbación y alteran el equilibrio ecológico de las regiones afectadas, lo que resalta la importancia de conservar mosaicos de hábitats heterogéneos que mantengan la funcionalidad ecológica y la conectividad del paisaje.

### **3. ARTÍCULOS**

#### **3.1. Artículo 1: Protected and unprotected areas as refuges for bird conservation in southeastern Coahuila, Mexico**



## Article

# Protected and Unprotected Areas as Refuges for Bird Conservation in Southeastern Coahuila, Mexico

Eber G. Chavez-Lugo <sup>1</sup>, Jorge E. Ramírez-Albores <sup>2,\*</sup>, Marlin Pérez-Suárez <sup>3</sup>, Erika J. Cruz-Bazan <sup>1</sup>, Juan A. Encina-Domínguez <sup>1</sup> and Arturo Cruz-Anaya <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Recursos Naturales Renovables, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo 25315, Coahuila, Mexico; egcl2991@gmail.com (E.G.C.-L.); erikacbazan@gmail.com (E.J.C.-B.); jaencinad@gmail.com (J.A.E.-D.)

<sup>2</sup> Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo 25315, Coahuila, Mexico

<sup>3</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca-Ixtlahuaca Km 15.5, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca de Lerdo 50295, State of Mexico, Mexico; mperezs@uaemex.mx

<sup>4</sup> Independent Researcher, Fray Alfonso de Montesinos 177, Col. Agua Azul, Saltillo 25030, Coahuila, Mexico; arturocruzanaya@gmail.com

\* Correspondence: jorgeramirez22@hotmail.com

**Abstract:** Information gaps about the distribution of species hamper the evaluation of conservation status and decisions on biodiversity conservation, affecting areas with high species richness and endemism to a greater extent. In this context, carrying out biological inventories in protected and unprotected areas is an important tool to fill these gaps by providing data on the composition, richness, and abundance of species in each locality. The southeastern region of Coahuila (northeast Mexico) is a region where biodiversity research is required, as anthropogenic activities pose a serious threat to the avian diversity of this region. The present study aimed to compare the capacity of protected and unprotected areas to support the richness, abundance, and composition of bird species, as well as providing a list of bird species from eight areas located in this region. The point count method was conducted at the sites, and one-way ANOVA was used to determine the effect of area type on species richness and abundance. Based on our field observations, literature review, and digital databases, the avifauna of these eight areas includes 388 species in 63 families. Of these, 5 species are endemic to Mexico, 6 species are of global conservation concern, and 35 species are of regional conservation concern. The species richness found in this study supports the importance of protected and unprotected areas in southeastern Coahuila. The results of our study highlight the need for further assessment to conserve the avian community, especially considering the increasing threats of anthropogenic disturbance, as well as additional studies that will allow for better characterization of the avifauna of the region. This will help to ensure the conservation of the birds currently threatened by strong anthropic pressure due to the conversion of semiarid ecosystems to agricultural and livestock areas as well as increasing urbanization.

**Keywords:** bird richness; conservation; priority areas; Sierra Madre Oriental; semiarid ecosystems



**Citation:** Chavez-Lugo, E.G.; Ramírez-Albores, J.E.; Pérez-Suárez, M.; Cruz-Bazan, E.J.; Encina-Domínguez, J.A.; Cruz-Anaya, A. Protected and Unprotected Areas as Refuges for Bird Conservation in Southeastern Coahuila, Mexico. *Conservation* **2024**, *4*, 560–576. <https://doi.org/10.3390/conservation4040034>

Academic Editor: Antoni Margalida

Received: 27 July 2024

Revised: 26 September 2024

Accepted: 27 September 2024

Published: 30 September 2024



**Copyright:** © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Loss of biodiversity can directly and adversely alter ecosystem processes which, in turn, can affect the resilience of ecosystems to environmental change [1–3]. For instance, human modifications in biodiversity may alter the composition of biological communities through a variety of activities that increase the rates of species invasions [4,5]. The composition and distribution of species are dependent on interactions with abiotic and biotic factors in the environment [6], with losses in biodiversity threatening ecosystems and the species communities living therein [1–3]. Biodiversity conservation is essential

to ensure that ecosystems persist and function properly [7]. Critical transformation of the habitat alters community and species compositions [8–10]. Biodiversity losses can be irreversible; therefore, biodiversity should be monitored and protected [7,11]. In this context, protected areas play a crucial role in conserving biodiversity and maintaining ecological balance [12–14] and are essential for preserving natural heritage, sustaining ecosystem health, and ensuring the well-being of present and future generations [15–18].

An alternative mitigation measure recognizes that isolated protected areas and unprotected areas (e.g., private lands, ejidal lands, waterbodies with natural vegetation remnants) are an effective tool for improving the structural and functional connectivity of a landscape with a poorly connected network of protected areas [19–21], especially under mounting pressures related to land use and climate change [22,23]. These sites, located outside of or surrounding protected areas, are of key importance as they increase the effective habitat size [24] and act as buffers to reduce anthropogenic pressures on protected areas [25–27]. Therefore, identifying and delineating important land surrounding or isolated from protected areas may be critical in developing conservation strategies to sustain biodiversity [13]. Thus, to protect biodiversity and prevent further losses, it is important to determine the composition of species using tools such as species inventories [28,29]. In addition, the lack of baseline information can be problematic in monitoring habitats and species status due to environmental changes, as well as in decision-making for the conservation and protection of critical habitats [30,31]. Thus, the need for further studies to generate robust and complete data, especially in unprotected areas, is warranted [32,33].

One region suffering from the extensive loss and fragmentation of natural habitats is southeastern Coahuila (in northern Mexico). The continuous expansion of the agricultural and urban frontier into natural areas creates the imperative to analyze their impact on bird communities. In this study, we compared the capacity of protected and unprotected areas to support bird species richness, populations, or communities in southeastern Coahuila. We present the results of systematic surveys in important sites for bird conservation and, to obtain a more complete bird checklist, our records were supplemented with biological databases and citizen-science online platforms. Our study is intended to increase understanding of the Coahuila bird community, to aid in semiarid ecosystem conservation, and to determine whether unprotected areas can provide effective frameworks for bird conservation in northern Mexico. Based on the results derived from our study, we addressed the following questions: (i) Are there differences in bird diversity between protected and unprotected areas? and (ii) do information gaps about species distribution hamper conservation-related decisions in these protected and unprotected areas?

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study Area

Coahuila is located in the northeastern region of Mexico, bound by coordinates 24°32'–29°53' N and 99°51'–103°58' W (Figure 1). To the north, it borders the United States of America; to the south, Zacatecas and San Luis Potosí; to the east, Nuevo León; and to the west, Chihuahua and Durango. It is in the region known as the Chihuahuan Desert. Coahuila is approximately 150,656 km<sup>2</sup> in size and represents 7.88% of the area of Mexico [34]. Due to its complex orography and an elevation gradient ranging from 130 to 3470 m, it is home to a great variety of climatic conditions and arid and semiarid ecosystems [34]. The climates are dry, with the driest climates predominating in the eastern part, except for some subhumid areas in the Sierra de Arteaga and towards the center-north of the state [35]. The region is characterized by semiarid ecosystems such as desert scrub, submontane scrub, coniferous forests, and grasslands [36]. The annual temperature ranges from 18° to 22° C with 500 mm–600 mm of precipitation per year [35]. The types of vegetation correspond to Chihuahuan desert scrub, which covers 62% of the region and develops between 800 and 2600 m elevation; submontane scrub, which is distributed in 8.6% of the state, at elevations ranging from 1800 to 2600 m; Tamaulipas scrub, which covers approximately 11% of the region from 240 to 850 m; coniferous forest, which occupies 3%



of the state at elevations above 2400 m; natural grasslands, which covers 8% of the state at elevations between 800 and 2500 m; and, riparian, aquatic, and underwater vegetation, which only covers 0.2% of the state at elevations from 300 to 1400 m [36]. The wide variety of environmental conditions has favored diversity and endemism in several vertebrate groups [37,38].

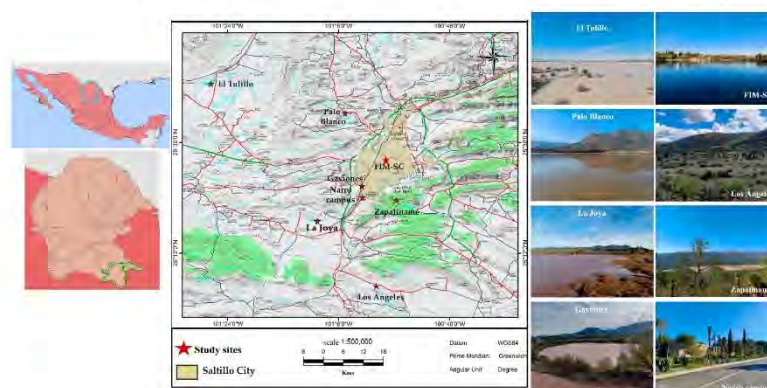


Figure 1. Map showing the location of study sites in southeastern Coahuila, Mexico.

## 2.2. Data Collection

We collected data from 2008 to April 2024 at eight sites located in southeastern Coahuila (Table 1, Figure 1), using a systematic survey from 2020 in two protected areas.

Table 1. Description of the study sites in southeastern Coahuila, Mexico.

| Study Sites   | Area Type   | Coordinates               | Location                            | Elevation (m) | Surface Area (in km <sup>2</sup> ) | Matrix Components  |
|---|-------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------|------------------------------------|--|
| Zapalinamé State Natural Reserve (Zapalinamé)               | Protected   | 25°20'16" N, 100°54'59" W | Saltillo and Arteaga municipalities | 1590 to 3140  | 257.68                             | The mountain area is made up of canyons, with abrupt slopes and rugged topography: arid and semiarid scrub, pine, oyamel and oak forests, and rural zones.   |
| Antonio Narro Autonomous Agrarian University (Narro campus) | Unprotected | 25°21'31" N, 101°01'34" W | Saltillo municipality               | 1740          | 3.11                               | Academic infrastructure with garden areas with native and non-native vegetation, agricultural land with irrigation, stables, charro canvas, nurseries, a small waterbody, a pecan walnut orchard, reforested areas of <i>Pinus cembroides</i> and <i>P. julapensis</i> , a botanical garden with native vegetation representative of the region, and small remnants of semiarid scrub. |
| Francisco I. Madero Sports City (FIM-SC)                    | Unprotected | 25°25'49" N, 100°58'40" W | Saltillo municipality               | 1560          | 0.17                               | The sports area is made up of infrastructure for practicing different sports with garden areas with native and non-native vegetation, recreational areas, and two waterbodies.   |
| La Joya Dam (La Joya)                                       | Unprotected | 25°17'13" N, 101°09'27" W | Saltillo municipality               | 1908          | 0.60                               | The waterbody is surrounded by semiarid scrubland, rural areas, and livestock grazing areas.   |
| Voluntary Nature Reserve El Tullillo (El Tullillo)          | Protected   | 25°39'52" N, 101°26'25" W | General Cepeda municipality         | 1120          | 6.94                               | The waterbody is surrounded by semiarid scrubland, eolic park, rural areas, and livestock grazing areas.   |
| Nazario Ortiz Garza Dam (Gaviones)                          | Unprotected | 25°22'53" N, 101°02'11" W | Saltillo municipality               | 1682          | 0.11                               | The waterbody is surrounded by semiarid scrubland, urban areas, and livestock grazing areas.   |
| Palo Blanco Dam (Palo Blanco)                               | Unprotected | 25°34'41" N, 101°04'52" W | Ramos Arizpe municipality           | 1365          | 0.21                               | The waterbody is surrounded by semiarid scrubland, rural areas, and livestock grazing areas.   |
| Los Angeles Cattle Ranch (Los Angeles)                      | Unprotected | 25°06'34" N, 100°59'17" W | Saltillo municipality               | 2140          | 70.0                               | Native semiarid grasslands with isolated patches of arid scrub and pine and oak forests, and exotic grasslands for livestock use.  |

The areas were Zapalinamé State Natural Reserve (Zapalinamé) and Voluntary Nature Reserve El Tulillo (El Tulillo), as well as six unprotected areas: Los Angeles Cattle Ranch (Los Angeles), La Joya Dam (La Joya), Francisco I. Madero Sports City (FIM-SC), Nazario Ortiz Garza Dam (Gaviones), Palo Blanco Dam (Palo Blanco), and Antonio Narro Agrarian Autonomous University campus Saltillo (Narro campus). These study sites were selected (specifically the sites in non-protected areas) given that different bird population censuses have been carried out in these areas and that they are considered important refuges for various bird populations in the region (eBird, available at <https://ebird.org/home>). For the survey in all sites, we used point counts with a 50 m fixed radius and duration of 15 min to record all contacts [39] along trails or dirt roads (Table S1). Surveys had an approximate minimum duration of three hours each, at a time between 06:00 and 13:00 h.

To identify bird species, we used the specialized guides by Peterson and Chalif [40], Howell and Webb [41], Dunn and Alderfer [42], Kauffman [43], and Sibley [44]. Taxonomy and nomenclature followed the guidelines of the American Ornithologist's Union [45]. Threatened species were determined according to the IUCN Red List criterion (available at <https://www.iucnredlist.org>) [46] and Semarnat [47]. We followed Navarro-Sigüenza and Benítez [48], Howell and Webb [41], and Gonzalez-García and Gómez de Silva [49] in classifying endemic species. The residence species status was based on Howell and Webb [41].

### 2.3. Literature Review

To complement our records, we analyzed the published results of Marsh and Stevenson [50], Burleigh and Lowery [51], van Hoose [52], Friedmann et al. [53,54], Miller et al. [55], Urban [56], Ely [57], Dickerman [58], Garza de León [59,60], Benson et al. [61], Navarro-Sigüenza et al. [62], Contreras-Balderas et al. [37], Garza de León et al. [38], Marines-Gómez and Cárdenas-Ollivier [63], Ruvalcaba-Ortega and Panjabi [64], Lerma-Quiroga et al. [65], and Gámez-Benavides and Ceyca-Contreras [66]; data from the citizen-science online platforms as eBird (available at <https://ebird.org/home>), EncicloVida (available at <https://enciclovida.mx/>), and iNaturalistMX (available at <https://mexico.inaturalist.org/>); data from museum collections, which are available from the online platforms of Global Facility Biodiversity Information (GBIF, available at <http://www.gbif.org/species> (accessed on 6 October 2023)), Biodiversity Informatics Unit of the National Autonomous University of Mexico-Bird National Collection (UNIBIO-UNAM, available at <https://unibio.unam.mx/>), Museum of Comparative Zoology (available at <http://www.mcz.harvard.edu/Departments/Ornithology/BirdSearch.cfm> (accessed on 6 October 2023)), Museum of Vertebrate Zoology (available at <http://elib.cs.berkeley.edu/cgi-bin/getmvzform?class=Aves&query=all> (accessed on 8 October 2023)), Maculay Library (available at <https://www.macaulaylibrary.org/>), VertNet (available at <http://vertnet.org/>), Arctos Collaborative Collection Management Solution (available at [https://arctos.database.museum/search.cfm?guid\\_prefix=MVZ:Bird](https://arctos.database.museum/search.cfm?guid_prefix=MVZ:Bird) (accessed on 8 October 2023)), and University of Michigan Museum of Zoology (available at <https://lsa.umich.edu/ummz/birds/bird-collections.html> (accessed on 8 October 2023)); and data from Maculay Library (available at <https://www.macaulaylibrary.org/>), VertNet (available at <http://vertnet.org/>), Arctos Collaborative Collection Management Solution (available at [https://arctos.database.museum/search.cfm?guid\\_prefix=MVZ:Bird](https://arctos.database.museum/search.cfm?guid_prefix=MVZ:Bird) (accessed on 6 October 2023)), and University of Michigan Museum of Zoology (available at <https://lsa.umich.edu/ummz/birds/bird-collections.html> (accessed on 6 October 2023)); and data from Atlas de las Aves de México [67]. We did not include erroneous or dubious records in the list of birds (i.e., those which, according to the literature, do not correspond to the geographical distribution area of the species).

### 2.4. Data Analysis

To visualize the differences in bird species richness between protected and unprotected areas, we created heatmaps in JMP (available at <https://www.jmp.com/>). The effects of area type (protected and unprotected areas) on species richness and abundance



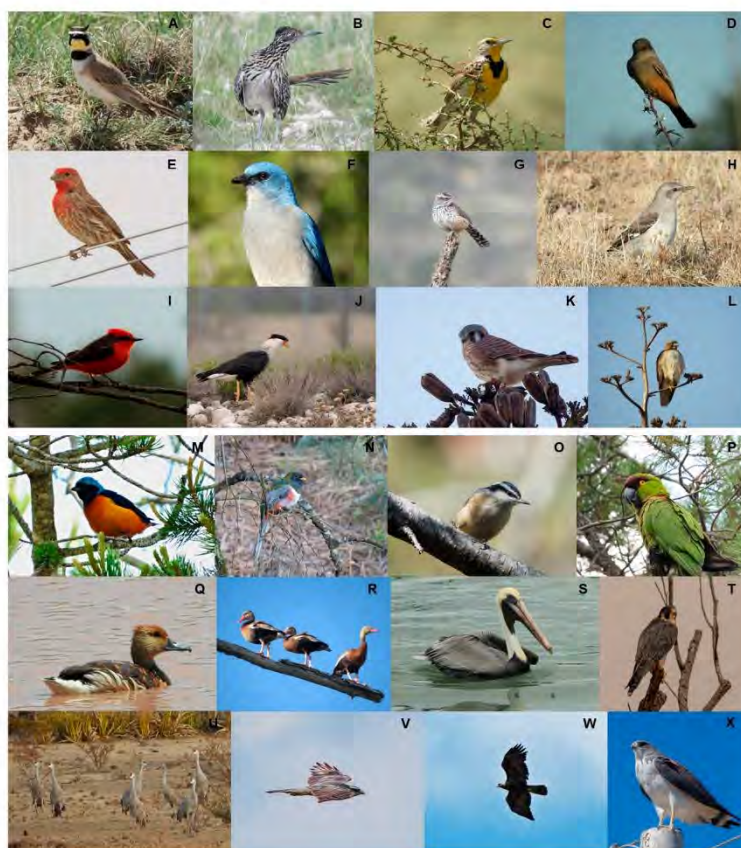
were analyzed using a paired sample *t*-test and one-way ANOVA to analyze population differences between areas. Differences were considered statistically significant at the 5% level. The relative abundance (RA) of bird species was determined using RA percentages ( $RA\% = n/N \times 100$ , where *n* is the number of individuals of a particular species and *N* is the total number of individuals of the species). The statistical analysis was performed using JMP (available at <https://www.jmp.com/>), JASP v.0.19 (available at <https://jasp-stats.org/>), and RStudio [68]. We created heatmaps using ggplot2 [69] in RStudio [68] to visualize the differences in bird species composition using the Bray–Curtis similarity index. The cluster analysis was based on the bird species richness, not including the number of recordings and abundance of the species, using BiodiversityPro [70].

### 3. Results

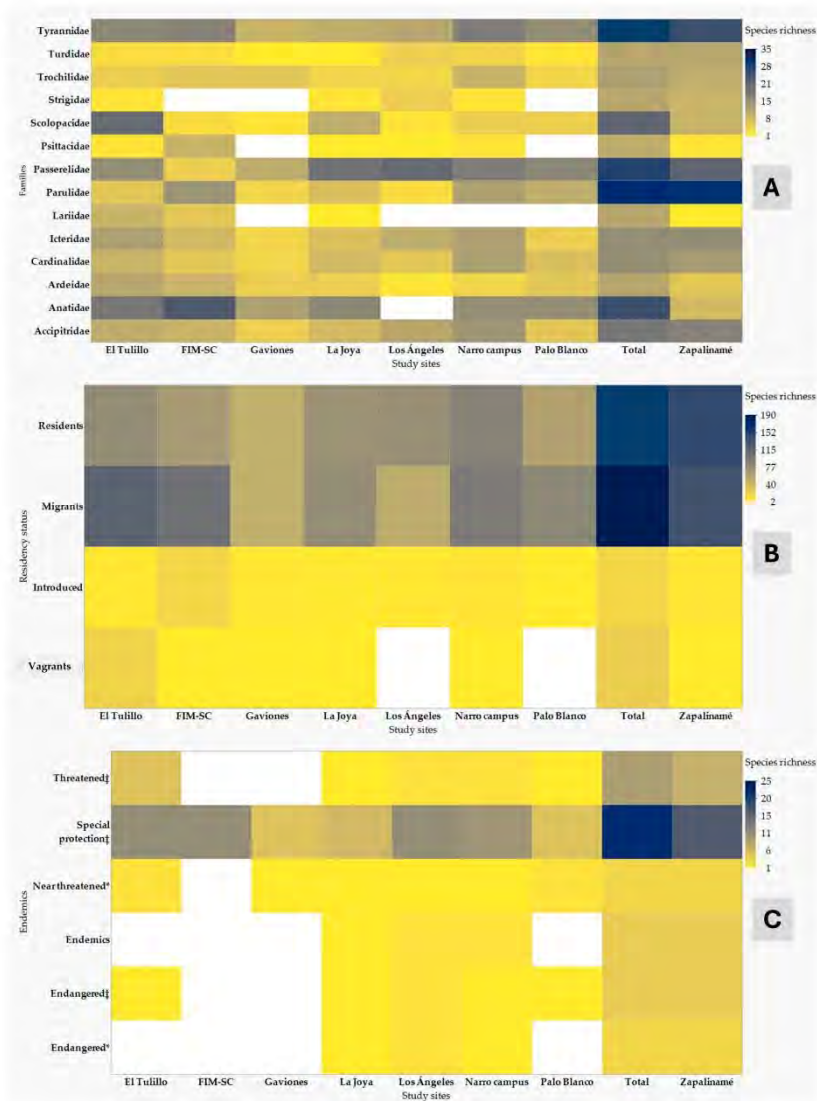
We recorded a total of 388 bird species from 63 families and 23 orders for the eight sites in southeastern Coahuila, Mexico (Table S2, Figure 2). Of the total number of bird species recorded, 299 (~77%) were confirmed by field monitoring carried out by some of the authors, and the rest of the species (89) were identified from records from citizen-science databases, museum collection databases, and scientific bibliographic sources (Table S2). The highest species richness and abundance was recorded in protected areas (353; 91%), where Zapalinamé had the greatest species richness and abundance, with 290 species, followed by El Tulillo (228 species); meanwhile, in the unprotected areas, we recorded 307 species in total (79.1%), with Narro campus (197 species) and FIM-SC (195 species) having the highest species richness and abundance, followed by La Joya (161 species), Palo Blanco (149 species), Los Angeles (136 species), and Gaviones (109 species) (Table S2). Passeriformes was the most representative order (51% of total species), with the richest families being Parulidae (*N* = 32), Tyrannidae (*N* = 29), and Passerilidae (*N* = 28) (Figure 3A). Anatidae (*N* = 27) and Accipitridae (*N* = 19) were the richest families among the non-Passerines (Figure 3A). Most families had higher or similar species richness in protected areas than in unprotected areas, with only Anatidae and Psittacidae having higher species richness in unprotected areas than protected areas (Figure 3A). According to their residency status, 157 species (40.4%) are residents, 189 (48.7%) are migrants, 17 (4.4%) are introduced, and 25 (6.4%) are vagrants in the region (Table S2, Figure 3B). Among the migrant species, 21 are summer residents, 105 are winter visitors, and 63 are transients (Table S2, Figure 3B).

A higher richness of resident, migratory, and vagrant species was recorded in protected areas than in non-protected areas, with only a higher richness of introduced species being recorded in non-protected areas than in protected areas. This bird community is composed of five endemic species (~1.5%) (Table S2). Among the endemic species, five species were recorded in Zapalinamé, three species in the Narro campus and Los Angeles, respectively, and one in La Joya, FIM-SC, Gaviones, Palo Blanco, and El Tulillo (Figure 3C); these species included Mexican Duck (*Anas diazi*), Maroon-fronted Parrot (*Rhynchopsitta terrisi*), Aztec Thrush (*Ridgwaya pinicola*), Rufous-capped Brushfinch (*Atlapetes pileatus*), Hooded Yellowthroat (*Geothlypis nelsoni*), and Worthen's Sparrow (*Spizella wortheni*) (Table S2). Six species are threatened, according to the IUCN Red List of Threatened Species (Figure 3C): three are Near Threatened—Loggerhead Shrike (*Lanius ludovicianus*), Black-capped Vireo (*Vireo atricapilla*), and Spotted Owl (*Strix occidentalis*)—and three are Endangered—*R. terrisi*, *S. wortheni*, and Golden-cheeked Warbler (*Setophaga chrysoparia*) (Table S2). Meanwhile, at the regional level, we found 37 species within NOM-059-Semarnat-2010 (Table S2, Figure 3C): 23 in under special protection, 10 threatened, and 4 endangered—Wild Turkey (*Meleagris gallopavo*), *R. terrisi*, *S. chrysoparia*, and *S. wortheni*. Greater species richness (39 species, 95%)—both endemic and with some vulnerability status—was recorded in protected areas than in unprotected areas (26 species, 63.4%). Only *A. pileatus* (endemic) and Short-eared Owl (*Asio flammeus*, special protection) were recorded in the unprotected areas. Species such as *A. diazi* and *R. terrisi* had a higher number of individual records in protected areas than in unprotected areas (Figure 4); however, *S. wortheni* and *L. ludovicianus* had a higher number of records in unprotected areas than in protected areas. Other species

such as *A. chrysaetos* had a similar representation in terms of the number of detections in both (Figure 4).

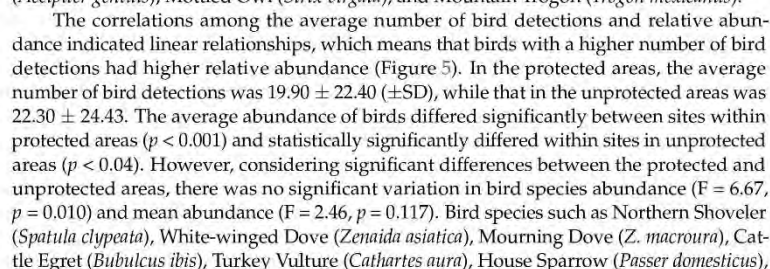


**Figure 2.** Some bird species recorded in southeastern Coahuila: (A) Horned Lark (*Eremophila alpestris*), (B) Greater Roadrunner (*Geococcyx californianus*), (C) Western Meadowlark (*Sturnella neglecta*), (D) Say's Phoebe (*Sayornis phoebe*), (E) House finch (*Haemorhous mexicanus*), (F) Mexican Jay (*Aphelocoma wollweberi*), (G) Cactus Wren (*Campylorhynchus brunneicapillus*), (H) Northern Mockingbird (*Mimus polyglottos*), (I) Vermilion Flycatcher (*Pyrocephalus rubinus*), (J) Crested Caracara (*Caracara plancus*), (K) American Kestrel (*Falco sparverius*), (L) Red-tailed Hawk (*Buteo jamaicensis*), (M) Elegant Euphonia (*Chlorophonia elegantissima*), (N) Mountain Trogon (*Trogon mexicanus*), (O) Red-breasted Nuthatch (*Sitta canadensis*), (P) Maroon-fronted Parrot (*Rhynchopsitta terrisi*), (Q) Fulvous Whistling-Duck (*Dendrocygna bicolor*), (R) Black-bellied Whistling-Duck (*Dendrocygna autumnalis*), (S) Brown Pelican (*Pelecanus occidentalis*), (T) Peregrine Falcon (*Falco peregrinus*), (U) Sandhill Crane (*Antigone canadensis*), (V) Northern Goshawk (*Accipiter gentilis*), (W) Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) and (X) White-tailed Hawk (*Geranoaetus albicaudatus*) (Photos: (A–F,H,I,L,S,W) by E.G.C.-L.; (J) by Perla Rodríguez; (K,T,X) by Pedro Guevara; (G,R) by E.J.C.-B.; (M–P,U) by A.C.-A.; (Q) by Juan Manuel Ramírez; and (V) by Gabo Vessi).



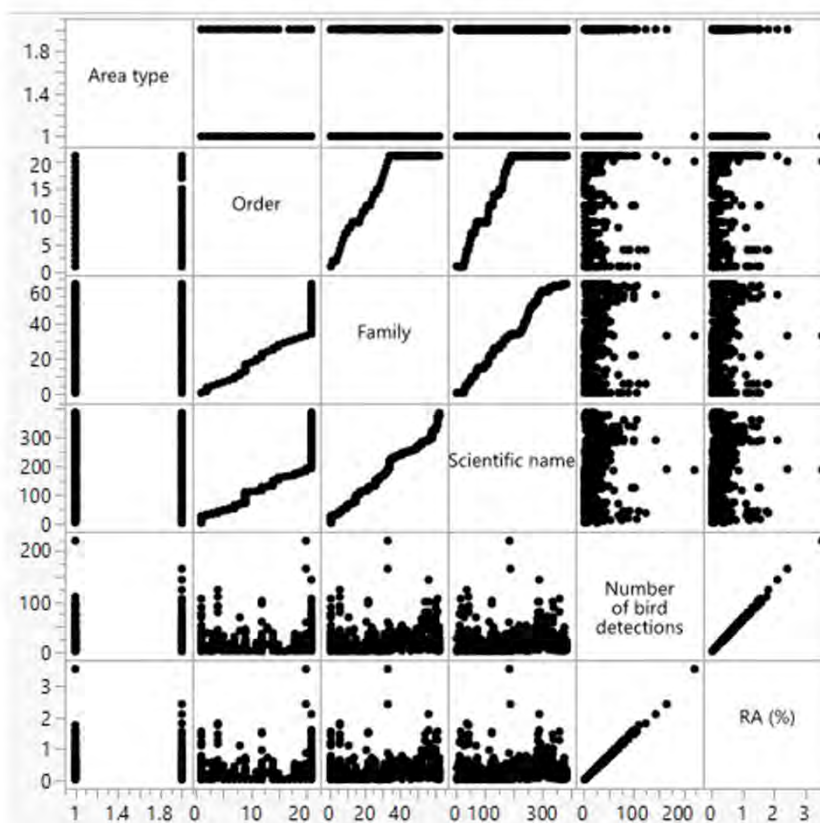
**Figure 3.** Bird species composition (A), families with the highest bird species richness; (B), residency status; (C), vulnerability status) in the study sites in southeastern Coahuila, Mexico. Residency status was based on Howell and Webb [28]; for vulnerability status: endemics was based in Navarro-Sigüenza and Benítez [34], Howell and Webb [28], and Gonzalez-García and Gómez de Silva [35]; Endangered \* and Near threatened \* were determined according to the IUCN Red List criterion [46] (available at <https://www.iucnredlist.org>), and threatened ‡, endangered ‡, and special protection ‡ were determined according to Semarnat [33].





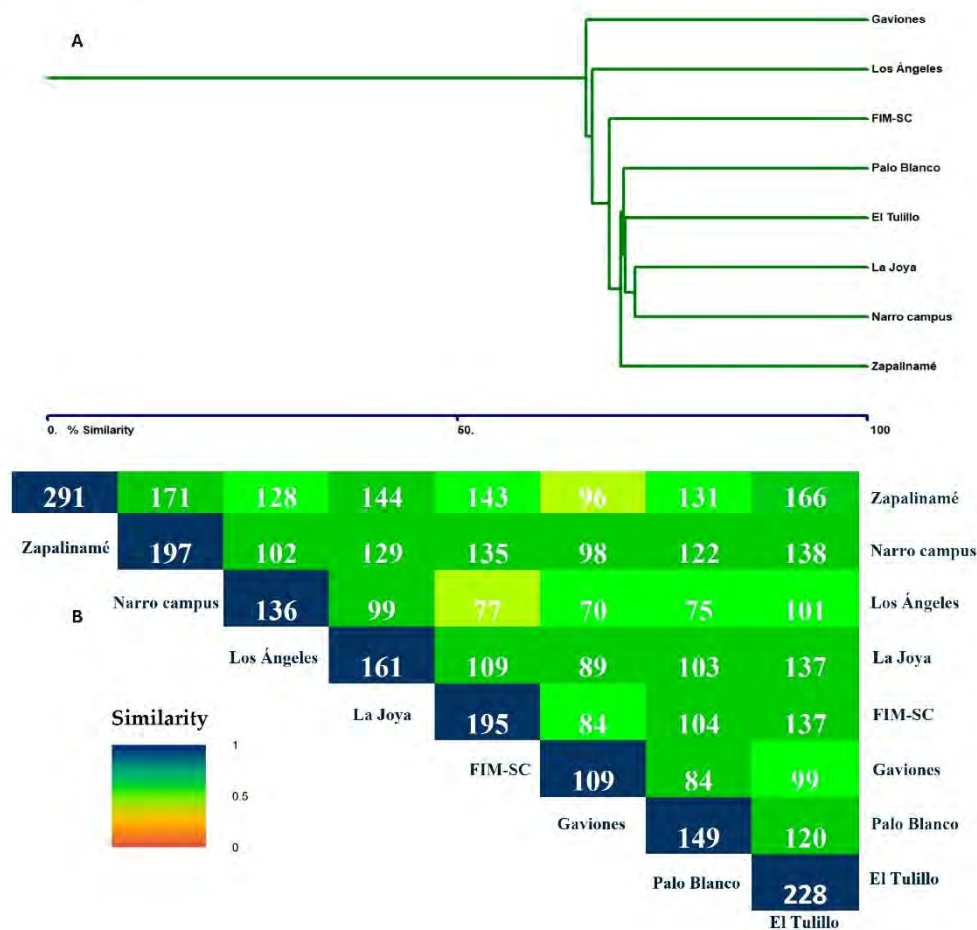


House Finch (*Haemorrhous mexicanus*), and Yellow-rumped Warbler (*Setophaga coronata*) had the highest relative abundance in protected and unprotected areas, while 54 bird species had the lowest relative abundance in both areas.



**Figure 5.** Correlations among the metrics of six variables between protected and unprotected areas in southeastern Coahuila, Mexico.

Cluster analysis revealed that birds were homogenously distributed in three separate clusters of sites (Figure 6A). The study sites moderately to strongly correlated with species diversity and species composition in the respective groups. In addition, the cluster analysis showed that avifauna were discretely distributed and had similar bird species composition in the sites within the protected and unprotected areas (Figure 6A,B); that is, the species composition varied slightly between study sites (between 70 and 171 shared species). Bird species composition in the Narro campus–La Joya (71.6%), Narro campus–Palo Blanco (70.3%), and La Joya–El Tullillo (70.4%) comparisons were more similar, compared to other sites (Figure 6A,B). Protected areas such as Zapalinamé and El Tullillo shared a high number of species (166); however, Zapalinamé also shared a high number of species with sites in unprotected areas such as Narro campus (171) and Los Angeles (128), which may be due to their proximity, as occurred with El Tullillo and Palo Blanco (120).



**Figure 6.** Cluster analysis (A) and heatmap (B) showing the number of shared species between study sites in southeastern Coahuila, Mexico. The color of the correlation between study sites represents the number of shared species. The diagonal line represents the total number of species recorded at each study site.

#### 4. Discussion

The number of bird species recorded in these eight sites represents ~90% of all known Coahuila avifauna [37,38,60] and 33.5% of the species recorded from the Mexican territory [71]. Bird diversity was higher than that documented for some arid and semi-arid ecosystems such as Sierra del Carmen (301 species) [72], Janos Biosphere Reserve (227 species) [73], and Mapimi Biosphere Reserve (224 species) [74,75]. Our results support the idea that protected and unprotected areas represent refuges that are important for bird conservation in the region. The high bird richness in these eight sites in southeastern Coahuila can be attributed to the semiarid range of habitats such as scrubs-forest ecotone, inland waterbodies, natural grasslands, and original forest patches, leading to the high

heterogeneity of environments inside and around the Zapalinamé mountains, as well as at the confluence of migratory routes in the Sierra Madre Oriental [62,76]. The high bird species richness and abundance found in unprotected areas can be attributed to such heterogeneous environments, which provide food and refuge for different bird species.

This result agrees with several studies demonstrating that human-disturbed areas provide heterogeneous habitats which are attractive to various bird populations [77,78]. Unfortunately, 95% of natural grasslands and 80% of shrublands are overgrazed [36,79,80]. The continuous degradation of semiarid ecosystems in the region due to anthropogenic activities and the absence of natural corridors to protect these environments threatens the viability of bird populations [81–83], especially species with restricted ranges and small population sizes. This idea has been supported by various studies that recognize the importance of areas outside and surrounding protected areas for species conservation [84–86]. According to Fariás-Rivero et al. [87] and Tai et al. [88], birds are sensitive to environmental disturbances and can be found at different trophic levels. Thus, as the patterns observed in bird communities can predict the impact that past land use had on natural environments, they can be used as bioindicators of these environmental changes [89,90]. In this context, we found 41 species with vulnerable status and 5 with restricted range (i.e., endemics), the latter being more sensitive to anthropogenic threats and natural changes, which increases their risk of extinction in the region [49], especially in countries with emerging economies such as Mexico.

One of the most emblematic bird species is *Aquila chrysaetos*, which has undergone declines in Mexico mainly due to habitat loss, hunting, and pesticide poisoning [91,92]. *Aquila chrysaetos* inhabits grasslands and scrublands but has adapted to agricultural and livestock areas, albeit in low densities [93–95]. For example, this raptor makes use of places such as Zapalinamé and Los Angeles as areas for movement, feeding, and nesting [93]. Other sites are also important for conservation; *R. terrisi* is an endemic bird that makes use of sites such as Zapalinamé as a refuge, feeding, and nesting area [96]. *Spizella wortheni* is another endemic bird that, like grassland birds, makes use of unprotected areas like Los Angeles for nesting and feeding [64,97,98]. Meanwhile, sites such as Narro campus and FIM-SC are used as passage and refuge sites for different birds, and waterbodies (dams such as El Tulillo, Gaviones and La Joya) are used as refuge and feeding areas for many wintering aquatic birds such as ducks and shorebirds.

We added 20 species that had not been previously recorded in the region or in the state [37,38,60], as they are species with coastal affinity but which, due to some natural phenomena (e.g., hurricane, fires), were recorded mainly in the waterbodies of this study region. These results suggest that the core avian assemblage of southeastern Coahuila region is likely very well established by now and that future records will likely result from more nomadic aquatic species, transient migrants and possibly some widespread but uncommon species that have not yet been recorded. The occurrence of other bird species could be attributed to the high heterogeneity of local aquatic environments in protected and unprotected areas in the region and habitat selection, combined with seasonality and the absence of other locations in the surroundings [99,100]. This great variety of habitats in protected and unprotected areas can also promote the high diversity of migratory birds in southeastern Coahuila [62,76].

Southeastern Coahuila has been impacted by cattle grazing, irregular land occupation, dam construction, urban and industrial zones, and unsustainable use of the native forest [36,79]. As a result, the areas of native vegetation are the most impacted habitats in the region, which have become isolated small patches. These large alterations in land cover reduce the number of habitats and change their configuration, affecting biodiversity and, consequently, leading to species extinction [89,101]. The isolation negatively affects the persistence of species and decreases individual movements among habitat patches outside the protected areas [102,103]. In fact, small and isolated forest patches are strongly related to a decrease in animal population size, an interruption of gene flow, and the probability of local extinctions [104], especially when considering sensitive bird species [105].



Besides the anthropogenic pressures observed within this region, our results demonstrate that protected and unprotected areas still harbor valuable avian diversity, with the presence of range-restricted, threatened, and migratory species, highlighting their importance for bird conservation. Considering the implications of bird species to forest health and dynamics, proper conservation management and mitigation strategies should be implemented in protected and unprotected areas to conserve bird communities in southeastern Coahuila, especially in non-priority areas which are deforested and highly disturbed by mining [36,79]. Livestock pressure and anthropogenic disturbances are the prominent threats to birds in the study area, as the study sites are located near to human settlements. However, we emphasize the need for effective management inside, surrounding, and outside the boundaries of the protected areas, as pressures inside the reserve usually reflect those occurring outside it [106,107]. The establishment of corridors with native vegetation could facilitate recolonizations and community regeneration [108]. Thus, the maintenance, management, and expansion of protected area networks continue to be some of the most important tools for biodiversity conservation [106].

## 5. Conclusions

The increasing human population, improper waste disposal activities, urban pollution, and ecosystem fragmentation are greatly affecting birds [109]. Despite being under high anthropogenic pressure, our study demonstrated that the bird species richness in southeastern Coahuila is related to the rich mix of the semi-arid vegetation mosaic and other components of the landscape associated with human activities (agricultural and livestock land). Therefore, in addition to what is included in the regional protected and unprotected areas system, it is recommended that conservation strategies include participation of the owners of the surrounding lands to integrate biological corridors which include the various types of vegetation along the elevational gradient and relate to the protected area. Conservation of native habitats along the gradient of perturbation is paramount to ensure the conservation of most bird species, as well as many other associated flora and fauna species. To achieve the effective conservation of bird diversity in the protected areas and surrounding sites, it is thus necessary to integrate a connectivity scheme between the different plan associations along the gradient. This would not only be for the conservation of species but also for the maintenance of ecological functions, such as water collection, reductions in erosion, and the mitigation of climate change. A design with these characteristics could deliver a range of benefits to the inhabitants of the Saltillo, Arteaga, General Cepeda, and Ramos Arizpe municipalities, along with other surrounding areas.

**Supplementary Materials:** The following supporting information can be downloaded at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/conservation4040034/s1>: Table S1: Detailed information on the surveys in the study sites of southeastern Coahuila, Mexico; and Table S2: Searchable pdf file of checklist of bird species of eight study sites in southeastern Coahuila, Mexico. This checklist contains residency, conservation status (IUCN, NOM-059), and endemic.

**Author Contributions:** E.G.C.-L. and J.E.R.-A. conceptualized and designed the study. E.G.C.-L., E.J.C.-B., J.E.R.-A. and A.C.-A. collected data in the field and identified the specimens. J.E.R.-A. and E.G.C.-L. carried out data compilation and analysis. The first draft of the manuscript was written by J.E.R.-A. and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by the Institutional Research Funds for projects 25311-425202001-2391, 38111-425104001-2178, and 38111-425104001-2389 of the Antonio Narro Agrarian Autonomous University and to the postgraduate scholarships (758841, 763362) from the CONAHCYT.

**Data Availability Statement:** All data are available upon request.

**Acknowledgments:** Thanks to PROFAUNA for the logistical support, especially Sergio Marines and Juan Cárdenas. Thanks to Ricardo Vásquez Aldape, Pedro Carrillo López, Marco Villarreal, and all the staff in charge of the Los Ángeles Cattle Ranch for the logistical support and the facilities provided. Thanks to Alejandro Gordillo and Adolfo G. Navarro-Sigüenza for providing us with access to the

data from the National Atlas of the Birds of Mexico. Thanks to the CONAFOR Environmental Services Program. Special thanks to Daniel Garza for providing us some bird species records. Special thanks to Perla Rodríguez, Pedro Guevara, Juan Manuel Ramírez, and Gabo Versi for providing us with the photos of Crested Caracara, American Krestel, Fulvous Whistling Duck, and Northern Goshawk, respectively. Thanks to Jerome Scorer for proofreading the manuscript text.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that they have no conflicts of interest.

## References

- Correia, A.M.; Lopes, L.F. Revisiting Biodiversity and Ecosystem Functioning through the Lens of Complex Adaptive Systems. *Diversity* **2023**, *15*, 895. [\[CrossRef\]](#)
- Mantyka-Pringle, C.; Visconti, P.; Di Marco, M.; Martin, T.G.; Rondinini, C.; Rhodes, J.R. Climate change modifies risk of global biodiversity loss due to land-cover change. *Biol. Conserv.* **2015**, *187*, 103–111. [\[CrossRef\]](#)
- Weiskopf, S.R.; Rubenstein, M.A.; Crozier, L.G.; Gaichas, S.; Griffis, R.; Halofsky, J.E.; Hyde, K.J.W.; Morelli, T.L.; Morisette, J.T.; Muñoz, R.C.; et al. Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystems services, and natural resource management in the United States. *Sci. Total Environ.* **2020**, *733*, 137782. [\[CrossRef\]](#)
- Hooper, D.U.; Chapin, F.S., III; Ewel, J.J.; Hector, A.; Inchausti, P.; Lavorel, S.; Lawton, J.H.; Lodge, D.M.; Loreau, M.; Naeem, S.; et al. Effects of Biodiversity on Ecosystem Functioning: A Consensus of Current Knowledge. *Ecol. Monogr.* **2005**, *75*, 3–35. [\[CrossRef\]](#)
- McKinney, M.L. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosyst.* **2008**, *11*, 161–176. [\[CrossRef\]](#)
- Potts, L.J.; Gantz, J.D.; Kawarasaki, Y.; Philip, B.N.; Gonthier, D.J.; Law, A.D.; Moe, L.; Unrine, J.M.; McCulley, R.L.; Lee, R.E.; et al. Environmental factors influencing fine-scale distribution of Antarctica's only endemic insects. *Oecologia* **2020**, *194*, 529–539. [\[CrossRef\]](#)
- Chapin, F.S., III; Zavaleta, E.S.; Eviner, V.T.; Naylor, R.L.; Vitousek, P.M.; Reynolds, H.L.; Hooper, D.U.; Lavorel, S.; Sala, O.E.; Hobbie, S.E.; et al. Consequences of changing biodiversity. *Nature* **2000**, *405*, 234–242. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Dixo, M.; Metzger, J.P.; Morgante, J.S.; Zamudio, K.R. Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest. *Biol. Conserv.* **2009**, *142*, 1560–1569. [\[CrossRef\]](#)
- MacGregor-Fors, I.M.; Ortega-Álvarez, R. *Ecología Urbana: Experiencias en América Latina*; Instituto de Ecología A.C.: Ciudad de México, México, 2013.
- Ricketts, T.H. The matrix matters: Effective isolation in fragmented landscapes. *Am. Nat.* **2001**, *158*, 87–99. [\[CrossRef\]](#)
- Isbell, F.; Balvanera, P.; Mori, A.S.; He, J.-S.; Bullock, J.M.; Regmi, G.R.; Seabloom, E.W.; Ferrier, S.; Sala, O.E.; Guerrero-Ramírez, N.R.; et al. Expert perspectives on global biodiversity loss and its drivers and impacts on people. *Front. Ecol. Environ.* **2023**, *21*, 94–103. [\[CrossRef\]](#)
- Gray, C.L.; Hill, S.L.L.; Newbold, T.; Hudson, L.N.; Börger, L.; Contu, S.; Hoskins, A.J.; Ferrier, S.; Purvis, A.; Scharlemann, J.P.W. Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. *Nat. Commun.* **2016**, *7*, 12306. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Belote, R.T.; Wilson, M.B. Delineating greater ecosystems around protected areas to guide conservation. *Conserv. Sci. Pract.* **2020**, *2*, e196. [\[CrossRef\]](#)
- Pacifici, M.; Di Marco, M.; Watson, J.E.M. Protected areas are now the last strongholds for many imperiled mammal species. *Conserv. Lett.* **2020**, *13*, e12748. [\[CrossRef\]](#)
- Jenkins, C.N.; Joppa, L. Expansion of the global terrestrial protected area system. *Biol. Conserv.* **2009**, *142*, 2166–2174. [\[CrossRef\]](#)
- Joppa, L.N.; Pfaff, A. High and far: Biases in the location of protected areas. *PLoS ONE* **2009**, *4*, e8273. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Geldmann, J.; Barnes, M.; Coad, L.; Craigie, I.D.; Hockings, M.; Burgess, N.D. Effectiveness of terrestrial protected areas in reducing habitat loss and population declines. *Biol. Conserv.* **2013**, *161*, 230–238. [\[CrossRef\]](#)
- Watson, J.E.M.; Dudley, N.; Segan, D.B.; Hockings, M. The performance and potential of protected areas. *Nature* **2014**, *515*, 67–73. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Noss, R.F.; Dobson, A.P.; Baldwin, R. Bolder thinking for conservation. *Conserv. Biol.* **2012**, *26*, 1–4. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Lindenmayer, D. Small patches make critical contributions to biodiversity conservation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2018**, *116*, 201820169. [\[CrossRef\]](#)
- Magioli, M.; Rios, E.; Benchimol, M.; Casanova, D.C.; Ferreira, A.S.; Rocha, J.; Rodrigues, F.; Pinto, M.; Narezi, G.; Crepaldi, M.O.; et al. The role of protected and unprotected forest remnants for mammal conservation in a megadiverse Neotropical hotspot. *Biol. Conserv.* **2021**, *259*, 109173. [\[CrossRef\]](#)
- McGuire, J.L.; Lawler, L.L.; McRae, B.H.; Nuñez, T.A.; Theobald, D.M. Achieving climate connectivity in a fragmented landscape. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2016**, *113*, 7195–7200. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Belote, R.T.; Dietz, M.S.; Jenkins, C.N.; McKinley, P.S.; Irwin, G.H.; Fullman, T.J.; Leppi, J.C.; Aplet, G.H. Wild, connected, and diverse: Building a more resilient system of protected areas. *Ecol. Appl.* **2017**, *27*, 1050–1056. [\[CrossRef\]](#)
- Pimm, S.L.; Jones, H.L.; Diamond, J.M. On the risk of extinction. *Am. Nat.* **1988**, *132*, 757–785. [\[CrossRef\]](#)



25. Laurance, W.F.; Lovejoy, T.E.; Vasconcelos, H.L.; Bruna, E.M.; Didham, R.K.; Stouffer, P.C.; Gascon, C.; Bierregaard, R.O.; Laurance, S.G.; Sampaio, E. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: A 22-year investigation. *Conserv. Biol.* **2002**, *16*, 605–618. [CrossRef]
26. Haavik, A.; Dale, S. Are reserves enough? Value of protected areas for boreal forest birds in southeastern Norway. *Ann. Zool. Fenn.* **2012**, *49*, 69–80. [CrossRef]
27. Jones, K.R.; Venter, O.; Fuller, R.A.; Allan, J.R.; Maxwell, S.L.; Negret, P.J.; Watson, J.E.M. One-third of global protected land is under intense human pressure. *Science* **2018**, *360*, 788–791. [CrossRef]
28. Rico-Sánchez, A.E.; Sundermann, A.; López-López, E.; Torres-Olvera, M.J.; Mueller, S.A.; Haubrock, P.J. Biological diversity in protected areas: Not yet known but already threatened. *Glob. Ecol. Conserv.* **2020**, *22*, e01006. [CrossRef]
29. Nuñez-Penichet, C.; Cobos, M.E.; Soberón, J.; Gueta, T.; Barve, N.; Barve, V.; Navarro-Sigüenza, A.G.; Peterson, A.T. Selection of sampling sites for biodiversity inventory: Effects of environmental and geographical considerations. *Methods Ecol. Evol.* **2022**, *13*, 1595–1607. [CrossRef]
30. Laurila-Pant, M.; Lehtikoinen, A.; Uusitalo, L.; Venesjärvi, R. How to value biodiversity in environmental management. *Ecol. Indic.* **2015**, *55*, 1–11. [CrossRef]
31. Wetzel, F.T.; Bingham, H.C.; Groom, Q.; Haase, P.; Kõljalg, U.; Kuhlmann, M.; Martin, C.S.; Penev, L.; Robertson, T.; Saaremaa, H.; et al. Unlocking biodiversity data: Prioritization and filling the gaps in biodiversity observation data in Europe. *Biol. Conserv.* **2018**, *221*, 78–85. [CrossRef]
32. Andam, K.S.; Ferraro, P.J.; Hanauer, M.M. The effects of protected area systems on ecosystem restoration: A quasi-experimental design to estimate the impact of Costa Rica's protected area system on forest regrowth. *Conserv. Lett.* **2013**, *6*, 317–323. [CrossRef]
33. Geldmann, J.; Manica, A.; Burgess, N.D.; Balmford, A. A global-level assessment of the effectiveness of protected area at resisting anthropogenic pressures. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2019**, *116*, 23209–23215. [CrossRef]
34. González-Aldaco, S.X. Análisis espacial y temporal de la cobertura forestal. In *La Biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado Vol. I*; Conabio; Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, Comps., Conabio, Gobierno del Estado de Coahuila: Ciudad de México, México, 2017; pp. 113–122.
35. Mendoza-Hernández, J.M.; González-Aldaco, S.X. Clima. In *La Biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado Vol. I*; Conabio; Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, Comps., Conabio, Gobierno del Estado de Coahuila: Ciudad de México, México, 2018; pp. 45–54.
36. Encina-Domínguez, J.A.; Valdés-Reyna, J.; Villarreal-Quintanilla, J.A. Tipos de vegetación y comunidades vegetales. In *La Biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado Vol. II*; Conabio; Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, Comps., Conabio, Gobierno del Estado de Coahuila: Ciudad de México, México, 2018; pp. 89–110.
37. Contreras-Balderas, A.J.; Cotera-Correa, M.; García-Salas, J.A.; Guerrero-Madriles, M.; López de Aquino, S.; Heredia-Pineda, F.J.; Lozano-Cavazos, E.A.; Morán-Rosales, F.I.; Scott-Morales, L.M. Aves. In *La Biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado Vol. II*; Conabio; Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, Comps., Conabio, Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza: Ciudad de México, México, 2018; pp. 361–374.
38. Garza de León, A.; Moran, I.; Valdés, F.; Tinajero, R. Coahuila. In *Avifaunas Estatales*; Ortiz-Pulido, R., Navarro-Sigüenza, A.G., Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O., Peterson, A.T., Eds.; Cipamex: Pachuca, México, 2007; pp. 98–136.
39. Blondel, J.; Ferry, C.; Frochot, B. La méthode des indices ponctuels d'abondance (I.P.A.) ou des relevés d'avifaune par "stations d'écoute". *Alauda* **1970**, *38*, 55–71.
40. Peterson, R.T.; Chalif, E.L. *Aves de México, Guía de Campo*; Edit. Diana: México, D.F., México, 1989.
41. Howell, S.N.G.; Webb, S. *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*; Oxford University Press: New York, NY, USA, 1995.
42. Dunn, J.L.; Alderfer, J. *Field Guide to the Birds of North America*; National Geographic Society: Washington, DC, USA, 2008.
43. Kauffman, K. *Kaufmann Field Guide to Birds of North America*; Houghton Mifflin Co.: Boston, MA, USA, 2005.
44. Sibley, D.A. *The Sibley Guide to Birds*, 2nd ed.; Knopf: New York, NY, USA, 2014.
45. Chesser, R.T.; Billerman, S.M.; Burns, K.J.; Cicero, C.; Dunn, J.L.; Hernández-Baños, B.E.; Jiménez, R.A.; Johnson, O.; Kratter, A.W.; Mason, N.A.; et al. Checklist of North American Birds (online). American Ornithological Society. 2024. Available online: <https://checklist.americanornithology.org/taxa/> (accessed on 22 July 2024).
46. IUCN (International Union for Conservation of Nature). Red List of Threatened Species-International Union for Conservation of Nature. 2024. Available online: <https://www.iucnredlist.org/> (accessed on 22 July 2024).
47. Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010; Protección Ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres Categorías de Riesgo y Especificaciones Para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo*; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Ciudad de México, México, 2010; Diario Oficial de la Federación 30 de diciembre de 2010.
48. Navarro-Sigüenza, A.G.; Benítez, H. Patrones de riqueza y endemismo de las aves. *Ciencias* **1993**, *7*, 45–54.
49. González-García, F.; Gómez de Silva, H. Especies endémicas: Riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. In *Conservación de aves. Experiencias en México*; Gómez de Silva, H., Oliveras de Ita, A., Eds.; Cipamex; Conabio; NFWF: Ciudad de México, México, 2003; pp. 150–154.
50. Marsh, E.G.; Stevenson, J.O. Birds records from northern Coahuila (General notes). *Auk* **1938**, *55*, 286–287.

51. Burleigh, T.D.; Lowery, G.H. Notes on the Birds of Southeastern Coahuila. *Occas. Pap. Mus. Zool. La. State Univ.* **1942**, *12*, 185–212. [\[CrossRef\]](#)
52. van Hoose, S.G. Distributional and breeding records of some birds from Coahuila (General Notes). *Wilson Bull.* **1955**, *67*, 302–303.
53. Friedmann, H.; Griscom, L.; Moore, R.T. Distributional check list of the birds of México Parts I. *Pac. Coast Avifauna* **1950**, *29*, 9–183.
54. Friedmann, H.; Griscom, L.; Moore, R.T. Distributional check list of the birds of México Parts II. *Pac. Coast Avifauna* **1950**, *29*, 1–204.
55. Miller, A.H.; Friedmann, H.; Griscom, L.; Moore, R.T. Distributional checklist of the birds of México Parts II. *Pac. Coast Avifauna* **1957**, *33*, 1–436.
56. Urban, E.K. Birds from Coahuila, México. *Univ. Kans. Publ. Mus. Nat. Hist.* **1959**, *11*, 443–516.
57. Ely, C.A. The birds of southeastern Coahuila, Mexico. *Condor* **1962**, *64*, 34–39. [\[CrossRef\]](#)
58. Dickerman, R.W. A critique of birds from Coahuila, Mexico. *Condor* **1963**, *65*, 330–332.
59. Garza de León, A. Unusual records from Coahuila, Mexico. *Condor* **1987**, *89*, 672–673. [\[CrossRef\]](#)
60. Garza de León, A. *Aves de Coahuila, Guía de Campo*; Museo de las Aves de México: Saltillo, México, 2003.
61. Benson, K.L.P.; Benson, R.H.; Garza, A. Additions to the avifauna of Coahuila, México. *Bull. Tex. Ornithol. Soc.* **1989**, *22*, 22–23.
62. Navarro-Sigüenza, A.G.; Garza-Torres, H.A.; López de Aquino, S.; Rojas-Soto, O.R.; Sánchez-González, L.A. Patrones bio-geográficos de la avifauna. In *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*; Luna, I., Morrone, J.J., Espinosa, D., Eds.; Las Prensas de Ciencias; UNAM: Ciudad de México, México, 2004; pp. 439–467.
63. Marín-Gómez, S.C.; Cárdenas-Olivier, R.H. Monitoreo de las poblaciones de aves de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sierra de Zapalinamé. In *La Biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado Vol. II*; Conabio; Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, Comps., Conabio, Gobierno del Estado de Coahuila: Ciudad de México, México, 2018; pp. 391–399.
64. Ruvalcaba-Ortega, I.; Panjabi, A.O. Aves de pastizal del Desierto Chihuahuense. In *La Biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado Vol. II*; Conabio; Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, Comps., Conabio, Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza: Ciudad de México, México, 2018; pp. 375–384.
65. Lerma-Quiroga, D.; Ruvalcaba-Ortega, I.; González-Rojas, J.I.; Colón, M.; Morrison, M.L. Nesting behavior of the Black-capped Vireo (*Vireo atricapilla*) from a newly discovered breeding population in southeastern Coahuila, Mexico. *Southwest. Nat.* **2019**, *64*, 131–134. [\[CrossRef\]](#)
66. Gámez-Benavides, R.E.; Ceyca-Contreras, J.P. Primer registro del gavilán pico de gancho (*Chondrohierax uncinatus*) en el estado de Coahuila, México. *Huitzil Rev. Mex. Ornitol.* **2022**, *24*, e-659. [\[CrossRef\]](#)
67. Navarro-Sigüenza, A.G.; Peterson, A.T.; Gordillo-Martínez, A. Museums working together: The atlas of the birds of Mexico. *Bull. Br. Ornithol. Club* **2003**, *123A*, 207–225.
68. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2020.
69. Wickham, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*; Springer: New York, NY, USA, 2016.
70. McAlece, N.; Gage, J.D.G.; Lamshead, P.J.D.; Paterson, G.L.J. *BioDiversity Professional Statistics Analysis Software*; The Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London: London, UK, 1997.
71. Navarro-Sigüenza, A.G.; Rebón-Gallardo, M.F.; Gordillo-Martínez, A.; Peterson, A.T.; Berlanga, H.; Sánchez-González, L.A. Biodiversidad de aves. *Rev. Mex. Biodivers.* **2014**, *S85*, S476–S495. [\[CrossRef\]](#)
72. Miller, E.T.; McCormack, J.E.; Levandowski, G.; McKinney, B.R. Sixty years on: Birds of the Sierra del Carmen, Coahuila, Mexico, revisited. *Bull. Br. Ornithol. Club* **2018**, *138*, 318–334. [\[CrossRef\]](#)
73. Manzano-Fisher, P.; List, R.; Ceballos, G.; Cartron, J.-L.E. Avian diversity in a priority area for conservation in North America: The Janos-Casas Grandes Prairie Dog complex and adjacent habitats in northwestern Mexico. *Biodivers. Conserv.* **2006**, *15*, 3801–3825. [\[CrossRef\]](#)
74. Hernández, J.E.; Villarreal, C.; García, R.; Mariano, S.; Ibarra, E.N.; Ramos, B.; Barraza, S.P.; Maldonado, M.C. Monitoreo de aves en la Reserva de la Biosfera Mapimí. *Huitzil Rev. Mex. Ornitol.* **2019**, *20*, e-807. [\[CrossRef\]](#)
75. Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales); Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). *Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Mapimí*; Semarnat; Conanp: Ciudad de México, México, 2006.
76. Stotz, D.F.; Fitzpatrick, J.W.; Parker III, T.A.; Moskovits, D.K. *Neotropical Birds: Ecology and Conservation*; University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 1996.
77. Ramírez-Albores, J.E.; Prieto-Torres, D.A.; Gordillo-Martínez, A.; Sánchez-Ramos, L.E.; Navarro-Sigüenza, A.G. Insights for protection of high species richness areas for the conservation of Mesoamerican endemic birds. *Divers. Distrib.* **2021**, *27*, 18–33. [\[CrossRef\]](#)
78. Tonetti, V.; Bocalini, F.; Schunck, F.; Vancine, M.H.; Butti, M.; Ribeiro, M.; Pizo, M. The Protected Areas network may be insufficient to protect bird diversity in a fragmented tropical hotspot under different climate scenarios. *Perspect. Ecol. Conserv.* **2024**, *22*, 63–71. [\[CrossRef\]](#)
79. Jurado-Guerra, P.; Velázquez-Martínez, M.; Sánchez-Gutiérrez, R.A.; Álvarez-Holguín, A.; Domínguez-Martínez, P.A.; Gutiérrez-Luna, R.; Garza-Cedillo, R.D.; Luna-Luna, M.; Chávez-Ruiz, M.G. Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* **2021**, *12*, 261–285. [\[CrossRef\]](#)



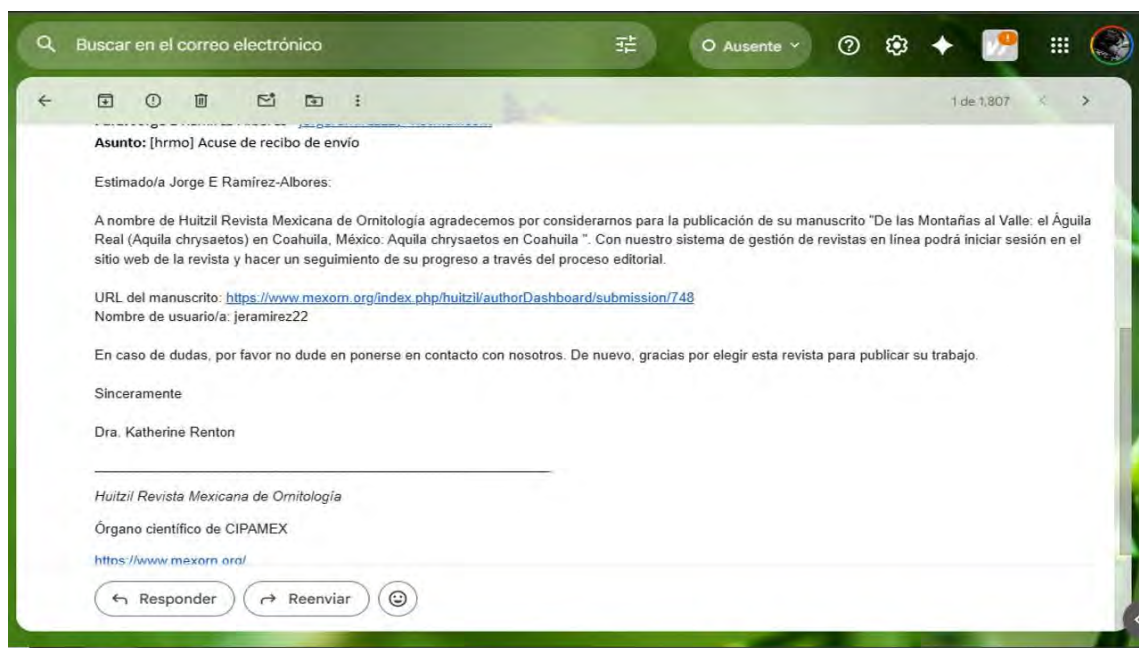
80. Valencia, C.M. Pérdida y degradación de hábitat. In *La Biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado Vol. I*; Conabio; Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, Comps., Conabio; Gobierno del Estado de Coahuila: Ciudad de México, México, 2017; pp. 475–483.
81. Mansori, M.; Badehian, Z.; Ghobadi, M.; Mcleknia, R. Assessing the environmental destruction in forest ecosystems using landscape metrics and spatial analysis. *Sci. Rep.* **2023**, *13*, 15165. [\[CrossRef\]](#)
82. Popradit, A.; Srisatit, T.; Kiratiprayoon, S.; Yoshimura, J.; Ishida, A.; Shiyomi, M.; Murayama, T.; Chantaranonthai, P.; Out-taranakorn, S.; Phromma, I. Anthropogenic effects on a tropical forest according to the distance from human settlements. *Sci. Rep.* **2015**, *5*, 14689. [\[CrossRef\]](#)
83. Wang, Y.; Qin, P.; Önal, H. An optimization approach for designing wildlife corridors with ecological and spatial considerations. *Methods Ecol. Evol.* **2022**, *13*, 1042–1051. [\[CrossRef\]](#)
84. Balme, G.A.; Slotow, R.; Hunter, L.T.B. Edge effects and the impact of non-protected areas in carnivore conservation: Leopards in the Phinda-Mkhuze Complex, South Africa. *Anim. Conserv.* **2010**, *13*, 315–323. [\[CrossRef\]](#)
85. Rayner, L.; Lindenmayer, D.B.; Wood, J.T.; Gibbons, P.; Manning, A.D. Are protected areas maintaining bird diversity? *Ecography* **2014**, *37*, 43–53. [\[CrossRef\]](#)
86. Gálvez, N.; Hernández, F.; Laker, J.; Gilabert, H.; Petitpas, R.; Bonacic, C.; Gimona, A.; Hester, A.; Macdonald, D.W. Forest cover outside protected areas plays an important role in the conservation of the vulnerable guinea *Leopardus guigna*. *Oryx* **2013**, *47*, 251–258. [\[CrossRef\]](#)
87. Farías-Rivero, N.A.; Ramírez-Barajas, P.J.; Cedeño-Vázquez, J.R.; Sánchez-Sánchez, J.; Asselin-Nguyen, A.; Macario-Mendoza, P.A.; Tuz-Novelo, M. Cambios en la diversidad de aves ante la perturbación de hábitats del sur de Quintana Roo, México. *Acta Zoológica Mex. (N.S.)* **2022**, *38*, 1–25. [\[CrossRef\]](#)
88. Tai, D.; Chen, C.; Son, Y.; Tan, X.; Yang, X.; Wang, Y. Ecological traits and landscape characteristics predicting bird sensitivity to urbanization in city parks. *Basic Appl. Ecol.* **2022**, *58*, 110–120. [\[CrossRef\]](#)
89. Hoekstra, J.M.; Boucher, T.M.; Ricketts, T.H.; Roberts, C. Confronting a biome crisis: Global disparities of habitat loss and protection. *Ecol. Lett.* **2005**, *8*, 23–29. [\[CrossRef\]](#)
90. Sodhi, N.S.; Şekercioglu, C.H.; Barlow, J.; Robinson, S.K. *Conservation of Tropical Birds*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2011. [\[CrossRef\]](#)
91. GBBO (Great Basin Bird Observatory). *Nevada Comprehensive Bird Conservation Plan*, ver. 1.0; Great Basin Bird Observatory: Reno, NV, USA, 2010. Available online: [https://www.gbbo.org/bird\\_conservation\\_plan.html](https://www.gbbo.org/bird_conservation_plan.html) (accessed on 14 October 2023).
92. Katzner, T.; Smith, B.W.; Miller, T.A.; Brandes, D.; Cooper, J.; Lanzone, M.; Bildstein, K.L. Status, biology, and conservation priorities for North America's eastern Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) population. *Auk* **2012**, *129*, 168–176. [\[CrossRef\]](#)
93. Chavez-Lugo, E.G.; Cruz-Bazan, E.J.; Cruz-Anaya, A.; Encina-Domínguez, J.A.; Ramírez-Albores, J.E. De las montañas al valle: El Águila real (*Aquila chrysaetos*) en Coahuila, México. *Huitzil Rev. Mex. Ornitol.* **2023**, *24*, e-661. [\[CrossRef\]](#)
94. Flesch, A.D.; Rodríguez-Estrella, R.; Gallo-Reynoso, J.P.; Armenta-Méndez, L.; Montiel-Herrera, M. Distribution and habitat of the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in Sonora, Mexico, 1892–2015. *Rev. Mex. Biodivers.* **2020**, *91*, e913056. [\[CrossRef\]](#)
95. Rodríguez-Estrella, R. A survey of golden eagles in northern Mexico in 1984 and recent records in central and southern Baja California peninsula. *J. Raptor Res.* **2002**, *36*, 3–9.
96. Ortiz-Maciél, S.G.; Hori-Ochoa, C.; Enkerlin-Hoeflich, E. Maroon-fronted Parrot (*Rhynchopsitta terrisi*) breeding home range and habitat selection in the northern Sierra Madre Oriental, Mexico. *Wilson J. Ornithol.* **2010**, *122*, 513–517. [\[CrossRef\]](#)
97. Canales-del Castillo, R.; González-Rojas, J.I.; Ruvalcaba-Ortega, I.; García-Ramírez, A. New breeding localities of Worthen's Sparrows in northeastern Mexico. *J. Field Ornithol.* **2010**, *81*, 5–12. [\[CrossRef\]](#)
98. Heredia-Pineda, F.J.; Lozano-Cavazos, E.A.; Romero-Figueroa, G.; Alanís-Rodríguez, E.; Tarango-Arámbula, L.A.; Ugalde-Lezama, S. Interspecific foraging relationships of the Worthen's Sparrow (*Spizella wortheni*) during the non-breeding season in Coahuila, Mexico. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas* **2017**, *16*, 23–26. [\[CrossRef\]](#)
99. Anderle, M.; Brambilla, M.; Hilpold, A.; Matabishi, J.G.; Panizza, C.; Rocchini, D.; Rossini, J.; Tasser, E.; Torresani, M.; Tappeiner, U.; et al. Habitat heterogeneity promotes bird diversity in agricultural landscapes: Insights from remote sensing data. *Basic Appl. Ecol.* **2023**, *70*, 38–48. [\[CrossRef\]](#)
100. Lorenzón, R.E.; Beltzer, A.H.; Olguin, P.F.; Ronchi-Virgolini, A.L. Habitat heterogeneity drives bird species richness, nestedness and habitat selection by individual species in fluvial wetlands of the Paraná River, Argentina. *Austral Ecol.* **2016**, *41*, 829–841. [\[CrossRef\]](#)
101. Hill, J.; Curran, P.J. Area, shape and isolation of tropical forest fragments: Effects on tree species diversity and implications for conservation. *J. Biogeogr.* **2003**, *30*, 1391–1403. [\[CrossRef\]](#)
102. Fahrig, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **2003**, *34*, 487–515. [\[CrossRef\]](#)
103. Fischer, J.; Lindenmayer, D.B. Landscape modification and habitat fragmentation: A synthesis. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **2007**, *16*, 265–280. [\[CrossRef\]](#)
104. Temple, S.A.; Cary, J.R. Modeling dynamics of habitat-interior bird populations in fragmented landscapes. *Biol. Conserv.* **1988**, *2*, 340–347. [\[CrossRef\]](#)
105. Martensen, A.C.; Ribeiro, M.C.; Banks-Leite, C.; Prado, P.I.; Metzger, J.P. Associations of forest cover, fragment area and connectivity with Neotropical understory bird species richness and abundance. *Conserv. Biol.* **2012**, *26*, 1100–1111. [\[CrossRef\]](#)



106. Hofmann, D.D.; Behr, D.M.; McNutt, J.W.; Ozgul, A.; Cozzi, G. Bound within boundaries: Do protected areas cover movement corridors of their most mobile, protected species? *J. Appl. Ecol.* **2021**, *58*, 1133–1144. [[CrossRef](#)]
107. van Broekhoven, S.; Boons, F. Managing boundaries overtime in integrative planning processes. A process analysis of boundary work in two cases of multifunctional land use. *J. Environ. Plan. Manag.* **2022**, *65*, 583–611. [[CrossRef](#)]
108. Anderson, A.B.; Jenkins, C.N. *Applying Nature's Design. Corridors as a Strategy for Biodiversity Conservation*; Columbia University Press: New York, NY, USA, 2006.
109. Fontana, C.S.; Burger, M.I.; Magnusson, W.E. Bird diversity in a subtropical South-American city: Effects of noise levels, arborization and human population density. *Urban Ecosyst.* **2011**, *14*, 314–360. [[CrossRef](#)]

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

## Artículo 2: De las montañas al valle: el Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en Coahuila, México.





## De las montañas al valle: el Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en Coahuila, México

### From the mountains to the valley: the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in Coahuila, Mexico

Eber G. Chavez-Lugo<sup>1</sup>, Erika J. Cruz-Bazan<sup>1</sup>, Arturo Cruz-Anaya<sup>2</sup>, Juan Antonio Encina-Domínguez<sup>1</sup> y Jorge E. Ramírez-Albores<sup>3</sup> \*

<sup>1</sup> Departamento de Recursos Naturales Renovables, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México

<sup>2</sup> PROFAUNA A.C. (Protección de la Fauna Mexicana A.C.), Emilio Castelar 956, Col. Centro, Saltillo, Coahuila, México

<sup>3</sup> Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México

\* Autor de correspondencia: jorgeramirez22@hotmail.com

#### Resumen

El Águila Real (*Aquila chrysaetos*) es una rapaz amenazada a nivel nacional, que se distribuye desde el norte del país hasta el centro de México. Sin embargo, existen escasos reportes de su presencia dentro del rango de distribución en México, como es el caso para Coahuila. Hicimos observaciones en campo en la región sureste de Coahuila durante el periodo de 2017 al 2023, complementada con una revisión de los registros de monitoreo en campo en diferentes bases de datos. Con estos registros, generamos una modelación de idoneidad ambiental para *Aquila chrysaetos* utilizando el algoritmo MaxEnt para identificar zonas prioritarias para la conservación que no se encuentran dentro de un área natural protegida. Los registros encontrados de individuos de *A. chrysaetos* evidenciaron en gran medida que la mayor probabilidad de ocurrencia se encuentra en la parte noroeste y sureste de Coahuila en zonas de matorral desértico y pastizal natural. El modelo de idoneidad climática indicó que las zonas prioritarias para conservación se ubicaron adyacentes a las áreas naturales como Maderas del Carmen, Sierra de Arteaga, Sierra de Zapalinamé, Ocampo y Don Martín. Nuestra modelación de la idoneidad climática para *A. chrysaetos* nos permitió identificar zonas prioritarias para la conservación que no se encuentran dentro de un área natural protegida, lo que implica que estas zonas idóneas para que habite *A. chrysaetos* sean consideradas prioritarias para la conservación de la especie.

**Palabras clave:** Accipitridae, conservación, Rancho Experimental Los Angeles, rapaces, Sierra de Zapalinamé.

#### Abstract

The Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) is a nationally threatened raptor, which is distributed from the north of the country to central Mexico. However, there are few reports of its presence within the distribution range in Mexico, as is the case for Coahuila. We carried out field observations in southeastern Coahuila during the period from 2017 to 2023, complemented by a review of field monitoring records in different databases. With these records, we generated environmental suitability modeling for the Golden Eagle using the MaxEnt algorithm to identify priority areas for conservation that are not located within a protected area. Monitoring records of the Golden Eagle largely demonstrated that the highest probability of

#### INFORMACIÓN SOBRE EL ARTICULO

##### Recibido:

28 de junio del 2023

##### Aceptado:

27 de noviembre del 2023

##### Editora Asociada:

Marisela Martínez Ruiz

##### Contribución de cada uno de los autores:

ACA, EGCL y EJC: Registro fotográfico, identificación de la especie. ACA, EGCL, EJC, JERA y JAED: trabajo en campo, revisión del manuscrito. JERA: Elaboración del manuscrito.

##### Cómo citar este documento:

Chavez-Lugo EG, Cruz-Bazan EJ, Cruz-Anaya A, Encina-Domínguez JA, Ramírez-Albores JE. 2023. De las montañas al valle: el Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en Coahuila, México. Huitzil Revista Mexicana de Ornitología 24(2):e-661. DOI: <https://doi.org/10.28947/hrmo.2023.24.2.748>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento No Comercial-Sin Obras Derivadas 4.0 Internacional.



Chavez-Lugo et al.

occurrence is found in the northwest and southeast portion of Coahuila in areas of desert scrub and natural grassland. The climate suitability model indicated that priority areas for conservation are located adjacent to protected areas such as Maderas del Carmen, Sierra de Arteaga, Sierra de Zapalinamé, Ocampo and Don Martín. Our modeling of climatic suitability for the Golden Eagle allowed us to identify priority areas for conservation that are not located within a natural protected area, which implies that these areas suitable for the Golden Eagle to inhabit should be considered priority areas for the species' conservation.

**Keywords:** Accipitridae, conservation, Los Angeles Experimental Ranch, raptors, Sierra de Zapalinamé.

### Introducción

El Águila Real (*Aquila chrysaetos*) es una rapaz de la familia Accipitridae, con amplia distribución a nivel global (Kochert et al. 2002, BirdLife International 2021). En Norteamérica, se reconoce una de sus subespecies *A. c. canadensis* (Íñigo-Eliás 2000) que se distribuye desde Alaska y Canadá hasta el centro de México (Kochert et al. 2002, Wheeler 2003, Rodríguez-Estrella et al. 2020). En México, su distribución incluye el norte de México, desde la península de Baja California hasta el centro de México, con registros aislados en Oaxaca, Veracruz, Nayarit y Puebla (Howell y Webb 1995, Rodríguez-Estrella 2002, Rodríguez-Estrella y Rivera-Rodríguez 2005, Rodríguez-Estrella et al. 2020). Habita en bosques templados, matorrales xerófilos y pastizales (Rodríguez-Estrella 2002). Es una especie categorizada en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza de preocupación menor con población estable (BirdLife International 2021). Sin embargo, en varias regiones de Canadá y Estados Unidos se encuentra enlistada en protección (<https://www.fs.usda.gov/>; Katzner et al. 2012). Asimismo, a pesar de que *A. chrysaetos* tiene un significado socio-cultural y ecológico muy importante en México (Sergio et al. 2005, 2008; Lozano y Ávila 2009, Katzner et al. 2012), está catalogada como Amenazada en la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT 2010). Esto es debido a la pérdida y fragmentación de hábitat, cambio de uso de suelo, saqueo de nidos, colisiones con estructuras antropogénicas, ingesta de veneno por el uso de pesticidas y agroquímicos en áreas agrícolas y ganaderas (Rodríguez-Estrella 2002, Rodríguez-Estrella y Rivera-Rodríguez 2005, Smith et al. 2008, Nocedal et al. 2010, GBBO 2010,

Katzner et al. 2012). Por lo tanto, es necesario fomentar aún más sus estudios y estrategias de conservación.

En México, se han documentado escasos estudios sobre la modelación de áreas idóneas para *A. chrysaetos* (Fariás et al. 2016, D'Addario et al. 2019, Flesch et al. 2020). Sin embargo, únicamente D'Addario et al. (2019) mencionan las variables utilizadas para la modelación, en las que destacan variables topográficas (altitud, pendiente), hidrográficas (distancia a cuerpos de agua), uso de suelo y vegetación (cobertura vegetal) y antropogénicas (densidad poblacional humana, distancia a caminos), concluyendo que las áreas idóneas se encuentran fragmentadas a lo largo de la distribución de *A. chrysaetos* y que solamente el 8% se encuentra dentro de un área protegida. Otros estudios solo asocian la presencia de *A. chrysaetos*, o de las áreas idóneas para esta especie, con los tipos de vegetación como matorrales, bosque de coníferas, chaparral y pastizal natural (de León-Girón et al. 2016, Fariás et al. 2016, Flesch et al. 2020, Morales-Yáñez et al. 2023). Además, se han implementado estrategias para su conservación, como el Programa de Acción para la Conservación de la Especie (PACE; CONANP 2008), que tiene como objetivo conocer los patrones de distribución y demográficos e identificar las necesidades críticas para la conservación de la especie, y programar acciones concretas para cubrirla. De acuerdo con información de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), en el 2018, se tenían registro de menos de 200 parejas reproductoras en el país (FMCN 2024). Por lo tanto, es necesario generar y aplicar estrategias de conservación basadas en información actual de la situación de la especie a nivel nacional.

Para Coahuila no existen publicaciones sobre patrones de distribución, biología o ecología de esta especie y solo se reconoce a Maderas del Carmen como un sitio importante de nidificación (CONANP 2008) y a la Sierra de Zapalinamé como zona de presencia y de probable anidación (PROFAUNA 2023). En este estudio documentamos los avistamientos de *A. chrysaetos* en Coahuila, y con ello identificamos áreas ambientalmente estables para la distribución geográfica, y que puedan ser consideradas como áreas prioritarias de conservación para la protección de esta especie en México. Como resultado, los registros aquí reportados son relevantes debido a que brindan un

panorama de la distribución de esta especie en la parte noreste del país.

## Métodos

### Observación e identificación de la especie

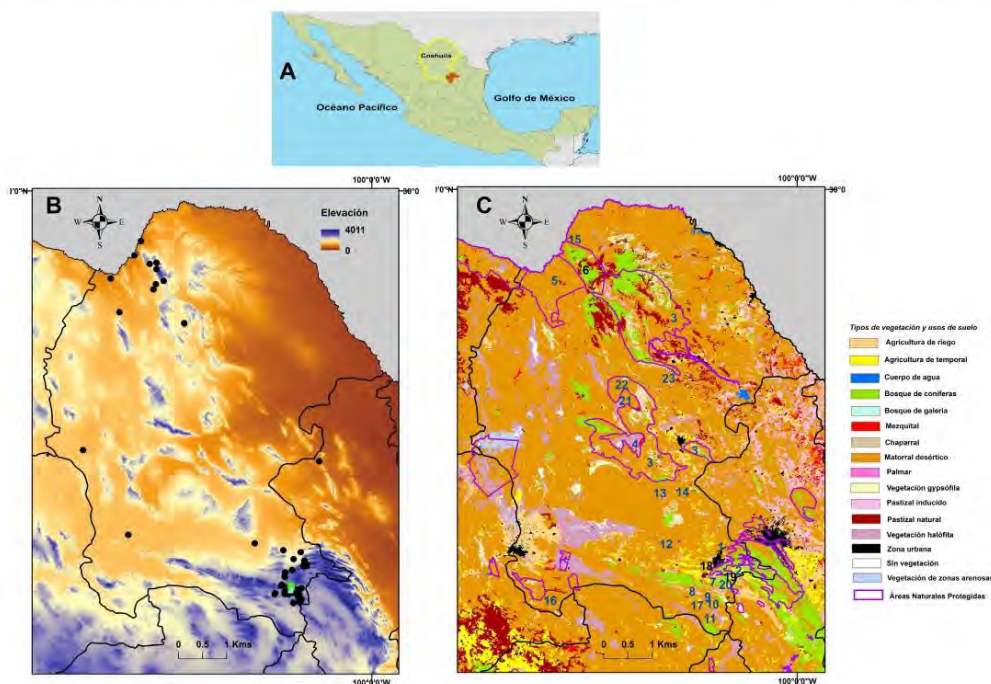
Durante el periodo de diciembre de 2006 a abril de 2023, realizamos observaciones en seis sitios dentro de los municipios de Saltillo y Arteaga ubicados en el sureste de Coahuila (Tabla 1, Fig. 1A). Para esto se apoyó con el uso de binoculares (Bushnell 10x45 mm, Bushnell 8x42 mm) y cámaras fotográficas (Nikon D3500, Nikon Coolpix B700, Canon T3, Nikon Coolpix P1000). Para la determinación taxonómica se utilizaron las siguientes señas de campo: coloración café oscuro con plumas de color dorado en la región del manto y coronilla; la parte ventral uniformemente café oscura y un poco clara en la base de la cola con color gris oscuro; y la cola presenta una banda terminal oscura y una banda ancha subterminal blanca (Howell y Webb 1995, Wheeler 2003, Sibley 2014).

### Datos de ocurrencia

Las observaciones de campo fueron complementadas con registros obtenidos para México ( $n = 2955$ ) de bases de datos como eBird (2023), Global Biodiversity Information Facility (GBIF 2023, disponible en <http://www.gbif.org/species>), Naturalista (disponible en <https://www.naturalista.mx/>) y de registros publicados en diferentes revistas científicas. Hicimos las descargas del portal GBIF mediante “rgbif” (Chamberlain et al. 2019) en el programa R con la interfaz R-Studio 4.2.2 (R-Core Team 2018).

### Variables bioclimáticas

Utilizamos las variables bioclimáticas obtenidas de WorldClim ver. 2.0 (<https://www.worldclim.org/>; Fick y Hijmans 2017), tres variables topográficas (elevación, pendiente y aspecto) obtenidas de Hydro1k project (USGS 2001) y la distancia a asentamientos humanos (distancia euclidiana obtenida a partir de ArcGIS 10.2; ESRI 2011) con



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio en Coahuila (■, A), con registros del Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en sobrevuelo (●), zonas de alimentación (▲) y ubicación de nidos (■) de acuerdo con la elevación (B) y de las Áreas Naturales Protegidas con los tipos de vegetación y uso de suelo (C). La numeración que aparece en el mapa corresponde a las áreas protegidas referidas en la Tabla 2.



Chavez-Lugo et al.

una resolución espacial de 30 segundos ( $\sim 1 \text{ km}^2$ ). Utilizamos también los registros de ocurrencia de *A. chrysaetos* conocidos para la región en la construcción de los modelos. Hay que considerar que la mayoría de los datos de ocurrencia de *A. chrysaetos* provienen de registros en sobrevuelo. Sin embargo, asociamos estos registros a un punto geográfico dado que se han tenido registros frecuentes en los mismos, y por tanto eso nos da seguridad de que la especie está haciendo uso de ese sitio.

#### Construcción de los modelos climáticos

Aplicamos el algoritmo MaxEnt 3.4.4 (Phillips et al. 2006) para la modelación del nicho climático de *A. chrysaetos*. Este es un algoritmo utilizado para realizar predicciones o inferencias a partir de información incompleta estimando la distribución de especies a través de la búsqueda de la distribución probable de máxima entropía (Phillips et al. 2006). Se eligió este programa porque supera a la mayoría de los algoritmos de modelación de nicho en cuanto a la precisión de la predicción (Elith et al. 2006) y, además, produce modelos con capacidad predictiva aceptable a partir de un número bajo de registros de presencia (Pearson et al. 2007).

Dividimos los datos de ocurrencia en un conjunto de 25% de datos de prueba y otro 75% de datos de entrenamiento (Phillips et al. 2006).

La configuración de los modelos los realizamos en función logística, lo que brinda un estimado de entre 0 y 1 de probabilidad de presencia (Phillips et al. 2006), e hicimos 50 réplicas para los modelos actuales. Se evitó que MaxEnt extrapolara o aplicara la opción de sujeción para evitar una sobreestimación. Para evaluar el rendimiento del modelo valoramos su robustez con el área bajo la curva (AUC) de la gráfica de características operativas del receptor (ROC) (Phillips et al. 2006, Phillips y Dudík 2008, Mateo et al. 2011). Dado que el AUC es un indicador pobre de la precisión del modelo cuando no se utilizan datos de ausencia, calculamos también la modificación ROC parcial (pROC; Peterson et al. 2008) utilizando NicheToolBox (Osorio-Olvera et al. 2020) para evitar los problemas asociados a estas evaluaciones (Lobo et al. 2008).

La contribución relativa de cada variable para predecir la distribución potencial de las condiciones climáticas adecuadas se evaluó mediante una prueba de *Jackknife*, la cual permite conocer las variables que predicen de manera efectiva la distribución de los datos de ocurrencia (Phillips et al. 2006). Para definir el área de accesibilidad o dispersión histórica ("M"; Soberón y Peterson 2005), utilizamos una intercepción de los puntos de ocurrencia de la especie con el mapa de regionalización de las provincias biogeográficas de México propuestas por Morrone (2014). Lo anterior, supone que la intercepción de estas dos regiones puede definir los límites históricos



**Figura 2.** Evidencia fotográfica de la presencia del Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en Coahuila. Individuos en la Reserva Natural Estatal Sierra de Zapalinamé (A, B; fotos: Arturo Cruz-Anaya), y en el Rancho Experimental Los Ángeles (C, foto: Eber G. Chavez-Lugo).

Tabla 1. Sitios de avistamientos en campo del Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en los municipios de Arteaga y Saltillo en el sureste de Coahuila.

| Localidad            | Fecha de avistamiento | Coordenadas geográficas | Altitud (m) | Observación  | Habitat   |
|----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------|--|---|
| Municipio de Arteaga | 01/03/2017            | 25°23'46"N, 100°49'35"O | 2786        | Individuo juvenil sobrevolando en la cumbre  | Pastizal natural con individuos esparcidos de <i>Pinus remota</i>                             |
| Las Nieves II        | 18/06/2017            | 25°24'12"N, 100°49'11"O | 2587        | Individuo adulto sobrevolando en el cañón, con dirección sur                           | Bosque de <i>Cupressus arizonica</i> - <i>Pinus cembroides</i> sobre rocas lisas y escarpadas |
|                      | 22/08/2017            | 25°24'11"N, 100°49'12"O | 2585        | Individuo adulto sobrevolando  | Matorral desértico rosetófilo   |
|                      | 22/12/2017            | 25°24'09"N, 100°49'13"O | 2579        | Dos individuos adultos sobrevolando juntos en aparente cortejo o defensa de territorio | Rocas lisas y escarpadas  |
|                      | 20/02/2018            | 25°24'06"N, 100°49'14"O | 2580        | Individuo adulto sobrevolando hacia al fondo del cañón                                 | Rocas lisas y escarpadas  |
|                      | 10/03/2023            | 25°24'26"N, 100°49'38"O | 2176        | Individuo adulto sobrevolando hacia la cumbre  | Rocas lisas y escarpadas  |
|                      | 07/06/2022            | 25°23'47"N, 100°49'36"O | 2765        | Individuo adulto sobrevolando hacia la cumbre  | Rocas lisas y escarpadas  |
|                      | 15/05/2019            | 25°24'11"N, 100°49'12"O | 2585        | Dos individuos adultos sobrevolando juntos   | Rocas lisas y escarpadas  |
|                      | 20/03/2019            | 25°24'04"N, 100°49'17"O | 2627        | Individuo juvenil sobrevolando hacia el sur  | Rocas lisas y escarpadas  |

| Localidad                          | Fecha de avistamiento | Coordenadas geográficas | Altitud (m) | Observación   | Habitat                      |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------|---|------------------------------|
| Cañon de El Chorro                 | 19/03/2020            | 25°24'04"N, 100°49'17"O | 2627        | Dos individuos adultos sobrevolando juntos la cumbre  | Rocas lisas y escarpadas     |
|                                    | 21/09/2020            | 25°24'04"N, 100°49'17"O | 2627        | Dos individuos adultos sobrevolando juntos la cumbre  | Rocas lisas y escarpadas     |
|                                    | 01/10/2019            | 25°24'15"N, 100°49'10"O | 2546        | Individuo adulto sobrevolando hacia el norte  | Bosque de coníferas          |
|                                    | 10/03/2021            | 25°24'11"N, 100°49'12"O | 2585        | Dos individuos sobrevolando juntos sobre la cumbre  | Pastizal natural y chaparral |
| Rancho El Aguajito                 | 03/07/2017            | 25°24'55"N, 100°48'11"O | 1857        | Dos individuos adultos sobrevolando juntos en la parte baja del cañon   | Matotral desértico xerófilo  |
|                                    | 05/07/2017            | 25°24'12"N, 100°47'37"O | 1976        | Dos individuos adultos en sobrevuelo y perseguidos por cuervos ( <i>Corvus corax</i> )  | Matotral desértico xerófilo  |
|                                    | 07/07/2017            | 25°24'38"N, 100°48'27"O | 1856        | Un individuo adulto y uno juvenil sobrevolando en la parte baja del cañon   | Matotral desértico xerófilo  |
| Municipio de Santa Teresa Saltillo | 24/02/2019            | 25°23'04"N, 100°50'13"O | 2459        | Un individuo juvenil sobrevolando al interior del cañon. Avistamiento realizado durante las labores de extinción del incendio El Karibú que duró del 22 de febrero al 24 de febrero | Matotral desértico xerófilo  |
|                                    | 04/11/2022            | 25°15'23"N, 101°04'01"O | 2034        | Un individuo sobrevolando cerca de las rocas lisas y escarpadas localizadas hacia el noreste  | Matotral desértico xerófilo  |
|                                    | 18/09/2018            | 25°18'35"N, 101°03'24"O | 1896        | Un individuo adulto sobrevolando en dirección noreste   | Pastizal natural y chaparral |



| Localidad | Fecha de avistamiento | Coordenadas geográficas   | Altitud (m) | Observación   | Habitat  |
|-----------|-----------------------|---------------------------|-------------|---|--|
|           | 25/02/2022            | 25°04'30" N, 100°59'23" O | 2212        | Un individuo adulto sobrevolando en áreas de madrigueras de perrito de la pradera ( <i>Cynomys mexicanus</i> ), vibora de cascabel ( <i>Crotalus</i> spp.), liebre de cola negra ( <i>Lepus californicus</i> ), conejo del Desierto ( <i>Sylvilagus auduboni</i> ) y conejo serrano ( <i>S. floridanus</i> ) que probablemente sean sitios de alimentación para el <i>A. chrysaetos</i> | Matorral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 16/04/2022            | 25°05'10" N, 100°59'22" O | 2223        | Un individuo adulto sobrevolando en áreas de madrigueras de perrito de la pradera ( <i>Cynomys mexicanus</i> ), vibora de cascabel ( <i>Crotalus</i> spp.), liebre de cola negra ( <i>Lepus californicus</i> ), conejo del Desierto ( <i>Sylvilagus auduboni</i> ) y conejo serrano ( <i>S. floridanus</i> ) que probablemente sean sitios de alimentación para el <i>A. chrysaetos</i> | Matorral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 16/04/2023            | 25°05'45" N, 100°59'41" O | 2365        | Un individuo adulto sobrevolando en áreas de madrigueras de perrito de la pradera ( <i>Cynomys mexicanus</i> ), vibora de cascabel ( <i>Crotalus</i> spp.), liebre de cola negra ( <i>Lepus californicus</i> ), conejo del Desierto ( <i>Sylvilagus auduboni</i> ) y conejo serrano ( <i>S. floridanus</i> ) que probablemente sean sitios de alimentación para el <i>A. chrysaetos</i> | Matorral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 03/04/2023            | 25°06'34" N, 100°59'04" O | 2137        | Un individuo adulto sobrevolando en áreas de madrigueras de perrito de la pradera ( <i>Cynomys mexicanus</i> ), vibora de cascabel ( <i>Crotalus</i> spp.), liebre de cola negra ( <i>Lepus californicus</i> ), conejo del Desierto ( <i>Sylvilagus auduboni</i> ) y conejo serrano ( <i>S. floridanus</i> ) que probablemente sean sitios de alimentación para el <i>A. chrysaetos</i> | Matorral desértico xerófilo y pastizal natural |

| Localidad | Fecha de avistamiento | Coordenadas geográficas   | Altitud (m) | Observación  | Habitat   |
|-----------|-----------------------|---------------------------|-------------|--|---|
|           |                       | 25°06'59" N, 100°59'35" O | 2144        | Un individuo adulto sobrevolando en áreas de madrigueras de perrito de la pradera ( <i>Cynomys mexicanus</i> ), vibora de cascabel ( <i>Crotalus</i> spp.), liebre de cola negra ( <i>Lepus californicus</i> ), conejo del Desierto ( <i>Sylvilagus auduboni</i> ) y conejo serrano ( <i>S. floridanus</i> ) que probablemente sean sitios de alimentación para el <i>A. chrysaeus</i> | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 25/07/2022            | 25°05'36" N, 100°59'35" O | 2212        | Tres individuos adultos sobrevolando juntos  | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 12/11/2020            | 24°05'43" N, 100°58'44" O | 2210        | Un individuo adulto sobrevolando   | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 25/03/2023            | 25°05'45" N, 100°59'25" O | 2245        | Un individuo adulto sobrevolando   | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 02/03/2023            | 25°06'12" N, 100°59'33" O | 2265        | Un individuo adulto sobrevolando   | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 25/04/2023            | 25°06'27" N, 100°59'01" O | 2143        | Un individuo adulto sobrevolando   | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           |                       | 25°06'46" N, 100°58'56" O | 2140        | Un individuo adulto sobrevolando   | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           |                       | 25°07'03" N, 100°59'12" O | 2145        | Un individuo adulto sobrevolando   | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           |                       | 25°07'10" N, 101°00'07" O | 2157        | Un individuo adulto sobrevolando   | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |

## Aquila chrysaetos en Coahuila

| Localidad | Fecha de avistamiento | Coordenadas geográficas   | Altitud (m) | Observación   | Habitat   |
|-----------|-----------------------|---------------------------|-------------|---|---|
|           | 02/03/2023            | 25°07'49" N, 100°59'25" O | 2236        | Un individuo adulto sobrevolando  | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 25/04/2023            | 25°06'46" N, 101°01'17" O | 2145        | Un individuo adulto sobrevolando  | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           |                       | 25°07'27" N, 101°00'55" O | 2148        | Un individuo adulto sobrevolando  | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 03/08/2022            | 25°05'57" N, 100°59'35" O | 2242        | Dos individuos adultos sobrevolando juntos  | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 27/04/2023            | 25°06'50" N, 100°59'29" O | 2135        | Dos individuos adultos sobrevolando juntos en áreas de madrugueras de perrito de la pradera ( <i>Cynomys mexicanus</i> ), víbora de cascabel ( <i>Crotalus</i> spp.), liebre de California ( <i>Lepus californicus</i> ), conejo del Desierto ( <i>Sylvilagus auduboni</i> ) y conejo serrano ( <i>S. floridanus</i> ) que probablemente sean sitios de alimentación para el <i>A. chrysaetos</i> | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 27/04/2023            | 25°06'21" N, 100°59'03" O | 2157        | Un individuo perchando  | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |
|           | 01/05/2023            | 25°08'14" N, 100°59'12" O | 2383        | Ubicación de nido no activo a la fecha del registro, pero si para años anteriores   | Matortral desértico xerófilo y pastizal natural |



Chavez-Lugo et al.

(o evolutivos) y ecofisiológicos (o dispersión), incluyendo las principales barreras geográficas, los límites de tolerancia y las necesidades a ciertas condiciones abióticas de la especie en el espacio geográfico (Peterson et al. 2011; Prieto-Torres et al. 2019, 2020). Los datos obtenidos se representaron en ArcGis 10.2 (ESRI 2011).

#### Idoneidad climática dentro de las áreas naturales protegidas

Después de identificar las áreas de mayor idoneidad climática para *A. chrysaetos*, realizamos un análisis espacial para la estimación de las áreas climáticamente estables para la especie y la estimación del porcentaje de área distribución potencial de la especie incluida dentro de algún área protegida. Para determinar la importancia del sistema de Áreas Naturales Protegidas (ANPs) en la conservación del *A. chrysaetos* (Figueroa y Sánchez-Cordero 2008), calculamos la proporción (en km<sup>2</sup>) de las áreas de distribución potencial de esta especie dentro de las ANPs. Para ello, comparamos los mapas de distribución de la especie con los polígonos de vegetación y uso del

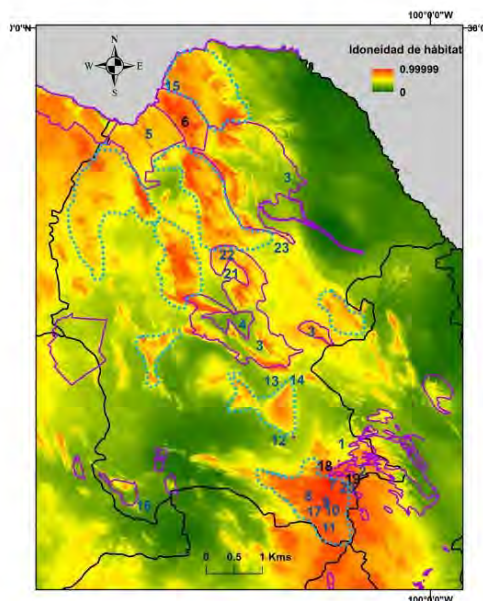
suelo serie VII del INEGI (<https://www.inegi.org.mx/temas/usuarios/>), distribución de las ANPs obtenidos del portal Protected Planet (<https://www.protectedplanet.net/en>), de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (<http://sig.conanp.gob.mx/>) y de la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Coahuila (<https://sma.gob.mx/anp/>).

#### Resultados

Obtuvimos 39 registros en campo de *A. chrysaetos* (Tabla 1), observando de 1 a 3 individuos (Fig. 2) a diferentes horas del día, entre 8:00-11:00 h y 16:00-18:00 h. Cabe aclarar que en ocasiones se llegaron a observar 2 y hasta 3 individuos sobrevolando juntos en el mismo sitio (Tabla 1). Las águilas sobrevolaron zonas de matorral desértico y pastizales naturales (o zacatal semidesértico) con diferente intensidad de pastoreo (Tabla 1, Fig. 2). Los registros se realizaron en la Reserva Natural Estatal Sierra de Zapalinamé y en el Rancho Experimental Los Ángeles (Tabla 1).

Nuestros registros de observaciones, además de los reportados en bases de datos y literatura en diferentes áreas de Coahuila, evidenciaron la presencia en mayor medida de individuos de *A. chrysaetos* en la parte noroeste y sureste de Coahuila, ubicados a mayores altitudes (Fig. 1B) con una media de  $1,947 \pm 458$  m s.n.m. (rango: 665 - 2,775 m s.n.m.), en zonas con vegetación de matorral desértico y pastizales naturales (Fig. 1C). En Coahuila existen 24 Áreas Naturales Protegidas que presentan condiciones climáticas adecuadas para *A. chrysaetos* (Tabla 2, Fig. 3). La modelación en MaxEnt indicó que el patrón de distribución de *A. chrysaetos* se encuentra en la parte noroeste (abarcando ANPs como Maderas del Carmen), centro (abarcando ANPs como Don Martín y Cuatro Ciénegas) y sureste (abarcando ANPs como Sierra de Arteaga y Sierra de Zapalinamé) y, en menor medida, en la parte noreste y suroeste (donde se ubican ANPs como Mapimí). Esto es debido a que estas últimas áreas presentan grandes extensiones de agricultura de temporal, matorral desértico y pastizales (o zacatal) inducido (Fig. 1C).

Según los modelos, la idoneidad climática del hábitat para *A. chrysaetos* es de 19,543.35 km<sup>2</sup>, de la cual solo 7,260.39 km<sup>2</sup> (37.1%) se encuentra dentro de alguna ANP (Tabla 2), mientras que el resto (12,282.96 km<sup>2</sup>, 62.9%) está fuera de ellas (Fig. 3). A su vez, esta idoneidad climática coincide con los macizos montañosos de la Sierra Madre Oriental como Sierra de Arteaga, Sierra de Zapalinamé y



**Figura 3.** Idoneidad climática del hábitat para el Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en Coahuila, indicando ubicación de las Áreas Naturales Protegidas (----) y los sitios propuestos para conservación (—)

**Tabla 2.** Idoneidad climática del hábitat para el Águila Real (*Aquila chrysaetos*) dentro de las Áreas Naturales Protegidas de Coahuila.

| ID | Área Natural Protegida  | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Superficie de idoneidad de hábitat dentro del ANP: <i>A. chrysaetos</i> (km <sup>2</sup> ) |
|----|---|-------------------------------|--|
| 1  | Área de Protección de Recursos Naturales Cuenca Abastecedora del Distrito Nacional de Riego 026 Porción Sierra de Arteaga | 1,012.36                      | 594.97   |
| 2  | Reserva Natural Voluntaria Las Delicias   | 0.79                          | 0.79   |
| 3  | Área de Protección de Recursos Naturales Cuenca Abastecedora del Distrito Nacional de Riego 004 Don Martín                | 15,193.85                     | 5,174.0  |
| 4  | Área de Protección de Flora y Fauna Cuatro Ciénegas   | 843.47                        | 6.36   |
| 5  | Área de Protección de Flora y Fauna Ocampo  | 3,442.38                      | 80.1   |
| 6  | Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen  | 2,083.81                      | 757.0  |
| 7  | Reserva Natural Estatal Sierra de Zapalinamé  | 257.68                        | 230.0  |
| 8  | Reserva Natural Voluntaria La India   | 16.22                         | 16.22  |
| 9  | Reserva Natural Voluntaria Cuatro Gorriónes   | 1.22                          | 1.15   |
| 10 | Reserva Natural Voluntaria Loma del Gorrión   | 1.14                          | 0.96   |
| 11 | Reserva Natural Voluntaria El Palmar  | 0.40                          | 0.38   |
| 12 | Reserva Natural Voluntaria El Órgano  | 34.02                         | 34.02  |
| 13 | Reserva Natural Voluntaria La Viga  | 46.67                         | 19.3   |
| 14 | Reserva Natural Voluntaria La Muralla   | 149.60                        | 10.4   |
| 15 | Reserva Natural Voluntaria Sierra San Vicente   | 149.32                        | 149.32   |
| 16 | Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco   | 604.68                        | 32.94  |
| 17 | Reserva Natural Estatal Guadalupe Victoria  | 2.0                           | 2.0  |
| 18 | Zona de Restauración Ecológica Zapalinamé   | 19.66                         | 19.66  |
| 19 | Reserva Natural Voluntaria La Reforma   | 0.16                          | 0.16   |
| 20 | Reserva Voluntaria Estatal Venustiano Carranza  | 0.08                          | 0.08   |
| 21 | Reserva Natural Voluntaria El Rescalco  | 93.45                         | 93.45  |
| 22 | Reserva Natural Voluntaria Potrero del Cuatralbo  | 13.87                         | 13.87  |
| 23 | Reserva Natural Voluntaria La Misión  | 23.26                         | 23.26  |

Sierra del Carmen. Esta idoneidad climática está influenciada por elevaciones entre 665 a 2,775 m s.n.m. (Fig. 1B) con pendientes entre 0 a 21.76° dominadas por zonas de matorral desértico y pastizales naturales.

### Discussion

En la presente evaluación, determinamos que la distribución de *A. chrysaetos* en Coahuila se encuentran en elevaciones entre los 665 a 2775 m s.n.m. en zonas con mayor cobertura de matorrales desérticos y pastizales naturales. Este mismo patrón coincide con lo reportado en otros estudios realizados en Chihuahua, Sonora, Guanajuato, Baja California y Zacatecas (Bravo y Guzmán-Aranda

2014, Campos-Rodríguez et al. 2016, de León-Girón et al. 2016, Flesch et al. 2020, Morales-Yáñez et al. 2023). Esto a pesar de que Íñigo-Elías (2000) menciona que *A. chrysaetos* habita en una gran variedad de tipos de vegetación. Cabe destacar que en esta cobertura vegetal existe una mayor abundancia de presas para *A. chrysaetos*, que se basa principalmente de pequeños mamíferos como perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*), liebre de cola negra (*Lepus californicus*) y conejos (*Sylvilagus audubonii*, *S. floridanus*) (Bravo y Guzmán-Aranda 2014, Bravo et al. 2015, Campos-Rodríguez et al. 2016, 2019; Pineda-Pérez et al. 2018).

La idoneidad climática adecuada para *A.*



Chavez-Lugo et al.

*chrysaetos* en Coahuila corresponden con matorrales desérticos y pastizales naturales, siendo la altitud, temperatura mínima del mes más frío, la temperatura media del trimestre más cálido y el rango anual de temperatura los requerimientos ambientales de mayor importancia en su distribución. En el estudio de distribución potencial de D'Addario et al. (2019) a pesar de que utilizaron otras o más variables, mencionan que las variables que mejor explicaron la idoneidad ambiental para *A. chrysaetos* fueron elevación, pendiente y la distancia a los poblados. Los resultados son similares con lo obtenido por Bravo y Guzmán-Aranda (2014), Campos-Rodríguez et al. (2016) y Morales-Yáñez et al. (2023) quienes mencionan que la preferencia del terreno depende de la rugosidad y de la altura de las paredes rocosas. Lo anterior, también concuerda con las poblaciones europeas (López-López et al. 2007, Ștefănescu y Bălescu 2019, Lozano y Murua 2020), ya que estas zonas son de gran aptitud para la construcción de nidos y con un mayor éxito reproductivo.

Nuestra modelación de la idoneidad climática para *A. chrysaetos* permite identificar zonas prioritarias para la conservación que no se encuentran dentro de un área natural protegida, las cuales se ubican a los alrededores de Maderas del Carmen, Sierra de Arteaga, Sierra de Zapalinamé, Ocampo y Don Martín. Lo anterior, implica que estas zonas idóneas para que habite *A. chrysaetos* sean consideradas prioritarias para su conservación. No obstante, las amenazas antropogénicas como el crecimiento demográfico, minería, plaguicidas y la actividad agropecuaria pueden afectar la disponibilidad de sitios adecuados para el establecimiento de nidos y del hábitat de forrajeo de *A. chrysaetos*, ubicados dentro y fuera de áreas protegidas, por lo que es imprescindible tomar ambos factores en cuenta para garantizar la conservación de esta especie (Pérez 2014, de León-Girón et al. 2016, Farias et al. 2016, D'Addario et al. 2019, Flesch et al. 2020). Por tanto, el establecimiento e implementación de acciones de conservación como la ampliación o la creación de áreas protegidas considerando el modelo de nicho climático, ya sean de tipo federal, estatal, municipal, *comunitaria*, *ejidal* o *privada*, deben de ser contempladas dentro de los planes de manejo y programas de ordenamiento territorial locales y regionales.

#### Agradecimientos

Agradecemos a PROFAUNA por el apoyo logístico,

en especial a Sergio Marines y a Rafael Cárdenas. A los Fondos Institucionales de Investigación para los proyectos 25311-425202001-2391, 38111-425104001-2178 y 38111-425104001-2389 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y a las becas de postgrado (758841, 763362) por parte del CONACyT. A Ricardo Vásquez Aldape y Pedro Carrillo López y a todo el personal a cargo del Rancho Experimental Los Ángeles, por el apoyo logístico y las facilidades otorgadas. A Marco Villarreal por las facilidades otorgadas durante la realización de los monitoreos. Al Programa de Servicios Ambientales de CONAFOR.

#### Literatura citada

- BirdLife International. 2021. *Aquila chrysaetos*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T22696060A202078899. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T22696060A202078899.en>. Consultado 28 Abril 2023.
- Bravo MG, Guzmán-Aranda JC. 2014. Distribución potencial del águila real (*Aquila chrysaetos*) en el Altiplano Mexicano a través de monitoreo y modelos HSI basados en Sistemas de Información Geográfica. Protección de la Fauna Mexicana, A.C. Informe Final SNIB-CONABIO, proyecto No. GT028. México, D.F.
- Bravo MG, Mireles MC, Zúñiga MJ, Carreón HE. 2015. Composición y amplitud de la dieta del águila real en Chihuahua, México. Acta Zoológica Mexicana (n.s.) 31: 116-119
- Campos-Rodríguez JI, Sosa-Guerrero O, Flores-Leyva X. 2016. Avistamientos recientes del águila real (*Aquila chrysaetos*) en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato, México y sus consecuencias en el Plan de Manejo. Huitzil Revista Mexicana de Ornitología 17:192-197. <http://dx.doi.org/10.28947/hrmo.2016.17.2.246>
- Campos-Rodríguez JI, Flores-Leyva X, Pérez-Valera D, García-Martínez DP. 2019. Anidación del águila real en el sureste de Zacatecas, México. Huitzil Revista Mexicana de Ornitología 20: e-495. <http://dx.doi.org/10.28947/hrmo.2019.20.1.394>
- Chamberlain S, Barve V, Mcglinn D, Oldoni D, Desmet P, Geffert L, Ram K. 2019.



- Rgbif: interface to the Global Biodiversity Information Facility API. R package version 1.2.0. Disponible en <https://cran.r-project.org/web/packages/rgbif/index.html>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2008. Programa de Acción para Conservación de la Especie: Águila Real (*Aquila chrysaetos*). SEMARNAT. México, D.F.
- de León-Girón G, Rodríguez-Estrella R, Ruiz-Campos G. 2016. Current distribution status of Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in northwestern Baja California, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 1328–1335. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.10.003>
- D'Addario M, Monroy-Vilchis O, Zarco-González MM, Santos-Fita D. 2019. Potential distribution of *Aquila chrysaetos* in Mexico: implications for conservation. *Avian Biology Research* 12: 33–41. <https://doi.org/10.1177/1758155918823428>
- eBird. 2023. eBird: an online database of bird distribution and abundance [web application]. eBird, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY. Disponible en <https://www.ebird.org>
- Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudík M, et al. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- ESRI. 2011. ArcGIS for Desktop 10.0. Consultado en <https://www.esri.com>
- Farías V, Hernández O, Arizmendi MC, et al. 2016. Registro notable de Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 1153–1158. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.001>
- Fick SE, Hijmans RJ. 2017. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37: 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Figueroa F, Sánchez-Cordero V. 2008. Effectiveness of natural protected areas to prevent use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 17: 3223–3240. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01660-3>
- Flesch AD, Rodríguez-Estrella R, Gallo-Reynoso JP, Armenta-Méndez L, Montiel-Herrera M. 2020. Distribution and habitat of the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in Sonora, Mexico, 1892–2015. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91: e913056. <https://doi.org/10.2220/ib.20078706e.2020.91.3056>
- FMCN (Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza). 2024. Salvemos al águila real. Disponible en <https://fmcn.org/es/proyectos/salvemos-el-aguila-real>
- GBBO (Great Basin Bird Observatory). 2010. Nevada Comprehensive Bird Conservation Plan, ver. 1.0. Great Basin Bird Observatory, Reno, NV. Available at [https://www.gbbo.org/bird\\_conservation\\_plan.html](https://www.gbbo.org/bird_conservation_plan.html)
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility). 2023. *Aquila chrysaetos*. GBIF Occurrence Download: <https://doi.org/10.15468/dl.33rm99>
- Howell SNG, Webb S. 1995. A guide to the birds of Mexico and northern Central America. Oxford University Press, Oxford.
- Íñigo-Elías E. 2000. Águila real. Pp. 117–119. En Ceballos G, Márquez-Valdelamar L (coords.), Las aves de México en peligro de extinción. Fondo de Cultura Económica, Conabio, Instituto de Ecología-UNAM. México, D.F.
- Katzner T, Smith BW, Miller TA, Brandes D, Cooper J, Lanzone M, Bildstein KL. 2012. Status, biology, and conservation priorities for North America's eastern Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) population. *Auk* 129: 168–176. <https://doi.org/10.1525/auk.2011.11078>
- Kochert MN, Steenhof K, McIntyre CL, Craig EH. 2002. Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*). En: Poole A, Gill F (eds.), The birds of North America, No. 684, The Birds of North America, Inc. Philadelphia, PA.
- Lobo JM, Jiménez-Valverde A, Real R. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17: 145–151. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>
- López-López P, García-Ripollés C, Soutullo A, Cadahía L, Urios V. 2007. Identifying potentially suitable nesting habitat for golden eagles applied to "important bird areas" design.



- Animal Conservation 10: 208–218. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2006.00089.x>
- Lozano LF, Ávila H. 2009. Águila Real, el símbolo nacional de México en riesgo. Instituto del Medio Ambiente (IMAE) de Aguascalientes-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Lozano PJ, Murua P. 2020. Determinación de la distribución actual y potencial del águila real (*Aquila chrysaetos*) en el sector occidental de Álava (País Vasco). Pirineos 175: e054. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2020.175004>
- Mateo RG, Felicísimo AM, Muñoz J. 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. Revista Chilena de Historia Natural 84: 217–240. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Morales-Yáñez I, Rodríguez-Estrella R, Gatica-Colima AB. 2023. Selección de sitios de anidación por el águila real *Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758) (Accipitriformes: Accipitridae) en Janos, Chihuahua, México. Acta Zoológica Mexicana (n.s.) 39:1–14. <https://doi.org/10.21829/azm.2023.3912564>
- Morrone JJ. 2014. Biogeographical regionalisation of the Neotropical region. Zootaxa 3782: 1–110. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3782.1.1>
- Nocedal J, Zúñiga-Fuentes A, Arroyo SI. 2010. El águila real (*Aquila chrysaetos*) en el Estado de Durango, México: distribución e implicaciones para su protección y conservación. El Canto del Cenizotle 1: 134–147.
- Osorio-Olvera L, Lira-Noriega A, Soberón J, et al. 2020. NTBOX: An R package with graphical user interface for modelling and evaluating multidimensional ecological niches. Methods in Ecology and Evolution 11: 1199–1206. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13452>
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Peterson AT. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. Journal of Biogeography 34: 102–117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- Peterson AT, Papes M, Soberón J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. Ecological Modelling 213: 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolm.odel.2007.11.008>
- Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, et al. 2011. Ecological niches and geographical distributions. Monographs in Population Biology 49. Princeton: Princeton University Press.
- Phillips SJ, Dudik M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: New extensions and a comprehensive evaluation. Ecography 31: 161–175. <https://dx.doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190: 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolm.odel.2005.03.026>
- Pineda-Pérez FE, Tarango-Arámbula LA, Lozano-Cavazos EA, Rafael-Valdez J, Cruz-Labana JD. 2018. Acciones de conservación del águila real (*Aquila chrysaetos*) y perrito de las praderas (*Cynomys* sp.). Agroproductividad 11: 3–8.
- Prieto-Torres DA, Rojas-Soto OR, Bonaccorso E, Santiago-Alarcón D, Navarro-Sigüenza AG. 2019. Distributional patterns of Neotropical seasonally dry forest birds: a biogeographical regionalization. Cladistics 35: 446–460. <https://doi.org/10.1111/cla.12366>
- Prieto-Torres DA, Lira-Noriega A, Navarro-Sigüenza AG. 2020. Climate change promotes species loss and uneven modification of richness patterns in the avifauna associated to Neotropical seasonally dry forests. Perspectives in Ecology and Conservation 18: 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.01.002>
- PROFAUNA. 2023. Objeto de conservación: Nivel 3a. Especies de fauna Águila real (*Aquila chrysaetos*). Disponible en <https://www.zapaliname.org/>
- R-Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Rodríguez-Estrella R. 2002. A survey of golden eagles in northern Mexico in 1984 and recent records in central and southern Baja California peninsula. Journal of Raptor Research 36:3–9.
- Rodríguez-Estrella R, Rivera-Rodríguez L. 2005.



- Ficha técnica de *Aquila chrysaetos*. En Fichas de las especies de aves incluidas en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROYNOM-ECOL-2000. Parte 2, Escalante P (comp.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Base de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W042. México, D.F.
- Rodríguez-Estrella R, Lafón A, de León G, Nocedal J, Chapa L, Scott L, Eccardi F, Ojeda J, Lozano A. 2020. Informe del Programa de Monitoreo del Águila Real en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste (CIBNOR). México D.F. Disponible en [http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/JB004-Anexo\\_Programa\\_Monitoreo\\_Aguila\\_Real.pdf](http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/JB004-Anexo_Programa_Monitoreo_Aguila_Real.pdf).
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Disponible en <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat2010#:~:text=Esta%20Norma%20Oficial%20Mexicana%20tiene,riesgo%20para%20las%20especies%20>.
- Sergio F, Newton I, Marchesi L. 2005. Top predators and biodiversity. *Nature* 436:192. <https://doi.org/10.1038/436192a>
- Sergio F, Caro T, Brown D, et al. 2008. Top predators as conservation tools: ecological rationale, assumptions, and efficacy. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 39:1–19.
- Sibley DA. 2014. The Sibley guide to birds. National Audubon Society. Knopf Publishing Group. New York.
- Smith JP, Farmer CJ, Hoffman SW, Kaltenecker GS, Woodruff KZ, Sherrington PF. 2008. Trends in autumn counts of migratory raptors in Western North America. Pp. 217–252. En: Bildstein KL, Smith JP, Ruelas-Inzunza E, Veit RR (eds.), *State of North America's birds of prey*. Cambridge, Nuttall Ornithological Club, American Ornithologist's Union. Washington, D.C.
- Soberón J, Peterson AT. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Information* 2:1–10. <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>
- Ștefănescu DM, Bălescu DC. 2019. Predicting the distribution of Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in Romania using the Maxent method. *North-Western Journal of Zoology* 15:67–74.
- USGS. 2001. HYDRO1k elevation derivate database [dataset]. Sioux Falls, SD: U.S. Geological Survey Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. Retrieved from [http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/-Products\\_and\\_Data\\_Available/gtopo30/hydro](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/-Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro)
- Wheeler BK. 2003. *Raptors of western North America*. Princeton University Press. Princeton.

## 4. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que los ecosistemas áridos y semiáridos de Coahuila albergan una notable riqueza avifaunística y especies de alta importancia ecológica y de conservación, como el Águila Real (*Aquila chrysaetos*). La modelación de hábitat permitió identificar áreas prioritarias que coinciden con zonas de alta diversidad y conectividad ecológica, mientras que la evaluación de la avifauna en espacios protegidos y no protegidos evidenció que ambos tipos de ambientes contribuyen significativamente al mantenimiento de la biodiversidad regional. En conjunto, los hallazgos subrayan la relevancia de conservar la heterogeneidad del paisaje y fortalecer las estrategias de manejo que integren tanto los sistemas naturales como los modificados, asegurando así la persistencia de las aves y la funcionalidad ecológica de los ecosistemas áridos del noreste de México.

## 5. REFERENCIAS

- Almazán-Núñez, R. C.,** Puebla-Olivares, F., y Almazán-Juárez, A. 2009. Diversidad de aves en bosques de pino-encino del centro de Guerrero, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 25(1), 123-142. <https://doi.org/10.21829/azm.2009.251604>
- Álvarez-Mondragón, E.** y Morrone, J.J. 2004. Propuesta de áreas para la conservación de aves de México, empleando herramientas panbiogeográficas e índices de complementariedad. *Interciencia*. 29 (3): 112-120.
- Berlanga, H.** 2001. Conservación de las aves de América del Norte. *CONABIO. Biodiversitas* 38: 1-8.
- Berlanga, H.** y Rodríguez, V. 2010. Las aves migratorias: a prueba de muros. *Revista Naturalia*. Volumen (15): 3 p.
- BirdLife International**, 2008. El estado de conservación de las aves del mundo: indicadores en tiempos de cambio. Cambridge, UK: BirdLife International.
- CCA.** 1999. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal, Canadá. 369 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)** y Gobierno del Estado de Coahuila. 2018. La biodiversidad en Coahuila: Estudio de Estado, Vol. II. Vertebrados, invertebrados y hongos. CONABIO.
- Dirzo, R.,** Young, H.S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N.J., Collen, B. 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science*. 345 (6195): 401-406.



- Fuentes-Moreno**, A., Mogollón-Serrano, M., Servín-Torres, J. L., Serna-Lagunes, R., Leyva-Ovalle, O. R., Llaena-Hernández, R. C., y García-Martínez, M. A. 2020. Diversidad de aves en un paisaje antrópico en el centro del estado de Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23 (1), 1-14.
- Garza de León**, A., Morán, I., Valdés, F. y Tinajero, R. 2007. COAHUILA. En Ortiz-Pulido, R., Navarro-Sigüenza, A., Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O., Peterson, T.A. (Eds.), *Avifaunas Estatales de México*. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. Pp. 98- 136.
- Giubbina** M. F., A. C. Martensen and M. C. Ribeiro. 2018. Sugarcane and Eucalyptus plantation equally limit the movement of two forest dependent understory bird species. *Austral Ecology*. 43(5): 527-533.
- González- Ortega**, M. A. A., Hernández, J. G., Gómez, M. F. M., y Velázquez, L. E. D. 2003. Un método para la selección de aves bioindicadoras con base en sus posibilidades de monitoreo. *Huitzil Revista Mexicana de Ornitología*. Volumen (4): Pp 10-16.
- Howell**, S.N.G. y Webb, S. 1995. *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. Oxford University Press, New York.
- Jaime-Escalante**, N. G., Figueroa-Esquivel, E. M., Villaseñor-Gómez, J. F., Jacobo-Sapien, E. A., y Puebla-Olivares, F. 2016. Distribución altitudinal de la riqueza y composición de ensamblajes de aves en una zona montañosa al sur de Nayarit, México. *Revista de Biología Tropical*. 64(4), 537-1551. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i4.20255>
- Lookingbill**, T. R., y Urban, D. L. 2005. Gradient analysis, the next generation: towards more plant-relevant explanatory variables. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(7), 1744-1753. <https://doi.org/10.1139/x05-109>

- Mace** G.M., Possingham HP, Leader-Williams N. 2006. Prioritizing choices in conservation. In: Macdonald DW, Struever K (eds). Key Topics in Conservation Biology . Blackwell Publishing. Massachusetts. pp: 17-34.
- MacGregor-Fors**, I., Schondube, J. 2011. Use of tropical dry forests and agricultural areas by Neotropical bird communities. *Biotropica*, 43, 365-370. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00709.x>
- Navarro-Sigüenza**, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, T., Berlanga, H., Sánchez-González, L. A. 2014. Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Volumen. 85, Pp. 476-495.
- Ocampo-Peñuela**, N. 2010. El fenómeno de migración de las aves: una mirada desde la Orinoquia. *Orinoquia*. Volumen (14). Pp188-200.
- Pimm** S.L., Brooks T.M. 1997. The sixth extinction: How large, how soon, and where? In: Rave PH (ed). *Nature and human society, the quest for a sustainable world*. National Academy Press. Washington, DC. pp: 46-62.
- Ramírez-Ojeda**, G., Ramírez-Segura, E., Barrera-Guzmán, L. y Vázquez-González, A. 2024. Ecogeography and climate change in forage grasses from arid an semi-arid regions of Mexico. *Grasses*. <https://doi.org/10.3390/grasses3020008>.
- Schondube**, J., Chávez-Zchinelli, C, Lindig-Cisneros, R., López-Muñoz, E., MacGregor-Fors, I., Maya-Elizarrás, E., Morales-Pérez, L., Salaverria, C., Quesada-Lara, J., Tapia-Harris, C. 2018. Aves en paisajes modificados por actividades humanas. Pp. 207-232. En: A. Ramírez-Bautista, R. Pineda-López (Eds.). *Ecología y Conservación de Fauna en Ambientes Antropizados*. REFAMA-CONACyT-UAQ, Querétaro, México.

- Ter Braak**, . J. F., y Prentice, I. C. (2004). A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research*, 34, 235-282. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(03\)34003-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(03)34003-6)
- Whelan**, C. J., Wenny, D. G., y Marquis, R. J. 2008. Ecosystem services provided by birds. *Annals of the New York academy of sciences*. Volumen (1134): Pp 25-60.
- Whittaker**, R. H. 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews*, 49, 207-264. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1967.tb01419.x>
- Yahya** M. S., M. Syafiq, A. Ashton-Butt, A. Ghazali, S. Asmah, and B. Azhar. 2017. Switching from monoculture to polyculture farming benefits birds in oil palm production landscapes: Evidence from mist netting data. *Ecology and Evolution* 7(16): 6314-6325.