



**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Influencia de la estructura vegetal, del paisaje y disponibilidad  
de presas sobre la ocupación de hábitat del cernícalo  
americano (*Falco sparverius*) en el Altiplano Potosino-  
Zacatecano.**

Tesis que presenta

**Alicia Andrea Lugo Elías**

Para obtener el grado de

**Maestro(a) en Ciencias Ambientales**

**Codirectores de la Tesis:**

**Dr. Felipe Barragán Torres**

**Dr. Leonardo Chapa Vargas**

San Luis Potosí, S.L.P., Octubre de 2016



## Constancia de aprobación de la tesis

La tesis ***“Influencia de la estructura vegetal, del paisaje y disponibilidad de presas sobre la ocupación de hábitat del cernícalo americano (*Falco sparverius*) en el Altiplano Potosino-Zacatecano”*** presentada para obtener el Grado de Maestra en Ciencias Ambientales fue elaborada por **Alicia Andrea Lugo Elías** y aprobada el **veintiocho de octubre del dos mil dieciséis** por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

**Dr. Felipe Barragán Torres**  
Codirector de la tesis

**Dr. Leonardo Chapa Vargas**  
Codirector de la tesis

**Dr. José Romeo Tinajero Hernández**  
Miembro del Comité Tutorial

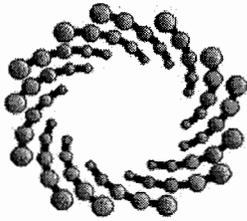
**Dr. Jaime Luévano Esparza**  
Miembro del Comité Tutorial



## **Créditos Institucionales**

Esta tesis fue elaborada en el Laboratorio de Ecología experimental y Ecología de suelos de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la codirección del Dr. Felipe Barragán Torres y el Dr. Leonardo Chapa Vargas.

Durante la realización del trabajo el autor recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (333079) y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.



**IPICYT**

# Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

## Acta de Examen de Grado

El Secretario Académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., certifica que en el Acta 038 del Libro Primero de Actas de Exámenes de Grado del Programa de Maestría en Ciencias Ambientales está asentado lo siguiente:

En la ciudad de San Luis Potosí a los 28 días del mes de octubre del año 2016, se reunió a las 11:00 horas en las instalaciones del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., el Jurado integrado por:

<b>Dr. Jaime Luévano Esparza</b>	<b>Presidente</b>	<b>CISESE</b>
<b>Dr. José Romeo Tinajero Hernández</b>	<b>Secretario</b>	<b>IPICYT</b>
<b>Dr. Felipe Barragán Torres</b>	<b>Sinodal</b>	<b>IPICYT</b>
<b>Dr. Leonardo Chapa Vargas</b>	<b>Sinodal</b>	<b>IPICYT</b>

a fin de efectuar el examen, que para obtener el Grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

sustentó la C.

**Alicia Andrea Lugo Elías**

sobre la Tesis intitulada:

*Influencia de la estructura vegetal, del paisaje y disponibilidad de presas sobre la ocupación de hábitat del cernícalo americano (Falco sparverius) en el Altiplano Potosino-Zacatecano*

que se desarrolló bajo la dirección de

**Dr. Felipe Barragán Torres**  
**Dr. Leonardo Chapa Vargas**

El Jurado, después de deliberar, determinó

**APROBARLA**

Dándose por terminado el acto a las 13:06 horas, procediendo a la firma del Acta los integrantes del Jurado. Dando fe el Secretario Académico del Instituto.

A petición de la interesada y para los fines que a la misma convengan, se extiende el presente documento en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, a los 28 días del mes de octubre de 2016.

**Mtra. Ivonne Lizette Cuevas Vélez**  
Jefa del Departamento del Posgrado

*Marcial Bonilla Marín*  
**Dr. Marcial Bonilla Marín**  
Secretario Académico



## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, ya que a través de su fondo para investigación de ciencia básica SEP-CONACYT (CB-2012-01-1833) aportó los fondos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica y a la división de Ciencias Ambientales por el apoyo financiero por medio de recursos del departamento.

Al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas por el préstamo de equipo de campo, que ayudo con el arranque de este proyecto.

Al Dr. Felipe Barragán por sus enseñanzas y su paciencia.

Al Dr. Leonardo Chapa por su constante asesoría.

Al Dr. Romeo Tinajero por su orientación durante la planeación y desarrollo de la tesis.

Al Dr. Jaime Luévano por sus comentarios y sugerencias que enriquecieron este proyecto.

A mi tutor de Licenciatura Guillermo Martínez de la Vega por su constante apoyo.

A Larisa Velazco, Gerardo Ham, Antonio Ortiz, Francisco Pérez y Xavier García por su colaboración y compañía en campo.

A Zarahy Garay por apoyarme en gran medida durante el proyecto tanto en campo como en laboratorio.

A Alejandra Colunga por su guía en el laboratorio.

A mi familia que siempre me apoyó incondicionalmente.

# Contenido

Constancia de aprobación de la tesis	ii
Créditos institucionales	iii
Acta de examen	iv
Agradecimientos	v
Contenido	vi
Lista de tablas	vii
Lista de figuras	viii
Anexos	ix
Resumen	x
Abstract	xi
I. Introducción	1
II. Hipótesis	5
III. Objetivo general	6
III.1. Objetivos específicos	6
IV Metodología	7
IV.1. Área de estudio	7
IV.2 Diseño de muestreo	9
IV.2.1 Muestreo de aves	9
IV.2.2 Tipo de hábitat y composición de paisaje	10
IV.2.3 Estructura vegetal y disponibilidad de presa	10
IV.2.4 Vegetación	10
IV.2.5 Densidad de perchas	11
IV.2.6 Roedores	11
IV.2.7 Insectos	12
IV.3. Análisis de datos	13
IV.3.1 Análisis de presas	14

V.	Resultados	16
VI.	Discusión	27
VII.	Conclusiones	34
VIII.	Referencias	35
IX.	Anexo	43

## Lista de tablas

Tabla 1. Registros de cernícalo obtenidos por transecto y por temporada.	16
Tabla 2. Probabilidad de detección estimada para cada muestreo por temporada	16
Tabla 3. Abundancia de ratones capturados y biomasa de insectos obtenida por localidad y época.	17
Tabla 4. Modelos candidatos para explicar la ocupación de hábitat del cernícalo americano durante la temporada de primavera-verano.	18
Tabla 5. Parámetros promediados y pesados que influyen la ocupación del cernícalo americano en la temporada de primavera-verano.	19
Tabla 6. Modelos candidatos para explicar la ocupación de hábitat del cernícalo americano durante la temporada de primavera-verano.	21
Tabla 7. Parámetros promediados y pesados que influyen la ocupación del cernícalo americano en la temporada de otoño-invierno.	22
Tabla 8. Modelos candidatos para explicar la biomasa de insectos durante la temporada de primavera-verano.	23
Tabla 9. Parámetros promediados y pesados que influyen sobre la biomasa de insectos disponible para el cernícalo americano en la temporada de primavera-verano.	23
Tabla 10. Modelos candidatos para explicar la abundancia de ratones durante la temporada de otoño-invierno.	24
Tabla 11. Parámetros promediados y pesados que influyen sobre la abundancia de ratones en la temporada de otoño-invierno.	25

## Lista de figuras

Figura 1. Zona de estudio.	8
Figura 2. Efecto de las variables independientes sobre la probabilidad de ocupación de hábitat por el cernícalo americano, durante la temporada de primavera-verano.	20
Figura 3. Efecto de las variables independientes sobre la probabilidad de ocupación de hábitat por el cernícalo americano, durante la temporada de otoño-invierno.	22
Figura 4. Efecto de las variables independientes sobre la biomasa de insectos, durante la temporada de primavera-verano.	24
Figura 5. Efecto de altura de herbáceas (a), cobertura de arbustos (b), y número de arbustos(c) sobre la abundancia de ratones en la temporada de otoño-invierno.	26

## Anexos

Figura 1. Distribución potencial del cernícalo Americano ( <i>Falco sparverius</i> ) en el Altiplano Potosino.	43
Tabla 1. Datos tomados al realizar los muestreos de cernícalo americano.	43
Tabla 2. Cernícalos observados durante muestreos.	44
Tabla 3. Tipos de perchas utilizadas por los cernícalos muestreados.	44
Gráfica 1. Promedio del número de perchas naturales y artificiales presentes por punto de muestreo en sitios considerados agrícolas y no agrícolas.	44

## Resumen

Influencia de la estructura vegetal, del paisaje y disponibilidad de presas sobre la ocupación de hábitat del cernícalo americano (*Falco sparverius*) en el Altiplano Potosino-Zacatecano.

El cernícalo americano es un ave rapaz con una amplia distribución en el continente Americano. Las poblaciones del norte del continente han disminuido su abundancia en los últimos años y se ha considerado que la causa de estas disminuciones pudiera encontrarse parcialmente en sus rutas migratorias y zonas de invernación, como son los semi-desiertos de México, donde a la vez existen poblaciones residentes. La información sobre la ecología de esta especie en la zona es escasa. Por lo que en este estudio se evaluó el efecto de la agricultura, estructura vegetal y disponibilidad de presas sobre los patrones de ocupación de hábitat del cernícalo americano en una zona semiárida del Altiplano Potosino-Zacatecano durante primavera-verano del 2015 y otoño-invierno del 2015-2016. La probabilidad de ocupación en primavera-verano fue de 0.47 y en otoño-invierno aumentó a 0.72 debido a la llegada de las poblaciones migratorias. El cernícalo mostró cierta capacidad de adaptarse a la agricultura, sin embargo, en paisajes con proporciones elevadas de agricultura disminuyó la ocupación. La presencia de perchas (yucas, postes, quiotes de maguey) y la baja densidad vegetal determinaron un hábitat favorable para el cernícalo. Los insectos fueron las presas más importantes durante primavera-verano, mientras que durante otoño-invierno lo fueron los roedores. Hace falta estudiar más a fondo como los agro-sistemas influyen en sus poblaciones y determinar posibles diferencias en los requerimientos de hábitat de las poblaciones residentes y migratorias.

Palabras clave.- Falconiformes, ecología del paisaje, aves rapaces, poblaciones, semi-desiertos, Altiplano Mexicano.

## Abstract

Influence of plant structure, landscape and prey availability on habitat occupancy by American kestrels (*Falco sparverius*) in the Altiplano Potosino-Zacatecano.

The American kestrel is a widely distributed bird of prey within the Americas. Abundance of its northern populations have significantly declined in recent years. It has been proposed that some causes of these declines may take place in migratory routes and wintering grounds, such as semi-deserts in Mexico, where resident populations are present too. This project aims at assessing potential effects of agriculture, plant structure, and prey availability on habitat occupancy patterns by the American kestrel in the Mexican semiarid highland plateau during two climatic seasons (spring-summer 2015 and autumn-winter 2015-2016). Occupancy probability was 0.47 during the spring-summer period and increased to 0.72 in fall-winter due to the arrival of migrants. Though the kestrel showed the ability to adapt to agriculture, landscapes with high proportions of agriculture were unoccupied. As for the vegetation structure, the presence of perches (yucas, posts, quites of maguey), as well as moderate vegetation density determined a favorable habitat for kestrel occupancy. Whereas insects were the most important prey during spring-summer, in autumn-winter rodents were the main prey. Additional study is needed to evaluate effects of agriculture in kestrel populations, as well as potential differences in habitat requirements between resident and migratory populations.

Key words- Falconiformes, landscape ecology, raptor birds, populations, semideserts, Mexican highland plateau.

## I. Introducción

El cernícalo Americano (*Falco sparverius*) es una especie de ave rapaz de tamaño (22-31cm) pequeño que pertenece al orden de los Falconiformes. Se distribuye de manera abundante en todo el continente Americano y presenta poblaciones que migran desde Norte América hacia el Centro y Sur del continente, permaneciendo en estas zonas durante los meses de septiembre a febrero (Cornell Lab of Ornithology, 2015; Ruiz-Campos *et al.*, 2005). A la vez existen poblaciones residentes meridionales que permanecen en esta región durante todo el año (Farmer y Smith, 2009; Howell y Webb, 2005; Powell *et al.*, 2015).

Las actividades antrópicas han marcado varios eventos que se relacionan con la disminución de las poblaciones de cernícalo americano al norte de América. En los años 30 con el inicio del uso de plaguicidas en los cultivos, como el dicloro-difenil-tricloroetano, mejor conocido como DDT, las poblaciones de cernícalo y otras rapaces empezaron a disminuir drásticamente, debido a la acumulación de toxinas en sus presas que terminaban acumulándose en las aves rapaces. En los años 70, con la prohibición del uso de DDT, se observó una recuperación lenta de las poblaciones de aves rapaces. Sin embargo, las poblaciones de cernícalo americano continuaron mostrando disminuciones en algunas partes de Norteamérica (Cirino, 2016; Ruelas y Smith, 2008).

Entre las posibles causas que pudieran explicar este fenómeno, se ha considerado a la enfermedad del virus del oeste del Nilo, la depredación por otras aves rapaces como el gavilán de Cooper (*Accipiter cooperii*), el aumento en el tráfico aéreo, la contaminación ambiental (pesticidas) y la pérdida y degradación de su hábitat. Sin embargo, en conjunto estas causas parecen no explicar completamente los patrones de cambio en las poblaciones de la especie. Algunos autores sugieren que efectos importantes en tendencias poblacionales de la especie pudieran encontrarse a lo largo de sus rutas migratorias y/o en sus sitios de invernación, como lo son las zonas áridas de México (Bird, 2009; Smallwood *et al.*, 2009b).

Se sabe que algunas de las limitantes más importantes para las rapaces son la disponibilidad de hábitat y alimento tanto en zonas de anidamiento, como en las zonas de paso e invernación (Medellín *et al.*, 2009; Tinajero y Rodríguez, 2012). Sin embargo la información actual de las poblaciones del cernícalo en estas áreas es escasa para establecer un panorama actual de estas poblaciones y determinar que componentes del paisaje son las que determinan un hábitat óptimo para la especie.

Estudios realizados en Estados Unidos, sugieren que el cernícalo americano tiene preferencia por hábitats abiertos (Ardia y Bildstein, 1997; Leveau y Leveau, 2002) debido a que las coberturas de la vegetación con copas altas y densas obstruyen la visibilidad y obstaculizan su capacidad para forrajear y cazar (Smallwood, 1988). Aunado a esto, su estrategia para la captura de presas está relacionada con la utilización de perchas (estructuras altas como árboles y postes donde la especie posa para visualizar a su presa), las cuales también son utilizadas como refugios (Líebana *et al.*, 2009). En este sentido, se ha encontrado que la abundancia del cernícalo aumenta conforme aumentan las perchas, existiendo un límite donde a mayor número de perchas el hábitat se vuelve cerrado, lo cual es negativo para el cernícalo (Smallwood, 1988). Por lo tanto, la cobertura vegetal y las perchas son de gran importancia para estas aves y pueden ser determinantes en la ocupación de un área.

En las zonas áridas de México se ha registrado la presencia del cernícalo americano (*Falco sparverius*) junto con otras especies de aves rapaces como el halcón cola roja (*Buteo jamaicensis*) y el halcón de Harris (*Parabuteo unicinctus*) (Tinajero y Rodríguez, 2012; Contreras-Balderas, 1992). Estas especies se han reportado en distintos tipos de vegetación, incluyendo en los ambientes agrícolas, sin embargo, se desconocen los factores que determinan su presencia o ausencia en estos ambientes agrícolas, por lo que el efecto de cambio de uso de suelo sobre las poblaciones de esta especie es aún impredecible (Contreras-Balderas, 1992; Mills, 1975; Haapakoski *et al.*, 2013). En el estado de Illinois (EU) no se han encontrado cambios en la abundancia de las poblaciones migratorias de cernícalo americano a pesar del incremento de las zonas con actividades agrícolas (Groves

*et al.*, 2013). Estos resultados sugieren que la especie puede soportar algunos niveles de perturbación antropogénica, de tal manera que es necesario analizar otras variables aunadas a este disturbio, ya que dependiendo de la extensión, manejo y la vegetación adyacente a estas actividades, podrían influenciar negativa o positivamente a la presencia de esta especie de ave rapaz.

La dieta del cernícalo, se ha descrito en diferentes hábitats (Avila, 2002; Beltzer, 1990; Boal y Giovanni, 2007; Hiraldo *et al.*, 1991), registrando que esta se compone de diversos grupos taxonómicos como pequeños mamíferos, reptiles, anfibios, aves e insectos, siendo los insectos y pequeños roedores los mayormente representados.

Por otro lado, a pesar de que ya existen estudios sobre el efecto de algunos elementos del paisaje sobre poblaciones de aves rapaces (Fillooy y Bellocq, 2007; González *et al.*, 2012; Rullman y Marzluff, 2014; Dykstra, *et al.*, 2001; Sergio y Newton, 2003) aún hacen falta estudios que consideren como la estructura y composición del paisaje influyen en las interacciones con otras especies, sobre todo porque estas aves rapaces son depredadores tope y su ocupación también está ligada a la disponibilidad de presas (como son pequeños mamíferos y/o insectos). Por lo que se puede esperar que la configuración del paisaje no solo influye en la presencia del cernícalo, sino también sobre la presencia y abundancia de presas (Isasi, 2011; Sergio *et al.*, 2006).

La naturaleza evasiva y las bajas abundancias de las aves rapaces, complica obtener información sobre la influencia de los componentes del paisaje con base en estimadores poblacionales como índices de diversidad o abundancia, ya que estas requieren de un tamaño de muestra considerable, por lo que alternativamente se pueden estimar índices de ocupación de hábitat (MacKenzie *et al.*, 2006), los cuales estiman la probabilidad de que un sitio esté ocupado por la especie, tomando en cuenta la probabilidad de detección de la misma y factores ambientales que influyen a este parámetro poblacional.

Los paisajes del Altiplano Potosino-Zacatecano están fuertemente influenciados por las actividades antrópicas, a tal grado que de 1993 al 2007 se ha registrado una deforestación anual del 0.2% de matorral xerófilo, para convertirlo en pastizal inducido y agricultura (riego y temporal; Aragón *et al.*, 2013). Además, se ha registrado la pérdida de los pastizales naturales, de manera particular en el norte del estado de San Luis Potosí a razón de 1% anual desde 1970 (Yeaton y Flores, 2006).

Un reciente estudio sobre la distribución actual y potencial del cernícalo americano lo ubica en el Altiplano Potosino-Zacatecano (Anexo I), habiendo poblaciones residentes durante todo el año, sumándose poblaciones migratorias durante otoño e invierno, sin embargo, no se tiene información sobre la posible influencia que pudiera tener la interacción entre estos dos grupos sobre su comportamiento en la elección de un hábitat, ya que se ha visto que cuando poblaciones migratorias llegan a sus sitios de invernación, su comportamiento puede ser más oportunista que las residentes y adaptarse mejor a los disturbios antrópicos, o bien, puede existir una competencia con las poblaciones residentes (Martín y Finch, 1995; Pérez y Hobson, 2009).

Dado que esta es una de las zonas con menor información sobre la diversidad de aves en México (Arriaga *et al.*, 2000; Jasso, 2008), conocer los factores que influyen sobre la ecología del cernícalo en esta región es de importancia para la toma de decisiones que pudieran influir positivamente en las poblaciones de esta especie en el altiplano Mexicano y a nivel global. Por ello, en este estudio se plantea determinar si la estructura y composición del paisaje, la presencia de las zonas agrícolas, la estructura vegetal, y la abundancia de presas son factores que determinan la ocupación del hábitat de poblaciones del cernícalo americano en el altiplano Potosino-Zacatecano.

## **II. Hipótesis**

Se espera que en Otoño-Invierno del 2015-2016 se incremente la ocupación de hábitat por el cernícalo americano en comparación con Primavera-Verano del 2015, debido a la llegada de individuos migratorios.

La ocupación del hábitat por el cernícalo americano estará regulada por la combinación de factores ambientales de tal manera que:

- Entre mayor sea la proporción del área agrícola en el hábitat, menor será la ocupación.
- La ocupación de hábitat será mayor en presencia de vegetación nativa con una baja densidad de arbustos y herbáceas.
- La presencia de perchas favorecerá la ocupación del hábitat, pero existirá un límite a partir del cual, si la abundancia de perchas aumenta, disminuirá la ocupación.
- La disponibilidad y densidad de presas estará relacionada con altas tasas de ocupación del hábitat. A la vez estas podrán estar condicionadas por la estructura vegetal a nivel local.

### III. **Objetivo general**

Evaluar la contribución de los distintos factores que podrían afectar los patrones de ocupación de hábitat por parte del cernícalo americano en una zona semiárida del Altiplano Potosino- Zacatecano en dos épocas climáticas.

#### III.1. Objetivos específicos

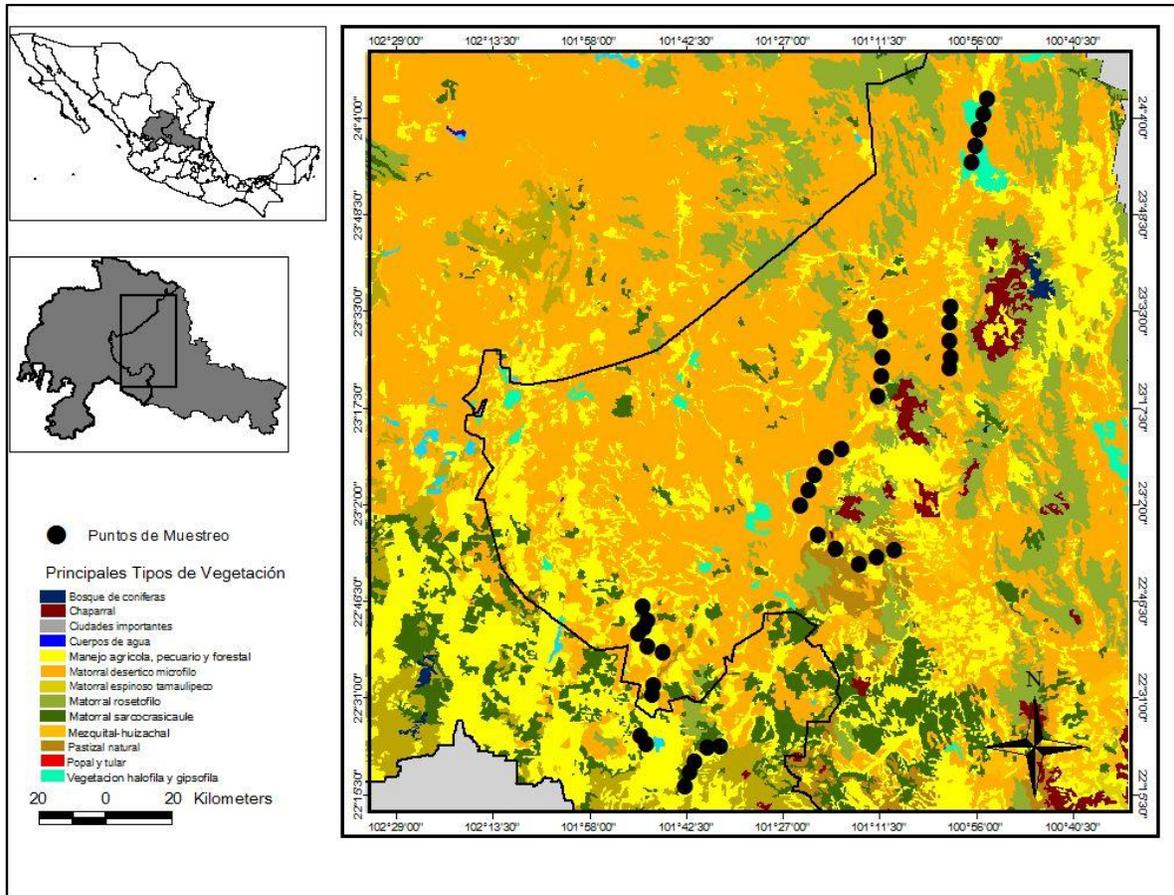
- Evaluar los patrones de ocupación de hábitat entre temporadas climáticas (primavera-verano vs otoño-invierno).
- Determinar la influencia de la **composición del paisaje** (porcentaje de suelo agrícola), **estructura vegetal** (densidad de herbáceas, arbustos y perchas) y disponibilidad de **presas** sobre los patrones de ocupación del hábitat del cernícalo americano.
- Definir la importancia relativa de cada uno de los factores antes mencionados para determinar la ocupación de hábitat por parte del cernícalo.
- Evaluar la relación entre la disponibilidad de presas y la estructura vegetal (cobertura, altura y densidad de arbusto y herbáceas).

## IV. Métodos

### IV.1 Área de estudio

El Altiplano Potosino-Zacatecano se encuentra en la región de la Meseta Central y en parte de la Sierra Madre Oriental, incluye porciones de los estados de San Luis Potosí y Zacatecas y forma parte del sur del desierto Chihuahuense (Figura 1A). Los rangos de temperatura que se presentan oscilan entre 10 y 20 °C, con una precipitación de entre 300 y 600 mm siendo un clima de tipo seco (BS) con variantes entre seco templado, semicálido, semiseco templado y templado subhúmedo con lluvias en verano en algunas zonas.

La región contiene varios tipos de suelo como: Calcisol, Leptosol, Chernozem, Durisol y Phaeozem (INEGI, 2009). El suelo es principalmente de uso agrícola y de agostadero, las comunidades vegetales incluyen zacatales y matorrales desérticos de tipo crasicaule, rosetofilo y microfilo, incluyéndose a los isotales. En estas comunidades vegetales, las especies arbóreas más dominantes son el huizache (*Acacia farnesiana*), mezquite (*Prosopis laevigata*) y yuca (*Yucca* sp.). En la capa arbustiva, las especies más comunes son *Larrea tridentata*, *Flourensia* sp, *Jatropha dioica*, *Celtis* sp. y *Condalia* sp.. Además se presenta una alta diversidad de especies representativas de la familia Cactaceae. Los lagos y ríos permanentes son poco comunes, por lo tanto la disponibilidad de agua está representada en su mayoría por pozos, así como por corrientes y cuerpos de agua intermitentes (v.g. ojos de agua y presas) que forman parte de la región hidrológica El Salado y Lerma. En esta zona las principales actividades agropecuarias son el pastoreo de ganado ovino y caprino y el cultivo de temporal principalmente de maíz y frijol (INEGI, 2012; Rzedowzki, 1961).



**Figura 1.** Zona del Altiplano Potosino-Zacatecano en la cual se llevaron a cabo los muestreos del *cernícalo Americano*.

## IV.2. *Diseño de Muestreo*

En la zona de estudio se establecieron ocho transectos de 30 km de longitud cada uno, los cuales incluían matorrales y zonas agrícolas. Dentro de cada transecto se establecieron y georreferenciaron cinco puntos de muestreo a los 5, 10, 15, 20 y 25 kilómetros para un total de 40 puntos de muestreo (Figura 1B).

### IV.2.1. *Muestreo de aves*

Para estimar la probabilidad de ocupación de hábitat por el cernícalo americano, se realizó un muestreo siguiendo la metodología de Fuller y Mosher (1987). Este método consistió en recorrer los 30 km de cada transecto a bordo de un vehículo a una velocidad menor de 40 km/h, registrando los cernícalos observados. Para los muestreos se utilizaron binoculares con distanciometro láser (marca Zeiss). En cada uno de los cuarenta puntos se le asignó el número uno cuando se registró a la especie dentro de un radio de 1 km alrededor del punto, y un cero cuando la especie no fue registrada. Los datos registrados en cada individuo son los que se describen en la Tabla 1 del anexo. Este diseño se basa en el supuesto de que el área de actividad del cernícalo es de 3 km<sup>2</sup> aproximadamente (1 km radio= 3.14 km<sup>2</sup>) (Enderson, 1960; Lane y Ficher, 1997; Mills, 1975; Townes, 2014).

Los muestreos en cada punto se repitieron en cinco ocasiones para la época de primavera-verano (abril a agosto del 2015) y cinco veces para la de otoño-invierno (octubre de 2015 a febrero de 2016). Los meses durante los cuales no se realizaron muestreos corresponden a épocas de transición, cuando las poblaciones del norte empiezan a migrar y es difícil determinar si existen poblaciones solo residentes o también migratorias en la zona de estudio. Los recorridos se realizaron durante la mañana (9 am -12 pm) y la tarde (4 pm - 6 pm), ya que estas son las principales horas de actividad del cernícalo y de las aves rapaces en general (Buon *et al.*, 1995; Vergara, 2010). Este método ha probado ser conveniente y eficiente para el monitoreo de poblaciones de aves rapaces que tienen una amplia dispersión y una alta movilidad (Jaksić, 1982; Malan, 2009).

#### IV2.2. *Tipo de hábitat y composición del paisaje*

Mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y con mapas de vegetación y uso de suelo de la región de estudio (Chapa-Vargas y Monzalvo-Santos, 2012; INEGI, 2013), se describieron las áreas de influencia del cernícalo alrededor de cada punto de muestreo. Con el programa Arc View 3.3 se crearon dos Buffers alrededor de cada punto; con radios de 1 y 5 km respectivamente, dentro de los cuales se midió el porcentaje de zonas agrícolas y de matorral presente utilizando las extensiones “Spatial analyst”, “Geoprocessing” y “Patch analyst”.

#### IV2.3. *Estructura vegetal y abundancia de presas*

Dentro de cada punto de muestreo se estableció un sitio al azar donde se realizaron mediciones de cobertura y altura vegetal, así como de la disponibilidad de perchas, También en cada punto, se realizaron muestreos de invertebrados y roedores, en cada una las temporadas climáticas.

#### IV2.4. *Vegetación*

Para medir la estructura de la vegetación, se colocaron dos cuerdas (transectos) de 11 metros de largo cada una, atravesadas en forma de cruz sobre el suelo (James y Shugart, 1970). Se contabilizaron las plantas arbustivas (S) y herbáceas (H) en cada transecto y a un ancho de 1.5 m. La densidad se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Densidad} = \text{no. de arbustos o herbáceas} / 30.75\text{mts}^2$$

\*Adicionalmente se realizaron mediciones de la cobertura y altura de la vegetación para determinar la influencia de la estructura vegetal sobre la disponibilidad de presas.

Sobre los mismos transectos, se calculó la cobertura vegetal utilizando el método de línea de Canfield (González y Sánchez., 1998). La cobertura vegetal se obtuvo a través de la siguiente ecuación:

$$CV = \left( \frac{\sum I}{L} \right) \times 100$$

\*En donde,  $\sum I$ = sumatoria de las intercepciones de la vegetación y L= Longitud total de la línea (22mts.).

Por otro lado se calculó la altura promedio de la misma vegetación a través de lo siguiente:

$$\text{Altura promedio} = \sum \text{Altura}_i / n$$

\* $\text{Altura}_i$ = altura de cada uno de los individuos y n el número total de individuos.

#### IV2.5. *Densidad de Perchas*

Para determinar la disponibilidad de perchas, se contó el número de perchas potenciales encontradas dentro de un círculo de 100 metros de radio alrededor del punto al azar, utilizando binoculares con distanciometro (Zeiss). Las perchas que se consideraron fueron aquellas en las que frecuentemente observamos a los cernícalos posados como: árboles (Yucas, mezquites o huizaches), quites de maguey y postes de luz o teléfono con alturas mayores a 3 m (Tabla 3 del anexo). Se expresó la densidad como:

$$\text{Densidad} = \text{no. de perchas} / \text{área del círculo}$$

#### IV2.6. *Roedores*

Para el registro de pequeños roedores, se colocaron en cada punto de muestreo cinco trampas tipo "Sherman" para un total de 25 trampas por transecto sumando 200 para el total del muestreo (Cruz, 2004). Las trampas se camuflajearon con forros de papel café o verde (según el sitio) y cebadas con una mezcla de avena y vainilla. Las trampas se colocaron bajo arbustos o nopales, cerca de madrigueras, permanecieron activas durante dos noches consecutivas, con revisiones cada 24 hrs (entre las 7:00 am a las 11:00 am, dependiendo de la distancia entre sitios).

A cada roedor capturado se le determinó la longitud total, longitud de la cola, longitud de oreja, longitud de la pata y peso. Se identificaron a nivel de especie con la ayuda de claves dicotómicas y guías de campo (Villa y Cervantes, 2003; Ceballos y Oliva, 2005; Gutiérrez *et al.*, 2000). Para evitar dobles conteos, los individuos capturados fueron marcados de manera temporal con violeta de genciana (antiséptico) y liberados *in situ*.

Para determinar y comparar la disponibilidad de roedores entre los puntos, se calculó la abundancia de roedores (número de individuos capturados por punto de muestreo).

#### IV2.7. *Insectos*

En cada punto de muestreo se estableció un transecto de 100 metros de longitud, en el cual cada 10 metros se realizaron colectas de insectos abanicando cinco veces una red entomológica (Luna, 2005). Esto se realizó durante dos mañanas seguidas en cada punto y para cada temporada climática (100 golpes en total por punto de muestreo por temporada). Los insectos colectados fueron conservados en frascos con alcohol al 70%. Sólo se colectaron ortópteros (grillos y chapulines) por ser el grupo principal en la dieta del cernícalo (Avila, 2002; Beltzer, 1990; Boal y Giovanni, 2007; Hiraldo *et al.*, 1991).

Para estimar y comparar la biomasa de los insectos entre los sitios, se calculó el peso seco de las muestras colectadas. En el laboratorio los insectos se deshidrataron en un horno a 60° durante 72 horas. Estas muestras se pesaron en una balanza analítica con la ayuda de un desecador para transportarlas y de paquetes de silicona para evitar su rápida rehidratación (Gallardo *et al.*, 2015; López *et al.*, 1996-1997).

### IV.3. Análisis de datos

Con base en las historias de encuentro originadas de los muestreos de aves y los horarios en que estos se realizaron, se estimó la probabilidad de ocupación y de detección del cernícalo americano. Con este análisis se obtuvieron los estimadores para la variable de respuesta *Psi* (probabilidad de ocupación del hábitat) y se generaron modelos candidatos, los cuales son diferentes hipótesis que pudieran explicar la variabilidad en la ocupación de hábitat por parte del cernícalo en función a las variables independientes medidas en campo, mediante métodos de máxima verosimilitud. Estos análisis se realizaron con la ayuda del programa PRESENCE versión 6.9 y se realizaron de manera independiente para cada una de las dos estaciones climáticas.

El criterio para seleccionar las variables independientes se basó en los resultados de estudios previos sobre los efectos de estos factores en la ocupación de hábitat de otras especies de aves rapaces y del cernícalo mismo en Norte América (Ardia y Bildstein, 1997; Avila, 2002; Beltzer, 1990; Boal y Giovanni, 2007; Contreras-Balderas, 1992; Groves *et al.*, 2013; Haapakoski *et al.*, 2013; Hiraldo *et al.*, 1991; Isasi, 2011; Leveau y Leveau, 2002; Liebana *et al.*, 2009; Mills, 1975; Sergio *et al.*, 2006; Smallwood, 1988).

Los modelos de ocupación de hábitat que se consideraron fueron: 1) modelo nulo; 2) modelo global; 3) abundancia de roedores; 4) peso seco de insectos; 5) porcentaje de agricultura a un radio de 1 y 5 km.; 6) densidad de perchas; 7) densidad de arbustos y herbáceas. El modelo nulo se utilizó para determinar si la exclusión de variables tenía mayor soporte por parte de los datos en comparación con los demás modelos. Por otra parte, se utilizó al modelo global para evaluar el ajuste del modelo con el mayor número de variables explicativas posibles utilizando la prueba de bondad de ajuste de Mackenzie y Bailey (2004).

El horario en que se realizaron los muestreos podría afectar la detectabilidad del cernícalo, esta variable fue considerada dentro de los modelos para determinar si tenía algún efecto sobre la detección. Tomando en cuenta que el tamaño de

muestra para calcular la ocupación de hábitat es pequeño, se redujo el número de variables de muestreo considerando que los censos se realizaron siempre bajo las mismas condiciones ambientales: días poco nublados, sin precipitación, los observadores fueron los mismos y tenían experiencia previa para la identificación del cernícalo americano y otras especies de la zona que pudieran llegar a confundirse (*Accipiter striatus*, *Accipiter cooperii* y *Falco columbarius*).

Los modelos de ocupación de hábitat fueron comparados con base en el criterio de información de Akaike para poblaciones cerradas y tamaños de muestra pequeños (AICc), el cual toma en cuenta el balance necesario entre el número de parámetros y el poder explicativo (Mackenzie y Bailey, 2004). Se clasificaron los modelos de acuerdo a su soporte por parte de los datos del mayor al menor con base en las diferencias de Akaike ( $\Delta AIC =$  La diferencia en la AICc entre el modelo con el valor AICc más pequeño y el modelo actual). También se calculó el peso de Akaike ( $w_i$ ), para evaluar el soporte de cada modelo (los valores de  $w_i$  deben sumar 1; Burnham y Anderson 2002).

Finalmente, para cada variable independiente se calculó el promedio de sus parámetros multiplicados por los pesos de Akaike ponderados y promediados a través de todos los modelos siguiendo las recomendaciones de Burnham y Anderson (2002). Esto para poder interpretar el peso de cada una de las variables, promediando el peso que los modelos tienen sobre ellas. Se utilizaron los parámetros promediados para generar gráficas de los cambios en la ocupación de hábitat como respuesta a las variables independientes.

#### IV.3.1 *Análisis de presas*

Se determinó la influencia de la estructura vegetal sobre la disponibilidad de las presas del cernícalo americano (ratones e insectos). Para esto se generaron cuatro modelos por estación climática basados en la estructura vegetal: 1) nulo; 2) altura, cobertura y densidad de arbustos; 3) altura, cobertura y densidad de herbáceas; 4) global. Dado que en la temporada de primavera-verano los insectos fueron las presas más importantes, se realizaron regresiones lineales con cada

modelo, estandarizando la variable de respuesta (biomasa de insectos) calculando su raíz cuadrada. En otoño-invierno los roedores resultaron ser la presa más importante para el cernícalo, por lo que se realizaron regresiones con distribución binomial negativa con cada uno de los modelos.

Estos modelos se compararon con base en el criterio de información de Akaike y se calcularon los parámetros ponderados y promediados utilizando el método anteriormente descrito.

## V. Resultados

De los cinco muestreos que se realizaron de cernícalo en cada punto de cada temporada climática se obtuvo el número de registros totales y el número de sitios donde se registró la especie al menos una vez (Tabla 1). Con estos resultados se obtuvo una proporción de ocupación observada para cada temporada (ocupación ingenua), la cual no toma en cuenta el índice de detectabilidad.

**Tabla 1.** Registros de cernícalo obtenidos por transecto y por temporada.

Transectos	Primavera/Verano		Otoño/Invierno	
	No. registros	Sitios ocupados	No. registros	Sitios ocupados
1 Pinos	9	4	16	4
2 Salinas	3	2	8	3
3 Pozo Blanco	3	2	9	5
4 San Juan del Tuzal	3	2	10	5
5 Guadalupe Victoria	6	5	7	3
6 Guanamé	4	4	11	5
7 Estación Wadley	0	0	2	1
8 Vanegas	0	0	3	3
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>19</b>	<b>66</b>	<b>29</b>
<b>Ocupación ingenua</b>	<b>-</b>	<b>0.47</b>	<b>-</b>	<b>0.72</b>

No se registraron diferencias en la detectabilidad debidas al horario de en qué se realizaron los censos (mañana vs tarde). Sin embargo, durante primavera-verano la detectabilidad aumentó conforme avanzaron los muestreos (Tabla 2), mientras que para la temporada de otoño-invierno, la detectabilidad fue constante.

**Tabla. 2** Probabilidad de detección estimada para cada muestreo por temporada

Muestreo	Primavera-Verano	Otoño-Invierno
1	0.099	0.4
2	0.066	0.4
3	0.165	0.4
4	0.298	0.4
5	0.298	0.4

El éxito de captura de roedores en la temporada de primavera-verano fue de 14.75% con 59 individuos y de 22.75% con 91 individuos para otoño-invierno. La biomasa total de insectos en peso seco durante primavera-verano fue de 48.35 gr. mientras que en otoño- invierno fue de 0.92 gr. (Tabla 3).

**Tabla 3.** Abundancia de ratones capturados y biomasa de insectos obtenida por localidad y época.

Localidad	Primavera/Verano		Otoño/Invierno	
	Roedores	Insectos (gr/100 golpes)	Roedores	Insectos (gr/100 golpes)
Pinos	2	7.39	10	0
Salinas	6	3.46	7	0.003
Pozo Blanco	7	1.07	16	0
San Juan del Tuzal	5	13.42	7	0.36
Guadalupe Victoria	10	9.97	8	0.053
Guanamé	9	2.85	9	0.17
Estación Wadley	15	8.14	21	0.035
Vanegas	5	2.01	13	0.29

#### *Ocupación de hábitat en primavera-verano*

Para la temporada de **primavera-verano**, el modelo que explica la variación en la ocupación del cernícalo americano con mayor soporte por parte de los datos fue el que contiene a la biomasa de insectos como única variable explicativa ( $\Delta AICc=0$ ). Sin embargo otros dos modelos recibieron soporte equivalente al modelo mejor soportado ( $\Delta AICc < 2$ ), estos fueron el modelo de paisaje, que contiene el porcentaje agrícola dentro de 1 y 5 km de radio, y el modelo que contiene la densidad de perchas (Tabla 4).

**Tabla 4.** Modelos candidatos para explicar la ocupación de hábitat del cernícalo americano durante la temporada de primavera-verano.

<b>Modelo</b>	<b>K</b>	<b>AICc</b>	<b><math>\Delta</math>AICc</b>	<b><math>\omega_i</math></b>	<b>-2*LogLike</b>
Insectos	7	160.4	0	0.3314	146.4
Paisaje	8	160.84	0.44	0.266	144.84
Perchas	7	161.2	0.8	0.2221	147.2
Global	13	163.97	3.57	0.0556	137.97
Ratones	7	164.07	3.67	0.0529	150.07
Nulo	2	164.29	3.89	0.0474	160.29
Vegetación	8	165.6	5.2	0.0246	149.6

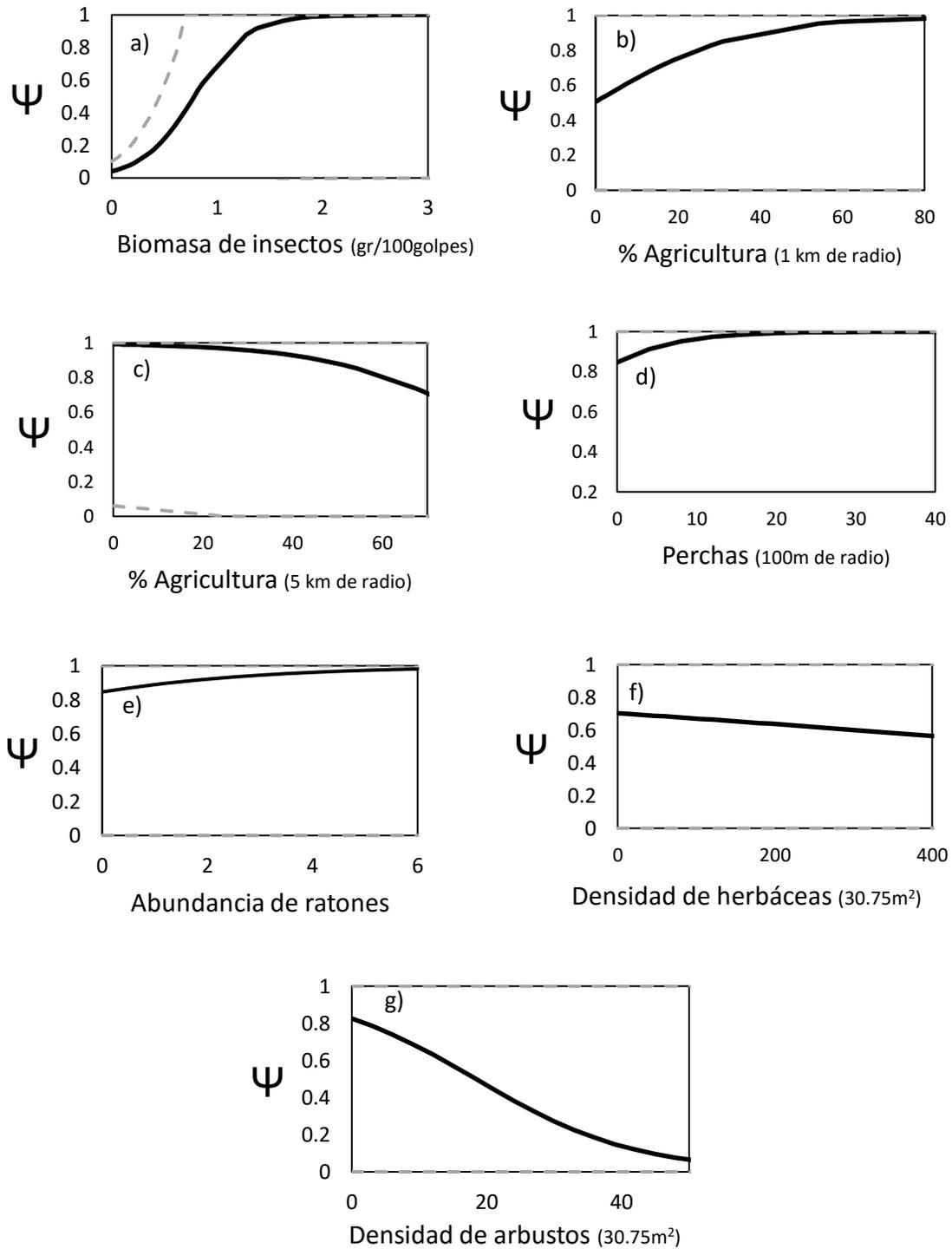
\*K, número de parámetros utilizados para cada modelo; AICc, criterio de información de Akaike para tamaños de muestra pequeños;  $\Delta$ AICc, diferencias de Akaike;  $\omega_i$ , pesos de Akaike.

De acuerdo con la influencia que muestran los parámetros pesados y promediados (Tabla 5), la ocupación de hábitat por parte del cernícalo americano durante la temporada de primavera-verano incrementó rápidamente al aumentar la abundancia de insectos (Figura 2a), al igual que sus intervalos de confianza. De manera similar, la ocupación incrementó con el aumento en el porcentaje de agricultura en un radio de 1 km (Figura 2b). Por otro lado, en el porcentaje de agricultura medida a 5 km de radio, la ocupación fue alta cuando existía bajo porcentaje de agricultura y disminuyó conforme esta aumentaba (Figura 2c). Las perchas influyeron de manera positiva, siendo que la ocupación aumentó conforme aumentaba la densidad de perchas (Figura 2d). La ocupación fue independiente de la fluctuación en la abundancia de roedores (Figura 2e). Finalmente la ocupación disminuyó conforme aumentó la densidad de herbáceas y de arbustos, siendo más marcado este efecto con los arbustos (Figura 2 f y g).

**Tabla 5.** Parámetros promediados y pesados que influyen la ocupación del cernícalo americano en la temporada de primavera-verano.

<b>Variable</b>	<b>Estimado</b>	<b>EE</b>	<b>OR</b>	<b>IC</b>	<b>IC</b>
Insectos	6.018	6.054	410.7	0.003	58463683
Agricultura 1k	1.855	1.171	6.393	0.644	63.448
Intercepto	1.705	2.159	5.499	0.080	378.546
Abundancia de roedores	0.378	0.446	1.460	0.609	3.502
Perchas	0.157	0.115	1.170	0.934	1.465
Densidad de herbáceas	-0.001	0.006	0.999	0.987	1.010
Densidad de arbustos	-0.085	0.054	0.919	0.827	1.021
Agricultura 5k	-1.349	0.806	0.259	0.053	1.261

\*Estimados de los parámetros; EE, error estándar; OR, Odd ratios; IC, intervalos de confianza al 95%.



**Figura 2.** Efecto de biomasa de insectos (a), porcentaje de agricultura a 1km de radio (b), porcentaje de agricultura a 5 km de radio (c), densidad de perchas (d), abundancia de ratones (e), densidad de herbáceas (f) y densidad de arbustos (g) sobre la probabilidad de ocupación de hábitat por el cernícalo americano, durante

la temporada de primavera-verano. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza.

*Ocupación de hábitat durante el otoño-invierno*

En la temporada de otoño-invierno, el modelo que explica la variación en la ocupación del cernícalo americano que recibió mayor soporte por los datos fue el modelo global, el cual contiene todas las variables ( $\Delta AICc=0$ ) (Tabla 6).

**Tabla 6.** Modelos candidatos para explicar la ocupación de hábitat del cernícalo americano durante la temporada de otoño-invierno.

<b>Modelo</b>	<b>K</b>	<b>AICc</b>	<b><math>\Delta AICc</math></b>	<b><math>\omega_i</math></b>	<b>-2*LogLike</b>
Global	9	240.09	0	0.8674	222.09
Ratones	3	245.29	5.2	0.0644	239.29
Vegetación	4	247.67	7.58	0.0196	239.67
Nulo	2	247.67	7.58	0.0196	243.67
Insectos	3	248.23	8.14	0.0148	242.23
Perchas	3	249.06	8.97	0.0098	243.06
Paisaje	4	250.65	10.56	0.0044	242.65

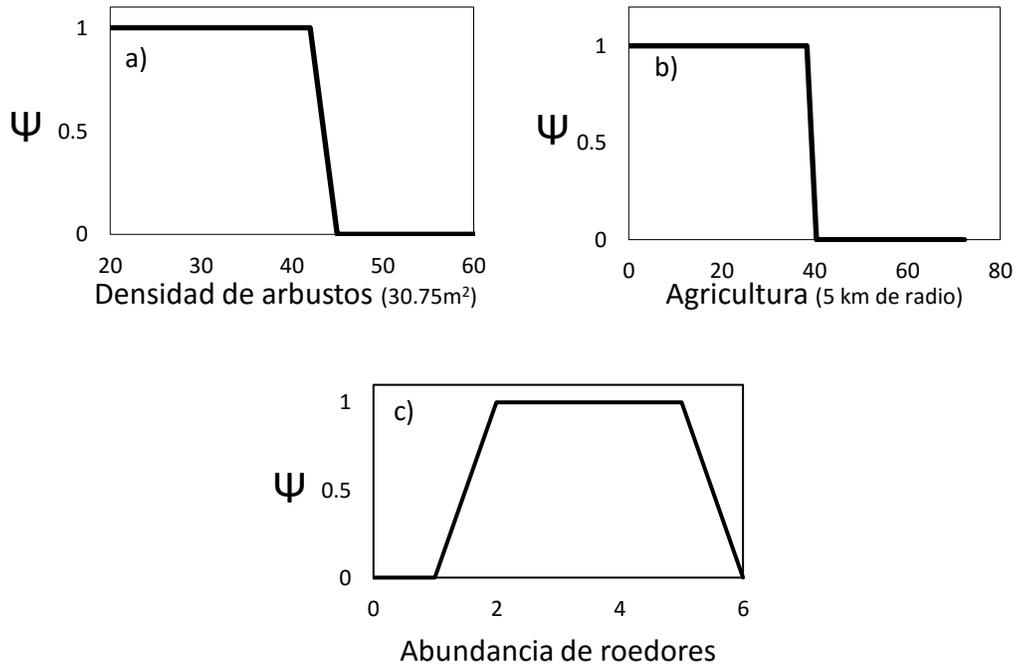
\*K, número de parámetros utilizados para cada modelo; AICc, criterio de información de Akaike para tamaños de muestra pequeños;  $\Delta AICc$ , diferencias de Akaike;  $\omega_i$ , pesos de Akaike.

De acuerdo con los parámetros pesados y promediados (Tabla 7), la ocupación de hábitat por parte del Cernícalo americano durante la temporada de otoño-invierno disminuyó con el incremento de la densidad de arbustos al igual que con el porcentaje de agricultura medido a 5 km de radio (Figura 3 a y b). En cuanto a los roedores (Figura 3c) se muestra una ocupación alta entre abundancias de 2 a 5 individuos, mientras que en los extremos la ocupación es nula.

**Tabla 7.** Parámetros promediados y pesados que influyen la ocupación del cernícalo americano en la temporada de otoño-invierno.

Parámetro	Estimado	OR
Intercepto	519.7	5.07E+225
Agricultura 5 km	365.0	3.16E+158
Insectos	127.9	3.56E+55
Perchas	23.5	1.66E+10
Densidad de arbustos	5.8	3.35E+02
Densidad de herbáceas	0.3	1.32E+00
Agricultura 1km	-177.9	5.57E-78
Abundancia de roedores	-214.2	9.70E-94

\*Estimado, Medias estimadas; EE, error estándar; OR, Odd ratios



**Figura 3.** Efecto de la densidad de arbustos (a), agricultura a 5 km de radio (b) y abundancia de roedores (c), sobre la probabilidad de ocupación de hábitat por el cernícalo americano, durante la temporada de otoño-invierno.

## Abundancia y biomasa de presas

Durante la primavera-verano, el modelo nulo fue el que recibió mayor soporte por parte de los datos. Otros modelos que explican los cambios en la biomasa de insectos, los cuales recibieron soporte equivalente al mejor modelo fueron los modelos que incluyen la cobertura, altura y densidad de herbáceas y los arbustos como variables explicativas ( $\Delta AIC < 2$ , Tabla 8).

**Tabla 8.** Modelos candidatos para explicar la biomasa de insectos durante la temporada de primavera-verano.

Modelo	K	AIC	$\Delta AIC$	$\omega_i$	-2*LogLike
Nulo	2	77.02	0	0.48371144	73.02116
Herbáceas	5	78.19	1.17	0.26914184	68.19366
Arbustos	5	78.69	1.67	0.20961417	68.6936
Global	8	82.13	5.11	0.03753255	66.13372

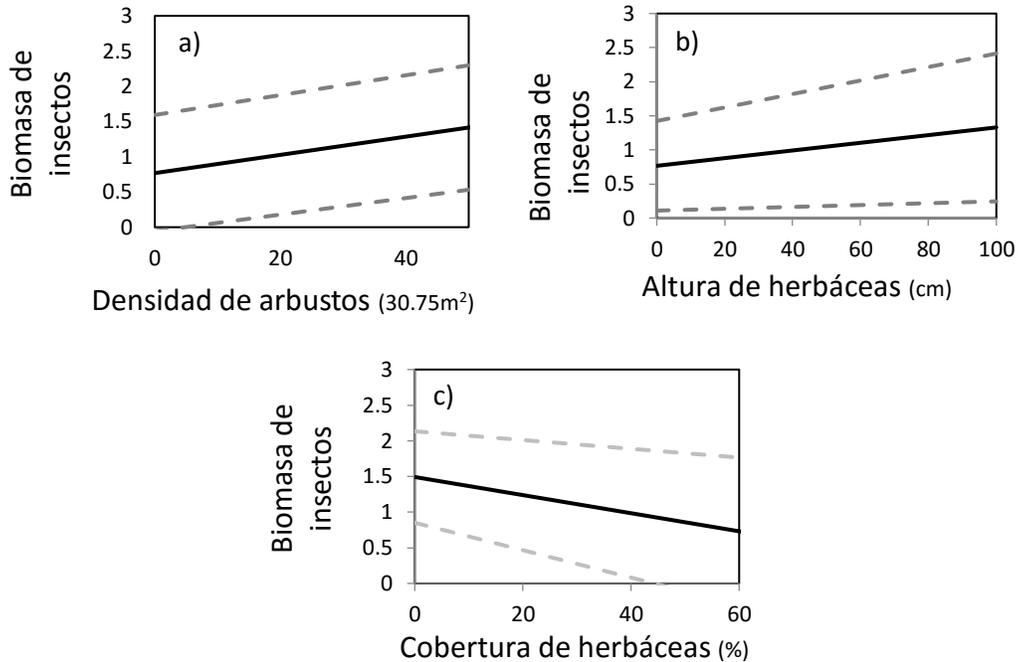
\*K, número de parámetros utilizados para cada modelo; AIC, criterio de información de Akaike para tamaños de muestra grande;  $\Delta AIC$ , diferencias de Akaike;  $\omega_i$ , pesos de Akaike.

Según sus parámetros promediados (tabla 9), la densidad de arbustos y la altura de herbáceas mostraron tener un efecto positivo sobre la biomasa de insectos, (Figuras 4 a y b), mientras que la cobertura de herbáceas resultó tener un efecto negativo (Figuras 4 c).

**Tabla 9.** Parámetros promediados y pesados que influyen sobre la biomasa de insectos disponible para el cernícalo americano en la temporada de primavera-verano.

Parámetros	Estimado	EE	OR	IC	IC
Intercepto	0.91899	0.136541	2.506760	1.918166	3.275966
Densidad arbustos	0.01293	0.007202	1.013016	0.998815	1.027419
Altura herbáceas	0.00562	0.004264	1.005639	0.997269	1.014080
Densidad herbáceas	0.00116	0.001166	1.001168	0.998882	1.003459
Cobertura arbustos	-0.00106	0.005638	0.998934	0.98795	1.010034
Altura arbustos	-0.00108	0.001908	0.998917	0.995188	1.002661
Cobertura herbáceas	-0.01268	0.006547	0.987395	0.974805	1.000147

\*Estimado, Medias estimadas; EE, error estándar; OR, Odd ratios; IC, intervalos de confianza al 95%.



**Figura 4.** Efecto de la densidad de arbustos (a), altura de herbáceas (b), cobertura de herbáceas (c) sobre la biomasa de insectos (gr/100 golpes), durante la temporada de primavera-verano. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza.

El modelo para explicar la abundancia de roedores durante el otoño-invierno, fue el de arbustos, el cual incluía las variables de cobertura, altura y densidad de arbustos. Fue el que recibió mayor soporte por los datos ( $\Delta AIC = 0$ ), mientras que el modelo de herbáceas, que incluía la cobertura, altura y densidad de arbustos, y el global recibieron un soporte equivalente al del mejor modelo ( $\Delta < 2$ , Tabla 10).

**Tabla 10.** Modelos candidatos para explicar la abundancia de roedores durante la temporada de otoño-invierno.

Modelo	K	AIC	$\Delta AIC$	$\omega_i$	$-2 * \text{LogLike}$
Arbustos	5	148.95	0	0.34969681	138.95488
Herbáceas	5	149.15	0.20	0.31614992	139.15658
Global	8	149.64	0.68	0.24817311	133.64076
Nulo	2	151.76	2.80	0.08598016	147.76078

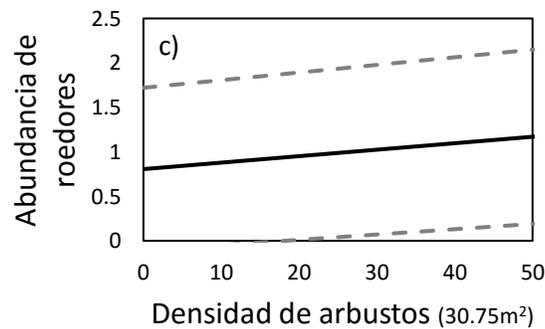
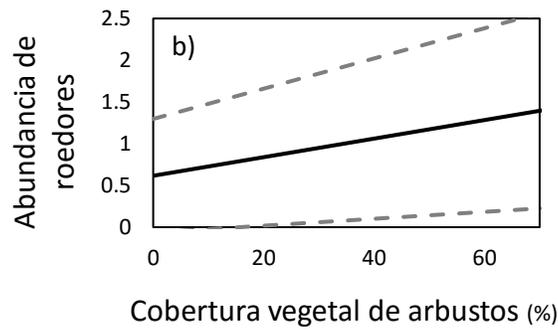
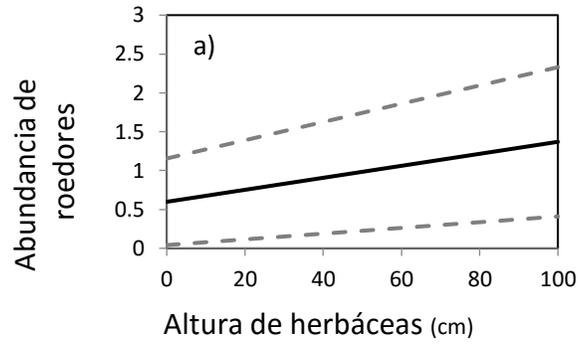
\*K, número de parámetros utilizados para cada modelo; AIC, criterio de información de Akaike para tamaños de muestra pequeños;  $\Delta AIC$ , diferencias de Akaike;  $\omega_i$ , pesos de Akaike.

Según los parámetros promediados y pesados (Tabla 11) la cobertura de arbustos, la altura de herbáceas y la densidad de arbustos fueron las variables con mayor influencia sobre los roedores, siendo que la abundancia de estos roedores aumenta conforme lo hacen estas variables (Figura 5).

**Tabla 11.** Parámetros promediados y pesados que influyen sobre la abundancia de ratones en la temporada de otoño-invierno.

<b>Parámetros</b>	<b>Estimado</b>	<b>EE</b>	<b>OR</b>	<b>IC</b>	<b>IC</b>
Intercepto	0.34896	0.23221	1.417602	0.89927	2.234692
Cobertura de arbustos	0.01112	0.00575	1.011182	0.99983	1.022657
Altura de herbáceas	0.00771	0.00403	1.007746	0.99981	1.015739
Densidad de arbustos	0.00727	0.00755	1.007301	0.99249	1.022330
Cobertura de herbáceas	0.00629	0.00698	1.006314	0.99263	1.020179
Altura de arbustos	0.00012	0.00216	1.000123	0.99589	1.004370
Densidad de herbáceas	-6.2903E-05	0.00130	0.999937	0.99739	1.002489

\*Estimado, Medias estimadas; EE, error estándar; OR, Odd ratios; IC, intervalos de confianza al 95%.



**Figura 5.** Efectos de altura de herbáceas (a), cobertura de arbustos (b) y densidad de arbustos (c) sobre la abundancia de roedores en la temporada de otoño-invierno. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza.

## VI. Discusión

El aumento en la probabilidad de ocupación de hábitat durante otoño-invierno al igual que el número de sitios ocupados, muestra que las poblaciones migratorias llegaron a ocupar la zona de estudio donde ya se encontraban las residentes. Desafortunadamente en este estudio no fue posible diferenciar a nivel de individuo a los residentes de los migratorios, como para inferir los requerimientos de hábitat por las distintas poblaciones de cernícalo y sus interacciones.

Existen teorías que proponen que pudieran presentarse interacciones entre aves residentes y migratorias de varias maneras; por ejemplo, que las residentes al tener la ventaja de encontrarse en un sitio conocido para ellos, desplazan a las migratorias hacia zonas menos favorables para su supervivencia (Alerstam y Enckell, 1979; Pérez y Hobson, 2009). Por otra parte, las rapaces migratorias tienen la capacidad de aprovechar varios tipos de hábitats, volviéndose oportunistas en los sitios con condiciones más desfavorables, incluso aquellos que han sido modificados por el humano, a diferencia de las aves residentes (Pérez-Tris y Tellería, 2002). Inclusive se han visto casos donde, a diferencia de las aves residentes, las migratorias prefieren la disponibilidad de alimento por sobre la del hábitat durante el invierno (Tellería y Pérez, 2004).

Por otro lado, de acuerdo con las expectativas originales, la disponibilidad de biomasa de los insectos en primavera-verano fue mayor que en otoño-invierno. Según Castellanos y Cano (2009), en ambientes de este tipo (áridos y semi-áridos), las poblaciones de ortópteros terrestres presentan incrementos significativos en la abundancia de adultos durante la primavera, mientras que en los meses más fríos la mayoría muere, pero sus huevecillos quedan depositados esperando eclosionar en primavera, cuando las condiciones climática son más favorables. En contra parte, el incremento en la abundancia de pequeños roedores durante el otoño-invierno (en comparación con primavera-verano), es probable que se deba al incremento numérico de las poblaciones debido al reclutamiento de juveniles que se da como producto de la reproducción durante la primavera y el otoño (Beatley, 1969; Malo, *et al.*, 2012).

### *Variables determinantes para la ocupación de hábitat durante primavera-verano*

La relación positiva entre biomasa de ortópteros y ocupación de hábitat por el cernícalo americano durante la primavera-verano, puede estar relacionado con la fase reproductiva (cuidado de crías) del cernícalo, ya que la alimentación de las crías debe ser constante y requiere de altos contenidos de proteínas (Anderson *et al.*, 1993; Salazar *et al.*, 2011). Por lo tanto, necesita que sus presas sean ricas en nutrientes, y los ortópteros (grillos y chapulines) cubren ese requisito, además de encontrarse altamente disponibles para el cernícalo en esta temporada, ya que las poblaciones de ortópteros alcanzan sus mayores abundancias en esta época debido a que las etapas adultas se desarrollan gracias a las condiciones climáticas como la humedad (Capinera y Horton, 1989; Chapman y Joern, 1990).

Dawson (1999) reportó que la disponibilidad de alimento mediada por el clima, tiene una fuerte influencia en el comportamiento del cernícalo, tanto en el tipo de presa que consume y le proporciona a los polluelos, como en el tamaño del territorio, ya que este depende de la calidad del hábitat, la cual se relaciona con la abundancia de presas y disponibilidad de nidos (Lack, 1946; Reed *et al.*, 2004). Sin embargo, debido que no sabemos hasta qué punto la variación climática entre sitios, días, semanas y años, influye sobre la dinámica de las poblaciones tanto de insectos como de sus depredadores, este es un tema que debe estudiarse más en el futuro.

Por otro lado, la influencia de la estructura de la vegetación indica que un hábitat con alta densidad arbustiva es positiva para las poblaciones de ortópteros, lo cual puede ser un indicativo del papel que juega este tipo de estructuras vegetales como sitios de descanso, reguladores del clima y/o protección contra los depredadores (Castellanos y Cano, 2009). Mientras que las herbáceas de más altura también sugieren refugio y alimento para los ortópteros. Siendo que la ganadería promueve vegetación con herbáceas de baja altura como lo son pastos cortos, ya que el ganado se alimenta del pasto y pisotea constantemente el terreno, es una actividad importante a considerar que pudiera influir sobre las poblaciones de ortópteros.

Los cambios de uso de suelo a usos agrícolas pueden afectar negativamente a algunas especies de aves rapaces debido a la modificación y reducción de hábitats naturales (Medellín *et al.*, 2009; Tinajero y Rodríguez-Estrella., 2012; Wilson, *et al.*, 2005). En este caso, se encontró que el cernícalo puede moldear su comportamiento y llevar a cabo sus actividades en áreas agrícolas, como se ha documentado previamente (Groves *et al.*, 2013; Mills, 1975, Smallwood *et al.*, 2009). Sin embargo, estudiando el efecto a una escala mayor, se observó cómo la ocupación del cernícalo se ve afectada negativamente conforme aumenta la extensión del área agrícola. Por lo que a pesar de que algunas especies de rapaces pueden llegar a beneficiarse de este ambiente modificado (Murgatroyd, *et al.* 2016; Duerr *et al.* 2015; Filloy y Bellocq, 2007; Leveau y Leveau, 2002), para el cernícalo existe una capacidad de tolerancia con respecto a la agricultura.

Esto puede estar relacionado con la teoría de Filloy y Bellocq (2007), donde indican que las aves rapaces tienen poca tolerancia a las actividades agrícolas que representan poca heterogeneidad en el hábitat. De igual forma Smallwood *et al.* (2009) observaron como el cernícalo prefería parches de agricultura extensas, que se conformaban de agricultura mixta y vegetación natural, a diferencia de parches más pequeños dominados por la agricultura. En esta parte del Altiplano Potosino-Zacatecano, la mayoría de la agricultura a una escala local tiene un manejo tradicional, siendo primordialmente de temporal, con cultivos predominantemente de maíz, delimitados por gruesas franjas de matorral xerófilo que representa una agricultura menos intensiva y un ambiente más heterogéneo a comparación con otros sitios más alejados donde a mayor escala, algunos paisajes son dominados por la agricultura de riego y cultivos (cebolla y chile) que requieren una mayor demanda de manejo, agua, uso de fertilizantes, pesticidas y no preservan la vegetación natural, por lo que se genera un hábitat más homogéneo.

En este estudio se observó también, que las perchas son elementos muy importantes para el cernícalo e incluso durante los muestreos se registró a la mayoría de los individuos de cernícalo posados sobre perchas que en vuelo (Tabla 2 del anexo). Se ha reportado que la estrategia de captura más utilizada por el

cernícalo americano es desde las perchas (Liébana, *et al.* 2009; Leonardi y Bird, 2011; Spiegel, 1975), y adicionalmente estas estructuras también funcionan como sitios de anidamiento y de descanso para el cernícalo (Lane y Ficher, 1997, Richards, 1970), a diferencia de otras aves rapaces que solo las utilizan como sitios de descanso (Reinert, 1984).

Dado que se observó mayor disponibilidad de perchas en zonas sin agricultura (matorrales), que en zonas agrícolas (Gráfica 1 del anexo), la presencia de las franjas de matorrales entre las áreas agrícolas podría compensar la disponibilidad de perchas y así explicar la adaptabilidad del cernícalo a estas zonas modificadas, como lo reportaron para Francia (Meunier, *et al.*, 2000) donde los caminos son los lugares preferidos por el cernícalo vulgar (*Falco tununculus*), una especie muy parecida al cernícalo americano, debido a la alta presencia de perchas cerca de estos caminos, las cuales permiten economizar energía ya que la caza desde las perchas representa menos gasto de energía en comparación con la caza en vuelo.

Por otra parte, a pesar de que se esperaba encontrar un umbral en el que con el aumento de la densidad de perchas aumentara la ocupación, existiendo un límite donde la ocupación empezará a declinar, este límite no se presentó, ya que en el Altiplano Potosino-Zacatecano las perchas están representadas en su mayoría por yucas, quites de maguey y postes (Tabla 3 del anexo), los cuales al tener una estructura con poca cobertura aérea y escaso dosel, no llegan a establecer un ambiente tan cerrado como lo sería con otro tipo de perchas, como lo son los árboles en Florida (USA), donde se observó que existe un umbral donde a mayor densidad de perchas, estas se convierten en un ambiente desfavorable para el cernícalo, debido a que la vegetación cerrada obstruye su visibilidad (Smallwood, 1988), e inclusive se ha observado que en zonas de bosque, la anidación la realizan donde existe menor densidad de perchas, como son los bordes entre el bosque y las zonas abiertas de pastizales o zonas agrícolas (Rohrbaugh y Yahner, 1997).

Con respecto al análisis de disponibilidad de presas, se observó que la ocupación de hábitat no presentó mucha variación conforme al aumento de la

abundancia de roedores, lo que sugiere que la simple presencia de roedores es un elemento clave para que el cernícalo ocupe un hábitat independientemente de la fluctuación de su abundancia. También hay que considerar que en esta época los ortópteros son la variable más importante, por lo que los roedores pudieran ser una presa complementaria para el cernícalo.

Aunque la densidad de las herbáceas no influyó mucho en la ocupación de hábitat del cernícalo, la densidad de los arbustos tuvo un efecto negativo. Esta relación probablemente está asociada a la estrategia de forrajeo del cernícalo, ya que para obtener a su presa, primero debe detectarla, y la detección de la presa puede ser un proceso entorpecido por la baja visibilidad en zonas con mayor densidad de arbustos (Leonardi y Bird, 2011; Smallwood, 1988).

#### *Variables determinantes para la ocupación de hábitat durante otoño-invierno.*

El modelo que contiene a todas las variables fue el mejor para explicar la ocupación de hábitat del cernícalo en esta época, lo cual tiene relación con el aumento en la ocupación de muchos sitios, que puede estar dada por la presencia de individuos migratorios. También hay que considerar que los requerimientos de hábitat en esta época son menos específicos para sobrevivir, que durante la época de crianza (Primavera-Verano), ya que no se requiere de alta abundancia de insectos ni del establecimiento de nidos.

Por otro lado, la disponibilidad de ortópteros es mucho menor en comparación con primavera-verano. Por lo tanto, el hecho de que se invirtiera la preferencia de alimento, y que ahora fuera mayor la influencia de los roedores sobre la ocupación de hábitat, puede estar relacionada con que el cernícalo ajusta sus hábitos alimenticios para aprovechar la abundancia de estos roedores, quienes representan un aporte de energía alto por su tamaño. Esto concuerda con lo reportado por la organización Natural Resources Conservation Service (NRCS, 1999), quienes determinaron que para el cernícalo los requerimientos de hábitat entre temporadas no cambian drásticamente, sin embargo la disponibilidad de alimento si cambia, requiriendo mayores insectos durante época de crianza, debido

a la demanda energética para alimentar a las crías, y cambia a ratones durante invierno.

Adicionalmente, se encontró que la ocupación aumentó con el incremento en la abundancia de roedores, y que existe un umbral donde la ocupación disminuye drásticamente. Este umbral se presentó cuando la abundancia de roedores tomó sus valores más elevados. Este fenómeno, posiblemente se debe a que, como se ha descrito en varios trabajos (Beatle, 1969; Malo *et al.*, 2012), la mayor abundancia de roedores se presenta en zonas con mayor abundancia y cobertura de arbustos y herbáceas, lo cual se correlaciona negativamente con la ocupación del cernícalo, ya que esta vegetación cerrada limita su capacidad de visualizar a sus presas, y justamente esta les provee a los roedores protección del clima y depredadores aéreos (Malo *et al.*, 2012; Price *et al.*, 1984).

Esto coincide con lo reportado en estudios previos (Ardia y Bildstein, 1997; Smallwood, 1988), donde se ha encontrado que el cernícalo llega a depender más de la calidad de hábitat, o sea prefiere sitios abiertos, por sobre la alta disponibilidad de alimento. Por lo que los sitios con alta densidad del matorral, donde se encuentra la mayor abundancia de ratones, no son favorables para capturar a sus presas. Sin embargo, hay que considerar que existen algunas especies de roedores heterómidos (*Dipodomys spp.*) que al ser bípedas, están más especializadas a ocupar zonas más abiertas que les permiten desplazarse (Espinosa, 2005; Mellink, 1995; Whitford, 2002).

Por otro lado, se encontró que a una escala espacial local, la influencia de la agricultura muestra el mismo comportamiento en las dos épocas del año, donde el cernícalo parece adaptarse a las zonas agrícolas menos intensivas, las cuales durante esta época permanecen en descanso por un largo periodo, mientras que a mayor escala del paisaje el incremento de las zonas agrícolas disminuye la ocupación de hábitat por parte del cernícalo. Tomando en cuenta el incremento en la abundancia de los roedores durante esta época, y que la agricultura genera ambientes menos heterogéneos, esto también pudiera afectar al nivel de las presas, ya que se han registrado algunos casos donde la intensificación de las zonas

agrícolas genera comunidades de ratones dominadas por ciertas especies, la que también se traduce en una baja heterogeneidad del ambiente para el cernícalo (Mostajo *et al.*, 2010).

Finalmente, las perchas fueron otra variable importante que determinó la ocupación de los hábitats por parte del cernícalo, en ambas épocas del año, pero no se pudo observar ningún efecto en la variación de la densidad de perchas sobre la ocupación en esta época de otoño-invierno. Esto puede ser un indicador de competencia por la llegada de individuos migratorios, con lo cual se empiezan a ocupar sitios sub-óptimos, sin importar algunos requerimientos como la densidad de perchas; ya que en esta temporada su funcionalidad se reduce a la caza y como sitios de descanso, sin requerir el establecimiento de nidos. También podría ser un reflejo del comportamiento oportunista de los individuos migratorios, ya que como se ha documentado (Martin y Finch, 1995) estos tienden a ocupar sitios con mayor disturbio (sub-óptimos) que los individuos residentes.

En este sentido, es importante considerar lo que se ha encontrado en algunos trabajos sobre como la alta densidad o abundancia de una especie no siempre está directamente relacionada con un hábitat de buena calidad (Van Horne, 1983).

Strasser y Heath, (2013) observaron una mayor ocupación de nidos por parte del cernícalo americano en sitios con alto disturbio antropogénico, en comparación a los sitios con bajo disturbio, pero encontraron otros indicadores sobre el estado de salud de los individuos y fue el nivel de estrés hormonal, el cual fue mayor en los sitios con alto grado de disturbio (debido al ruido), lo que causó el abandono de los nidos a través del tiempo.

En este estudio, la aparente adaptación del cernícalo americano a áreas agrícolas no indica necesariamente que sus poblaciones sean más saludables y exitosas, y por lo tanto, el estudio de diferentes parámetros como estrés ecológico, éxito reproductivo, y supervivencia de cernícalos en relación al hábitat, es un tema que debe abordarse en el futuro y considerarse en este tipo de zonas semiáridas, donde no existe información sobre la ecología de esta especie.

## VII. Conclusiones

- Los cernícalos muestran una capacidad de adaptación con la llegada de las poblaciones migratorias, al ocupar hábitats menos favorables durante el invierno. Al igual que este puede llegar a ocupar hábitats con influencia agrícola, existiendo un límite.
- Los requerimientos de hábitat entre temporadas no cambiaron, siendo que la presencia de perchas, la vegetación con poca cobertura y densidad determinan un hábitat favorable para el cernícalo.
- La alta densidad y altura de arbustos y herbáceas promueven la disponibilidad de presas. Siendo los insectos las presas más importantes durante primavera-verano, mientras que durante otoño-invierno lo fueron los roedores.
- Hace falta un mayor conocimiento acerca de las posibles interacciones entre poblaciones residentes y migratorias, para entender sus requerimientos ecológicos.
- Se requieren estudios para determinar el efecto de los distintos tipos de manejo de los agrosistemas sobre la ocupación de hábitat del cernícalo.

## VIII. Referencias.

- Alerstam, T., y Enckell, P. H. (1979). Unpredictable habitats and evolution of bird migration. *Oikos*, 228-232.
- Anderson, D. J., Budde, C., Apnius, V., Gomez, J. E. M., Bird, D. M., y Weathers, W. W. (1993). Prey size influences female competitive dominance in nestling American kestrels (*Falco sparverius*). *Ecology*, 367-376.
- Aragón, L., Treviño, E., Jiménez, J., Aguirre, O., González, M., Pompa, M., y Aguirre, C. (2013). Tasa de deforestación en San Luis Potosí, México (1993-2007). *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(2), 201-2015.
- Ardia, D. R., y Bildstein, K. L. (1997). Sex-related differences in habitat selection in wintering American kestrels, *Falco sparverius*. *Animal Behaviour*, 53(6), 1305-1311.
- Arriaga, C., Rodríguez, L., Espinoza, Zúñiga, C. A., Romero, E. M., Mendoza, L. G., y Loza, E. L. (2000). Regiones terrestres prioritarias de México: México: CONABIO.
- Avila, J. E. M. (2002). Dieta del Cernícalo (*Falco sparverius*) y del tucuquere (*Bubo magellanicus*) en un ambiente cordillerano de Chile central. *Boletín Chileno de Ornitología*, 9, 34-37.
- Beatley, J. C. (1969). Dependence of desert rodents on winter annuals and precipitation. *Ecology*, 50(4), 721-724.
- Beltzer, A. (1990). Biología alimentaria del halconcito común *Falco sparverius* en el Valle Aluvial del río Paraná Medio, Argentina. *Hornero*, 13(02), 133-136.
- Bird, D. M. (2009). The American kestrel: From common to scarce? *Journal of Raptor Research*, 43(4), 261-262.
- Boal, C. W., y Giovanni, M. D. (2007). Raptor predation on Ord's kangaroo rats: evidence for diurnal activity by a nocturnal rodent. *The Southwestern Naturalist*, 52(2), 291-295.
- Bunn, A. G., Klein, W., y Bildstein, K., L. (1995). Time-of-Day Effects on the Numbers and Behavior of Non-Breeding Raptors Seen on Roadside Surveys in Eastern Pennsylvania. *Journal of Field Ornithology*, 66(4), 544-552.

- Burnham, K. P. y. A., D. R. (2002). Model Selection and Inference. *Springer-Verlag, New-York, USA*.
- Capinera, J. L., y Horton, D. R. (1989). Geographic variation in effects of weather on grasshopper infestation. *Environmental Entomology*, 18(1), 8-14.
- Castellanos-Vargas, I., y Cano-Santana, Z. (2009). Historia natural y ecología de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Pyrgomorphidae). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México*, 337-346.
- Ceballos, G., y Oliva, G. (2005). Los mamíferos silvestres de México (Vol. 986): *Fondo de cultura economica México, DF*.
- Cirino, E. (2016, April 22 ). Are Kestrels the New Poster Species for pesticides? *Audubon*.
- Contreras-Balderas, A. J. (1992). Avifauna de dos asociaciones vegetales en el municipio de Galeana, Nuevo León, México. *The Southwestern Naturalist*, 386-391.
- Cornell Lab Ornithology. (2015). All about birds: Falco sparverius, [En línea] [http://www.allaboutbirds.org/guide/American\\_Kestrel/id](http://www.allaboutbirds.org/guide/American_Kestrel/id)
- Chapa, V. L., y Monzalvo, S. K. (2012). Natural protected areas of San Luis Potosí, México: ecological representativeness, risks, and conservation implications across scales. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(9), 1625-1641.
- Cruz-Lara, L.E., Lorenzo, C., Soto, L., Naranjo, E., Ramírez-Marcial, N., 2004. Diversidad de mamíferos en cafetales y selva mediana de las cañadas de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. 20(1), 63-81.
- Dawson, R. D. (1999). Causes and consequences of reproductive effort in American kestrels (*Falco sparverius*).
- Duerr, A. E., Miller, T. A., Duerr, K. L. C., Lanzone, M. J., Fesnock, A., y Katzner, T. E. (2015). Landscape-scale distribution and density of raptor populations wintering in anthropogenic-dominated desert landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 24(10), 2365-2381.

- Dykstra, C. R., Daniel, F. B., Hays, J. L., y Simon, M. M. (2001). Correlation of Red-shouldered Hawk abundance and macrohabitat characteristics in southern Ohio. *The Condor*, 103(3), 652-656.
- Espinoza, G, R. (2005). ORganizacion de manchones de vegetación leñosa y su relación con roedores en el sur del Desierto Chihuahuense. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Maestría en Ciencias Ambientales.
- Enderson, J. H. (1960). A population study of the Sparrow Hawk in east-central Illinois. *The Wilson Bulletin*, 222-231.
- Farmer, C. J., y Smith, J. P. (2009). Migration monitoring indicates widespread declines of American Kestrels (*Falco sparverius*) in North America. *Journal of Raptor Research*, 43(4), 263-273.
- Filloy, J., y Bellocq, M. I. (2007). Respuesta de las aves rapaces al uso de la tierra: un enfoque regional. *El hornero*, 22(2), 131-140.
- Fuller, M. R., y Mosher, J. A. (1987). *Raptor survey techniques*: US Fish and Wildlife Service.
- Gallardo, L. I., Franceschini, M. C., Poi, G., Susana, A., y De Wysiecki, M. L. (2015). Biomass of *Cornops aquaticum* (Orthoptera: Acrididae) in wetlands of Northeast Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 127-138.
- González, U. D., y Sánchez, F. J. (1998). Propiedades estadísticas del muestreo por línea intercepto y cuadros cargados en la estimación de la cobertura y densidad vegetales. *UAAAN.-DIV. Ingeniería-estadística experimental-Maestría*.
- González, V., N. , Arriaga, W., S. L., Ochoa, G., S., Ferguson, B., G., Kampichler, C., y Pozo, C. (2012). Ensamblajes de aves diurnas a través de un gradiente de perturbación en un paisaje en el sureste de México. *Acta zoológica mexicana*, 28(2), 237-269.
- Groves, A., Berardi, V., Sweet, P., Sweet, J., Capparella, A. P. y Harper, R. G. (2013). Influence of Latitude on the Winter Abundance of Red-tailed Hawks

- (*Buteo jamaicensis*) and American Kestrels (*Falco sparverius*) in Illinois. *Journal of Raptor Research*, 47(4), 410-415.
- Gutiérrez, E. E., Anderson, R. P., Voss, R. S., Ochoa-G, J., Aguilera, M., y Jansa, S. A. (2000). The Smithsonian Book of North American Mammals. *Journal Information*, 81(2).
- Haapakoski, M., Sundell, J., y Ylönen, H. (2013). Mammalian predator–prey interaction in a fragmented landscape: weasels and voles. *Oecologia*, 173(4), 1227-1235.
- Hiraldo, F., Delibes, M., Bustamante, J., y Estrella, R. R. (1991). Overlap in the diets of diurnal raptors breeding at The Michilía Biosphere Reserve, Durango, México. *Journal of Raptor Research*, 25(2), 25-29.
- Howell, S. N., y Webb, S. (2005). *A guide to the birds of Mexico and Northern Central America*: Oxford University Press.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.
- INEGI. (2012). Perspectiva estadística San Luis Potosí. .
- INEGI. (2013). Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión). Retrieved 20 de Septiembre, 2015, [En línea] <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo/>
- Isasi, C. (2011). Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia*, 36(1), 31-38.
- Jaksić, F. M. (1982). Inadequacy of activity time as a niche difference: the case of diurnal and nocturnal raptors. *Oecologia*, 52(2), 171-175.
- James, F. C., y Shugart Jr, H. H. (1970). A quantitative method of habitat description. *Audubon Field Notes*, 24(6), 727-736.
- Jasso, G. M. (2008). *Distribución potencial de las aves del Altiplano Potosino*. Maestra en ciencias aplicadas, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. Ciencias Ambientales-Maestría.
- Lack, D. (1946). Competition for food by birds of prey. *The Journal of Animal Ecology*, 123-129.

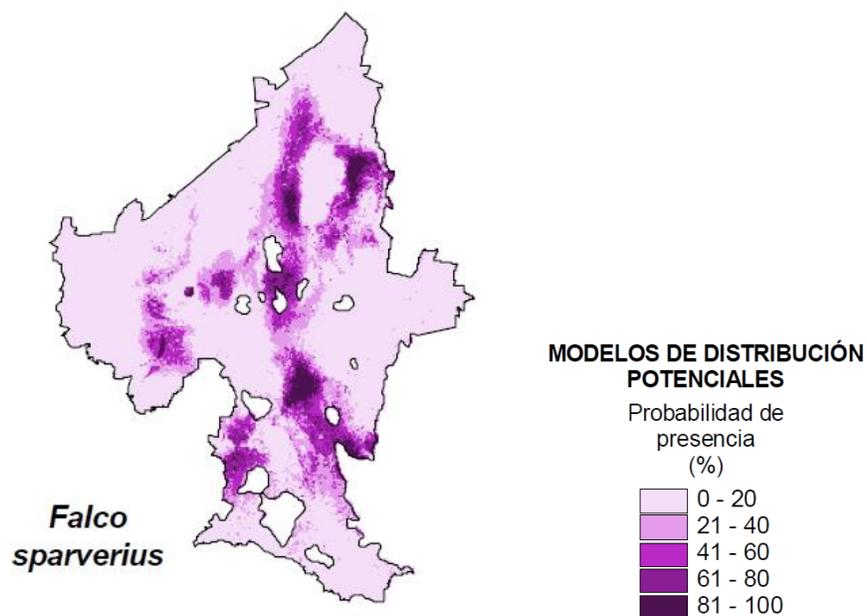
- Lane, J., J., y Fischer, R., A. (1997). Species Profile: Southeastern American Kestrel (*Falco sparverius paulus*) on Military Installations in the Southeastern United States (Strategic Environmental Research and Development Program): DTIC Document.
- Leonardi, G., y Bird, D. M. (2011). Effects of recent experience and background features on prey detection of foraging American kestrels (*Falco sparverius*) in captivity. *Folia Zoologica*, 60(3), 214.
- Leveau, L., y Leveau, C. (2002). Uso de hábitat por aves rapaces en un agroecosistema pampeano. *El hornero*, 17(01), 009-015.
- Liébana, M. S., Sarasola, J. H., y Bó, M. S. (2009). Parental care and behavior of breeding American Kestrels (*Falco sparverius*) in central Argentina. *Journal of Raptor Research*, 43(4), 338-344.
- López, C., Corona, A., Araujo, M., y Rincón, J. (1996-1997). Relaciones entre parámetros biométricos y peso seco en insectos acuáticos depredadores de Venezuela. *Rev. Biol. Trop*, 45(46), 641-643.
- Luna, J. M. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, 385-408.
- MacKenzie, D., Nichols, J., Royle, A., Pollock, K., Bailey, L., y Hines, J. (2006). *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*: Academic Press.
- MacKenzie, D. I., y Bailey, L. L. (2004). Assessing the fit of site-occupancy models. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 9(3), 300-318.
- Malan, G. (2009). *Raptor Survey and Monitoring: A Field Guide for African Birds of Prey*: Prof Gerard Malan.
- Malo, A. F., Godsall, B., Prebble, C., Grange, Z., McCandless, S., Taylor, A., y Coulson, T. (2012). Positive effects of an invasive shrub on aggregation and abundance of a native small rodent. *Behavioral Ecology*, ars202.
- Martin, T. E., y Finch, D. M. (1995). Ecology and management of neotropical migratory birds: a synthesis and review of critical issues: *Oxford University Press*.

- Medellín, R., Abreu-Grobois, A., Arizmendi, M. d. C., Mellink, E., Ruelas, E., Santana, E., y Urbán, J. (2009). Conservación de especies migratorias y poblaciones transfronterizas. *Capital natural de México*, 2, 459-515.
- Meunier, F. D., Verheyden, C., y Jouventin, P. (2000). Use of roadsides by diurnal raptors in agricultural landscapes. *Biological Conservation*, 92(3), 291-298.
- Mills, G. S. (1975). A winter population study of the American Kestrel in central Ohio. *The Wilson Bulletin*, 241-247.
- Mostajo, R. T., Giménez, I. G., Oñate, J. J., & Prieto, M. B. M. (2010). Influencia de la gestión agraria sobre la abundancia de micromamíferos en zonas de cultivo del centro peninsular. *Ecología* (23), 165-176.
- Murgatroyd, M., Underhill, L. G., Rodrigues, L., y Amar, A. (2016). The influence of agricultural transformation on the breeding performance of a top predator: Verreaux's Eagles in contrasting land use areas. *The Condor*, 118(2), 238-252.
- NRCS. (1999). American Kestrel (*Falco sparverius*). *Fish and Wildlife Habitat Management Leaflet*, 3.
- Pérez-Tris, J., y Tellería, J. L. (2002). Migratory and sedentary blackcaps in sympatric non-breeding grounds: implications for the evolution of avian migration. *Journal of Animal Ecology*, 71(2), 211-224.
- Pérez, G. E., y Hobson, K. A. (2009). Winter habitat use by Loggerhead Shrikes (*Lanius ludovicianus*) in Mexico: separating migrants from residents using stable isotopes. *Journal of Ornithology*, 150(2), 459-467.
- Powell, H., Axelson, G., Leonard, P., Chu, M., y Gallagher, T. (2015). Allabout birds: American Kestrel Retrieved 14 de Agosto 2015, [En línea] [https://www.allaboutbirds.org/guide/American\\_Kestrel/id](https://www.allaboutbirds.org/guide/American_Kestrel/id)
- Price, M. V., Waser, N. M., y Bass, T. A. (1984). Effects of moonlight on microhabitat use by desert rodents. *Journal of Mammalogy*, 65(2), 353-356.
- Reed, A. W., Kaufman, G. A., Rintoul, D. A., y Kaufman, D. W. (2004). Influence of prey abundance on raptors in tallgrass prairie. *Prairie Naturalist*, 36(1), 23-32.

- Richards, G. L. (1970). American Kestrel, *Falco sparverius*, exhibits relic nest building behavior. *The Condor*, 72(4), 476-476.
- Rohrbaugh, Jr. R. W., y Yahner, R. H. (1997). Effects of macrohabitat and microhabitat on nest-box use and nesting success of American Kestrels. *The Wilson Bulletin*, 410-423.
- Ruelas, E. I. y Smith, J. (2008). Continental scale decline of the American Kestrel: North America's smallest falcon. *Hawk wath international*, 22(3).
- Ruiz-Campos, G., Palacios, E., Castillo-Guerrero, J. A., González-Guzmán, S., Batche-González, E. H., y Pronatura, A. (2005). Composición espacial y temporal de la avifauna de humedales pequeños costeros y hábitat adyacentes en el noroeste de Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 31(3), 553-576.
- Rullman, S., y Marzluff, J. M. (2014). Raptor Presence Along an Urban-Wildland Gradient: Influences of Prey Abundance and Land Cover. *Journal of Raptor Research*, 48(3), 257-272.
- Rzedowski, J. (1961). *Vegetacion del estado de San Luis Potosí*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Salazar, M. V., Cadena, H. F., y Bonaccorso, E. (2011). Desarrollo de los polluelos y cuidado parental en el Quilico (*Falco sparverius*) en el suroeste de Ecuador. *Boletin SAO*, 20(2).
- Sergio, F. y Newton, I. (2003). Occupancy as a measure of territory quality. *Journal of Animal Ecology*, 72(5), 857-865.
- Sergio, F., Newton, I., Marchesi, L., y Pedrini, P. (2006). Ecologically justified charisma: preservation of top predators delivers biodiversity conservation. *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1049-1055.
- Smallwood, J. A. (1988). A mechanism of sexual segregation by habitat in American Kestrels (*Falco sparverius*) wintering in south-central Florida. *The Auk*, 36-46.
- Smallwood, J. A., Causey, M. F., Mossop, D. H., Klucsarits, J. R., Robertson, B., Robertson, S. y Dawson, R. D. (2009). Why are American Kestrel (*Falco*

- sparverius*) populations declining in North America? Evidence from nest-box programs. *Journal of Raptor Research*, 43(4), 274-282.
- Smallwood, J. A., Winkler, P., Fowles, G. I., & Craddock, M. A. (2009b). American kestrel breeding habitat: the importance of patch size. *Journal of Raptor Research*, 43(4), 308-314.
- Spiegel, S. (1975). *Nest site selection by the American kestrel, Falco sparverius*. Thesis (M. Sc.)--*McGill University*.
- Strasser, E. H., y Heath, J. A. (2013). Reproductive failure of a human-tolerant species, the American kestrel, is associated with stress and human disturbance. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 912-919.
- Tellería, J. L., y Pérez-Tris, J. (2004). Consequences of the settlement of migrant European Robins *Erithacus rubecula* in wintering habitats occupied by conspecific residents. *Ibis*, 146(2), 258-268.
- Tinajero, R., y Rodríguez, R. (2012). Efectos de la fragmentación del matorral desértico sobre poblaciones del aguililla cola-roja y el cernícalo americano en Baja California Sur, México. *Acta zoológica mexicana*, 28(2), 427-446.
- Townes, S. (2014). "Falco sparverius" (On-line), Animal Diversity Web. Consultado: 4 de Septiembre, 2015, [En línea]  
[http://animaldiversity.org/accounts/Falco\\_sparverius/](http://animaldiversity.org/accounts/Falco_sparverius/)
- Van Horne, B. (1983). Density as a misleading indicator of habitat quality. *The Journal of Wildlife Management*, 893-901.
- Villa, R. B., y Cervantes, F. A. (2003). *Los Mamíferos de México*. México, D. F.
- Wilson, J. D., Whittingham, M. J., y Bradbury, R. B. (2005). The management of crop structure: a general approach to reversing the impacts of agricultural intensification on birds? *Ibis*, 147(3), 453-463.
- Yeaton, R. I., y Flores, F., José L. (2006). Patterns of occurrence and abundance in colony complexes of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*) in productive and unproductive grasslands. *Acta Zoologica Mexicana ns*, 22, 107-130.

## IX. Anexo



**Figura 1.** Distribución potencial del cernícalo Americano (*Falco sparverius*) en el Altiplano Potosino (Mapa tomado de Jasso, 2008).

**Tabla 1.** Datos tomados al realizar los muestreos de cernícalo americano.

Datos	Descripción	Datos	Descripción
<b>Localidad</b>	Localidad del transecto	<b>Altura</b>	Altura a la que se encontraba
<b>Fecha</b>	Día en que se realizó el recorrido del transecto de aves	<b>Distancia</b>	Distancia desde el transecto
<b>Hora</b>	Hora a la que se avistó al ave	<b>Vuelo o Percha</b>	Si se encontraba volando o perchado
<b>N</b>	Número de individuos avistados	<b>Tipo de Percha</b>	Tipo de percha en el que se encontraba
<b>Km</b>	Kilometro dentro del transecto al que se avisto	<b>Sexo</b>	Hembra o Macho

**Tabla 2.** Cernícalos observados durante muestreos.

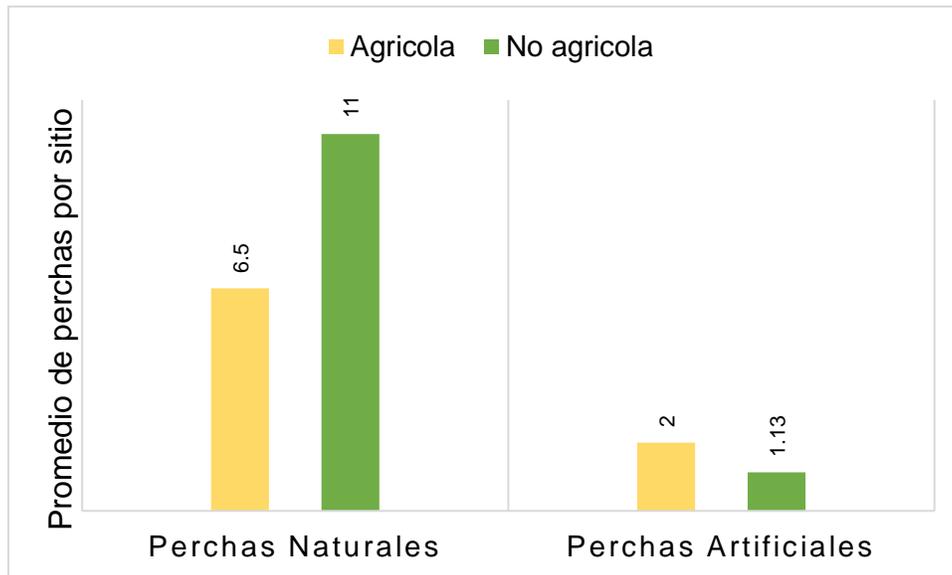
	<b>P-V</b>	<b>O-I</b>	<b>Total</b>
Vuelo	10	17	27
Percha	49	170	219

\*P-V; primavera-verano, O-I; otoño-invierno.

**Tabla3.** Tipos de perchas utilizadas por los cernícalos muestreados.

	<b>Poste de luz</b>	<b>Cable de luz</b>	<b>Yuca</b>	<b>Quiote</b>	<b>Árbol</b>	<b>Nopal</b>	<b>Otros</b>	<b>Total</b>
<b>P-V</b>	15	13	18	3	0	0	0	49
<b>O-I</b>	52	43	47	9	15	2	2	170

\*P-V; primavera-verano, O-I; otoño-invierno.



**Gráfica 1.** Promedio del número de perchas naturales y artificiales presentes por punto de muestreo en sitios considerados agrícolas y no agrícolas a 1 kilómetro de radio.