



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGÍA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**ECOLOGÍA INVERNAL DEL CERNÍCALO AMERICANO (*Falco sparverius*):
DETERMINACIÓN DE SU CRONOLOGÍA MIGRATORIA, SEGREGACIÓN DE
HÁBITAT POR SEXO Y CONDUCTA DE FORRAJEО EN EL BAJÍO
MICHOACANO**

TESIS

Que presenta:

LARISSA ORTEGA GUZMÁN

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS

Director de tesis:

DR. JAVIER SALGADO ORTIZ

Morelia, Michoacán; agosto de 2015





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas

DR. HÉCTOR GUILLÉN ANDRADE
COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "Ecología invernal del Cernícalo americano (*Falco sparverius*): determinación de su cronología migratoria, segregación de hábitat por sexo y conducta de forrajeo en el Bajío Michoacano" presentado por la Biol. Larissa Ortega Guzmán, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestra en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
Morelia, Michoacán, a 15 de julio de 2015

MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA

Dr. Javier Salgado Ortiz
Director

Dr. José Fernando Villaseñor Gómez

Dr. Eduardo Mendoza Ramírez

Dr. Leonardo Chapa Vargas

Dr. Luis Felipe Mendoza Cuenca

Cernícalo

*El mediodía estaba abierto:
el sol en medio coronado.
La tierra esperaba indecisa
algún movimiento del cielo
y todo el mundo se había quedado
indescifrablemente inmóvil.*

*En ese momento delgado
clavó el cernícalo su vuelo,
se desprendió del firmamento
y cayó como escalofrío.*



*No pasó nada en el paisaje
y no se asustó la arboleda,
los volcanes siguieron solos,
el río siguió pregonando
su abrupto y mojado linaje:*

*todo continuó palpitando
en la pausa de pauta verde
menos algo, una liebre, un ave,
algo que volaba o corría,
algo que existió donde ahora
hay una mancha colorada...*

Pablo Neruda

AGRADECIMIENTOS

Agradezco personalmente a mi asesor de tesis, el Dr. Javier Salgado Ortiz, por haberme aceptado como su tesista y por haberme acompañado durante los censos para este estudio.

A todos mis sinodales, José Fernando Villaseñor Gómez, Leonardo Chapa Vargas, Eduardo Mendoza y Luis Mendoza, por sus aportaciones durante mis tutoriales.

A Mario Suárez y a mí papá por haber sido mis choferes cuando el Dr. Javier no estaba disponible para salir a campo a realizar los censos.

A la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología por facilitar becas a los estudiantes de posgrado.

Muchísimas gracias a todas las personas que me apoyaron durante la elaboración de este proyecto.

DEDICATORIA (DE PUÑO Y LETRA)

Este trabajo está dedicado especialmente a todas aquellas personas que me apoyaron durante esta etapa de mi vida académica:

A toda mi familia. A mis padres, Adriana y Juan Manuel por ser quienes siempre me han apoyado incondicionalmente, impulsándome a seguir y alcanzar mis sueños. A mi hermano, cuya mente a veces no le permite descansar de tantas cosas que le interesan y cuyo don con la tecnología me ha ayudado en muchas ocasiones. A mi abuela Yolanda, que tiene un sexto sentido para llamar a la casa justo cuando uno empieza a tener un momento de inspiración para trabajar. A mi abuelo José Luis, a mis tios Desiré y Javier, Nena y Jorge, Gaby y Ricardo, quienes gracias a las redes sociales se han mantenido al tanto de mis progresos y me han apoyado desde lejos. Y por supuesto, a todos mis primos: a Michel, el mayor de todos y que ya es todo un psicólogo profesional; a Diego, quien está empezando una familia con su esposa; a Mariana y Gabriel, Pepe, Ximena, Yoltic, y las gemelas Giselle y Natalia. A todos ellos y especialmente a los más jóvenes, con la esperanza de que algún día hojeen esto y se inspiren para continuar sus estudios y lograr sus metas.

A mis amigas: Maribel, Marina y Ale, a quienes la vida las ha llevado por caminos que ya no nos permiten reunirnos tan frecuentemente, pero siguen siendo muy importantes para mí. A Monse, con quien compartí la presión de la maestría y le deseo la mejor de las suertes en su futuro académico.

Y por último, aunque sé que nunca se van a enterar de nada, dedico esto a todas mis mascotas: a Pichita la tarenga y Dos la pinzonita, quienes nos dejaron muy pronto; a Babas, Libertad y Sin Nombre mis tres tortugas latosas, pero sobre todo a Patoberta, la ratoncita valiente, quien aguantó asoleadas y sustos cuando la usé de carnada viva para capturar halcones. Y por supuesto a Momo el perico, el nuevo integrante de la familia. Les dedico esto porque las mascotas siempre han sido una parte importante de mi vida y una parte importante de mi amor por la biología (y en particular de las aves) nació de mi contacto con los animales de compañía que hemos tenido en mi familia.



Larissa Ortega Guzmán

ÍNDICE

RESUMEN	1
SUMMARY	3
INTRODUCCIÓN	5
El Cernícalo Americano	6
MARCO TEÓRICO GENERAL	8
Descripción y ecología general del Cernícalo Americano	10
Descripción del área de estudio	11
Tipos de Vegetación	13
Criterios de clasificación de Hábitat	13
OBJETIVOS	15
HIPÓTESIS DE TRABAJO	15
CAPÍTULO I: CRONOLOGÍA MIGRATORIA, SEGREGACIÓN DE HÁBITAT POR SEXO, ABUNDANCIA GENERAL Y DENSIDAD POBLACIONAL DEL CERNÍCALO AMERICANO (<i>Falco sparverius</i>) EN LA REGIÓN DEL BAJÍO, MICHOACÁN, MÉXICO	16
INTRODUCCIÓN	17
Migración diferencial	19
Segregación sexual por hábitat	20
OBJETIVOS	21
METODOLOGÍA	22
Censos poblacionales	22
Determinación de abundancia relativa	25
Cronología migratoria	25
Segregación sexual	26
Muestreo de distancias (Distance Sampling): Una herramienta para la estimación de parámetros poblacionales	27
RESULTADOS	30
Tiempos de llegada	30
Tiempos de partida	31

Ocupación de hábitat y segregación sexual	33
Abundancia relativa	37
Densidad poblacional.....	38
DISCUSIÓN	41
CAPÍTULO II: CONDUCTA DE FORRAJEО DEL CERNÍCALO AMERICANO (<i>Falco sparverius</i>) EN AGROECOSISTEMAS DEL BAJÍO MICHOACANO	44
INTRODUCCIÓN	45
Ámbito hogareño, tamaño de territorio y características de hábitat	46
Conducta de forrajeo	47
OBJETIVOS	49
METODOLOGÍA	50
Uso de perchas y descripción de hábitat de forrajeo	50
Descripción de la conducta de forrajeo.....	51
RESULTADOS.....	54
Uso de perchas y hábitat de forrajeo	54
Conducta de forrajeo	57
DISCUSIÓN	60
DISCUSIÓN GENERAL	62
LITERATURA CITADA.....	64

RESUMEN

El cernícalo americano (*Falco sparverius*) es una especie ampliamente distribuida en el continente americano. En México, la especie presenta dos tipos de poblaciones: los residentes anuales, localizados principalmente en la región norte y centro del país, y los migrantes invernadales, encontrados en el centro y sur de México (Howell y Webb, 1995). El estado de las poblaciones de cernícalo, sus preferencias de hábitat y ecología en general han sido muy poco estudiadas en México. La escasa literatura para *F. sparverius* en el país reporta que sus poblaciones se encuentran estables hasta este momento, pero están bajo presión debido a los cambios en la disponibilidad de su hábitat (Ramos, 1986). El presente estudio evaluó la ecología invernada del cernícalo americano dentro de una parte de su rango de invernación en México, específicamente en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, ubicada en el bajío del estado de Michoacán. Se documentaron por primera vez los tiempos de migración (llegadas y partidas) de la especie en la región, sus preferencias de hábitat y conducta de forrajeo. También se estimó la abundancia y densidad poblacional de la especie en dos sistemas agrícolas y secciones con remanentes del hábitat original.

Los conteos se realizaron a lo largo de carreteras, caminos secundarios y terracerías previamente seleccionados que recorrieran las principales comunidades vegetales presentes en la región: los sistemas de agricultura de temporal y campos pecuarios, los sistemas de agricultura de riego y matorral subtropical. Las rutas de conteo variaron en longitud debido a la fragmentación de hábitat. Se realizaron conteos semanales durante el periodo octubre-abril comprendidos entre los años 2013-2014 y 2014-2015 y se documentaron las características específicas de hábitat para cada cernícalo observado dentro de un radio estimado de 250m. La vegetación se describió de forma cualitativa y el sexado de individuos se realizó de manera visual mediante la identificación de las características de plumaje.

Durante ambos periodos invernadales, los cernícalos llegaron a la región a partir de la primera semana de octubre e iniciaron su retorno a sus sitios de reproducción hacia finales de marzo y principios de abril. Existe evidencia de la existencia de segregación de hábitat en relación al sexo de los individuos en la región, puesto que

en términos generales las hembras fueron mucho más abundantes, principalmente en las áreas de agricultura de riego, mientras que la abundancia de los machos fue mayor en sitios correspondientes a matorral subtropical; los machos fueron encontrados casi exclusivamente dentro de las áreas de matorral subtropical y estuvieron virtualmente ausentes de las zonas de agricultura de riego. Las áreas de agricultura de temporal y campos pecuarios presentan una incidencia intermedia en la presencia de ambos sexos. Al tratarse de depredadores de emboscada, los cernícalos permanecieron perchados un 85% del tiempo total de observación, atacando a sus presas directamente desde la percha. De un total de 56 eventos de forrajeo observados, sólo 17 (30%) fueron exitosos, sin variaciones estadísticas de importancia entre sexos. Además, los cernícalos mostraron una inclinación por el uso de perchas naturales para sus actividades de vigilancia y forrajeo (63%), en comparación con el aprovechamiento de perchas artificiales (37%) disponibles en el paisaje. Finalmente, el hábitat de forrajeo más frecuentemente favorecido por ambos sexos dentro de un radio de 250m alrededor de la percha estuvo compuesto por un 85% de espacio abierto con cobertura herbácea de ≤ 0.5 m de altura, descripción que concuerda con las características generales de hábitat abierto reportado por la literatura para la especie (Sferra, 1984; Bohall-Wood y Collopy, 1986; Toland, 1987; Worm *et al.*, 2013).

Palabras clave: cernícalo americano, ecología invernal, migración diferencial, segregación sexual de hábitat, conducta de forrajeo, abundancia relativa, densidad poblacional.

SUMMARY

The American kestrel (*Falco sparverius*) is a widely distributed species across the Americas. In Mexico, the species has two distinct sets of populations: year-round residents mainly located at the north-central region of the country, and overwintering populations found in the central and southern regions (Howell y Webb, 1995). Population status, habitat preferences and overall ecology of kestrel populations in México are poorly known in most of its distribution. The scarce literature for *F. sparverius* in México reports its populations are stable, but under pressure due to the decrease of habitat availability (Ramos, 1986).

The present study assessed winter ecology of American kestrels within its wintering range in Central México, specifically in the Lake Cuitzeo watershed located in northern Michoacán. Migration timing (arrival and departure dates) for the species was documented for the first time in the region; habitat preferences, abundance and population densities were estimated for two different agricultural landscapes and on remaining original habitat. We recorded data along selected paved roads and dirt tracks crossing vegetation patches of dryland farming and livestock grasslands, irrigation croplands and tropical scrub vegetation (a subset of the tropical dry forest system, also known as matorral). Count routes varied in length due to habitat fragmentation. We performed two to three surveys weekly from October to April during 2013-2014 and 2014-2015. Sex of individuals was determined visually by identification of plumage characteristics. We documented the main habitat features for each observed kestrel within a 250 meters radius, and vegetation was described qualitatively.

During both wintering seasons, kestrels arrived to the region during the first week of October and left for their breeding grounds at the end of March and April's first week. There's clear evidence of sex biased habitat segregation, since females were more abundant than males overall, particularly at irrigation croplands, while male kestrel abundances were higher in tropical scrub vegetation sites. Male kestrels were found almost exclusively at areas covered by tropical scrub vegetation and were virtually absent at irrigation croplands. Dryland farming systems had an intermediate

incidence of males and females. Regarding foraging strategies, kestrels are mainly blitz-attack predators, and spent around an 85% of total observation time perching somewhere. A total of 56 foraging attempts were recorded, with a total success rate of 17 (30%) strikes, with no important statistical variation among sexes. There was a distinct preference for the use of natural perches, such as trees, to obtain preys (63%) compared to the use of artificial perches available on the landscape (37%). Lastly, the most frequent foraging habitat within a 250m radius from the perch consisted of around 85% open habitat covered with an herbaceous substrate under ≤ 0.5 m height and 15% woody vegetation, in consistency with other studies for the species in North America (Sferra, 1984; Bohall-Wood y Collopy, 1986; Toland, 1987; Worm *et al.*, 2013).

Keywords: American kestrel, winter ecology, differential migration, habitat sexual segregation, foraging behavior, relative abundance, population density.

INTRODUCCIÓN

A pesar de encontrarse entre las especies más conspicuas y estar consideradas culturalmente como aves carismáticas, las aves de presa o rapaces se encuentran amenazadas alrededor del mundo. Debido a su naturaleza reservada y sus bajas densidades son también un grupo particularmente complicado de estudiar. Como depredadores, las rapaces ocupan el nivel trófico más alto dentro de diversos ecosistemas, por lo que son especialmente vulnerables a la degradación de su hábitat y por lo tanto pueden proveer información relevante sobre la salud de un ecosistema. Sin embargo, a pesar de su atractivo general e importancia ecológica, se desconoce gran parte de la historia de vida de este grupo de aves en la mayor parte de su distribución geográfica (Bierregaard, 1995).

En México existen un total de 52 especies de aves rapaces diurnas (orden Falconiformes), cifra que representa cerca del 20% del total de rapaces en el mundo (Ramos, 1986). De estas especies, 47 tienen poblaciones residentes permanentes y reproductivas en territorio nacional a lo largo del año; 16 especies tienen poblaciones transitorias (que se registran como aves de paso durante la migración) y otras 15 tienen poblaciones que invernán en el país (Ramos, 1986). Aunque actualmente existe un conocimiento relativamente bueno sobre la distribución de las distintas especies de aves de presa dentro el país, la información existente sobre este grupo de aves se limita a estudios muy generales y con frecuencia anecdóticos sobre su biología general, y los estudios sobre la situación de conservación actual del grupo o sobre sus requerimientos de hábitat continúan siendo escasos (Ramos, 1986; Hoffman y Collopy, 1988). La mayor parte de la información existente sobre los Falconiformes en América proviene de estudios realizados en los Estados Unidos, y más recientemente de Guatemala y algunos países de América del Sur como Venezuela, Chile y Argentina (Bierregaard, 1995; Bó *et al.*, 2007; Farmer *et al.*, 2008).

El Cernícalo Americano

Descrita como la rapaz más pequeña de América del Norte, el Cernícalo americano (*Falco sparverius*) es también una de las más conspicuas, fácilmente identificables y más tolerantes a la presencia humana. Con un tamaño que oscila entre 25.5 y 29 cm de longitud y entre 61-65cm de envergadura alar (Howell y Webb, 1995), este pequeño halcón se alimenta principalmente de insectos y otros invertebrados, roedores y aves pequeñas (Farmer *et al.*, 2008). Históricamente, esta especie se distribuye por todo el Continente Americano, exceptuando el Ártico y la región Amazónica (Ferguson-Lees y Christie, 2005). El cernícalo americano presenta un claro dimorfismo sexual, reflejado principalmente en las características distintivas del plumaje que permiten identificar visualmente a cada sexo y menos evidentemente por una ligera diferencia de tamaños, con las hembras sutilmente más grandes que los machos.

En México, el Cernícalo americano se distribuye por todo el país, y la especie presenta tanto poblaciones residentes como migratorias. Las primeras se ubican principalmente hacia la zona norte del país, mientras que las poblaciones migratorias se registran hacia la región centro y sur (Howell y Webb, 1995) (Fig. 1).

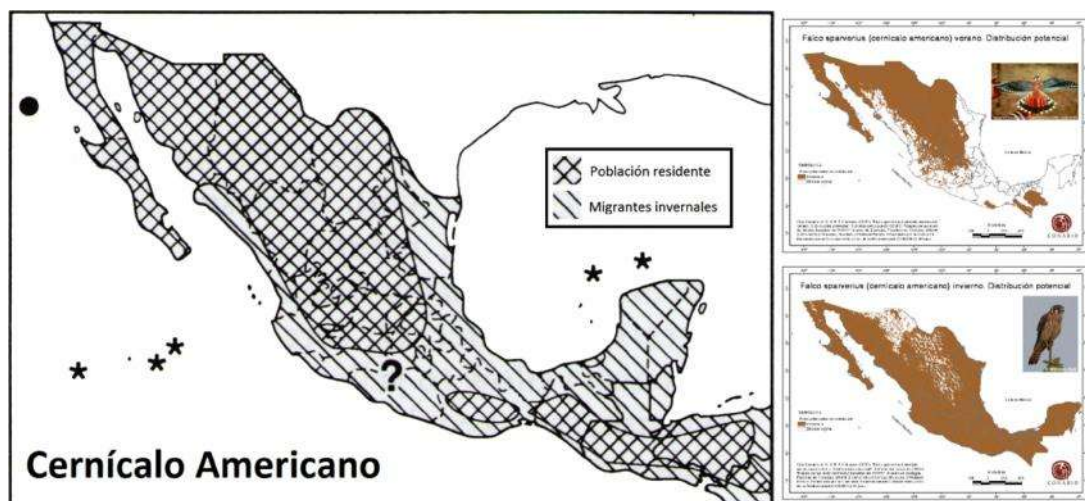


Figura 1. Mapa que muestra la distribución general de las poblaciones migratorias y residentes de *Falco sparverius* en México. Arriba derecha: distribución potencial en verano. Abajo derecha: distribución potencial en invierno (Modificado de Howell y Webb 1995, CONABIO 2010).

De acuerdo con la organización Compañeros en Vuelo (Partners in Flight), (Rich *et al.*, 2004) se estima que alrededor de tres cuartos de los más de 1, 000,000 de individuos que conforman la población global de *F. sparverius* se reproducen en los Estados Unidos y Canadá. Con base en conteos de aves migratorias, conteos de aves durante la temporada reproductiva (Breeding Bird Surveys o BBS, por sus siglas en inglés) y otros conteos en campo, se ha documentado que las poblaciones del Cernícalo americano han declinado en la mayor parte del territorio de Estados Unidos y Canadá de manera más o menos constante desde hace más de 30 años, con los declives más marcados registrados hace apenas 10 años (Farmer *et al.*, 2008; Ruelas-Inzunza, 2008). Aún no existe una respuesta clara al declive de las poblaciones del Cernícalo americano en Norteamérica, aunque en general se consideran cuatro posibles causas para explicar este fenómeno, incluyendo: 1) efectos de la contaminación por pesticidas, 2) cambio de uso de suelo, 3) aumento en la depredación por parte de otras aves de presa de mayor tamaño y 4) un incremento en la tasa de mortandad a causa del virus del Nilo occidental. Sin embargo, todavía se requieren más estudios para sustentar estas u otras posibilidades que expliquen dichos declives poblacionales (Ruelas-Inzunza, 2008).

El hábitat donde *F. sparverius* ocurre con mayor frecuencia incluye campos abiertos como pastizales naturales, matorrales desérticos, campos con árboles esparcidos incluyendo campos agrícolas y ganaderos, plantaciones y áreas suburbanas. Es común observar a la especie a lo largo de carreteras y caminos secundarios, perchando sobre postes o cables de energía eléctrica.

Con la finalidad de conocer a detalle algunos aspectos de su ecología, el enfoque de este estudio es determinar los tiempos de llegada y partida de los individuos migratorios de la especie, su abundancia relativa y la existencia de segregación sexual en tres tipos de paisajes agropecuarios de la región del Bajío Michoacano.

MARCO TEÓRICO GENERAL

Dentro del orden Falconiformes se incluyen los integrantes de la familia Falconidae: los verdaderos halcones, cernícalos y falconetes. En México, esta familia está representada por doce especies, de las cuales en este trabajo se pretende estudiar únicamente al *Falco sparverius* o Cernícalo americano.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), clasifica a esta especie dentro de la categoría de Preocupación Menor (Least Concern) debido a su amplio rango de distribución, y a que aparentemente sus poblaciones son abundantes y se encuentran estables a lo largo del continente (IUCN, 2012). Sin embargo, estudios realizados en Norteamérica indican que al menos las poblaciones ahí presentes se encuentran en declive. Entre los años 1942 a 1972, en el oeste de Estados Unidos, Bednarz et al. (1990) registraron un incremento en los conteos para el Cernícalo americano, y luego reportaron una disminución significativa para el periodo de 1973 a 1986, pero no se realizó ningún estimado sobre los índices de cambio (Bednarz et al., 1990). Con base en los conteos de rapaces migratorias, el Índice Poblacional de Rapaces (RPI, por sus siglas en inglés) indica que las poblaciones de Cernícalo americano han declinado significativamente en el noreste de los Estados Unidos desde mediados de la década de 1970, y que desde 1994 a 2004 se han registrado disminuciones anuales en sitios de observación que incluyen Lighthouse Point, Connecticut; Cape May y Montclair, New Jersey, y Hawk Mountain y Holiday Beach, Ontario (-9.2, -4.5, -3.3, -4.8 y -4.1%, respectivamente). Al mismo tiempo, se registraron disminuciones anuales no significativas en Tadoussac, Québec y Hawk Ridge, Minnesota, respectivamente (-1.8 y -0.7%), registrándose en cambio un incremento poco significativo de 0.9% en Waggoner's Gap, Pennsylvania (Farmer et al., 2008). Estas y otras estimaciones previas de las tendencias poblacionales para los cernícalos indican que las poblaciones ubicadas al oeste de los Grandes Lagos sufrieron un incremento antes de 1990, mientras que aquellas que se encuentran al este de los Grandes Lagos han declinado desde mediados de la década de los setenta. Los índices de población

para el cernícalo americano en los sitios anteriormente mencionados sugieren que los declives para esta especie se han ido acelerando desde el año 2000 en Lighthouse Point, Hawk Mountain y Waggoner's Gap, y que se han mantenido relativamente constantes en los pasados 30 años en Cape May y Montclair (Farmer *et al.*, 2008). De mantenerse continuo el ritmo de cambio poblacional registrado entre 1994 y 2004, se predijo un declive estimado del 50% en la población de *F. sparverius* en alrededor de 8 años en Lighthouse Point, 15 años en Cape May, 21 años en Montclair, 14 años en Hawk Mountain y de 17 años en Holiday Beach (Farmer *et al.*, 2008; Ruelas-Inzunza, 2008) (Fig. 2).

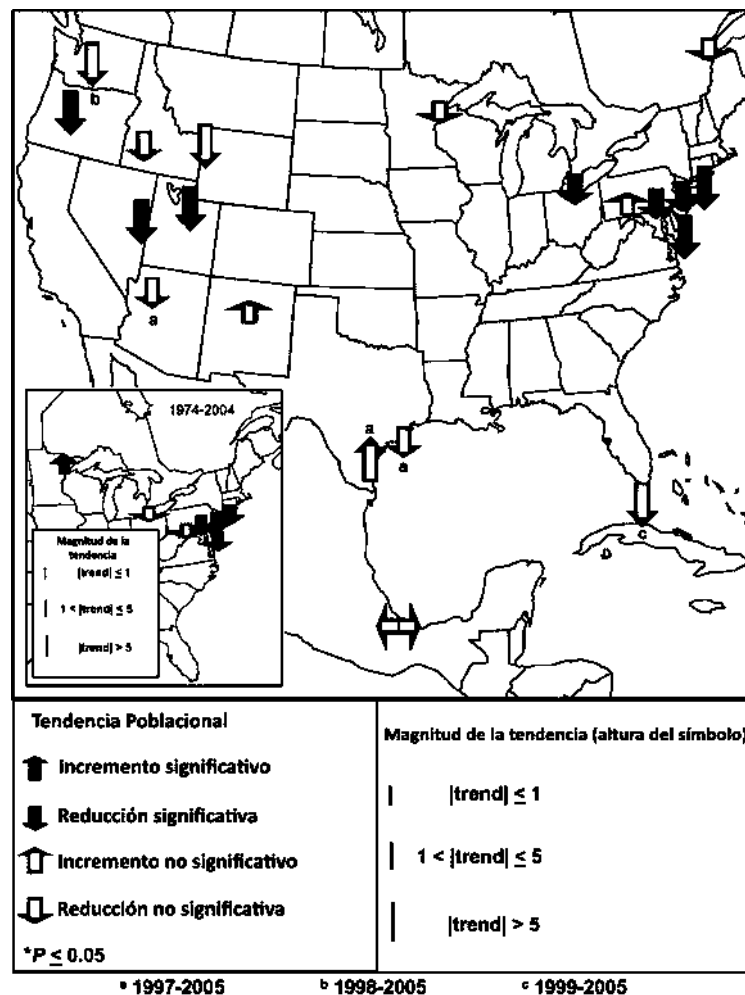


Figura 2. Tendencias poblacionales de *Falco sparverius* en Estados Unidos entre 1994-2005 (Tomado de Farmer *et al.* 2008)

El estado de las poblaciones de cernícalo en México se desconoce en la mayor parte de su distribución. Ramos (1986) reporta que las poblaciones de *F. sparverius* en México se encontraban estables en el momento de su estudio, pero mermando debido a la disminución en la disponibilidad de hábitat (Ramos, 1986). Howell y Webb (1995), describen que la especie es moderadamente común a lo largo de su distribución en México, sin embargo no existen estudios poblacionales que aporten datos sobre las abundancias y cambios históricos en el país.

Descripción y ecología general del Cernícalo Americano

Esta especie, presenta dimorfismo sexual inverso, donde la hembra es ligeramente más grande que el macho. Sin embargo, *Falco sparverius* cuenta con características distintivas del plumaje que hacen posible diferenciar ambos sexos con total certeza. Los machos adultos presentan una corona gris azulada con o sin un parche café rojizo en la nuca, garganta blanca y mejillas delimitadas por un par de barras negras verticales distintivas y un par de “ojos falsos” de color negro en la base de la nuca. El dorso es de color cobrizo y ligeramente barrado por toda la espalda y las plumas escapulares; las plumas cobertoras del ala son de color gris azulado con pequeños puntos negros; cola generalmente cobriza (puede variar de un café pálido a café grisáceo), con una banda negra subterminal (en algunas ocasiones también con bandas adicionales de color blanco o grisáceas), y el borde de color blanco, gris o cobrizo; las plumas más externas de la cola suelen ser de color blanco con bandas negras; el pecho y abdomen son de color crema con manchas negras en la parte baja del pecho y los flancos (Ferguson-Lees y Christie, 2005). Las hembras poseen un patrón de coloración similar al de los machos, pero son mucho más pálidas, con menos azulado y más barrado en la espalda; son más o menos café rojizas en la parte dorsal, con barras café oscuro o negro, incluyendo las cobertoras de las alas y la cola, ésta última con una banda subterminal más delgada que en los machos; por debajo de color crema, con líneas marrones excepto en las plumas que recubren la cloaca (Ferguson-Lees y Christie, 2005) (Fig. 3).



Figura 3. Características de plumaje distintivas del dimorfismo sexual en el Cernícalo americano.

Arriba: rasgos distintivos de plumaje para machos. Abajo: plumaje característico en hembras

Descripción del área de estudio

La cuenca del lago de Cuitzeo es un sistema endorreico perteneciente al sistema hidrológico del Río Lerma. Se localiza al norte del estado de Michoacán, entre los paralelos 19° 30' y 20° 05' de latitud Norte y los meridianos 100° 35' y 101° 30' de longitud Oeste (INEGI, 1985). Dentro de la región de la cuenca se ubican parcial o totalmente 28 municipios, 23 de los cuales corresponden al estado de Michoacán y cinco al estado de Guanajuato. El lago y las zonas de inundación cubren alrededor de 400km² (Bravo-Espinosa *et al.*, 2008) (Fig. 4).

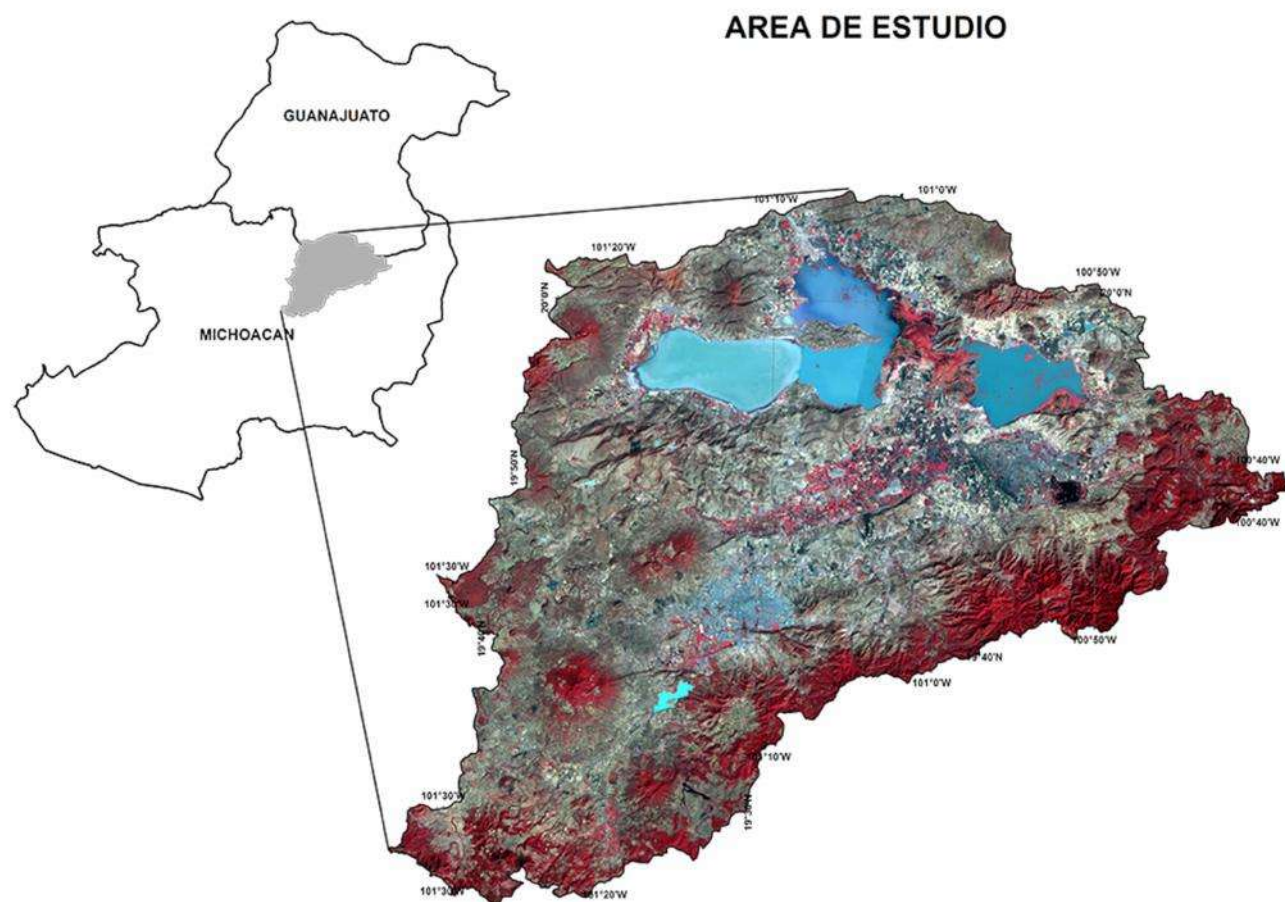


Figura 4. Ubicación del área de estudio; Cuenca del Lago de Cuitzeo, ubicada al norte del estado de Michoacán (INEGI, 1985).

Tipos de Vegetación

Dentro de la región de la cuenca se encuentran los siguientes tipos de vegetación: pastizal halófilo, vegetación acuática y subacuática, bosques templados de pino y encino, matorral subtropical y selva baja caducifolia (Villaseñor-Gómez *et al.*, 2000; Bravo-Espinosa *et al.*, 2008). La parte baja de la cuenca es un mosaico de remanentes de matorral subtropical y áreas agrícolas y ganaderas. La agricultura se desarrolla en las partes llanas, mientras que la mayor parte la vegetación nativa remanente se ubica en suelos con pendiente, como cerros y lomeríos.

Para este estudio se seleccionaron tres tipos de sistemas de vegetación que se encuentran entre los más comunes de la región: el matorral subtropical y los agroecosistemas de agricultura de temporal con campos pecuarios y sistemas de agricultura de riego.

Criterios de clasificación de Hábitat

En general, dado que *F. sparverius* es una especie que se ve favorecida por la presencia de hábitats abiertos requiere de zonas abiertas para realizar sus actividades de forrajeo, incluyendo aquellos hábitats modificados por actividades humanas, tales como pastizales ganaderos, áreas agrícolas y sistemas silvopastorales, los cuales son importantes para su supervivencia (Ardia y Bildstein, 2001; Smallwood *et al.*, 2002) (Fig.6).

Debido a las actividades humanas existentes en la región de estudio, el ecosistema de matorral subtropical se encuentra altamente fragmentado por las actividades agrícolas. Para este estudio, los sitios de muestreo se seleccionaron con base en la dominancia de cada tipo de vegetación. En estos se establecieron transectos lineales a lo largo de rutas de carreteras y caminos de terracería, siendo de longitud variable en función del tipo de cobertura vegetal (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rutas de los transectos y longitud por tipo de vegetación para el muestreo de *Falco sparverius* en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán.

TIPO DE COBERTURA VEGETAL	TRANSECTO	RUTA	LONGITUD DEL TRANSECTO (km)
Matorral Subtropical con fragmentos pecuarios	M1	La Mintzita - Tacicuaró	9.82
	M2	Tiristarán - Resumidero - Cuto	10.5
	M3	Teremendo - La Cañada	9.26
	M4	Cuto - Cotzurio	8.57
Agricultura de temporal y Sistemas agropecuarios	A1	El Jamanal - Cuto - Tiristarán	10.2
	A2	Tiristarán - Tecacho	16.7
	A3	Tecacho - Puente San Isidro	6.3
	A4	Cotzurio - Chiquimitío - Santa María	10.9
	A5	Teremendo - La Alberca	4.42
Agricultura de Riego	R1	Puente San Isidro - San Isidro	4.95
	R2	Mesón Nuevo - Tézaro - Uruétaro	13.3
	R3	Tézaro - Álvaro Obregón	5.93
	R4	Álvaro Obregón - La Purísima	11.9
	R5	Álvaro Obregón - Indaparapeo	8.19
	R6	Prolongación de Bravo - Belisario Domínguez	11.1
	R7	Brecha Aeropuerto	11.4

OBJETIVOS

General

Determinar el tiempo de llegada y partida, abundancia relativa y segregación sexual de hábitat del Cernícalo americano (*Falco sparverius*) en sitios de invernación del Bajío Michoacano.

Específicos

1. Determinar la cronología migratoria del Cernícalo americano por sexos en sitios de invernación de la región del Bajío Michoacano.
2. Determinar la distribución, densidad y abundancia del Cernícalo americano en paisajes naturales y antrópicos en el Bajío Michoacano.
3. Determinar las preferencias de hábitat por sexo para comprobar la posible existencia de segregación sexual de hábitat.
4. Determinar los tipos de perchas aprovechadas y las características de hábitat alrededor de las mismas.
5. Describir la conducta y éxito de forrajeo en los hábitats de estudio.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

El tiempo de llegada y partida del Cernícalo americano a sitios de invernación del Bajío Michoacano varía entre sexos, llegando las hembras primero que los machos y los machos partiendo antes que las hembras.

Las abundancias del Cernícalo americano serán mayores en sitios con menor cobertura arbórea (ej. mayor en paisajes agropecuarios que en paisajes con matorral subtropical).

Existe una distribución diferencial de hábitat entre machos y hembras en sitios de invernación del Bajío Michoacano.

CAPÍTULO I

CRONOLOGÍA MIGRATORIA, SEGREGACIÓN DE HÁBITAT POR SEXO, ABUNDANCIA GENERAL Y DENSIDAD POBLACIONAL DEL CERNÍCALO AMERICANO (*Falco sparverius*) EN LA REGIÓN DEL BAJÍO, MICHOACÁN, MÉXICO



INTRODUCCIÓN

Muchas especies de aves rapaces son total o parcialmente migratorias y se desplazan a lo largo de rutas bien definidas durante sus migraciones (Farmer *et al.*, 2007). El conocimiento de estas rutas, así como sus patrones de desplazamiento, constituyen información importante acerca de la ecología migratoria de estas aves y brinda posibilidades de establecer estrategias de conservación más efectivas para dichas especies. La información existente sobre los procesos migratorios proviene primordialmente de conteos de aves y de la recaptura de individuos anillados, y actualmente puede ser complementada mediante rastreo de individuos por señales de radio VHF y/o telemetría satelital (Goodrich y Smith, 2008). Sin embargo, dado que el proceso migratorio de estas aves implica el desplazamiento a grandes distancias, su estudio, monitoreo y protección se ve limitado por diversos factores.

En el caso de las rapaces de América del Norte se sabe que la mayoría de las especies son migrantes parciales, es decir, menos del 90% del total de sus poblaciones emigra hacia latitudes sureñas durante la temporada otoño-invernal y que sus territorios de invernación y veraneo suelen traslaparse en la mayor parte de su rango de distribución (Goodrich y Smith, 2008). Las rutas y distancias recorridas también varían enormemente entre especies e incluso entre poblaciones de una misma especie (Hinnebusch *et al.*, 2010). La topografía del terreno y los cuerpos de agua, aunados a factores ecológicos, meteorológicos y de comportamiento influyen enormemente en la regulación y temporalidad de los movimientos migratorios de estas aves. Es gracias a esta plasticidad en sus patrones migratorios que las rapaces son capaces de aprovechar y explotar al máximo la amplia variedad de condiciones que encuentran durante sus desplazamientos (Farmer *et al.*, 2008).

El cernícalo americano (*Falco sparverius*) es un ave de presa de hábitos parcialmente migratorios. Sus poblaciones en el Hemisferio Norte se dividen en dos grupos: las poblaciones totalmente migratorias, distribuidas aproximadamente entre los 40° de latitud norte y el Círculo Polar Ártico (Canadá y el norte de los Estados

Unidos) y las poblaciones residentes o sedentarias, que se distribuyen en latitudes por debajo de los 40° N (Estados Unidos y el norte y centro de México, con algunas poblaciones al sur del país; Fig. 1) (Smallwood *et al.*, 2002). Las poblaciones migratorias de la especie recorren distancias moderadas, ya sea individualmente o en grupos pequeños y presentan dos tipos de patrones migratorios: migración salteada y migración diferencial por edades y sexos (Smallwood, 1988; Stotz y Goodrich, 1989; Farmer *et al.*, 2008). En la migración salteada, las poblaciones de la especie que se reproducen a mayores latitudes migran mucho más al sur, “saltándose” a aquellas poblaciones cuyos territorios reproductivos se localizan en latitudes más bajas. En la migración diferencial existe una separación temporal entre los desplazamientos de los individuos de cierta edad y sexo. Este último tipo de migración ha sido registrado en diversas poblaciones de cernícalo en los Estados Unidos y es la que se consideró para la población de cernícalos concerniente a este estudio.

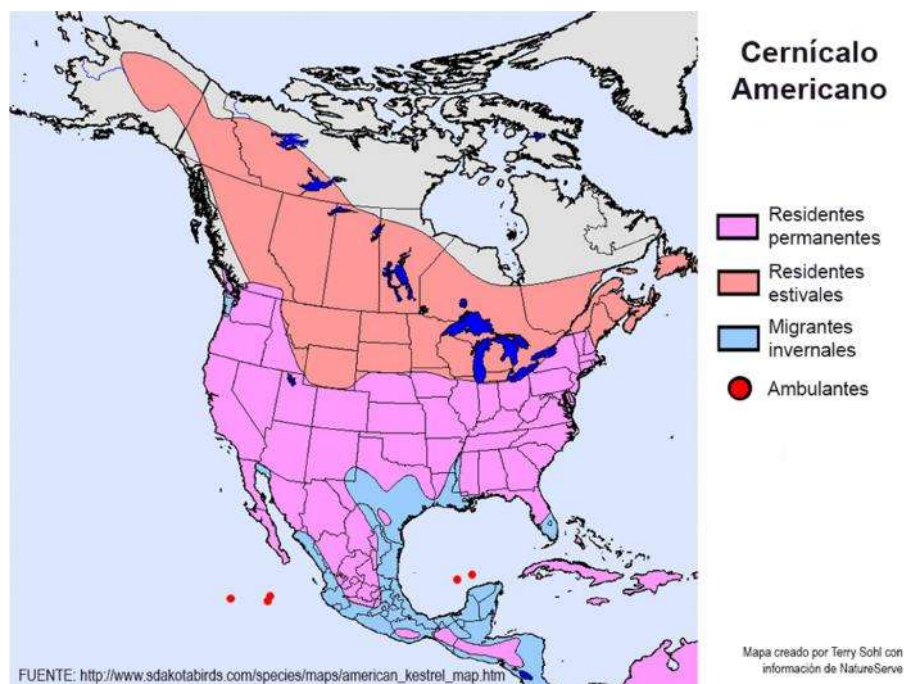


Figura 1. Rango de distribución del cernícalo americano de acuerdo a sus patrones migratorios.

Tomado y modificado de South Dakota Birds and Birding
(http://www.sdakotabirds.com/species/american_kestrel_info.htm)

Migración diferencial

En numerosas especies de rapaces de Norteamérica, los patrones migratorios presentan una distribución bimodal conocida como *migración diferencial*, en la que los tiempos de migración varían enormemente entre categorías distintivas de individuos (edades, sexos o razas), dando como resultado disparidades en sus movimientos migratorios (Stotz y Goodrich, 1989). Este fenómeno ha sido explicado en términos de un intercambio energético entre los beneficios obtenidos por la migración y los costos que implica el desplazarse mayores o menores distancias desde las zonas de crianza a los sitios de invernación y viceversa (Álvarez y Pajuelo, 2004; Palacín *et al.*, 2009). Dicho sistema pudo haber evolucionado en respuesta a factores de presión selectiva tales como la competencia intersexual por recursos de crianza, la severidad del clima invernal, la competencia por recursos durante la temporada no reproductiva y la tasa de mortalidad en tránsito (Ketterson y Nolan Jr., 1983).

En el caso del cernícalo americano (*Falco sparverius*), se ha demostrado que en poblaciones invernantes dentro de los Estados Unidos los patrones migratorios presentan una distribución bimodal en relación al sexo de los individuos (Stotz y Goodrich, 1989). Varios estudios indican que las hembras son las primeras en llegar a los territorios de invernación, seguidas de los machos poco tiempo después (Smallwood, 1988; Stotz y Goodrich, 1989), dando como resultado una distribución diferencial de los sexos dentro de los territorios de invernación. Se ha sugerido que estas diferencias en los tiempos de llegada de ambos sexos no son producto de una separación geográfica de las aves en, o cerca de, los territorios de crianza, sino más bien una diferencia en los tiempos de partida desde dichos territorios hacia los sitios de invernación, la cual podría estar relacionada con los distintos roles de cada sexo durante la temporada reproductiva (Stotz y Goodrich, 1989). De acuerdo a Smallwood (1988), las hembras inician su migración mucho más temprano en la temporada debido a que completan su muda de plumaje mucho antes que los machos, ya que éstos dedican gran parte de su energía en proveer alimentos para su compañera y los polluelos durante la temporada reproductiva (Smallwood, 1988).

Otros autores sugieren que al migrar tan pronto como su nuevo plumaje lo permite, las hembras se ven beneficiadas al poder establecerse en hábitats de invernación favorables antes de que lleguen los machos, mejorando así sus posibilidades de sobrevivencia hasta la próxima estación de cría. Esta variación en la migración de los sexos podría explicar las diferencias de uso de hábitat que se han reportado para la especie (Mills, 1976; Bohall-Wood y Collopy, 1986; Smallwood, 1987).

Las diferencias en los tiempos de migración de cada sexo también pueden estar relacionadas con una disparidad en las distancias recorridas, ya que se ha reportado que en algunas regiones los cernícalos machos invernán mucho más al norte que las hembras (Mills, 1976). Dado que los machos compiten por territorios de reproducción en primavera, podrían obtener una ventaja al permanecer más cerca de las áreas de reproducción. La selección podría favorecer a aquellos machos capaces de sobrevivir en territorios de invernación más norteños (Mills, 1976), y por lo tanto, los machos retrasarían su migración invernal en comparación con la de las hembras.

Segregación sexual por hábitat

Las diferencias entre los hábitats ocupados por machos y hembras en sus sitios de invernación en el sur de los Estados Unidos se han descrito en términos de exclusión competitiva (Ardia y Bildstein, 2001), lo que sugiere que los cernícalos de ambos sexos no pueden coexistir dentro de un mismo territorio debido a que compiten por los mismos recursos. Esta noción se fundamenta en las observaciones realizadas dentro de aquellas regiones donde se ha reportado la existencia de segregación sexual por tipo de hábitat en la especie, pues las hembras predominan consistentemente en hábitats caracterizados como abiertos y de escasa vegetación, mientras que los machos persisten principalmente en zonas con alto porcentaje de cobertura arbustiva, bordes de bosque y zonas arboladas (Bohall-Wood y Collopy, 1986; Smallwood, 1987). Un estudio realizado por Ardia y Bildstein en 2001 sugiere que las hembras de cernícalo seleccionan áreas que contienen un alto porcentaje de vegetación de poca altura (<0.25 m de alto en un radio de 100m alrededor de los sitios de percha). En contraste, las áreas de forrajeo que estaban siendo

aprovechadas por los machos contenían un mayor porcentaje de árboles dentro de un radio de 100 m alrededor de los sitios de percha. Los autores concluyen que las áreas abiertas son mucho más adecuadas para el forrajeo de ambos sexos, pero las hembras llegan primero y se establecen en dichos territorios, excluyendo a los machos y restringiéndolos a invernar en áreas con menores oportunidades de forrajeo y una mayor exposición a la depredación (Ardia y Bildstein, 2001). Estas diferencias en el uso de hábitat en relación al sexo afectarían el rendimiento físico de los individuos de la especie, en particular de los machos. La segregación sexual de hábitat ocasionaría que los machos mantuvieran reservas de energía más bajas que las de las hembras, más allá de las diferencias de masa esperadas entre sexos (Ardia, 2002).

OBJETIVOS

1. Determinar la cronología migratoria del Cernícalo americano y diferencias entre sexos en sitios de invernación de la región del Bajío Michoacano.
2. Determinar la distribución, abundancia general y densidad del Cernícalo americano en paisajes naturales y antrópicos en el Bajío Michoacano.
3. Determinar la existencia de segregación sexual y uso de hábitat.

METODOLOGÍA

Censos poblacionales

Los datos fueron colectados durante las temporadas otoño-invernales de 2013-2014 (de octubre a diciembre de 2013 y febrero a abril de 2014) y 2014-2015 (de octubre y noviembre de 2014 y enero a abril de 2015). Inicialmente se realizaron salidas exploratorias para la determinación de las rutas de conteo. Se establecieron transectos a lo largo de carreteras, caminos principales y terracerías cubriendo las principales comunidades vegetales presentes en la región: sistemas de agricultura de temporal, sistemas de agricultura de riego y el matorral subtropical (Fig. 2). Dado que el paisaje se encuentra altamente fragmentado, particularmente en las zonas de matorral y los sistemas de agricultura de temporal, la longitud de los transectos fue variable correspondiendo al tipo de vegetación dominante.



Figura 2. Ubicación de los transectos de muestreo del cernícalo americano en el área de estudio en tres de los principales tipos de paisajes observados en el Bajío Michoacano (matorral subtropical, agricultura de temporal y campos agropecuarios y agricultura de riego).

Matorral subtropical. El matorral subtropical conforma una fase más o menos estable de vegetación que sucede a la destrucción del bosque tropical caducifolio. Esta vegetación incluye árboles bajos de 5 a 10m de altura de tipo caducifolio, es decir, que pierden sus hojas en la época seca del año. Entre las especies encontradas más comúnmente dentro de estos sistemas tenemos copales o papelillos (*Bursera* spp.), parotilla o palo blanco (*Albizia plurijuga*), cuáquil (*Celtis caudata*), cazahuatle (*Ipomoea murucoides*), zapote blanco (*Casimiroa edulis*), nogalillo o cueteramba (*Cedrela dugesii*), pochote (*Ceiba aesculifolia*), capulín blanco o Turín (*Ehretia latifolia*), colorín (*Eritrina coralloides*), yuca (*Yuca filifera*), acibuche u olivo (*Forestiera* spp.), sicua (*Heliocarpus terebinthinaceus*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), chivillo (*Zanthoxylum* spp.), granjero (*Condalia velutina*), chupiri (*Euphorbia calyculata*), papelillo (*Euphorbia fulva*), además de los nopales (*Opuntia* spp.), pitayos (*Stenocereus* spp.) y otras cactáceas (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1987) (Fig. 3).



Figura 3. Vista aérea y panorámica en tierra de las características del paisaje y estructura de vegetación en los sitios de matorral subtropical

Agricultura de temporal y campos pecuarios. Los sitios de agricultura de temporal se caracterizan por campos de cultivo de entre una y seis hectáreas, intercalados con pastizales para ganado y con abundantes cercos vivos, principalmente de mezquite (*Prosopis laevigata*) o granjeno (*Condalia velutina*). Además es común encontrar arbustos de ambas especies aislados o esparcidos dentro de las parcelas de cultivo,

potreros o pastizales de pastoreo. Los principales cultivos son: alfalfa, frijol, sorgo, garbanzo y maíz (INAFED, 2005) (Fig. 4).



Figura 4. Vista aérea y panorámica en tierra de las características del paisaje y estructura de vegetación en los sitios de agricultura de temporal y campos agropecuarios

Agricultura de riego. Las parcelas en los sitios de agricultura de riego son de tamaño más variable, pudiendo ser menores de una hectárea, hasta mayores de 10 hectáreas. En estos sitios el área ocupada por cercos vivos ha sido drásticamente reducida y existen canales de riego donde crece vegetación acuática y sub-acuática, principalmente lirio (*Eichornia crassipes*) y junco (*Scirpus lacustres*, *Typha domingensis*, *Cyperus aristatus*), aunque en ocasiones pueden estar flanqueados por árboles de sauce (*Salix bonplandiana*), fresnos (*Fraxinus* spp.) y mezquite. Los cultivos principales son: maíz alfalfa, sorgo, trigo, cebada, frijol y garbanzo (INAFED, 2005) (Fig. 5).



Figura 5. Vista aérea y panorámica en tierra de las características del paisaje y estructura de vegetación en los sitios de agricultura de riego

Determinación de abundancia relativa

Se realizaron conteos poblacionales desde las 8:00 a las 15:00 horas a intervalos mensuales, cubriendo los tres tipos de vegetación antes descritos y acumulando un total de 37 días de trabajo a lo largo de las dos temporadas invernales. Para los muestreos, dos observadores a bordo de un vehículo a una velocidad constante de entre 20 y 30km/h buscaron y registraron la presencia de cernícalos en el área con ayuda de binoculares. Los transectos presentan una visibilidad de entre 180° y 270° alrededor del vehículo en movimiento y el radio de detección para la especie varió entre 100 y 200m aproximadamente, de acuerdo al tipo de vegetación presente en el área. Se registró todo cernícalo estacionario y en vuelo dentro del rango de detección, su distancia aproximada al observador, las características de hábitat, uso y tipo de percha así como notas de comportamiento u otras observaciones. Debido a los requerimientos del análisis para estimar densidad poblacional, sólo se tomó la posición y distancia original a la que los individuos registrados en vuelo fueron detectados por primera vez, excluyendo aquellos registros donde el sexo de los individuos no pudo ser determinado al momento de la observación. Se obtuvieron promedios por conteo, global y por tipo de vegetación, así como el porcentaje de individuos y se utilizó un análisis de Kruskal-Wallis para comparar las abundancias de hembras y machos en la región y en cada uno de los hábitats muestreados.

Cronología migratoria

En las poblaciones de cernícalos de Estados Unidos, el periodo migratorio varía ligeramente en cada región. En los santuarios de Hawk Mountain, Pennsylvania y las Montañas Goshute, Nevada, se ha registrado que el periodo migratorio otoñal abarca desde agosto hasta finales de octubre, mientras que en los Cayos de la Florida ocurre durante todo el mes de octubre. En Veracruz, México, la migración otoñal del cernícalo americano se extiende desde mediados de septiembre hasta finales de noviembre (Goodrich y Smith, 2008). La migración primaveral alcanza su punto máximo en la Costa Este de los Estados Unidos durante el mes de Abril, mientras que en el Oeste, en el corredor migratorio que abarca desde Veracruz, México hasta

las Montañas Sandía, Nuevo México, la migración alcanza su punto álgido entre los meses de marzo y abril.

Dado que no existía información previa sobre los tiempos migratorios de los cernícalos en el Bajío Michoacano, se procedió en el primer año a realizar muestreos a partir del mes de agosto (2013) y hasta que se observó el último cernícalo en Abril (2014). De acuerdo a estos primeros muestreos, los tiempos migratorios de *Falco sparverius* en la región se corresponden con los meses de octubre a noviembre para la temporada de llegada y marzo-abril para la temporada de partida, por lo que para el segundo año los muestreos comenzaron a partir de octubre (2014) y terminaron en abril (2015). Con el fin de analizar las diferencias en los tiempos de llegada y partida entre años sólo se incluyeron los transectos donde se cubrió más adecuadamente cada periodo dentro de un lapso de 40 días posterior al registro del primer individuo a la llegada (del 1° de octubre al 10 de noviembre) y 40 días previos (del 1° de marzo al 10 de abril) hasta la observación del último individuo al final del periodo invernal y se utilizó un análisis de serie temporal (time series) en JMP® 6.0 para evaluar las tendencias poblacionales de los cernícalos durante los tiempos de llegada y partida en ambos años. Para comparar diferencias estadísticas en los tiempos de llegada y partida entre años se utilizó una prueba de Mann-Whitney para dos muestras independientes.

Segregación sexual

Para la determinación de segregación sexual en los hábitats estudiados se registró el sexo de cada individuo, determinado visualmente gracias a las características de plumaje. Los registros se asociaron a la vegetación presente, considerando las categorías de hábitat arriba descritas, y variables descritas de forma cualitativa. Cuando las condiciones ambientales no permitieron una identificación positiva del sexo del individuo se tomaron las anotaciones pertinentes de descripción de hábitat con la indicación de que el individuo no pudo ser sexado; estos datos no se incluyeron en el análisis.

Para conocer los patrones de ocupación de hábitat del cernícalo americano en la región se elaboró un mapa de uso de suelo y cobertura vegetal donde se categorizó la vegetación presente dentro de alguno de los tres tipos de hábitat más importantes: matorral subtropical, sistemas de agricultura de riego y sistemas de agricultura de temporal y campos pecuarios. Una vez clasificado el hábitat se sobrepusieron las coordenadas obtenidas de las observaciones de la especie por sexo con ayuda del programa ESRI®ArcMap 9.3 para mostrar su distribución general a lo largo de los transectos de muestreo.

Muestreo de distancias (Distance Sampling): Una herramienta para la estimación de parámetros poblacionales

El muestreo de distancias es la técnica más utilizada para ajustar la *probabilidad de detección* de los datos obtenidos por conteos en campo. Esta probabilidad de detección se refiere a la posibilidad que tiene un objeto de ser detectado al menos una vez en función de su distancia perpendicular hacia el punto o transecto de observación y en condiciones perfectas de observación es igual a 1. Para esto se asume que todos los objetos situados a una distancia cero del observador tienen una probabilidad del 100% de ser detectados, y a mayores distancias su posibilidad de detección será menor. Con esta información entonces es posible calcular también una *tasa de encuentro*, es decir, el porcentaje esperado de detección de los objetos por unidad de muestreo (en este caso, transectos de conteo).

Para estimar las densidades y probabilidad de detección de *Falco sparverius* durante la temporada invernal, se utilizó el programa DISTANCE versión 6.0. Se realizó un análisis preliminar de los datos para determinar el truncado óptimo de la distancia de detección, examinando los histogramas y curvas de función de detección generados, con el fin de eliminar valores atípicos y mejorar la estimación de la función de detección (Greene y Efford, 2012). De acuerdo a este análisis preliminar se determinó que un estimador clave de media normal con función coseno generaba los mejores modelos. Para eliminar valores atípicos, se estableció el truncado de distancia perpendicular de avistamiento en 200m.

Posteriormente se seleccionó el modelo con la mejor bondad de ajuste con base en el valor mínimo del Criterio de Información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés), el cual evalúa la calidad del modelo estadístico con relación a la cantidad de información que se pierde al procesar la información. Las estimaciones de densidad de cernícalos se realizaron primero sin distinción de tipos de vegetación, y posteriormente considerando los tipos de vegetación y por sexos.

El muestreo de distancias agrupa diversos métodos de obtención de muestras y permite estimar la densidad absoluta de una población a partir de la medición de la distancia (y) desde el observador, ya sea perpendicular a una línea o radialmente desde un punto, hacia el objeto o grupo de interés (Greene y Efford, 2012; Thomas *et al.*, 2012). Se puede establecer un límite de distancia de detección (w) o registrar a todos los organismos observados sin límite de distancia (Marques *et al.*, 2007). La técnica se fundamenta en el supuesto de que todos los organismos que se encuentren sobre el punto o transecto de muestreo son detectados por el observador y que a mayores distancias la probabilidad de detección de los organismos disminuye. Para obtener mejores resultados con el muestreo de distancia se deben cumplir ciertos requisitos:

- ❖ *Detección.* Todo objeto de interés (en este caso aves) debe ser detectado dentro del área alrededor de la línea de muestreo.
- ❖ *Movilidad.* Todos los objetos deben ser registrados como estacionarios; para objetos en desplazamiento se registra la posición donde fueron detectados por primera vez.
- ❖ *Medición de distancias.* Las distancias ente el observador y el objeto deben ser medidas con exactitud. En caso de no ser posible, las distancias pueden ser estimadas utilizando puntos de referencia, pero se debe notar que los resultados de densidad que se obtengan tienen un margen de error que aumenta con el uso de distancias mayores (Borchers *et al.*, 2010).
- ❖ *Observaciones independientes.* Los individuos o conjuntos de individuos son detectados independientemente de otras unidades.

- ❖ *Distribución*. Los transectos o puntos de muestreo deben estar distribuidos sobre el área de interés de acuerdo a un diseño de probabilidad.
- ❖ *Tamaño poblacional*. La población de estudio debe permanecer constante durante el periodo del estudio.

Además de estos supuestos, el muestreo de distancia toma en cuenta que es imposible observar a todos los objetos de interés dentro del área de estudio, ya sea por impedimentos visuales o por error del observador (LaRue *et al.*, 2007). Por lo tanto, se debe generar una función de detección que estima cómo cambia la posibilidad de detectar los objetos de interés con respecto al aumento de distancia desde el observador (Fig. 6). Esta función se utiliza para estimar el área muestreada y la densidad poblacional se calcula como el número de individuos o grupos observados divididos entre el área muestreada. De esta manera, el muestreo de distancia puede proveer información robusta y poco sesgada sobre la densidad y abundancia de una especie dentro de un área determinada.

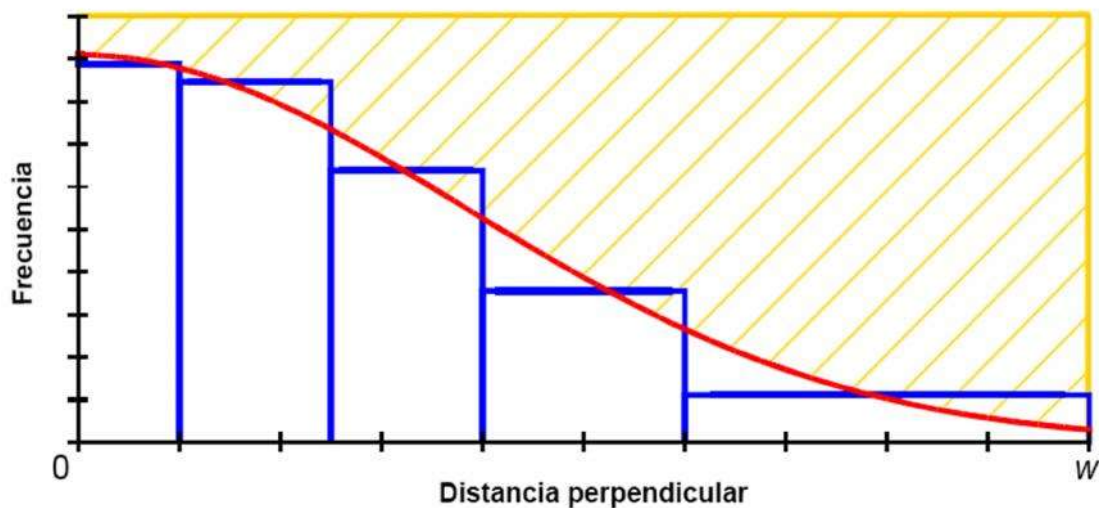


Figura 6. Función de detección. La probabilidad de detección de los objetos de estudio es igual a 1 (100%) a una distancia perpendicular de cero metros desde el observador y disminuye conforme aumenta la distancia (w). El área debajo de la curva representa la densidad de objetos detectados, mientras que el área sobre la curva representa los objetos que se asume no pudieron ser detectados por el observador.

RESULTADOS

Tiempos de llegada

El tiempo de llegada del cernícalo americano en la región del Bajío Michoacano ocurrió a partir del mes de octubre en ambos periodos invernales (2013-2014 y 2014-2015). Sin distinción de sexos y tipos de hábitat, para el primer periodo el registro más temprano fue el 9 de octubre, mientras que para el segundo fue el 2 de octubre. A partir de la fecha del primer registro y hasta 40 días posteriores dentro de las subsecuentes visitas, la cantidad de individuos registrados varió (Fig. 7).

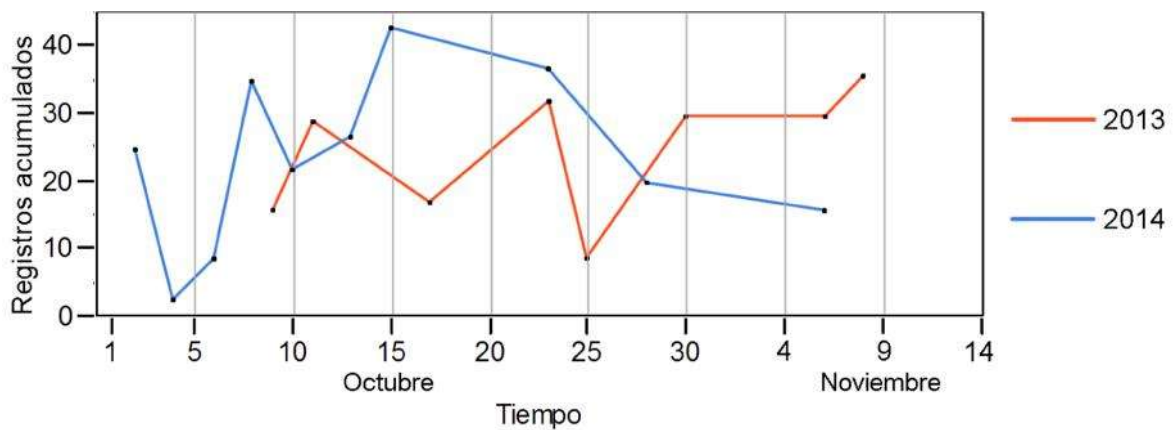


Figura 7. Análisis de serie temporal que muestra la fluctuación en la cantidad de registros de *Falco sparverius* dentro un periodo de 40 días desde los primeros registros para 2013 y 2014.

En 2013 se obtuvo un total de 191 registros ($\bar{X}=23.9$, $DE=8.9$, por salida) en los primeros 40 días de la temporada invernal. Para ese mismo periodo, en 2014 se obtuvieron 227 registros ($\bar{X}=22.7$, $DE=11.9$, por salida). Comparando los tiempos de llegada de la especie en 2013 y 2014 con la prueba de Mann-Whitney se encontró que no existieron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de cernícalos entre ambos años ($Z=0.22$, $p=0.82$). Aunque no se obtuvo información clara sobre la existencia de migración diferencial (un sexo llegando a la región antes que el otro) durante el periodo de llegada en ambos años, los datos muestran que las hembras arribaron a la región en mayores cantidades que los machos. En el análisis de serie temporal (Fig. 8) para 2013 se obtuvo un promedio de 19.6 ($DE=8$) hembras

y 3.2 (DE=3.2) machos en los primeros 40 días de la temporada mientras, lo que se tradujo en una diferencia significativa entre sexos ($Z=-2.92$, $p=0.004$). En comparación, durante 2014 se obtuvo un promedio de 15.8 (DE=11.3) hembras y 6.8 (DE=4.1) machos, no obstante, de acuerdo a la prueba de Mann-Whitney no existieron diferencias estadísticamente significativas entre sexos ($Z=-1.3$, $p=0.18$) durante dicho periodo de llegada.

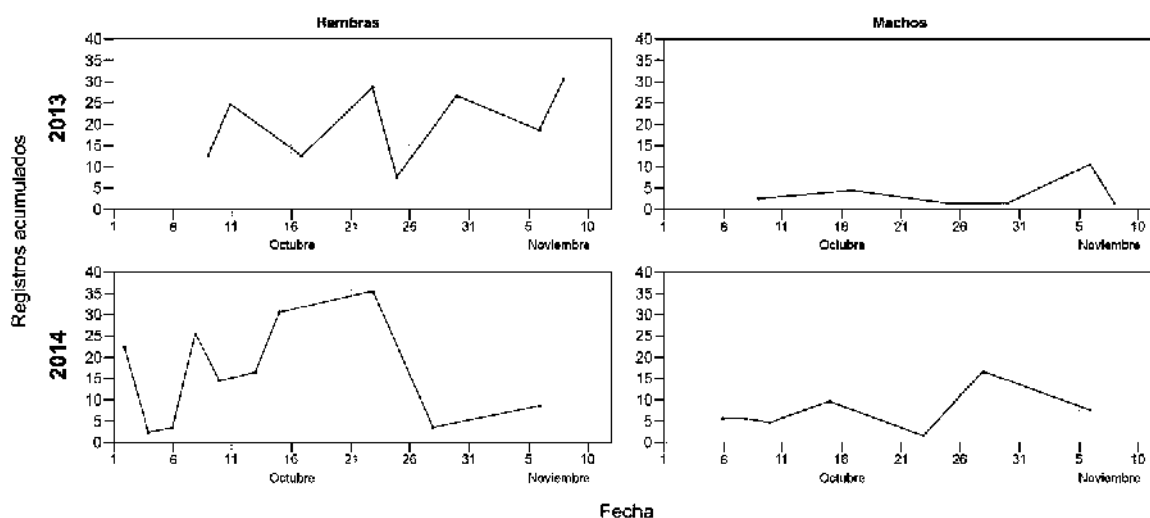


Figura 8. Análisis de serie temporal que muestra la fluctuación en la cantidad de registros de *Falco sparverius* por sexo dentro un periodo de 40 días desde los primeros registros para 2013 y 2014.

Tiempos de partida

Sin distinción de sexos ni tipo de hábitat, las observaciones indican que la migración de vuelta hacia sus sitios de reproducción inicia en el mes de marzo y termina durante las primeras semanas de abril (Fig. 9).

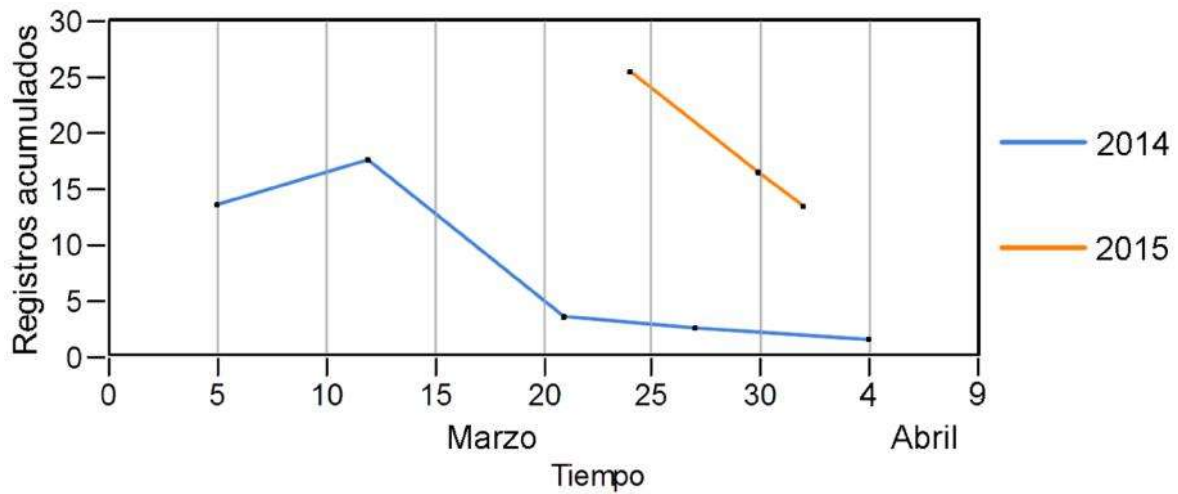


Figura 9. Análisis de serie temporal que muestra la fluctuación en la cantidad de registros de *Falco sparverius* dentro un periodo de 40 días previos a los últimos registros para 2014 y 2015.

En 2014 el número total de cernícalos restantes registrado fue 36 individuos ($\bar{X} = 7.2$, $DE = 6.5$), mientras que en 2015 fue de 54 registros ($\bar{X} = 18$, $DE = 5.1$). Comparando ambas temporadas de partida con una prueba de Mann-Whitney no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre años ($Z = 1.35$, $p = 0.18$). Debido a que no fue posible censar a los cernícalos de manera continua durante el periodo de partida, no fue posible confirmar la existencia o ausencia de una migración diferencial por sexos. Al examinar los datos obtenidos mediante un análisis de serie temporal (Fig. 10), se obtuvo que la fluctuación en la cantidad de cernícalos por sexo dentro del periodo de partida fue de un promedio de 4 ($DE = 3.6$) machos y 4.6 ($DE = 5.8$) hembras para 2014, sin diferencias estadísticamente significativas entre sexos ($Z = 0.16$, $p = 0.87$). Para 2015, se obtuvo un promedio de 11 ($DE = 5.3$) hembras y 6.3 ($DE = 3.4$) machos, no obstante tampoco existieron diferencias significativas entre sexos ($Z = 0.66$, $p = 0.51$).

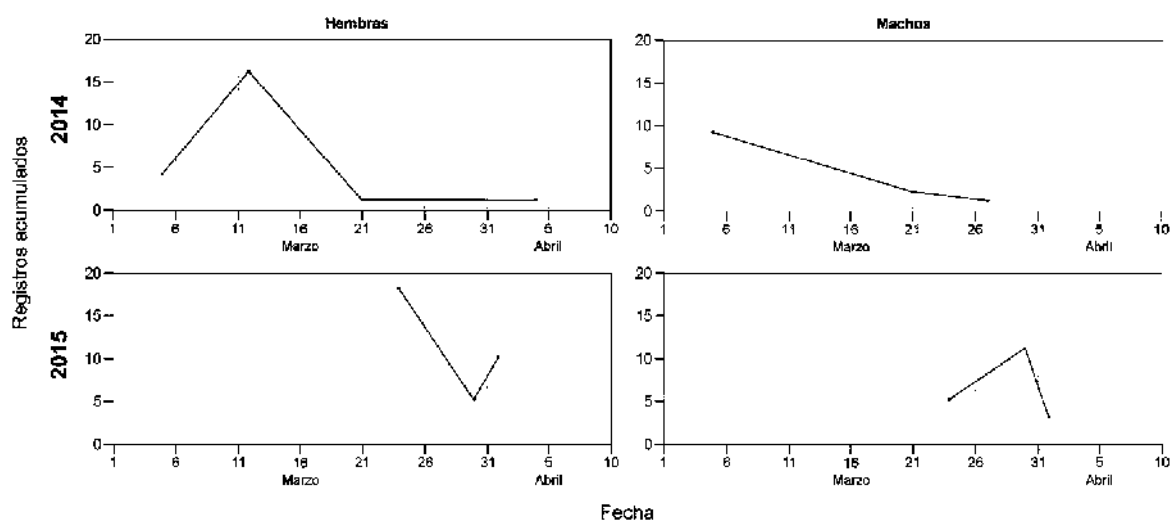


Figura 10. Análisis de serie temporal que muestra la fluctuación en la cantidad de registros de *Falco sparverius* por sexo dentro un periodo de 40 días previos a su partida para 2014 y 2015.

Ocupación de hábitat y segregación sexual

Durante las observaciones se hizo claro que los cernícalos ocupan hábitats cualitativamente distintos. A nivel paisaje, los hábitats ocupados por las hembras se caracterizan por estar constituidos principalmente por zonas abiertas con poca vegetación arbórea y suelos desnudos (campos de cultivo recién arados, potreros) o cubiertos por vegetación de baja altura (cultivos de alfalfa, garbanzo y cereales o pastizales). También se las observó cerca de caminos o canales ubicados entre parcelas con cultivos de mayor altura (maíz, sorgo) (Fig. 11).



Figura 11. Ejemplos de hábitat utilizado preferentemente por las hembras de *F. sparverius*. Izquierda arriba y en orden de las manecillas del reloj: áreas de pastoreo, pastizales, cultivos (sorgo) y camino entre parcelas.

En contraste, los machos fueron observados en áreas con un paisaje más heterogéneo, incluyendo una mezcla de áreas abiertas (potreros y parcelas agrícolas) con parches de vegetación con alto porcentaje de cobertura arbustiva, nopales y árboles de diversas alturas (encinos, acacias, eucaliptos, yucas, mezquites, casahuates). Las áreas abiertas presentes incluyeron potreros activos y en desuso, parcelas pequeñas de cultivo (principalmente maíz) y bordes de caminos. Cabe mencionar que muchos de estos sitios también contienen gran cantidad de objetos dispersos en el suelo, tales como rocas, ramas, troncos, huesos de animales y/o basura (Fig. 12).



Figura 12. Preferencias de hábitat de los machos de *F. sparverius*. En orden de las manecillas del reloj, desde la izquierda arriba: potrero en desuso, potrero con encinos, malpaís (áreas de matorral subtropical en proceso de recuperación) y matorral subtropical.

La segregación sexual por hábitat de los cernícalos se hace más evidente al ubicar los registros obtenidos en un mapa (Fig. 13). Las hembras ocupan casi exclusivamente los sitios de agricultura, un área que en conjunto abarca una superficie de alrededor de 37,758km² (13,482km² para riego y 24,276km² para temporal) de la región de estudio. Los machos, en cambio, se distribuyen principalmente en los sitios de matorral subtropical, cuya superficie abarca alrededor de 13,088km².

MAPA DE USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL

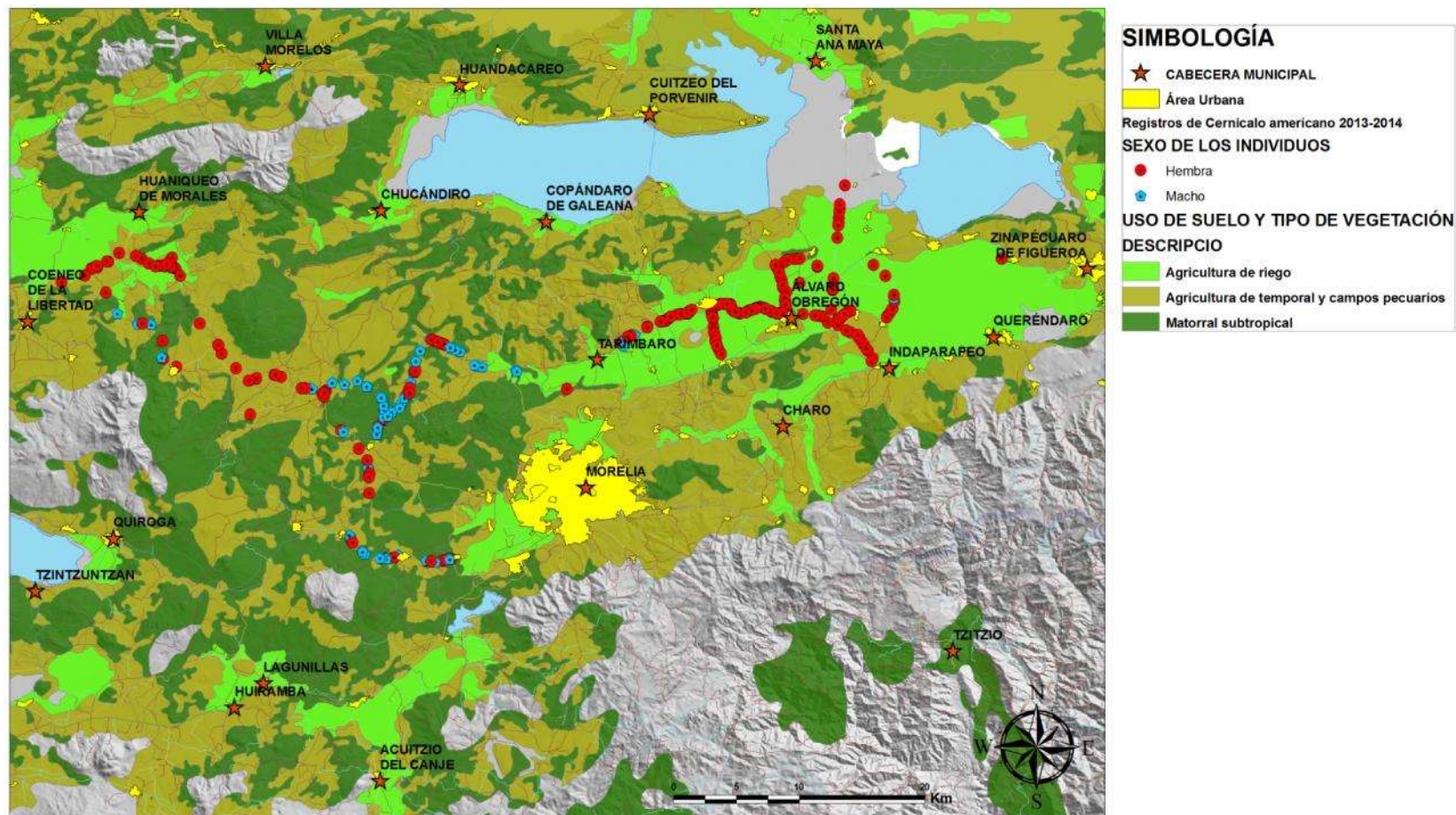


Figura 13. Mapa que muestra la distribución de las observaciones de *Falco sparverius* de acuerdo al tipo de vegetación

Abundancia relativa

Se realizaron 81 censos por toda la región de estudio (6 recorridos exploratorios y 75 de conteo) y se obtuvo un total acumulado de 742 registros de *Falco sparverius* (46 no sexados y no incluidos en los análisis), y se obtuvo un promedio global por censo de 9.9 (DE=11.5) individuos por mes. La mayor cantidad de cernícalos se registró en los sistemas de agricultura de riego, con un total de 396 registros acumulados (221 durante el primer año y 175 para el segundo año) y con un promedio de 17.2 (DE=22.4) individuos por conteo. En los sistemas de matorral subtropical se acumularon 209 registros (100 en el primer año y 109 en el segundo), con un promedio global de 7.7 (DE=8) cernícalos por conteo. Finalmente, para los sistemas de agricultura de temporal y campos agropecuarios se obtuvieron 137 registros acumulados (71 registros durante el primer año y 66 en el segundo) y un promedio de 5.5 (DE=4.5) cernícalos por conteo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Registros acumulados durante el estudio, promedio, desviación estándar y porcentaje de cernícalos por tipo de vegetación.

TIPO DE VEGETACIÓN	Registros de la especie	Promedio (DE)	Porcentaje
Matorral	209	7.7 (8)	28.2
Riego	396	17.2 (22.4)	53.4
Temporal/Agropecuario	137	5.5 (4.5)	18.5
TOTAL	742	12.2 (14.6)	100

Por sexo, dentro de los tres sistemas vegetales se obtuvo un total de 517 hembras y 179 machos. Las hembras fueron más abundantes dentro de los dos sistemas agrícolas, mientras que los machos se encontraron en mayor abundancia dentro de matorral subtropical. En los sistemas de riego se obtuvo un promedio de 51.3 hembras por conteo (DE=43.8) contra el promedio de 1.4 (DE=1.7) machos obtenido en dichos sitios. Para los sistemas de agricultura de temporal y campos agropecuarios se alcanzó un promedio de 16.2 hembras (DE=11.6) y 5.6 machos (DE=8.8) por conteo. En cambio, en los sitios de matorral subtropical se registró un promedio de 30 machos (DE=15.2) por conteo contra un promedio de 19.3 hembras (DE=8.3) dentro del mismo sistema (Cuadro 2).

Cuadro 2. Total acumulado de cernícalos por sexo, promedio, desviación estándar y porcentaje para los tres tipos de vegetación.

TIPO DE VEGETACIÓN	HEMBRAS			MACHOS		
	Total	Promedio (DE)	Porcentaje	Total	Promedio (DE)	Porcentaje
Matorral	77	19.3 (8.3)	39.1	120	30 (15.2)	60.9
Sistemas de Riego	359	51.3 (43.8)	97.3	10	1.4 (1.7)	2.7
Temporal/Agropecuaria	81	16.2 (11.6)	62.3	49	5.6 (8.8)	37.7
TOTAL GLOBAL	517	7.13 (8.77)	74.3	179	2.26 (2.96)	25.7

Un análisis de Kruskal-Wallis demostró que las abundancias de las hembras en los tres tipos de vegetación presentan diferencias estadísticamente significativas (χ^2 11.5, g.l.=2, $p=0.003$). De igual manera, la abundancia de los machos varió significativamente dentro de los tres sistemas vegetales (χ^2 16.9, g.l.=2, $p=0.0002$).

Densidad poblacional

La densidad poblacional global de los cernícalos durante ambas temporadas invernales, sin consideración de sexos ni tipos de vegetación, se estimó en 4 individuos por km² (Error Estándar=0.8), con una fluctuación de 3.6 individuos/km² (EE=0.6) para el invierno de 2013-2014 y 4.3 individuos/km² (EE=1) para el invierno 2014-2015. La probabilidad global de detección (P) de la especie dentro de un rango de 200m perpendiculares al transecto de muestreo fue de $P=0.09$ para toda la región ($P=0.09$ y $P=0.08$ para cada temporada invernal), mientras que la tasa global de encuentro por transecto fue del 91.5% (90.6% y 92.3% para cada temporada). Al tomar en consideración la influencia del tipo de vegetación, el análisis de muestreo de distancias indicó que las densidades más altas de cernícalos se encuentran dentro de los sitios de agricultura de riego, con 6.9 cernícalos por km², seguida por los sitios de matorral subtropical, con 3.1 cernícalos/km² y finalmente los sitios de agricultura de temporal, con 1.8 cernícalos/km² (Cuadro 3).

Cuadro 3. Densidad poblacional, error estándar, probabilidades de detección y tasa de encuentro de los cernícalos durante las temporadas invernales de 2013-2014 y 2014-2015 en los tres sistemas vegetales de la región. Se incluye el valor del Criterio de Información de Akaike (AIC) bajo el que se sustenta cada modelo.

Temporada		Tipo de Vegetación			TOTAL
		Matorral	Riego	Temporal	
Invierno 2013-2014	Densidad	3.4	5.3	1.6	3.6
	Error estándar	0.5	1.0	0.4	0.6
	Probabilidad de detección	0.24	0.2	0.13	0.09
	Tasa de encuentro	76.4	83.0	87.3	90.6
	AIC	161.2	469.3	157.9	797.5
Invierno 2014-2015	Densidad	2.7	8.4	1.9	4.3
	Error estándar	0.4	2.2	0.3	1
	Probabilidad de detección	0.3	0.1	0.34	0.08
	Tasa de encuentro	72.9	89.5	66.5	92.3
	AIC	185.2	335.6	127.3	634.9

Por sexos, las densidades más altas de hembras se localizaron dentro de los sistemas de agricultura de riego, con 5.2 hembras/km² durante el invierno de 2013-2014 y 7.3 hembras/km² en el invierno de 2014-2015. En los mismos sitios, las densidades poblacionales de los machos fueron menores a 0.5 individuos/km² durante ambas temporadas. Dentro de los sitios de matorral subtropical, durante el primer año se registraron las densidades más altas de machos, con un total de 3.2 machos/km² y 0.9 hembras/km². No obstante, durante la siguiente temporada invernal se encontró que las densidades tanto de machos como hembras fueron mucho más homogéneas, con un total de 1.4 cernícalos/km² para ambos sexos. En los sistemas de agricultura de temporal, las densidades poblacionales de cada sexo cambiaron ligeramente entre temporadas. Durante la temporada 2013-2014 se tuvo una densidad de 1.1 hembras/km² y 0.7 machos/km²; en contraste, durante la temporada 2014-2015, la tendencia poblacional cambió a 0.7 hembras/km² y 1.2 machos/km² (Cuadro 4).

Cuadro 4. Densidad poblacional y error estándar, probabilidad de detección y tasa de encuentro de los cernícalos por sexo para cada tipo de vegetación. Se incluyen los valores del Criterio de Información de Akaike (AIC) para cada modelo.

SEXO	Valores	Invierno 2013-2014			Invierno 2014-2015		
		Matorral	Riego	Temporal	Matorral	Riego	Temporal
Machos	Densidad (EE)	3.2 (0.7)	0.2 (0.08)	0.7 (0.4)	1.4 (0.2)	0.3 (0.2)	1.2 (0.5)
	Prob. de detección	0.3	1	0.8	0.4	0.3	0.7
	Tasa de encuentro	71.5	1.5	92.4	56	71	93
	AIC	95.1	12.3	35.1	122	11.1	54.3
Hembras	Densidad (EE)	0.9 (0.3)	5.2 (1)	1.1 (0.4)	1.4 (0.2)	7.3 (1.9)	0.7 (0.3)
	Prob. de detección	0.9	0.2	0.8	0.5	0.6	0.1
	Tasa de encuentro	6.6	84	92.1	53.3	93.8	86
	AIC	63.8	458.6	122.1	59.3	327	69

La probabilidad de detección tiene un rango que va desde 0 a 1, donde 1 representa una posibilidad del 100% de detectar a un individuo. Es interesante notar que durante la primera temporada invernal los machos registrados en los sitios de riego, las hembras registradas en los sitios de matorral y los registros de ambos sexos dentro de los sitios de temporal fueron los únicos casos en que la probabilidad de detección fue cercana al 100%. Debido a que la probabilidad de detección está influenciada directamente por la distancia perpendicular a la que se detectaron los objetos, valores tan altos de probabilidad de detección indican que la mayoría de los registros obtenidos para cada caso probablemente fueron observados en un rango menor a 50m. El resto de las observaciones se registraron a distancias mayores a 50m y por ello obtuvieron probabilidades de detección más bajas. Sin embargo, la tasa de encuentro refleja perfectamente el porcentaje esperado de detección de cada sexo dentro de los tres tipos de vegetación.

DISCUSIÓN

Aunque el presente estudio abarca solo dos temporadas invernales, permite sentar un precedente sobre la ecología invernal de los cernícalos invernantes del Bajío Michoacano. Antes de este trabajo no se tenía información acerca de *Falco sparverius* en la región durante los meses de invierno, y aunque la literatura reporta que las poblaciones de la especie en la parte norte del estado de Michoacán (donde se localiza el área de estudio), son residentes permanentes, se tienen pocos registros para los meses de verano¹ (Howell y Webb, 1995).

Con este estudio, se logró establecer que la especie comienza a llegar al Bajío Michoacano durante los meses de octubre y noviembre, y dejan la región a partir de marzo hasta principios de abril. Dado que diversos estudios en Estados Unidos reportan que la especie presenta migración diferencial por categorías de edad y sexo (Mills, 1976; Stotz y Goodrich, 1989; Goodrich y Smith, 2008), se intentó establecer si dicho fenómeno migratorio ocurría dentro de la población de cernícalos del Bajío. No obstante, dada la intermitencia con la que se realizaron los censos durante los periodos de llegada y partida para este estudio, no se observó la existencia de dicha diferenciación migratoria entre machos y hembras, aunque no se descarta la posibilidad. La tendencia observada hacia la predominancia de hembras en el Bajío sugiere al menos que las hembras están llegando a la región en mayor proporción que los machos, pero es necesario realizar censos más continuos durante los periodos de llegada (octubre-noviembre) y partida (marzo-abril) para establecer con exactitud la razón de este sesgo. Además, aunque se desconoce la procedencia de los cernícalos que invernán en la región, es interesante mencionar que la cronología migratoria de esta población coincide con la cronología de los movimientos migratorios otoñales y primaverales reportados para varias poblaciones migratorias de cernícalos en Estados Unidos (Goodrich y Smith, 2008). Futuros estudios pueden enfocarse en la captura y marcaje de los cernícalos que invernán en el Bajío para iniciar una red de monitoreo de los movimientos migratorios de la especie en el país

¹ Registros del Laboratorio de Ornitología, Facultad de Biología, UMSNH

y los Estados Unidos y Canadá, con el fin de comprobar su procedencia y establecer sus rutas migratorias.

En lo referente a la ocupación de hábitat, las observaciones confirmaron la existencia de una segregación de hábitat en relación al sexo de los individuos en la región. El tipo de vegetación influyó fuertemente en las abundancias de *Falco sparverius*: los sistemas de agricultura de riego constituyen el hábitat donde se concentró el 53% de los registros totales de la especie y también de la mayor abundancia de hembras (52% del total de hembras), mientras que matorral subtropical concentró 28% de los registros totales de la especie y representa el hábitat más importante de abundancia de machos (17% del total de machos). Los sistemas de agricultura de temporal albergaron el 19% restante de los registros obtenidos, y las abundancias de ambos sexos fueron más homogéneas (11% del total de hembras y 7% del total de machos).

La literatura sugiere diversas explicaciones para el fenómeno de segregación sexual, entre las cuales se ha propuesto que el aprovechamiento diferencial de hábitat podría deberse a las diferencias en los requerimientos energéticos de ambos sexos (David J. Anderson *et al.*, 1993; Ardia y Bildstein, 2001), o se sugiere que es el resultado directo del desfase temporal en la migración de machos y hembras, donde las hembras se están estableciendo en territorios abiertos (etiquetados como “idóneos” para la cacería) al preceder a los machos durante la migración otoñal (Smallwood, 1988; Stotz y Goodrich, 1989). En ambos argumentos se maneja que la segregación se debe a la competencia por los recursos entre los sexos, con las hembras siendo el sexo beneficiado al establecerse en hábitats abiertos. Sin embargo, si la competencia intraespecífica por los recursos es lo que origina la segregación sexual como sugieren los estudios antes mencionados, también debería generar una competencia intersexual en los distintos tipos de hábitat estudiados. No obstante, durante los censos pudo observarse a individuos del mismo sexo (y en ocasiones del sexo opuesto) compartiendo territorios sin incurrir en comportamientos agonísticos por la obtención de recursos (observación personal). Aunque estas observaciones no necesariamente significan que no existe una competencia por los

recursos alimenticios entre sexos, o entre individuos de un mismo sexo, es necesario realizar un estudio detallado sobre el tipo de presas disponibles en cada hábitat, así como mantener un control de la condición física de una muestra equivalente de cernícalos de ambos sexos para poder hablar de hábitats favorables y poco favorables de invernación, después de todo, durante los censos se observó que en los sitios existe una gran disponibilidad de insectos que los cernícalos utilizan como alimento, al menos durante los primeros meses de la temporada invernal. Por el momento, con las observaciones obtenidas en este estudio, sólo es posible afirmar que *Falco sparverius* ocupa distintos tipos de hábitat por sexo, pero las razones por las cuales ocurre esta segregación aun no son claras.

Los cernícalos que invernan en el Bajío Michoacano parecen mantener una densidad poblacional razonablemente alta, con un total estimado de 1,600 individuos (4 individuos por km²) distribuidos en los 400km² que abarca la Cuenca del Lago de Cuitzeo. A pesar de esto, dada la falta de información acerca del estado poblacional de los cernícalos en México, es imposible asegurar si las densidades obtenidas en este estudio se han mantenido a lo largo del tiempo. Cabe mencionar que en México, *Falco sparverius* no está considerada como una especie en riesgo (NOM-ECOL-059, 2010) e incluso aparece listada como una especie de Preocupación Menor en la Lista Roja de la IUCN (IUCN, 2012). Sin embargo, se han documentado disminuciones importantes en las poblaciones tanto residentes como migratorias en la mayor parte de Estados Unidos y Canadá, con los declives más marcados ocurriendo en los últimos 10 años (Farmer *et al.*, 2008; Ruelas-Inzunza, 2008). Por lo tanto, es de especial importancia continuar con los esfuerzos de monitoreo de la especie en la región para determinar el mejor curso de acción hacia su conservación.

CAPÍTULO II

CONDUCTA DE FORRAJEO DEL CERNÍCALO AMERICANO (*Falco sparverius*) EN AGROECOSISTEMAS DEL BAJÍO MICHOACANO



INTRODUCCIÓN

Ningún organismo se distribuye de manera aleatoria dentro del paisaje. Esto significa que, en teoría, cada organismo posee la capacidad instintiva de evaluar, seleccionar y aprovechar ciertos componentes físicos y biológicos disponibles dentro del entorno que habitan. A esta capacidad de discriminación se le define como **selección de hábitat** y el aprovechamiento que los organismos hacen de su entorno se le conoce como **uso de hábitat**. Entender ambos procesos permite encontrar correlaciones entre la distribución, abundancia y demografía de los organismos estudiados (Block y Brennan, 1993; Tapia *et al.*, 2007).

Las rapaces, como otros animales, se establecen en territorios que presentan una serie de factores específicos, tales como la ubicación geográfica del sitio, altitud, composición y estructura de la vegetación, productividad (disponibilidad de recursos) y aspectos socio-demográficos, entre otros (McCollin, 1998). El tamaño total de los territorios varía de acuerdo con la especie y sus características específicas (tamaño, movilidad, historia de vida), y por tanto puede ser analizado desde distintas escalas espaciales. Estas escalas pueden dividirse en dos tipos: macrohábitat (región, paisaje, parche) y microhábitat (parche, nido, percha, etc.). Dependiendo de la clase de estudio y la precisión con la que se pueda ubicar a los individuos dentro del paisaje en un tiempo determinado, las valoraciones obtenidas sobre la selección y uso de hábitat tendrán un enfoque diferente (Tapia *et al.*, 2007).

En el estudio de las aves rapaces generalmente se consideran tres niveles de escala espacial: el área alrededor del nido, el área familiar posterior a la salida de los pollos del nido y el área de forrajeo (Tapia *et al.*, 2007). No obstante, en varias especies de rapaces existen variaciones temporales en las preferencias de hábitat (Tapia *et al.*, 2007), por lo que muchas veces es necesario realizar estudios a largo plazo para establecer con mayor exactitud la manera en la que seleccionan y aprovechan los hábitats disponibles.

En el caso de *Falco sparverius*, aunque colectivamente tanto machos como hembras muestran patrones similares de preferencia de hábitat a lo largo del año (Sipe, 2002), se ha registrado un uso diferencial de hábitat en relación al sexo dentro de algunas regiones de su distribución invernal (Koplin, 1973; Smallwood, 1987; Smallwood, 1988; Ardia y Bildstein, 2001; Ardia, 2002; Ortega-Guzmán, 2015), con las hembras ocupando áreas abiertas libres de vegetación leñosa y machos en áreas con un porcentaje más alto de este tipo de vegetación. Se ha sugerido que tales diferencias de hábitat están determinadas por los requerimientos energéticos de cada sexo, y que los cernícalos seleccionan activamente y mantienen el aprovechamiento de aquellos hábitats en los que su supervivencia relativa y condición física se ven satisfechos (Koplin, 1973; Ardia y Bildstein, 2001). Sin embargo, la mayoría de estos estudios (Koplin, 1973; Mills, 1976; Stinson *et al.*, 1981; Sferra, 1984; Bohall-Wood y Collopy, 1986; Smallwood, 1987; Smallwood, 1988) sobre el uso diferencial de hábitat han realizado desde el punto de vista de macrohábitat en primer plano, puesto que se enfocan en las características generales del paisaje aprovechado por los cernícalos durante el transcurso de la temporada invernal. Son pocos los estudios realizados a escalas más pequeñas de hábitat para *Falco sparverius* (Ardia, 2002) y otras especies de cernícalos dentro del género *Falco* (Rijnsdorp *et al.*, 1981; Donazar *et al.*, 1993), en los cuales se describan sólo las características de hábitat alrededor de la percha (microhábitat), las estrategias de cacería y el éxito de forrajeo en relación al microhábitat presente.

Ámbito hogareño, tamaño de territorio y características de hábitat

Las poblaciones migratorias de cernícalos ocupan hábitats distintos durante periodos específicos del año. Esto significa que el tamaño del ámbito hogareño ocupado por los cernícalos en sus sitios de crianza y de invernación dependerá de la calidad de hábitat (disponibilidad de presas, perchas, sitios de anidación) y el tipo de vegetación presente en el área, pero se estima que puede alcanzar hasta 10km² (Bird y Palmer, 1988). Durante la temporada invernal, los cernícalos usualmente defienden territorios individuales (Cade, 1955), y se estima que estos territorios pueden abarcar entre 1.2 a 3.2 km² en zonas arboladas y entre 4.5 a 5.2 km² en áreas abiertas (Hoffman y

Collopy, 1988; Palmer, 1988). De acuerdo con la literatura, las actividades de forrajeo de los cernícalos ocurren en sitios compuestos predominantemente por vegetación de baja altura (<0.25m de altura) con altos porcentajes de pasto y poca vegetación leñosa dentro de un radio de 100 m alrededor de la percha (Ardia y Bildstein, 2001). Si bien tanto machos como hembras prefieren hábitats abiertos, dada la segregación sexual de hábitat presente en sus regiones de invernación, habitualmente son las hembras quienes ocupan las áreas con menor cobertura arbórea y arbustiva (Ardia y Bildstein, 2001; Ortega-Guzmán, 2015).

Conducta de forrajeo

Se sabe que los depredadores seleccionan sus sitios de caza en relación al rendimiento en la obtención de presas, no en la abundancia de las mismas (Stephens y Krebs, 1987). Para los cernícalos, al tratarse de depredadores generalistas, sus tasas más altas de obtención de alimento ocurren en áreas de pastizal, lo que significa que la especie aprovecha este tipo de áreas cuando están disponibles en el paisaje. La dieta de la especie en su mayor parte está compuesta de diversas clases de invertebrados y el resto lo constituyen pequeños vertebrados como aves, roedores y reptiles (Collopy y Koplin, 1983; Sarasola *et al.*, 2003; Figueroa-Rojas y Corales-Stappung, 2004). La conducta de forrajeo de *Falco sparverius* radica esencialmente en observar un área desde un punto de observación elevado, localizar a la presa y atacar (Rudolph *et al.*, 1984) (Fig. 1).



Figura 1. Los cernícalos aprovechan cualquier estructura elevada que les permita observar el paisaje. Las perchas pueden ser de origen natural (árboles, arbustos) o de origen artificial.

En otras especies de cernícalo (*Falco tinnunculus*) se ha observado que las estrategias de caza varían de acuerdo al tipo de presa a capturar (Csermely y Bagni, 2003), para *Falco sparverius* no se han realizado este tipo de distinciones. En cambio, las estrategias de obtención de alimento sí se han clasificado de manera general en tres tipos (Collopy y Koplin, 1983; Toland, 1987):

- ❖ *Caza desde percha.* Las aves buscan presas desde una percha elevada sobre la vegetación circundante.
- ❖ *Caza por revoloteo.* Los cernícalos mantienen un vuelo estacionario con aleteos rápidos (revoloteo) sobre un punto mientras observan el terreno. La cabeza se mantiene totalmente fija.
- ❖ *Caza al vuelo.* Se caracteriza por aleteos lentos y deliberados que permiten al ave deslizarse sobre el área y capturar presas en el aire o realizando una picada directa sobre la presa.

La estrategia de forrajeo más utilizada por los cernícalos es la caza desde percha (Collopy y Koplin, 1983; Toland, 1987). El tiempo que las aves pasan sobre una percha está directamente relacionado con la altura de la vegetación circundante, por lo que a mayor altura del estrato herbáceo, menor será el tiempo que los cernícalos

utilizan una percha (Toland, 1987). En la literatura disponible no se hace ninguna mención sobre aprovechamiento diferencial entre tipos de percha (naturales o artificiales) disponibles en el paisaje. No existe precedente sobre si los cernícalos aprovechan todo tipo de percha disponible, favorecen el uso de perchas naturales o artificiales o simplemente aprovechan aquellas perchas situadas dentro o cerca de hábitats de forrajeo que posean las características de vegetación mencionadas anteriormente, por lo que para este trabajo se realizó una distinción de los tipos de percha aprovechados por los cernícalos, así como una descripción cualitativa del hábitat alrededor de la percha.

OBJETIVOS

1. Determinar los tipos de perchas aprovechadas y las características de hábitat y micro-hábitat alrededor de las mismas.
2. Describir la conducta y éxito de forrajeo en los hábitats de estudio.
3. Determinar la variación de usos de perchas y conducta de forrajeo entre sexos.

METODOLOGÍA

Derivado de los censos realizados para determinar la distribución y abundancia del *Falco sparverius*, (ver capítulo 1), se obtuvo un total de 742 registros de la especie en los dos periodos de estudio (Octubre 2013 – Abril 2014 y Octubre 2014 – Abril 2015) en tres tipos de agroecosistemas (agricultura de riego, de temporal con terrenos agropecuarios y matorral mixto; ver capítulo 1) del Bajío Michoacano. Durante los censos, se registró el tipo de perchas utilizadas para cada individuo y se realizaron observaciones focales de forrajeo de acuerdo a como se describe a continuación.

Uso de perchas y descripción de hábitat de forrajeo

Para determinar el uso y variación en la frecuencia de perchas utilizadas por *Falco sparverius*, se consideraron dos categorías: naturales (árboles, arbustos, otras plantas, suelo) y artificiales (postes o cualquier estructura de origen humano). A lo largo de los censos se anotó el tipo de hábitat, tipo de percha utilizada, altura aproximada y el sexo de los individuos registrados.

Se realizó un análisis de vegetación de campo continuo o VCC (Vegetation

Continuous Fields o VCF, por sus siglas en inglés) (DiMiceli *et al.*, 2011) Para describir el porcentaje de composición vegetal disponible en los sitios de percha y se seleccionó una muestra de 50 cernícalos al azar (27 hembras y 23 machos) del total de individuos observados durante el estudio ($n=742$). Ya que los territorios invernadales de los cernícalos pueden abarcar de 1.2 a 5.2km² (Hoffman y Collopy, 1988; Palmer, 1988) y la resolución de píxel de las imágenes satelitales utilizadas en el análisis es de 500x500m, la escala de

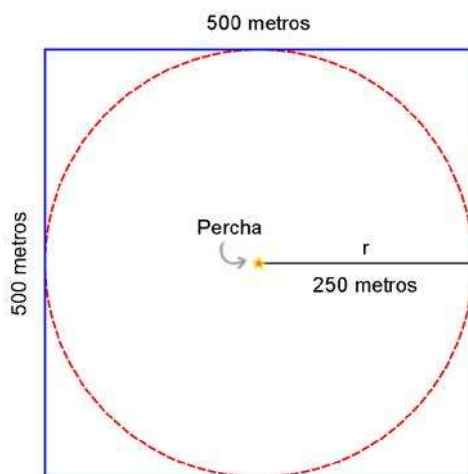


Fig. 2. Tamaño de píxel de las imágenes MODIS empleadas en el análisis de VCC. Cada píxel abarca un área de 500x500 metros y contiene una circunferencia de 250 metros de radio.

microhábitat considerada para este trabajo tiene un radio de 250m alrededor de la percha (Fig. 2).

El análisis de VCC proporciona estimados sobre tres componentes de cobertura: 1) porcentaje de vegetación leñosa, 2) porcentaje de vegetación herbácea y 3) porcentaje de suelos desnudos. Los resultados se derivan de la comparación de siete bandas espectrográficas de imágenes de alta resolución proporcionadas por el sensor Espectroradiométrico de Imágenes de Resolución MODerada (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) del satélite NASA Terra. Las imágenes satelitales utilizadas para el análisis tienen una resolución de 500m x 500m por píxel y el VCC examina los distintos niveles de cobertura sin importar la heterogeneidad del área analizada, permitiendo discernir entre cobertura “arbórea” y “no arbórea” con base a los valores de reflectancia de cada banda (DiMiceli *et al.*, 2011). El rango de valores se asigna de la siguiente manera:

- De 0 a 100 para el porcentaje de área del píxel cubierto por algún tipo de vegetación
- 200 para la presencia de cuerpos de agua
- 253 píxeles de relleno o nulos

Con el fin de determinar preferencias por tipo de percha se utilizó una prueba de independencia de Pearson y se aplicó una prueba de Chi cuadrada para conocer la proporción en que son aprovechadas por cada sexo. Finalmente, se utilizó la prueba de Wilcoxon para comparar el porcentaje cobertura vegetal alrededor de los sitios de percha de los cernícalos observados.

Descripción de la conducta de forrajeo

Para describir la conducta de forrajeo se realizaron observaciones focales tanto de hembras como de machos en los diferentes hábitats estudiados. Con ayuda de binoculares se observó la conducta de forrajeo por un periodo de 15 minutos, acumulando un total de 10.5 horas de observaciones de comportamiento. Se registró el sexo del individuo, frecuencia de cambio en el uso de perchas y el tipo de

maniobras utilizadas para el forrajeo y otras actividades (vuelo, planeo, ataque, cambio de percha, acicalamiento, etc.). Para cada individuo se realizó además una descripción de las características de hábitat de forrajeo, incluyendo: el tipo de vegetación dominante, el tipo de cultivos presentes en el área (en caso de presentarse), altura estimada de la vegetación herbácea y porcentaje de suelo desnudo en un radio de 250m alrededor de la percha utilizada por el cernícalo.

Las conductas y maniobras de forrajeo que se consideraron incluyeron las siguientes categorías (ver también la Fig. 3) (Rijnsdorp *et al.*, 1981):

Vuelo. Toda actividad de desplazamiento aéreo, ya sea con aleteo vigoroso de las alas con el fin de moverse alrededor del área o mediante la utilización de las corrientes de aire. Dentro de esta categoría se integraron dos actividades registradas de manera independiente:

- ❖ *Revoloteo.* Se designó de esta manera al vuelo caracterizado por mantener al ave en una posición estática sobre un punto, culminando algunas veces en ataques en picada para capturar una presa o reiniciando nuevamente el vuelo hacia otro punto o área.
- ❖ *Cambio de percha.* Vuelos cortos en los que el ave observada se trasladó hacia otro punto de observación.

Ataque. Todo intento de captura de una presa, ya fuera desde una percha o en vuelo. Se dividió en dos tipos:

- ❖ *Caza exitosa.* Cuando el ave capturó una presa y la llevó consigo para su consumo.
- ❖ *Caza fallida.* Cuando el ave inició un intento de captura de alimento pero no obtuvo recompensa alguna.

Alimentación. Cuando el ave fue observada consumiendo una presa.

Acicalamiento. Toda actividad de aseo o relajación sobre una percha, tales como estiramientos de alas, cuidado de plumaje, limpieza del pico o las garras, etc.

Vocalización. Todo sonido producido por el ave observada.

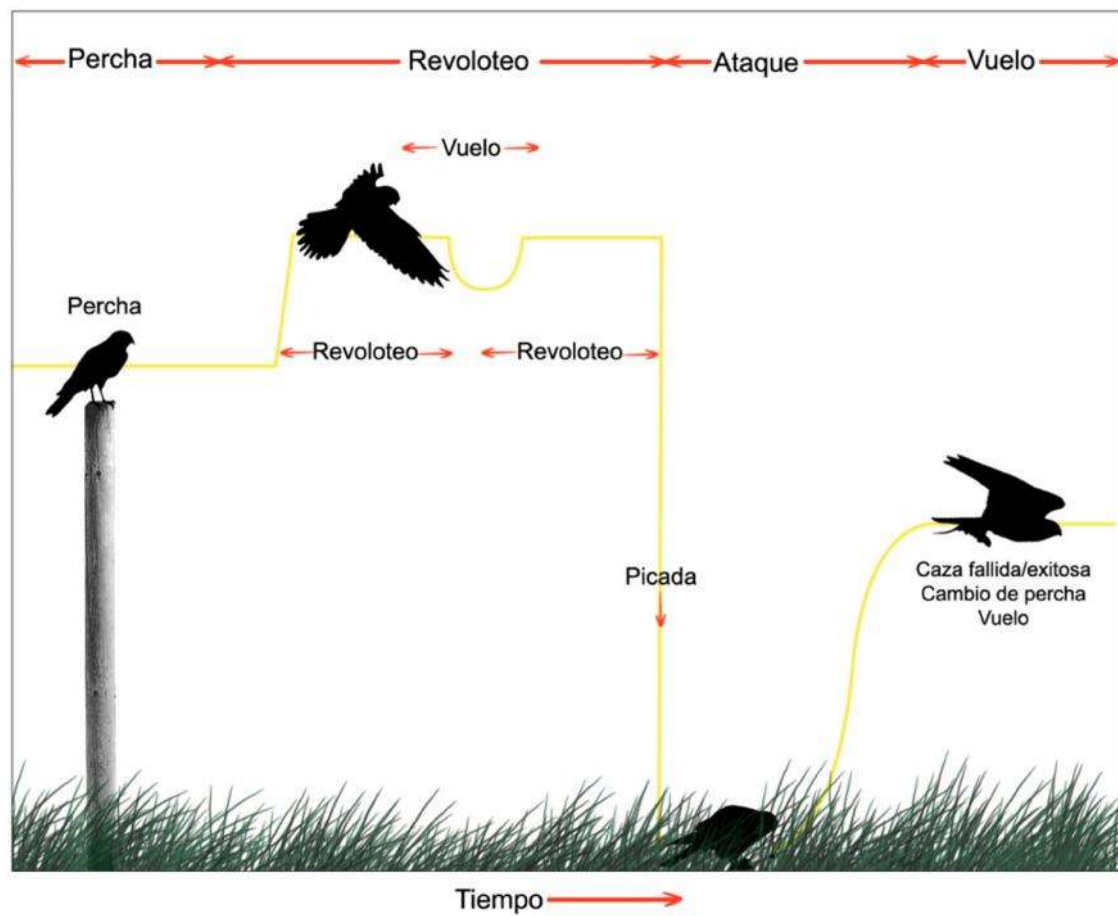


Figura 3. Representación gráfica de las distintas actividades registradas (modificado de Rijnsdorp *et al.*, 1981).

RESULTADOS

Uso de perchas y hábitat de forrajeo

Del total de 742 registros de cernícalos obtenidos durante los dos años de muestreo, 659 (89%) fueron observados aprovechando algún tipo de percha dentro del paisaje. Un total de 243 (37%) registros ocurrieron sobre perchas artificiales (181 hembras, 57 machos y 5 no identificados) contra los 416 (63% del total, con 283 hembras, 105 machos y 28 no identificados) registrados utilizando perchas naturales (Fig. 3), resultando en diferencias significativas en el aprovechamiento de tipos de percha (Pearson $\chi^2=19.918$, $P=0.0001$) sin distinción de sexo ni tipo de hábitat. Al aplicar una prueba de Chi cuadrada se encontró que existen diferencias significativas en la proporción en que los sexos aprovechan las perchas artificiales ($\chi^2=5.62$, $p=0.02$), pero no en el uso de perchas naturales ($\chi^2=0.57$, $p=0.45$).

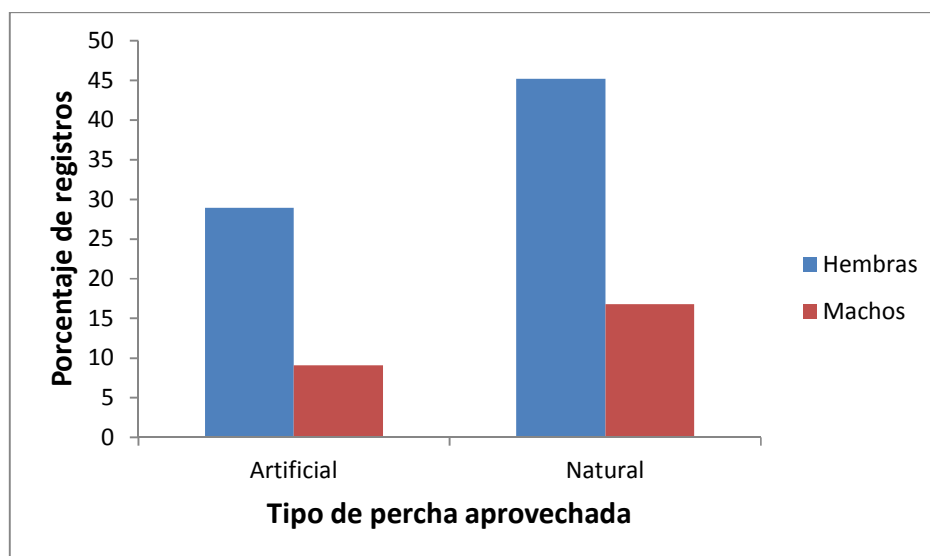


Figura 3. Porcentaje de registros obtenidos del uso de perchas por sexo en el Cernícalo americano.

Las perchas naturales disponibles en la región incluyeron árboles, arbustos, cactáceas y plantas variadas (matas de sorgo, maíz o higuierillas, principalmente) dispersas en el paisaje. Entre las especies leñosas utilizadas por los cernícalos destacan el casahuate (*Ipomoea murucoides*), eucalipto (*Eucalyptus* sp.), sauce

(*Salix* sp.), pino (*Pinus* sp.), casuarina (*Casuarina* sp.), ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), encino (*Quercus* sp.), cedro blanco (*Callitris lusitanica*), pochote (*Ceiba aesculifolia*), capulín (*Prunus serotina*), granjeno (*Condalia velutina*), mezquite (*Prosopis laevigata*), tejocote (*Crataegus mexicana*) y yuca (*Yucca* sp.), además de otras plantas como el nopal (*Opuntia* sp.), higuera (*Ricinus communis*), sorgo (*Sorghum* sp.) y maíz (*Zea mays*). Las perchas artificiales disponibles en la región corresponden principalmente a postes y cableado eléctrico o de telefonía, torres eléctricas y diversas estructuras de origen humano (portones, postes de cercados, varillas de construcción, etc.) (Fig. 4).



Figura 4. Ejemplos de perchas de árboles y postes entre los tipos de percha más utilizados por los cernícalos. La altura de los árboles varió dependiendo de la especie, oscilando entre 5 y 10 m. Los postes para cableado eléctrico y telefónico tienen alturas estandarizadas por la CFE (C.F.E., 2013).

Se observó que las perchas naturales más utilizadas por los cernícalos fueron árboles (54.7%), mientras que las perchas artificiales preferidas por los cernícalos corresponden a postes y cableado presentes en la región (35%). La altura estimada

de las perchas naturales fue de 10m, mientras que para las perchas artificiales fue de 5m (NOM-001-SEDE, 2012; C.F.E., 2013) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número total de cernícalos registrados y porcentaje correspondiente de aprovechamiento por tipo de percha (natural y artificial) entre sexos en la región.

Tipo de percha		No. Observaciones acumuladas							
		Hembras		Machos		No identificados		TOTAL	
		No.	(%)	No.	(%)	No.	(%)	No.	(%)
Natural	Árbol	251	(38.1)	84	(12.7)	26	(3.9)	361	(54.7)
	Arbusto	3	(0.5)					3	(0.5)
	Cactus	19	(2.9)	21	(3.2)	2	(0.3)	42	(6.4)
	Otras plantas	8	(1.2)					8	(1.2)
	Suelo	2	(0.3)					2	(0.3)
	Subtotal	283	(43)	105	(15.9)	28	(4.2)	416	63.1
Artificial	Cableado	97	(14.7)	37	(5.6)	4	(0.6)	138	(20.9)
	Poste	75	(11.4)	18	(2.7)			93	(14.1)
	Torre eléctrica	2	(0.3)			1	(0.2)	3	(0.5)
	Otros	7	(1.1)	2	(0.3)			9	(1.4)
	Subtotal	181	(27.5)	57	(8.6)	5	(0.8)	243	36.9
TOTAL		464	(70.4)	162	(24.6)	33	(5)	659	100

Las perchas utilizadas siempre se encontraron ubicadas dentro de espacios o parches abiertos, con poca vegetación leñosa en los alrededores y un estrato herbáceo con una altura promedio de 0.5m. El tamaño de estos espacios con poca vegetación varió de acuerdo al tipo de vegetación dominante de la región, y en algunos sitios (principalmente aquellos ubicados en zonas de matorral subtropical) las perchas se ubicaron dentro de parches de vegetación herbácea intercalados entre la vegetación original del sitio, y contenían una gran cantidad de rocas y otros detritos. El análisis de VCC demostró que el hábitat dentro de un radio de 250m alrededor de todas las perchas evaluadas presentó un 85% de cobertura herbácea y un 15% de plantas leñosas (árboles y arbustos). El porcentaje de suelos desnudos en todos los sitios analizados fue tan cercano a cero que no se tomó en consideración para análisis estadísticos posteriores (Fig. 5).

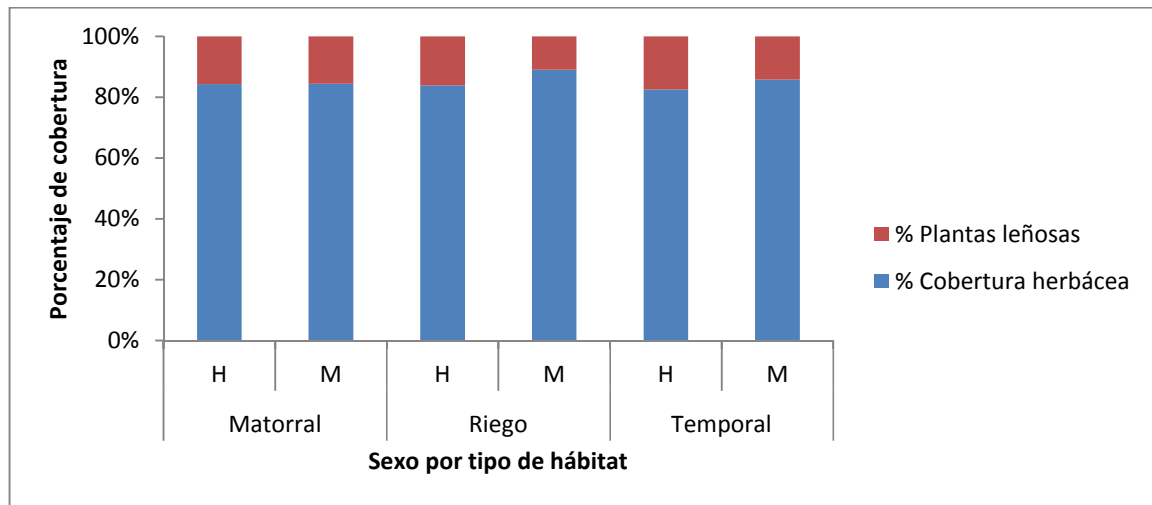


Figura 5. Porcentaje de cobertura vegetal disponible en los sitios de percha de machos y hembras en los tres tipos de vegetación.

Para comparar las características de hábitat de forrajeo entre sexos se realizó una prueba de Wilcoxon. El análisis mostró que no existieron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura herbácea ($\chi^2=0.5080$, g.l.=1, $p=0.4760$) ni de plantas leñosas ($\chi^2=0.7044$, g.l.=1, $p=0.4013$) disponible en un radio de 250m alrededor de los sitios de percha utilizados por machos y hembras en la muestra analizada.

Conducta de forrajeo

En total se registraron 56 eventos de cacería, de los cuales 17 (30.4%) resultaron en la captura y consumo de una presa y 39 (69.6%) fueron intentos fallidos. No se encontraron diferencias significativas en una prueba de Wilcoxon al comparar el éxito de forrajeo dentro de los diferentes tipos de hábitat ($\chi^2=0.35$, g.l.=2, $p=0.83$), ni tampoco existieron diferencias significativas en el éxito de forrajeo de cada sexo en los sitios de matorral ($\chi^2=0.05$, g.l.=1, $p=0.82$) ni dentro de los sitios de temporal ($\chi^2=2$, g.l.=1, $p=0.16$). Dado que no existen datos de forrajeo para machos en los sitios de riego, no se puede realizar una comparación estadística entre sexos (Cuadro 2)

Cuadro 2. Éxito de forrajeo del cernícalo por sexos dentro de los tres tipos de hábitat.

Tipo de hábitat	Capturas/Intentos	% de éxito		
		Hembras	Machos	Global
Matorral	6/27	3.7	18.5	22.2
Riego	6/18	33.3	-	33.3
Temporal	5/11	27.3	18.2	45.5
TOTAL	17/56	17.9	12.5	30.4

La estrategia de forrajeo principal utilizada por los cernícalos consistió de vuelos en picada desde la percha hacia el objetivo. Se observó que las aves regresaron a la misma percha el 59% de las observaciones y el 25% de las veces cambiaron a alguna percha cercana para consumir la presa o continuar observando el paisaje. El porcentaje restante correspondió a individuos que no se movieron de su sitio. En general, los machos cambiaron de percha un promedio de 2.3 (DE=1.5) ocasiones dentro de un lapso de 15 minutos, mientras que las hembras sólo lo hicieron un promedio de 1.5 (DE=0.6) ocasiones.

Se encontró que en los sitios de agricultura de temporal, los cernícalos realizan un promedio de 2.5 cambios de percha (DE=1.6) en un lapso de 15 minutos, seguido de un promedio de 1.9 cambios (DE=1.1) en matorral y 1 (DE=0) para los sitios de agricultura de riego. Por sexo, las hembras realizaron un promedio de 2.3 cambios de percha (DE=0.6) en los sitios de agricultura de temporal, 1.6 cambios (DE=0.5) en matorral subtropical y sólo un cambio de percha en los sitios de agricultura de riego. En comparación, los machos realizaron un promedio de 2.3 cambios de percha (DE=1.6) en los sitios de temporal y 1.9 cambios (DE=1.1) en matorral subtropical (Cuadro 3)

Cuadro 3. Número promedio de cambios de percha, desviación estándar y porcentaje de movimientos de *Falco sparverius* por sexo y tipo de vegetación.

Tipo de hábitat	Hembras		Machos		TOTAL	
	Promedio (DE)	Porcentaje	Promedio (DE)	Porcentaje	Promedio (DE)	Porcentaje
Matorral	1.6 (0.5)	19.1	2.2 (1.3)	41.2	1.9 (1.1)	60.3
Riego	1 (0)	10.3	-	-	1 (0)	10.3
Temporal	2.3 (0.6)	10.3	2.6 (2.1)	19.1	2.3 (1.6)	29.4
TOTAL	1.5 (0.6)	39.7	2.3 (1.5)	60.3	1.9 (1.2)	100

Estadísticamente no existieron diferencias significativas en la frecuencia de cambios de percha para machos (Wilcoxon $\chi^2=0.07$, g.l=1, $p=0.8$) en los sitios de temporal y matorral, sin embargo, las hembras sí mostraron diferencias significativas en la frecuencia de cambio de percha dentro de los tres sistemas vegetales (Wilcoxon: $\chi^2=10.36$, g.l=2, $p=0.006$).

Finalmente, se observó que los cernícalos pasaron alrededor del 85% (8.9 horas) del tiempo total de observación (10.5 horas) perchados, un 6% (0.6 horas) en vuelo activo, ya fuera sobrevolando el territorio o trasladándose entre perchas y el 9% (0.9 horas) restante realizando algún otro tipo de actividad (Cuadro 3).

Cuadro 4. Tiempo acumulado de uso de percha y vuelo de los cernícalos, y número de eventos registrados de otras actividades por tipo de vegetación.

Tipo de Vegetación	Tiempo en percha (min)	Tiempo en Vuelo (min)	Otras actividades (Total de eventos registrados)					
			Vocalizaciones		Revoloteos		Acicalamientos	
			H	M	H	M	H	M
Matorral	295	24	-	-	2	1	3	6
Riego	147	2	-	-	2	-	2	-
Temporal	93	15	1	-	5	-	-	1
TOTALES	535	41	1 (4.3%)		10 (43.5%)		12 (52.2%)	

DISCUSIÓN

Los cernícalos son principalmente depredadores de emboscada, por lo que su comportamiento de forrajeo consiste en localizar a la presa mediante la vigilancia continua del paisaje y atacar velozmente desde el aire (Rudolph *et al.*, 1984). Las perchas disponibles en el paisaje proveen puntos estratégicos de observación que pueden aprovechar sin la necesidad de invertir una gran cantidad de energía como el que implicaría sobrevolar continuamente el territorio (Koplin y Collopy, 1980). En la región de estudio, los cernícalos permanecieron perchados un 85% del tiempo total de observación y mostraron una marcada preferencia por el aprovechamiento de perchas de origen natural, como árboles o arbustos, a pesar de la disponibilidad de perchas artificiales dentro del paisaje, como postes y cableado eléctrico. Es posible que la diferencia de alturas entre ambos tipos de percha y la disponibilidad de árboles en los hábitats de forrajeo sean los factores que influyen en la preferencia de perchas naturales por los cernícalos en la región. Otro factor de influencia podría tratarse del hábitat de forrajeo o microhábitat disponible en un radio de 250m. Las perchas tanto de machos como hembras se encontraron situadas en áreas compuestas por un 85% de espacio abierto con un estrato herbáceo con una altura $\leq 0.5\text{m}$, lo que concuerda con lo encontrado en otros estudios (Sferra, 1984; Bohall-Wood y Collopy, 1986; Toland, 1987; Worm *et al.*, 2013). Esta observación es interesante, pues a pesar de que los cernícalos muestran una clara segregación sexual de hábitat en la región, sus sitios de forrajeo poseen características similares al ser analizados en una escala más pequeña.

Aún es necesario realizar observaciones más detalladas, pero los resultados obtenidos sugieren que los cernícalos priorizan la ocupación de sitios con un microhábitat abierto en comparación con el hábitat circundante, y es posible que se relacione con la disponibilidad de cierto tipo de presas. Toland (1987) reporta que los cernícalos se sienten atraídos por terrenos perturbados debido a que la vegetación de baja altura les permite divisar presas con mayor facilidad y la flexibilidad de las plantas herbáceas no interfiere al momento de la captura, además de que las

actividades agrícolas y la presencia de ganado incrementan la movilidad y vulnerabilidad de las presas (Toland, 1987). Los cernícalos mostraron un alto grado de movilidad dentro de los sistemas de matorral subtropical. A pesar de que el análisis de VCC reporta un 85% de hábitat abierto alrededor de las perchas, no indica la manera en la que se encuentra dispuesto. En los sitios de matorral, arbustos y otras plantas se encuentran distribuidos alrededor de las perchas de los cernícalos, por lo que éstos se deben mover con mayor regularidad para observar el paisaje y encontrar presas, ya que la estructura de la vegetación del hábitat de forrajeo es el factor que determina el tiempo que los cernícalos dedican a sus distintas actividades diarias (Koplin y Collopy, 1980; Toland, 1987).

Aunque la literatura reporta al menos tres estrategias distintas de forrajeo utilizadas por los cernícalos (Cruz, 1976; Toland, 1987), la principal estrategia de caza observada en la región de estudio consistió de ataques directos desde la percha. Aún se desconoce la composición exacta de la dieta consumida por los cernícalos durante su periodo de invernación en el Bajío, pero se observó que la mayoría de las presas capturadas al principio de la temporada (Octubre-Noviembre) correspondieron a saltamontes y grillos (Orden Orthoptera). A grandes rasgos, los insectos parecen conformar gran parte de la dieta invernal de los cernícalos en la región, con el consumo ocasional de aves y mamíferos pequeños. Estudios realizados en Argentina, Jamaica y Chile reportan que los invertebrados conforman la mayor parte de la dieta de los cernícalos durante la temporada invernal (Cruz, 1976; Sarasola *et al.*, 2003; Figueroa-Rojas y Corales-Stappung, 2004), y la evidencia visual obtenida a lo largo de este estudio parece concordar con dichos estudios, sin embargo es recomendable realizar un análisis más detallado sobre la dieta de los cernícalos en el Bajío Michoacano para establecer el consumo exacto de presas y evaluar directamente la calidad del microhábitat de forrajeo, además de determinar si existen diferencias en la dieta entre machos y hembras (David J. Anderson *et al.*, 1993).

DISCUSIÓN GENERAL

El presente estudio constituye el primer esfuerzo de muestreo sistemático de *Falco sparverius* en el centro del país y se concentró en variables ecológicas fácilmente observables para un estudio de dos años de duración. Al tratarse de una población migratoria, está claro que es necesario un estudio multidisciplinario a largo plazo para obtener un panorama más amplio acerca de la ecología e historia de vida del cernícalo americano en los agroecosistemas del Bajío Michoacano, así como para conocer los factores que influyen sus dinámicas poblacionales, tanto positiva como negativamente. No sólo esto, también es importante aplicar este tipo de estudios a otras especies de rapaces presentes en la región.

Dado que *Falco sparverius* ocupa principalmente sistemas agrícolas, es importante considerar la manera en que las dinámicas presentes en dichos sistemas influyen en la sobrevivencia de los individuos durante su periodo de invernación en la región, ya que se verá reflejado directamente en el éxito reproductivo de los individuos durante el verano. Por ejemplo, aún es necesario realizar estudios toxicológicos donde se determine el grado de exposición a agroquímicos y pesticidas, así como sus efectos en el organismo de los cernícalos. Como se sabe, los productos químicos utilizados en la producción agrícola se acumulan dentro del organismo de las rapaces a través del consumo de las presas contaminadas, ocasionando diversos trastornos que pueden ir desde afectar la habilidad de forrajeo de los cernícalos hasta disminuir su capacidad reproductiva y la muerte (Rudolph *et al.*, 1984; Stendell *et al.*, 1989; Henny y Elliott, 2007; Farmer *et al.*, 2008).

Otro aspecto que se debe analizar más a fondo es la calidad del hábitat de forrajeo de machos y hembras. Ya que se comprobó que la especie presenta una segregación sexual de hábitat en la región, sería interesante evaluar las diferencias en la dieta y consumo energético de ambos sexos dentro de los sistemas vegetales ocupados. La existencia de diferencias significativas en la ingesta energética de los individuos podría afectar directamente su capacidad de sobrevivencia y por ende

disminuir su aptitud biológica, aun cuando machos y hembras rindan de manera óptima dentro de un tipo de vegetación dado (Ardia, 2002). Asimismo, la disponibilidad y tipo de presas aprovechadas por *Falco sparverius* podrían estar determinadas por el tipo de agroquímicos y pesticidas presentes en cada sitio (Stendell *et al.*, 1989). Además, ya que los cernícalos pasan la mayor parte de su tiempo observando su área de forrajeo desde una percha, es posible predecir su presencia en los sitios. Este comportamiento facilita la observación de las aves y en teoría debería permitir la captura de individuos para su marcaje y toma de muestras. Para este trabajo se intentó capturar algunos individuos con dicho propósito, pero los cernícalos mostraron cierta reticencia a aproximarse a la trampa con carnada viva. Sin embargo, es probable que la falta de interés de los cernícalos por la carnada se debiera a que los intentos de trampeo se realizaron tarde en la mañana, cuando la posibilidad de que las aves ya hubieran consumido alimento era más alta.

En resumen, todavía existen un sinnúmero de variables ecológicas que requieren ser estudiadas a largo plazo para complementar lo establecido en este trabajo. *Falco sparverius* podrá tratarse del ave rapaz más pequeña de Norteamérica, pero sin duda es una especie que aún tiene mucho que ofrecer.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, D. y M. A. F. PAJUELO (2004). "Differential migration in a wintering population of Common Guillemots (*Uria aalge*) affected by the Prestige oil spill." *Ardeola* **51**(2): 451-454.
- ARDIA, D. R. (2002). "Energetic consequences of sex-related habitat segregation in wintering American kestrels (*Falco sparverius*).\" *Can. J. Zool.* **80**: 516-523.
- ARDIA, D. R. y K. L. BILDSTEIN (2001). "Sex-related differences in habitat use in wintering American Kestrels." *The Auk* **118**(3): 746-750.
- BEDNARZ, J. C., D. KLEM JR., L. J. GOODRICH y S. E. SENNER (1990). "Migration counts of raptors at Hawk Mountain, Pennsylvania, as indicators of population trends, 1934-1986." *The Auk*(107): 96-109.
- BIERREGAARD, RICHARD O. (1995). "The biology and conservation status of Central and South American Falconiformes: a survey of current knowledge." *Bird Conservation International* **5**(2-3): 325-340.
- BIRD, D. M. y R. S. PALMER (1988). American Kestrel. *Handbook of North American Birds: Diurnal Raptors (Part 2)*. R. S. Palmer. New Heaven and London, Yale University Press. **Volume 5**: 253-290.
- BLOCK, W. M. y L. A. BRENNAN (1993). The Habitat Concept in Ornithology. *Current Ornithology*. D. M. Power, Springer US. **11**: 35-91.
- BÓ, M. S., A. V. VALADRÓN y L. M. BIONDI (2007). "Ecología Trófica de Falconiformes y Strigiformes: Tiempo de Síntesis." *El Hornero* **22**(2): 97-115.
- BOHALL-WOOD, P. y M. W. COLLOPY (1986). "Abundance and habitat selection of two American Kestrel subspecies in north-central Florida." *The Auk*(103): 557-563.
- BORCHERS, D., T. A. MARQUES, T. GUNNLAUGSSON y P. JUPP (2010). "Estimating Distance Sampling Detection Functions when Distances are Measured with Errors." *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* **Aceptado para publicación**: 16pp.

- BRAVO-ESPINOSA, M., F. GARCÍA-OLIVA, E. RÍOS-PATRÓN, M. MENDOZA-CANTÚ, G. BARRERA-CAMACHO, E. LÓPEZ-GRANADOS, B. E. SERRATO-BARAJAS y T. SÁENZ-REYES (2008). La cuenca del lago de Cuitzeo: Problemática, perspectivas y retos hacia su desarrollo sostenible.
- Especificación CFE DCABT000 (2013). Instalación de acometidas en baja tensión. S. d. Energía, Comisión Federal de Electricidad. México.
- CADE, T. J. (1955). "Experiments on winter territoriality of the American kestrel, *Falco sparverius*." Wilson Bulletin **67**(1): 5-17.
- COLLOPY, M. W. y J. R. KOPLIN (1983). "Diet, capture success, and mode of hunting by female american kestrels in winter." Condor(85): 369-371.
- CRUZ, A. (1976). "Food and foraging ecology of the American Kestrel in Jamaica." The Condor(78): 409-423.
- CSERMELY, D. y L. BAGNI (2003). "The predatory behavior of Common kestrels facing various types of prey." Journal of Ethology **21**(2): 107-110.
- DAVID J. ANDERSON, J. REEVE, J. E. MARTINEZ-GOMEZ, W. W. WEATHERS, S. HUTSON, H. V. CUNNINGHAM y D. M. BIRD (1993). "Sexual size dimorphism and food requirements of nestling birds." Can. J. Zool.(71): 2541-2545.
- DIMICELI, C. M., M. L. CARROLL, R. A. SOHLBERG, C. HUANG, M. C. HANSEN y J. R. G. TOWNSHEND (2011). "Annual Global Automated MODIS Vegetation Continuous Fields (MOD44B)." 2011 Percent Tree Cover. De <http://glcf.umd.edu/data/vcf/>.
- DONAZAR, J. A., J. J. NEGRO y F. HIRALDO (1993). "Foraging habitat selection, land-use changes and population decline in the Lesser kestrel (*Falco naumanni*)." Journal of Applied Ecology **30**: 515-522.
- FARMER, C. J., L. J. GOODRICH, E. RUELAS-INZUNZA y J. P. SMITH (2008). Conservation Status of North America's Birds of Prey. State of North America's Birds of Prey. J. P. S. Keith L. Bildstein, Ernesto Ruelas-Inzunza and R. R. Veit. Cambridge, Massachusetts and Washington, D.C., Nuttall Ornithological Club and American Ornithologists. **3**: 386-391.
- FARMER, C. J., D. J. T. HUSSELL y D. MIZRAHI (2007). "Detecting Population Trends in Migratory Birds of Prey." The Auk **124**(3): 1047-1062.

- FERGUSON-LEES, J. y D. A. CHRISTIE (2005). Raptors of the World. New Jersey, Princeton University Press.
- FIGUEROA-ROJAS, R. A. y E. S. CORALES-STAPPUNG (2004). "Summer diet comparison between the American Kestrel (*Falco sparverius*) and Aplomado Falcon (*Falco femoralis*) in an agricultural area of Araucanía, Southern Chile." Hornero **19**(2): 53-60.
- GOODRICH, L. J. y J. P. SMITH (2008). Raptor Migration in North America. State of North America's Birds of Prey. J. P. S. Keith L. Bildstein, Ernesto Ruelas-Inzunza and R. R. Veit. Cambridge, Massachusetts and Washington, D.C., Nuttall Ornithological Club and American Ornithologists. **3**: 37-149.
- GREENE, T. y M. EFFORD (2012). Birds: estimates of absolute density and abundance — distance sampling. New Zealand, Department of Conservation: 28.
- HENNY, C. J. y J. E. ELLIOTT (2007). Chapter 18: Toxicology. Raptor Research and Management Techniques. Washington D. C., Raptor Research Foundation: 329-350.
- HINNEBUSCH, D. M., J. F. THERRIEN, M.-A. VALIQUETTE, B. ROBERTSON, S. ROBERTSON y K. L. BILDSTEIN (2010). "Survival, site fidelity, and population trends of American Kestrels wintering in southwestern Florida." The Wilson Journal of Ornithology **122**(3): 475-483.
- HOFFMAN, M. L. y M. W. COLLOPY (1988). "Historical status of the American Kestrel (*Falco sparverius paulus*) in Florida." Wilson Bulletin **100**(1): 91-107.
- HOWELL, S. N. G. y S. WEBB (1995). A guide to the birds of Mexico and northern Central America. New York, Oxford University Press, USA.
- INAFED (2005). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. La Enciclopedia de los Municipios de México: Estado de Michoacán.
- INEGI (1985). Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán. México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto.
- IUCN (2012). "Falco sparverius." Retrieved September 30, 2012, De <http://www.iucnredlist.org/details/106003596/0>.

- KETTERSON, E. D. y V. NOLAN JR. (1983). The Evolution of Differential Bird Migration. Current Ornithology. R. F. Johnson. New York, Springer US: 357-402.
- KOPLIN, J. R. (1973). "Differential habitat use by sexes of American Kestrels wintering in northern California." Raptor Research **7**(2).
- KOPLIN, J. R. y M. W. COLLOPY (1980). "Energetics of two wintering raptors." The Auk(97): 795-806.
- LARUE, M. A., C. K. NIELSEN y M. D. GRUND (2007). "Using Distance Sampling to Estimate Densities of White-Tailed Deer in South-Central Minnesota." The Prairie Naturalist **39**(2): 57-68.
- MARQUES, T. A., L. THOMAS, S. G. FANCY y S. T. BUCKLAND (2007). "Improving Estimates of Bird Density Using Multiple Covariate Distance Sampling." The Auk **124**(4): 1229-1243.
- MCCOLLIN, D. (1998). "Forest edges and habitat selection in birds: a functional approach." Ecography **21**(3): 247-260.
- MILLS, G. S. (1976). "American kestrel sex ratios and habitat separation." The Auk **93**(4): 740-748.
- NOM-001-SEDE-2012 (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización). S. d. Energía, Diario Oficial de la Federación. México.
- NOM-059-SEMARNAT-2010 (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio y lista de especies en riesgo. . S. d. M. A. y. R. Naturales, Diario Oficial de la Federación. México.
- ORTEGA-GUZMÁN, L. (2015). Ecología invernal del Cernícalo Americano (*Falco sparverius*): Determinación de su cronología migratoria, abundancia relativa, segregación de hábitat por sexo y conducta de forrajeo en el Bajío Michoacano. Facultad de Biología. Morelia, Michoacán, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. **Maestría**.

- PALACÍN, C., J. C. ALONSO, J. A. ALONSO, C. A. MARTÍN, M. MAGAÑA y B. MARTÍN (2009). "Differential Migration by Sex in the Great Bustard: Possible Consequences of an Extreme Sexual Size Dimorphism." Ethology(115): 617-626.
- PALMER, R. S. (1988). Handbook of North American Birds: Diurnal Raptors (Part 2). New Haven, Yale University Press.
- RAMOS, M. A. (1986). "Birds in Peril in Mexico: The Diurnal Raptors." Birds of Prey Bulletin(3): 26-42.
- RICH, T. D., C. J. BEARDMORE, H. BERLANGA, P. J. BLANCHER, M. S. W. BRADSTREET, G. S. BUTCHER, D. W. DEMAREST, E. H. DUNN, W. C. HUNTER, E. E. ÍÑIGO-ELÍAS, J. A. KENNEDY, A. M. MARTELL, A. O. PANJABI, D. N. PASHLEY, K. E. ROSENBERG, C. M. RUSTAY, J. S. WENDT y T. C. WILL (2004). Partners in Flight North American Landbird Conservation Plan. Ithaca, New York, Cornell Lab of Ornithology.
- RIJNSDORP, A., S. DAAN y C. DIJKSTRA (1981). "Hunting in the Kestrel, *Falco tinnunculus*, and the Adaptive Significance of Daily Habits." Oecologia(50): 391-406.
- RUDOLPH, S. G., J. G. ZINKL, D. W. ANDERSON y P. J. SHEA (1984). "Prey-capturing ability of American kestrel fed DDE and Acephate or Acephate alone." Archives of Environmental Contamination and Toxicology(13): 367-372.
- RUELAS-INZUNZA, E. (2008). "Continental-Scale Decline of the American Kestrel, America's Smallest Falcon." Raptor Watch **XXII**(No. 3): 2-4.
- RZEDOWSKI, J. y G. CALDERÓN DE RZEDOWSKI (1987). El bosque tropical caducifolio de la región mexicana del Bajío, Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío. Michoacán, México.: 12-21.
- SARASOLA, J. H., M. Á. SANTILLÁN y M. A. GALMÉS (2003). "Food habits and foraging ecology of American Kestrels in the semiarid forest of Central Argentina." Journal of Raptor Research **37**(3): 236-243.
- SFERRA, N. J. (1984). "Habitat selection by the American Kestrel (*Falco sparverius*) and Red-tailed Hawk (*Buteo jamaicensis*) wintering in Madison County, Kentucky." Raptor Research **18**(4): 148-150.

- SIPE, R. L. H. (2002). Patch use of winter resident and migrant American Kestrels (*Falco sparverius*) in the Coastal Plain of Virginia. Faculty of the Department of Biology. Williamsburg, Virginia, College of William and Mary. **Master of Arts: 64.**
- SMALLWOOD, J. A. (1987). "Sexual segregation by habitat in American Kestrels wintering in southcentral Florida: Vegetative structure and responses to differential prey availability." The Condor(89): 842-849.
- SMALLWOOD, J. A. (1988). "A mechanism of sexual segregation by habitat in American Kestrels (*Falco sparverius*) wintering in south-central Florida." The Auk(105): 36-46.
- SMALLWOOD, J. A., J. A. BIRD y D. M. BIRD (2002). American Kestrel (*Falco sparverius*). The Birds of North America Online (A. Poole, Ed.), Ithaca: Cornell Lab of Ornithology. Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/602>.
- STENDELL, R. C., W. N. BEYER y R. A. STEHN (1989). "Accumulation of lead and organochlorine residues in captive American Kestrels fed Pine Voles from apple orchards." Journal of Wildlife Diseases **25**(3): 388-391.
- STEPHENS, D. W. y J. R. KREBS (1987). Foraging Theory. Princeton, Princeton University Press.
- STINSON, C. H., D. L. CRAWFORD y J. LAUTHNER (1981). "Sex differences in winter habitat of American Kestrels in Georgia." Journal of Field Ornithology **52**(1): 29-35.
- STOTZ, N. G. y L. J. GOODRICH (1989). "Sexual differences in timing of American Kestrel migration at Hawk Mountain Sanctuary, PA." Journal of Raptor Research **23**(4): 167-171.
- TAPIA, L., P. L. KENNEDY y R. W. MANNAN (2007). Chapter 9: Habitat Sampling. Raptor Research and Management Techniques. Washington D.C., Institute for Wildlife Research, National Wildlife Federation: 153-169.
- THOMAS, L., S. T. BUCKLAND, K. P. BURNHAM, D. R. ANDERSON, J. L. LAAKE, D. L. BORCHES y S. STRINDBERG (2012). Distance Sampling. Encyclopedia of Environmetrics Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd.

- TOLAND, B. R. (1987). "The effect of vegetative cover on foraging strategies, hunting success and nesting distribution of American Kestrels in Central Missouri." Journal of Raptor Research **21**(1): 14-20.
- VILLASEÑOR-GÓMEZ, J. F., L. E. VILLASEÑOR-GÓMEZ y G. CHÁVEZ-LEÓN (2000). AICA 2 Cuitzeo. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México. M. C. Arizmendi y L. Márquez-Valdelamar. México, D.F., CIPAMEX (Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México). CONABIO.: 359-359.
- WORM, A. J., M. M. BOBOWSKI y T. S. RISCH (2013). "Perch-type Characteristics of Overwintering Red-tailed Hawks (*Buteo jamaicensis*) and American Kestrels (*Falco sparverius*)." Journal of the Arkansas Academy of Science **67**: 159-162.