

ANÁLISIS DEL PAISAJE Y FRAGMENTACIÓN DE HÁBITAT EN  
TERRITORIOS DE HALCÓN APLOMADO (*Falco femoralis septentrionalis*)  
EN CHIHUAHUA, MÉXICO

POR:

I.E. JOSÉ ROBERTO RODRÍGUEZ SALAZAR

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Área Mayor: Manejo de Recursos Naturales

Universidad Autónoma de Chihuahua  
Facultad de Zootecnia  
Secretaría de Posgrado e Investigación

Análisis del paisaje y fragmentación de hábitat en territorios de halcón aplomado (*Falco femoralis septentrionalis*) en Chihuahua, México. Tesis presentada por José Roberto Rodríguez Salazar como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, ha sido aprobada y aceptada por:

---

Ing. M. A. Salvador Alcántar Ortega  
Director de la Facultad de Zootecnia

---

Ph. D. Carlos Rodríguez Muela  
Secretario de Posgrado e Investigación

---

M. Sc. Gabriela Corral Flores  
Coordinadora Académica de la Secretaría de Posgrado e Investigación

---

Ph. D. Alicia Melgoza Castillo  
Presidente

---

Fecha

Comité:

Ph. D. Alicia Melgoza Castillo  
Ph. D. Alberto Lafón Terrazas  
M. C. Jesús Ricardo Mendoza Fernández  
M. Sc. Jaime Jurado Arredondo

## **DEDICATORIA**

A mi esposa  
A mis hijos  
A mi madre y hermanas  
A mis dos sobrinos

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por apoyarme en la realización de mis estudios de posgrado.

A PROFAUNA A.C. y The Peregrine Fund, por el apoyo logístico y económico para la realización de este proyecto, principalmente al Ph. D. Alberto Lafón, por su interés en la investigación de la fauna chihuahuense.

Al personal anterior y actual de la biblioteca de la Facultad de Zootecnia, en especial a la Ing. Nieves Becerra, Chelito, Ing. Calderón, Jaime y Miranda.

A mis amigos y compañeros de generación: Chuy, Polo, Héctor, María Elena (madre e hija), Hayde, Aurelio, Gamboa, Galarza, Azucena, Félix, y Omar, Enrique Carreón, Elsa Zamarrón, Manuel Ochoa y Alejandro Solís.

A los maestros: Ph. D. Alicia Melgoza, M. C. Jesús Mendoza, M. Sc. Jaime Jurado y Ph. D. Carmelo Pinedo por su valioso ayuda.

A mis compañeros de trabajo: M. C. Alberto Macías y sobre todo al M. Sc. Ángel Montoya, quien dio origen a los estudios sobre la especie en Chihuahua, así como al Ph. D. Robert Tafanelli. A la Oficina del Manejo de Tierras de los EEUU (BLM), por el financiamiento de los estudios, y al M. Sc. Kendal Young, Carlos Sánchez, Mauro Ramos, Martha León y Claudia Chacón.

También a las personas con las que mas tiempo conviví en campo, por sus enseñanzas y hospitalidad, a los vaqueros y propietarios de los ranchos: Tinaja Verde, Tosesihua, Agua Zarca, El 24, Ojos de San Antonio, El Barreal, El 40, Rancho El Sueco, La Gregoria, Coyamito Norte, Coyamito Sur, El Agate, y del Ejido San Lorencito.

## **CURRICULUM VITAE**

El autor nació el 13 de Septiembre de 1972 en Ciudad Chihuahua, Chihuahua, México.

Enero de 1994 a Diciembre de 1997      Estudios de Licenciatura en la Facultad de Zootecnia, de La Universidad Autónoma de Chihuahua.

Enero de 1998 a Diciembre del 2000      Estudiante Graduado de la Secretaría de Posgrado e Investigación de la Facultad de Zootecnia de La Universidad Autónoma de Chihuahua.

2002 – Actual      Técnico de campo del proyecto de halcón aplomado del Fondo peregrino.

## **RESUMEN**

# **ANALISIS DEL PAISAJE Y FRAGMENTACIÓN DE HÁBITAT EN TERRITORIOS DE HALCÓN APLOMADO (*Falco femoralis septentrionalis*) EN CHIHUAHUA, MÉXICO**

**POR:**

**I.E. JOSÉ ROBERTO RODRÍGUEZ SALAZAR**

**Maestría en Ciencias**

**Secretaría de Posgrado e Investigación**

**Facultad de Zootecnia**

**Universidad Autónoma de Chihuahua**

**Presidente: Ph. D. Alicia Melgoza Castillo**

El presente trabajo es parte de los estudios que se han realizado en una población de halcón aplomado (*Falco femoralis septentrionalis*) encontrada en el estado de Chihuahua. El objetivo fue hacer un análisis del paisaje y fragmentación del hábitat utilizando imágenes de satélite. Se trabajo en dos localidades Tinaja Verde y El Sueco; en cada localidad se identificaron los sitios de nidación y de percha. Las imágenes de satélite se procesaron con el programa computacional IDRISI 32 y el programa Fragstats versión 2.0. Se utilizaron cinco diferentes tipos de cobertura: pastizal natural, sabana, bajío, pastizal-matorral y matorral. Se generaron las siguientes variables para analizar el paisaje: porcentaje del tamaño de parche más grande, número total de parches, tamaño promedio de parche, borde total, índice de forma de paisaje, yuxtaposición, fragmentación y contagio. Con la finalidad de detectar diferencias de las coberturas entre las localidades y entre los sitios de nidación y percha se

realizó una comparación de medias con un análisis de varianza ajustando un modelo estadístico de una vía en el que se incluyó como efectos clasificatorios la localidad, sitios y la interacción localidad\*sitio. Los resultados obtenidos muestran que en ambas localidades, Tinaja Verde y El Sueco, los sitios de percha presentaron el tipo de vegetación de matorral, principalmente; mientras que para los sitios de nidación el pastizal natural fue el más común. Se encontró que la localidad de Tinaja Verde estuvo más fragmentada que El Sueco ( $P<0.10$ ). Los sitios de percha presentaron una fragmentación superior a los sitios de nidación ( $P<0.05$ ). La yuxtaposición del paisaje fue igual para ambas localidades ( $P>0.10$ ); por otra parte, en los sitios de nidación la yuxtaposición fue menor ( $P<0.05$ ) que en sitios de percha. Lo anterior sugiere que la proliferación de arbustivas y la reducción en los tamaños de parche afectan negativamente a los halcones aplomados, ya que prefieren sitios con cantidades moderadas de arbustivas y grandes áreas de pastizal abierto para realizar su cacería. El Sueco presentó, en general, un mejor hábitat para el halcón aplomado. También se determinó que cuando el halcón aplomado no está anidando las características del paisaje pasan a segundo término en la selección de hábitat.

## ABSTRACT

### LANDSCAPE ANALYSIS AND HABITAT FRAGMENTATION ON APLOMADO FALCON (*Falco femoralis septentrionalis*) TERRITORIES IN CHIHUAHUA, MÉXICO

This work is part of a studies carried out on an aplomado falcon (*Falco femoralis septentrionalis*) found at Chihuahua state. The objective was to analyze landscape characteristics and habitat fragmentation using satellite images. The field work was conducted at two locations, Tinaja Verde and El Sueco; at each location nesting and perch sites were identified. Satellite images were processed using IDRISI 32 and Fragstats 2.0 softwares. Five vegetation types were identified: natural grassland, savannah, halophytic grassland, grassland-scrub, and scrub. The variables largest patch index, number of patches, mean patch size, total edge, landscape shape index, juxtaposition, fragmentation, and contagion index were analyzed. In order to detect plant cover differences among locations and sites, a variance analysis was adjusted to a one way statistical model; classificatory effects were location, site and location\*vegetation type interaction. At both locations, Tinaja Verde and El Sueco, natural grassland was the main vegetation type for nesting, while scrub was the main vegetation used for perching. Fragmentation was greater ( $P<0.10$ ) at Tinaja Verde than El Sueco; while nesting sites were less ( $P<0.05$ ) fragmentated than perching sites. Juxtaposition was similar at both locations ( $P>0.10$ ); however, nesting sites has lower juxtaposition ( $P<0.05$ ) than perching sites. Data indicates that high shrub density and reduction of patch size affect negatively aplomado falcon population, since they preferred grassland and

moderate amounts of shrubs for hunting. In general, El Sueco showed a better habitat for aplomado falcon population. Also, when aplomado falcon is nesting, landscape characteristics analyzed in this study were not the main issue when selecting habitat. Landscape characteristics evaluated here seems to be not significant when aplomado falcon is not nesting.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	3
Biología del Halcón Aplomado.....	3
Reproducción.....	5
Dieta.....	5
Hábitat del halcón aplomado.....	6
Ámbito hogareño.....	6
Estatus.....	7
Estudios de Halcón Aplomado en México.....	8
Ecología del Paisaje.....	10
Concepto de paisaje.....	11
Fragmentación.....	12
Contagio y dispersión.....	12
Yuxtaposición e interspersión.....	12
Efecto borde.....	13
Sensores Remotos en Ecología del Paisaje.....	13
MATERIALES Y METODOS.....	16

	Página
Descripción del Área de Estudio.....	16
Estructura y Tipo de Datos.....	21
Preparación de la Imagen de Satélite.....	21
Mejoramiento de la Imagen.....	22
Clasificación de la Imagen y Extracción de la Información.....	22
Variables a Medir.....	24
Análisis Estadístico de la Información.....	26
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
Utilización del Suelo y Vegetación.....	27
Comparación de la Vegetación de las Localidades de Tinaja Verde y El Sueco.....	36
Comparación de la Vegetación en Sitios de Nidación y Percha...	41
Análisis del Paisaje.....	42
Comparación del paisaje de las localidades de Tinaja Verde y El Sueco.....	46
Comparación del Paisaje en los Sitios de Nidación y Percha.....	48
Hábitat “Idóneo” del Halcón Aplomado.....	49
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1 MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$ ERROR ESTANDAR) DEL MOSAICO VEGETATIVO EN CUATRO TIPOS DE VEGETACIÓN EN TERRITORIOS DE HALCÓN APLOMADO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.....	30
2 MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$ ERROR ESTANDAR) DEL MOSAICO VEGETATIVO EN CUATRO TIPOS DE VEGETACIÓN EN LOS SITIOS DE NIDACIÓN Y PERCHA DEL HALCÓN APLOMADO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.....	35
3 MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$ ERROR ESTANDAR) DE COBERTURA PARA EL TIPO VEGETATIVO BAJÍO, EXPRESADO EN HAS, EN DOS LOCALIDADES EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.....	38
4 MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$ ERROR ESTANDAR) DE VARIABLES DE HÁBITAT DERIVADAS DE LAS CLASIFICACIONES SATELITALES Y ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN A NIVEL PAISAJE DE TERRITORIOS DE HALCÓN APLOMADO EN LAS LOCALIDADES DE TINAJA VERDE Y EL SUECO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.....	43
5 MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$ ERROR ESTANDAR) DE VARIABLES DE HÁBITAT DERIVADAS DE LAS CLASIFICACIONES SATELITALES Y ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN A NIVEL PAISAJE ENTRE SITIOS DE NIDACIÓN Y PERCHA DEL HALCÓN APLOMADO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Pareja de halcones aplomados ( <i>Falco femoralis septentrionalis</i> ) perchados en una palmilla ( <i>Yucca elata</i> ).....	4
2	Ubicación de las dos localidades de estudio sobre la fragmentación del hábitat del halcón aplomado en Chihuahua, México.....	17
3	Modelo digital de elevaciones para la localidad de El Sueco en el estado de Chihuahua, México.....	18
4	Modelo digital de elevaciones para la localidad de Tinaja Verde en el estado de Chihuahua, México.....	19
5	Diagrama de flujo de la manipulación de las imágenes de satélite para aplicar el análisis de fragmentación de hábitat del halcón aplomado.....	23
6	Tipos vegetativos y localización de nidos y perchas de halcón aplomado en la localidad El Sueco, en el municipio de Villa Ahumada, en Chihuahua, México....	28
7	Tipos vegetativos y localización de nidos y perchas de halcón aplomado en la localidad de Tinaja Verde, en el municipio de Coyame, en Chihuahua, México.....	29
8	Aspecto de los tipos vegetativos pastizal natural (al frente) y sabana (al fondo) en la localidad de El Sueco, municipio de Villa Ahumada, en Chihuahua, México.....	31
9	Aspecto del pastizal-matorral en la localidad Tinaja Verde, municipio de Coyame, en Chihuahua, México..	32
10	Aspecto del matorral en la localidad Tinaja Verde, municipio de Coyame, en Chihuahua, México.....	34
11	Aspecto del bajío en la localidad de Tinaja Verde en el municipio de Coyame, Chihuahua.....	37

## INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial actualmente se presenta un deterioro de los ecosistemas que puede variar desde ligero a extremo. Diversos autores coinciden que en el estado de Chihuahua alrededor del 80% de la superficie del estado presenta algún grado de deterioro, mismo que se caracteriza por amplias áreas de suelo desnudo, movimiento del suelo, erosión y disminución de especies de flora y fauna entre otros, lo que se refleja en la pérdida de la funcionalidad de los ecosistemas.

Un aspecto que esta tomando importancia en investigación es el tratar de cuantificar la reducción de especies o de la población de una especie indicadora. Este es el caso del halcón aplomado norteño que se distribuye en el S de los Estados Unidos de Norteamérica y México. Esta especie tiene una categoría de estatus en ambos países y por lo mismo se encuentra bajo protección de sus leyes, razón por la cual ha recibido interés especial por ambos países para desarrollar proyectos de investigación, destinando para ello recursos económicos, personal, tiempo e información.

Al realizar estos estudios de fauna silvestre, las nuevas tecnologías como los sistemas de información geográfica juegan un papel importante debido a que con el desarrollo de estas herramientas ofrece una mayor oportunidad para obtener mejores resultados y conocimientos de diferentes especies animales, lo que normalmente recibe mayor énfasis con aquellas especies que presentan un mayor interés ya sea económico o bien porque se encuentran bajo alguna categoría de amenaza o en peligro de extinción. De igual manera, la creación y

mejoramiento de programas de computo y técnicas sofisticadas los investigadores tienen un nuevo apoyo para el estudio de los recursos naturales.

En este sentido el uso de imágenes de satélite y sistemas de información geográfica constituyen herramientas útiles para identificar y localizar sitios que requieran preservación de hábitat, protección y favorezcan la reintroducción de especies cinegéticas, raras, amenazadas y/o en peligro de extinción. Desde 1995 se iniciaron estudios sobre el halcón aplomado en dos localidades del estado de Chihuahua incluyendo aspectos de ámbitos hogareños, características del hábitat, selección y/o disponibilidad de presas, éxito reproductivo, nidación y su distribución dentro del estado. Esto dio oportunidad a estudios para determinar las características de fragmentación de las áreas donde esta especie se distribuye por lo que se estableció el presente trabajo enfocándose al análisis del hábitat en sitios de nidación y percha del halcón aplomado en las dos localidades, y determinar si la fragmentación del hábitat pudiera tener un efecto adverso en su reproducción.

Considerando lo anterior se plantearon los objetivos del presente trabajo mismos que fueron:

1. Obtener y cuantificar las coberturas de los diferentes tipos de vegetación en los sitios de nidación y percha del halcón aplomado y compararlas entre dichos sitios y entre dos diferentes localidades.
2. Determinar el grado de la fragmentación en las localidades y sitios mencionados anteriormente.
3. Analizar la yuxtaposición e interspersión presentada por la estructura de los parches de vegetación del hábitat utilizado por el halcón aplomado.

## REVISION DE LITERATURA

El halcón aplomado (*Falco femoralis septentrionalis* Todd) pertenece al orden de los falconiformes y a la familia *Falcónidae*. Se reconocen tres subespecies: *F. f. septentrionalis*, *F. f. femoralis* y *F. f. pichinchae*. La subespecie *F. f. septentrionalis* se distribuía históricamente desde el SE de Arizona, al Centro de Nuevo México, al O y S de Texas, hasta llegar a Guatemala. La subespecie *femoralis* ocupa territorios desde Costa Rica al E de los Andes y al Centro de Tierra de Fuego en América del Sur. La subespecie *pichinchae* se localiza al O de Sudamérica (Blake, 1977; Hector, 1988). En México se ha reportado en los estados de Campeche, Chihuahua, Oaxaca, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz (Keddy-Hector 2000) y Chiapas (Howell y Webb, 1995).

### **Biología del Halcón Aplomado**

El halcón aplomado (Figura 1) es casi del tamaño del halcón de cooper (*Accipiter cooperii*), en su parte superior su coloración tiende a un gris azulado, la cabeza esta marcada con una barra facial negra y blanco, mientras su parte inferior es tricolor con el pecho blanco separado por una banda color canela, la cola esta bandeadada de colores blanco y negro. Los sexos son parecidos en apariencia, pero las hembras pesan al menos 45% más que los machos (Hector, 1988). En el estado de Chihuahua, el peso de las hembras varia entre 380 a 458 g, mientras que para los machos los pesos van desde los 260 hasta 334 g (Montoya, 1995). Los juveniles son más cafés que los adultos, reemplazando el color blanco de la cabeza y el pecho por un color canela y además con líneas negras (Keddy-Hector, 2000).



Figura 1. Pareja de halcones aplomados (*Falco femoralis septentrionalis*) perchados en una palmilla (*Yucca elata*). J. Gallardo.

**Reproducción.** En el E de México, la ovoposición se presenta de mediados de febrero a últimos de mayo. La mayoría de las hembras ponen los huevos desde la mitad del mes de marzo a mediados de abril; tienen la crianza aproximadamente a mediados de abril al 30 de junio, pero algunos pollos empiezan a volar hasta agosto (Keddy-Hector 2000). Sin embargo, para el estado de Chihuahua se ha detectado que la incubación temprana empieza desde el 7 de febrero y la tardía hasta el 12 de mayo (Macias, 2002). El número promedio de huevos por nido en dos localidades de Chihuahua es de 2.53 para el Sueco y 3.06 para Tinaja Verde, donde se ubicó un nido con 4 huevos (Macias, 2002), mientras que Montoya *et al.* (1997) reportaron una media de 2.6 huevos por nido.

**Dieta.** Uno de los primeros reportes (Ligon, 1961) señala que en lo referente a la alimentación consiste básicamente de pequeños reptiles, lagartijas, ratones y chapulines, comiendo rara vez pequeñas aves. Sin embargo, en la parte Norcentral de Chile se encontró que la mayoría de la dieta esta representada por aves e insectos con el 55.5% y 42.5%, respectivamente, del total de las presas por número. Esto representa una biomasa del 96.7% para las aves y sólo el 1.7% para los insectos (Jiménez, 1993). Estos valores coinciden con los reportes de Hector (1985) y Montoya *et al.* (1997) en sus trabajos para Veracruz, Tabasco y Chihuahua. Las presas potenciales para el halcón aplomado son principalmente la alondra cornuda (*Eremophila alpestris*), Arnoldo ventinegro (*Calcarius ornatus*), codorniz escamosa (*Callipepla squamata*), gorrión de brewer (*Spizella breweri*), alondra (*Sturnella spp.*) y el gorrión garganta negra (*Amphispiza bilineata*) (Macias, 2002).

**Hábitat del halcón aplomado.** Una de las definiciones más sencillas de hábitat es: “el terreno o tipo de lugar en donde vive un organismo o una población de organismos” (Miller, 1994), pudiendo ser una combinación de características bióticas y abióticas que representan y clasifican satisfactoriamente las condiciones generales existentes en un área para una especie determinada (Danielson, 1991). Para el halcón aplomado el hábitat comprende una amplia gama de opciones desde sabanas bajas neotropicales hasta praderas costeras y pastizales. El rango de elevaciones donde la especie se distribuye va desde el nivel del mar a poco menos de los 4000 m (Keddy-Hector, 2000). Anteriormente en el SO de Estados Unidos, el hábitat del aplomado se caracterizaba por planicies áridas de pastizal con mezquites, yucas y cactus esparcidos. La estructura de su hábitat o su fisonomía es de asociaciones semiabiertas, conteniendo vegetación leñosa esparcida y con relativamente poca cobertura terrestre (Hector, 1981). En el estado de Chihuahua el hábitat de esta especie se presenta en forma de comunidades de pastizal y yuca (Montoya, 1995).

**Ámbito hogareño.** El ámbito hogareño es definido como el área que los animales utilizan (Ostro *et al.*, 1999). También se considera como un parche o una porción del mismo requerida por un individuo para sobrevivir y producir crías (Danielson, 1991). Generalmente el ámbito hogareño es descrito en términos de áreas delineadas o distribuciones de utilización de los animales que son estimadas por telemetría, sin embargo las ubicaciones de los animales se derivan del procedimiento o técnica de muestreo, por lo que los descriptores del ámbito hogareño, pudieran no relevar detalles importantes sobre los patrones de movimientos (Andreassen *et al.*, 1993; citados por Ims, 1995).

En lo referente al ámbito hogareño o doméstico del halcón aplomado es muy variable. Cuando no esta anidando es más difícil de localizar, por lo que tiene un ámbito mayor que los que anidan, debido a que no se limitan en sus movimientos en la búsqueda de alimentos (Hector, 1981). Por lo anterior existe una gran variabilidad en cuanto a la estimación del los ámbitos hogareños (Ostro *et al.*, 1999) los cuales van desde áreas grandes 35.7 km<sup>2</sup> y 281.2 km<sup>2</sup> (Pérez, 1995) hasta áreas relativamente pequeñas que fluctúan entre los 0.40 km<sup>2</sup> y 21.43 km<sup>2</sup> (Montoya, 1995).

### **Estatus**

Numerosos autores y estadísticos muestran el deterioro ambiental que existe en todos los rincones del planeta; se dice que no existe un área que no presente algún grado de deterioro (Vitousek *et al.*, 1997). Por lo que respecta a la pérdida de la biodiversidad, el halcón aplomado (*Falco femoralis septentrionalis*) es una especie que ha disminuido su población y es difícil de encontrar. Sin embargo, actualmente su población esta relativamente estable, pero disminuyendo gradualmente (Macias, 2002), por lo que se han establecido proyectos entre Estados Unidos y México sobre esta especie. Una evidencia de esto es su inclusión en la publicación de la NOM-059-ECOL (Diario Oficial de la Federación, 2002), en la cual esta especie se considera en peligro de extinción, mientras en los EU ya se había declarado como tal (Shull, 1986). La especie empezó a decrecer en los Estados Unidos antes de 1900 y dejó de anidar en Arizona desde 1880, mientras que el último nido tejano se encontró en 1941, de esta manera su número declinó dramáticamente en los años cuarentas y el último nido reportado fue en el estado de Nuevo México en 1952 (Weidensaul,

2000), a inicios de los años ochenta se consideró que las poblaciones estaban disminuyendo probablemente debido a que existían problemas de contaminación por agroquímicos en el norte de México (Piñón, 1996). Por otra parte algunos autores (Humprey, 1958; Hastings y Turner, 1964 y Harris, 1966; y citados por Héctor, 1981) sugieren que dicho descenso de la especie pudo deberse a proliferación de arbustivas, sobrecolección de huevos y especímenes, reducción en la habilidad de nidación, decrecimiento de especies constructoras de nidos, conversión de praderas en áreas agrícolas y factores meteorológicos como descenso en la precipitación anual junto con el aumento promedio de temperatura. Sin embargo, Montoya (1995) menciona que las razones para el decrecimiento de la población son desconocidas.

Esta especie se empezó a reproducir en los Estados Unidos con huevos tomados de México entre 1977 y 1988, formando un núcleo de crías en cautiverio, y las liberaciones empezaron en el S de Texas a mediados de los ochentas. Después de una interrupción, la reintroducción empezó de nuevo a principios de los años noventas en el refugio nacional de fauna silvestre Laguna Atascosa (Weidensaul, 2000). Lo anterior ya está dando frutos, ya que en 1995 en Brownsville, Texas después de más de 40 años se reportó un nido de aplomados en una torre eléctrica (Curti, 2002).

### **Estudios de Halcón Aplomado en México**

Uno de los principales estudios sobre el halcón aplomado norteño fue el realizado por Hector (1981) quien debido a los esporádicos avistamientos del ave en los EU decidió ubicar las poblaciones viables más cercanas dentro de los estados mexicanos de Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche. Estudió el

hábitat, dieta y etología de caza, con el objetivo de producir una descripción cuantitativa de la estructura de las áreas de nidación del halcón, así como también analizar la flora y la fauna de las comunidades asociadas a estas áreas.

Montoya (1995) descubrió una población de aplomados muy cercana a la frontera con los EU en el estado de Chihuahua y realizó estudios similares a los anteriores, agregando el análisis del ámbito territorial, mediante el uso de telemetría, además del éxito reproductivo. Debido a la importancia de la población encontrada desde entonces, el Fondo Peregrino ha estado monitoreando las actividades de crianza en cooperación con la Universidad Autónoma de Chihuahua y otros (Montoya y Jenny, 2002).

Piñón (1996) realizó el primero de los estudios derivados de los sitios encontrados por Montoya en el estado de Chihuahua (en los municipios de Coyame y de Villa Ahumada) donde llevó a cabo un trabajo con la finalidad de determinar el éxito reproductivo y caracterizar el hábitat. Montes (1999; 2003) caracterizó el comportamiento de nidación, debido a que se encontró un alto porcentaje de perdidas en las etapas de incubación y crianza (Montoya, 1995; Piñón, 1996). Uno de sus objetivos principales fue determinar las causas de mortandad del halcón aplomado en dichas etapas, encontrando que el problema se derivaba principalmente en la etapa de eclosión. Entre las causas de mortandad que se reportó en este trabajo se encontraban los disturbios ocasionados por el ganado y el hombre además del ataque directo al nido por otras rapaces. También se ubicó una hembra ahogada en una pila de abrevadero, por lo que se perdió el nido de esa área. En lo relacionado a las

aves presa se determinó la presencia, abundancia y preferencias de hábitat dentro de territorios permanentes de halcón aplomado, encontrando que Tinaja Verde soporta un menor número de posibles aves de presa que el Sueco, además categorizó los diferentes tipos de hábitat (Méndez, 2000). Otro trabajo realizado en el estado de Chihuahua fue para predecir áreas de hábitat idóneo para halcones aplomados en tierras públicas del Sur de Nuevo México, E.U.A. (Young *et al.*, 2000), tratando de obtener la mayor información posible derivada de las poblaciones existentes en Chihuahua, con la finalidad de utilizar esa información y con la ayuda de sensores remotos encontrar áreas de características parecidas en el S de Nuevo México. Hodgson (2001) realizó una caracterización de los componentes vegetativos y describió el manejo del pastizal en los territorios conocidos y hábitats disponibles en una franja comprendida 100 millas al Sur de la frontera de los Estados Unidos con Chihuahua. Zamarrón (2002) determinó la distribución y población del halcón aplomado en el área desértica del estado de Chihuahua. Macias (2002), dando continuidad al estudio de Piñón (1996), monitoreó el éxito reproductivo en dichos sitios desde 1998, así como también efectuó estudios sobre aves de pastizal, caracterizando su vegetación herbácea y arbustiva.

### **Ecología del Paisaje**

La aparición de este concepto a la vanguardia de la ecología es prueba del creciente interés de que los procesos ecológicos afectan y son afectados por las interacciones dinámicas entre los ecosistemas (McGarigal y Marks, 1995). Forman y Godron (1986) mencionan que la ecología del paisaje se enfoca en tres características: estructura (las relaciones espaciales entre los

ecosistemas o elementos tales como, la distribución de energía, materiales y especies en cuanto a las formas, tamaños número), función (las interacciones entre los elementos espaciales) y el cambio (la alteración de la estructura a través del tiempo). Así, la ecología del paisaje es el estudio de los patrones del paisaje, de sus interacciones y como estos cambian a través del tiempo.

**Concepto de paisaje.** Desde una perspectiva de fauna silvestre el paisaje puede ser definido como un área o territorio conteniendo un mosaico de parches de hábitat, dentro de los cuales un parche del hábitat objetivo se encuentra incrustado (Dunning *et al.*, 1992). En respecto al tamaño del paisaje Danielson (1991) propone al paisaje como una gran área incluyendo más de un tipo de hábitat, distribuido en numerosos parches, mientras Forman (1995) menciona que el tipo de uso de la tierra y una mezcla de los ecosistemas locales se repiten sobre su superficie formando el paisaje. Sin embargo, los paisajes generalmente ocupan alguna escala espacial intermedia entre el ámbito hogareño normal del organismo en cuestión y su distribución regional por lo cual no existe un tamaño absoluto para el paisaje (McGarigal y Marks, 1995). Debido a que los paisajes están compuestos de un mosaico de parches, se han utilizado varios términos para referirse a los elementos básicos o unidades que forman un paisaje, incluyendo ecotipo, biotipo, componente del paisaje, elemento del paisaje, unidad de paisaje, hábitat y sitio (Forman y Godron, 1986). McGarigal y Marks (1995) mencionan el término “parche” como sinónimo de todos los anteriores, mientras que Forman (1995) lo define como la estructura vegetativa del paisaje que sostiene poblaciones viables de la mayoría de las especies internas, además provee un núcleo de hábitat y cubierta de

escape para la mayoría de los vertebrados.

**Fragmentación.** Es la interrupción en la continuidad de un hábitat, se considera una causa mayor en la disminución de algunas especies de aves ya que reduce el éxito reproductivo (Robinson *et al.*, 1995). Una de las causas de la fragmentación es derivada de los cambios en los usos del suelo (Rescia *et al.*, 1994) además la fragmentación reduce la diversidad, incrementa el número de especies "contorno" y reduce el número de especies interiores de los parches por lo que áreas grandes pueden soportar más individuos y especies en promedio que los parches pequeños. Esto debido a que poseen un conjunto de microhabitats, incluyendo más fuentes de comida, sitios de nidación y refugio de los depredadores y competidores (McIntyre, 1995).

**Contagio y dispersión.** El contagio es un índice que se aplica a nivel paisaje, el cual mide el grado de agrupación en parches de las mismas clases, y usualmente implica a los píxeles (elemento o célula de una imagen) teniendo las mismas clases de atributos tienden a ser adyacentes (Riitters *et al.*, 1996). Mide también la interspersión (las ligaduras internas de las unidades de diferentes tipos de parches) así como la dispersión (la distribución espacial de un tipo de parche), por lo que altos valores de contagio pueden resultar de paisajes con pocos parches, largos y contiguos, mientras que valores bajos, generalmente caracterizan paisajes con muchos parches de tamaño pequeño (McGarigal y Marks, 1995).

**Yuxtaposición e interspersión.** Se refieren a la distribución física o espacial de los parches dentro del paisaje o su configuración, por lo que la obtención de índices de yuxtaposición se basa en adyacencias de parches, y no de píxeles

(como es el caso del contagio). Así, los altos valores de yuxtaposición resultaran de paisajes en los cuales sus tipos de parches estén muy dispersos, mientras que valores bajos resultaran de paisajes con una baja dispersión de sus diferentes tipos de parches (McGarigal y Marks, 1995).

**Efecto borde.** Muchos animales viven en hábitats de parches aislados rodeados por áreas menos adecuadas donde la especie es rara o ausente. Debido a que las actividades humanas han incrementado la fragmentación de hábitats naturales, es vital un entendimiento de la ecología de tales parches aislados (Stamps *et al.* 1987). Aunque siempre habrá bordes entre los parches de un paisaje, pueden estar asociados con una gran diversidad de plantas y animales, tradicionalmente a esto se le conoce como efecto de borde (Odum, 1971), por lo que los bordos o “ecotonos” entre los tipos de hábitat parecen ser áreas de una mayor productividad (Cody, 1985). Aquí la interacción depredador-presa puede estar relacionada a los bordos, sin embargo dependerá del uso específico del hábitat y densidad de los depredadores, así como también de la configuración del paisaje, y es aquí en el bordo donde los depredadores pasan más tiempo que en otras partes de los parches de hábitat (Andren, 1995).

### **Sensores Remotos en Ecología del Paisaje**

El término sensor remoto fue introducido en los Estados Unidos a fines de 1952 y definido más tarde por Parke y Wolf (1965) como la colecta de información de un objeto sin estar en contacto directo con el mismo. Roughgarden *et al.* (1991) definen sensor remoto como el registro de la radiación electromagnética emitida, reflejada y dispersa sobre la superficie de la

tierra, a través de instrumentos colocados a una distancia definida con respecto al sitio de interés. Chuvieco (1990) menciona la forma en que se colecta la energía reflejada por los diferentes tipos de cubierta y que los sensores se clasifican en pasivos, cuando reciben la energía de un foco exterior a ellos (reflectancia) y activos cuando son capaces de emitir su propio haz de energía. Wilkinson (1991) menciona que la mayoría de los satélites que captan las radiaciones del espectro invisible e infrarrojo se encuentran dentro de los de primer tipo. En base a lo anterior, Yool *et al.* (1997) utilizando las propiedades espectrales de la vegetación por medio de imagen de satélite analizaron el cambio de la vegetación de una cuenca de Nuevo México.

Palmeirim (1988) menciona que al utilizar una clasificación del hábitat generada por las imágenes de satélite se pueden generar dos nuevas fuentes de error. La primera es el error de localización que surge debido a las dificultades de encontrar con precisión los puntos de control terrestre en la imagen utilizada. Si uno de estos puntos es incorrectamente localizado, se puede asignar a un tipo de hábitat erróneo dentro del proceso de clasificación de la imagen. La segunda es el error que ocurre cuando en un mapa de observación es asignado a un tipo de hábitat erróneo dentro del proceso de clasificación de la imagen.

Pinedo (1998) en su estudio al corregir geométricamente la imagen de su área de interés obtuvo un error cuadrático medio de 0.69 píxel, lo que supuso un valor estimado de 21 m, considerándolo aceptable. Con relación a lo anterior Chuvieco (1990) estableció que el error es usualmente de  $\pm 1$  píxel y este depende del número óptimo de puntos de control que a su vez depende del

tamaño y la complejidad geométrica de la imagen. Si las deformaciones que presenta son importantes, convienen aplicar funciones de transformación complejas, con polinomios de segundo y tercer grado. Cuanto mayor sea el grado de la ecuación de ajuste, también será mayor el número de puntos de control requeridos.

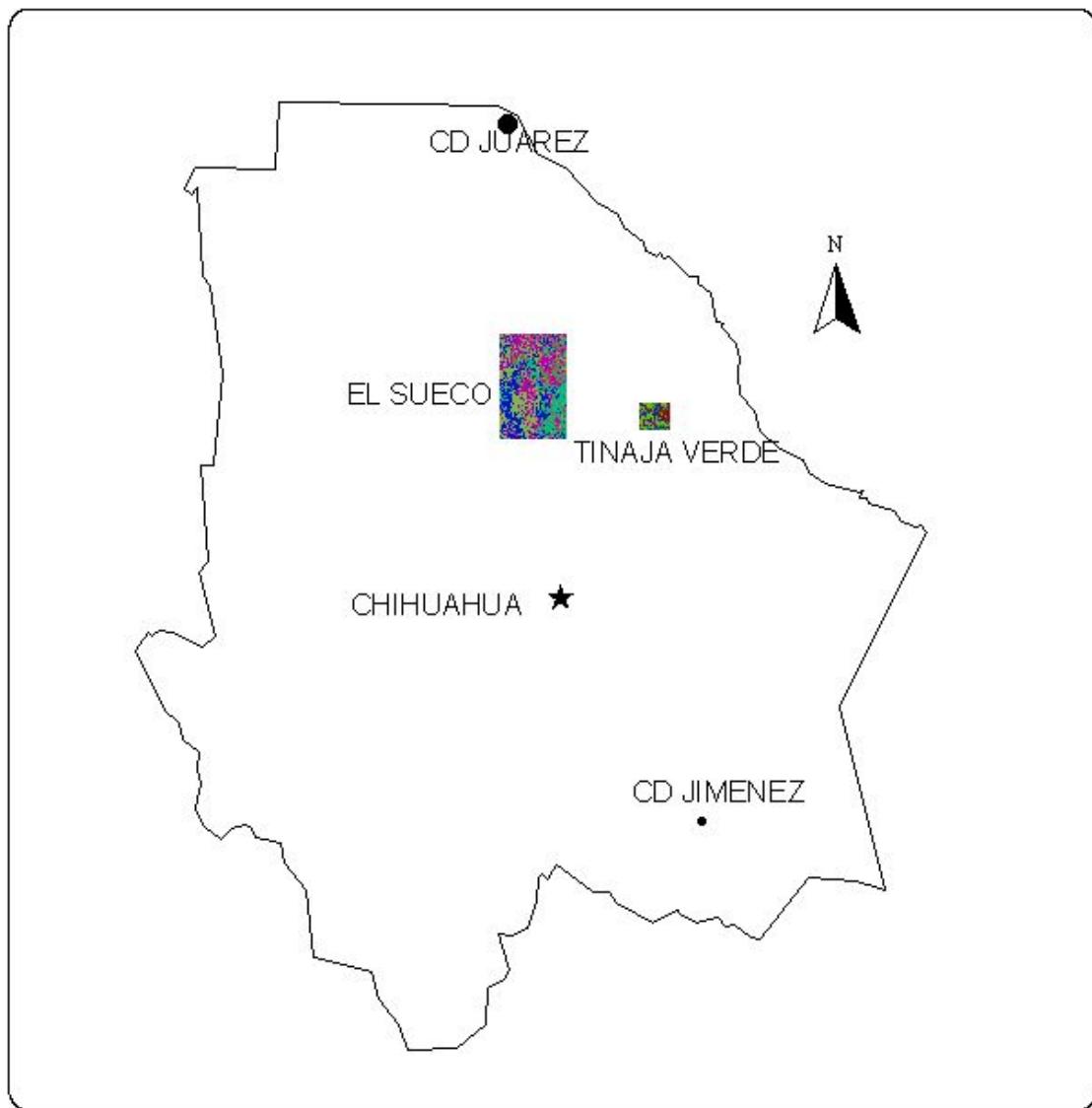
Muchos investigadores se enfrentan con la necesidad de evaluar el cambio de hábitat a través del paisaje y están reconociendo que la imagen de satélite es una poderosa herramienta que se puede utilizar. Glennon y Porter (1999) utilizaron imágenes de satélite para evaluar el impacto del paisaje sobre la población y distribución del guajolote silvestre (*Meleagris gallopavo*). Otro estudio es el realizado por Naugle *et al.* (2000) donde se estudiaron los factores que influyen en la selección de hábitat por la golondrina negra (*Chlidonias niger*). Ellos utilizaron un modelo en un sistema de información geográfica para clasificar el hábitat idóneo de todos los humedales semipermanentes de Dakota del Sur. Hodgson *et al.* (1988) utilizaron imágenes de satélite para analizar el hábitat de la cigüeña de bosque (*Mycteria americana*). Palmeirim (1988) recurrió a la imagen de satélite para realizar el mapeo de especies de aves, y a la vez lo combino con datos de densidad para estimar la población total de las aves en el área de estudio. Pinedo (1998) estudio el hábitat de la cotorra serrana (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) en la Sierra Madre Occidental de Chihuahua, donde por medio de la imagen del satélite Landsat5 con su sensor TM, desarrolló modelos de hábitat en áreas de nidación. En este estudio también se estimó los recursos forestales de la zona de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

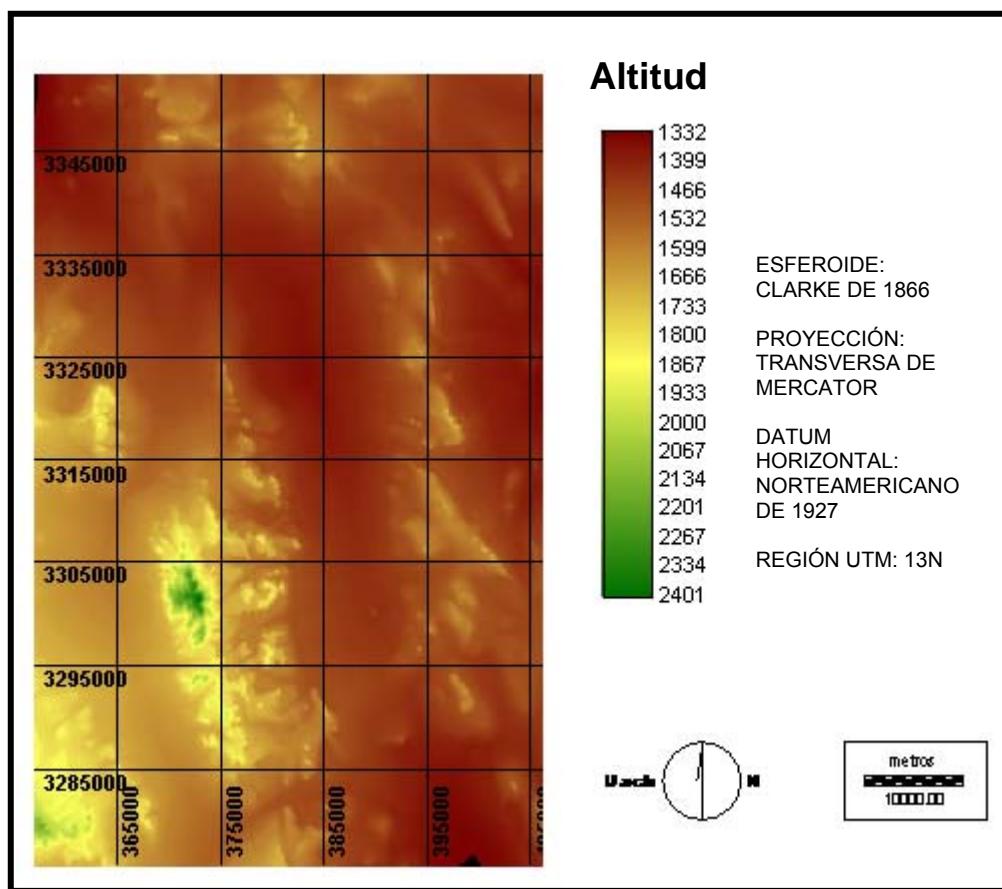
### Descripción del Área de Estudio

El trabajo se llevó a cabo en dos localidades en la parte central norte del estado de Chihuahua, México (Figura 2) debido a que es donde se encuentran la mayoría de los nidos detectados en estudios previamente realizados. Dichos lugares se encuentran ubicados por una parte dentro de ranchos ganaderos en el municipio de Coyame a 50 km al Noroeste de la cabecera municipal, y por otra en los ranchos alrededor de la Estación El Sueco en los municipios de Villa Ahumada y Chihuahua. En dichos ranchos, la actividad principal es la ganadería extensiva, sin embargo en el área de El Sueco existen ranchos que también son agrícolas y cuentan con sistemas de riego de pivote central, produciendo alfalfa y avena para comercializar y para su autoconsumo.

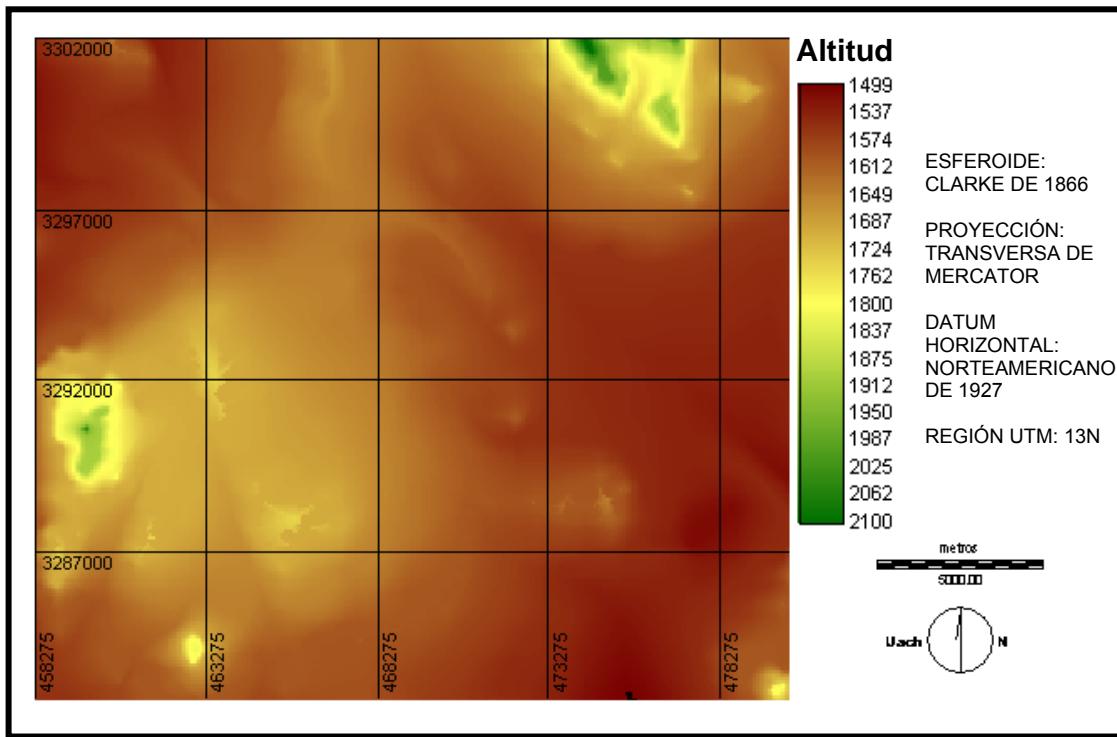
La topografía de las áreas de estudio es de planicies de considerable extensión, en partes con ondulaciones, lomeríos bajos de aspecto suave y redondeado. La altitud va desde los 1332 hasta 1668 msnm para El Sueco, aunque existen serranías con elevaciones máximas de 2400 m (figura 3); mientras que para Tinaja Verde las altitudes varían desde los 1499 m hasta los 1700 m encontrándose también serranías que llegan a los 2100 m (figura 4). El suelo es de origen aluvial y en menor proporción se encuentra de origen "in situ" y coluvial, con profundidad media dominante de 25 a 50 cm, pero existen áreas de suelo profundo; en menor proporción se encuentran suelos someros de 0 a 25 cm de profundidad (COTECOCA, 1978). Los climas presentes en las localidades son templado semiárido (BS<sub>o</sub>k) y templado árido (BWk) (CONABIO, 1997a; CONABIO, 1997b). La temperatura media anual en ambas localidades



**Figura 2.** Ubicación de las dos localidades de estudio sobre la fragmentación del hábitat del halcón aplomado en Chihuahua, México.



**Figura 3.** Modelo digital de elevaciones para la localidad de El Sueco en el estado de Chihuahua, México.



**Figura 4.** Modelo digital de elevaciones para la localidad de Tinaja Verde en el estado de Chihuahua, México.

varia entre los 18 y 22°C (CONABIO, 1997c; CONABIO, 1997d). La precipitación media anual para la localidad de Tinaja Verde varía de los 300 a 400 mm, mientras que para El Sueco está en el rango de 200 y 300 mm (CONABIO, 1997e; CONABIO, 1997f). La época seca es de 7 a 9 meses y el periodo libre de heladas es de 200 a 250 días para ámbas áreas (COTECOCA, 1978).

Para caracterizar la vegetación se utilizó parte de la clasificación de las comunidades vegetales propuesta por Méndez (2000) quien menciona que están constituidas por: matorral, bajío, pastizal natural o mediano abierto y sabana. El matorral está representado plantas leñosas con una altura menor de 1.5 m, estando el hojasen (*Flourenzia cernua*), gobernadora (*Larrea tridentata*), popotillo (*Ephedra trifurca*), gatuño (*Mimosa biuncifera*), palo amarillo (*Berberis trifoliata*) y mezquites (*Prosopis spp*) entre otras. El bajío es caracterizado por los escurrimientos naturales del agua, presentando pastizales dominados por zacate toboso (*Hilaria mutica*) y pastos del género *Bouteloua*, también se encuentra en las zonas susceptibles de anegamiento el zacatón alcalino (*Sporobolus airoides*). El pastizal mediano abierto cuenta con áreas en condiciones buenas, poco suelo desnudo y posibilidades de presencia de plantas leñosas en densidades bajas; los pastos de los géneros *Bouteloua*, *Chloris*, *Muhlenbergia* y *Aristida* son comunes en estos sitios. La sabana presenta una densidad de moderada a alta de arbustos y/o árboles que varían de una altura desde menos de un metro hasta más de tres; las especies que definen este tipo de hábitat son: mezquite (*Prosopis glandulosa*), gatuño (*Mimosa biuncifera*), popotillo (*Ephedra trifurca*), huizache (*Acacia spp*),

tecomblate (*Condalia ericoides*), junco (*Koeberlinia spinosa*), chaparros (*Ziziphus obtusiflora*), además de palmillas (*Yucca spp*). A lo anterior Zamarrón (2002) añade el pastizal asociado con matorral. Este es una comunidad de pastizal natural con densidades de menor cantidad de arbustivas, debido a intensos disturbios tales como el fuego y sobre pastoreo.

### **Estructura y Tipo de Datos**

Para efectos de este estudio se define territorio de nidación como el área dentro del ámbito hogareño de una pareja de halcones y que ha sido ocupada para propósitos de nidación (Postupalsky, 1974) y al menos se detectó un huevo en el interior del nido. Mientras percha fue designado como aquel sitio donde se observaron postrados los halcones aplomados y no hubo evidencia de nidación. Dentro de la localidad de Tinaja Verde se ubicaron tres nidos y tres sitios de percha, mientras que en El Sueco se trabajó con 10 nidos y siete sitios de percha.

La información satelital utilizada en este estudio se obtuvo a partir de la imagen del satélite Landsat-TM5 3239 del año de 1999, de las bandas 3, 4 y 5; provistas por el Laboratorio de Sistemas de Información Espacial (LASIE) de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua y cartas topográficas del INEGI, de escala de 1:50000. Además se utilizaron datos provenientes del Modelos Digitales de Elevación (MDE).

### **Preparación de la Imagen de Satélite**

En el LASIE con el programa Idrisi 32 se procedió a desarrollar dos cortes de la escena que contenían las localidades de estudio. A estas se les aplicó la corrección geométrica (georreferencia), debido a que la imagen sufre

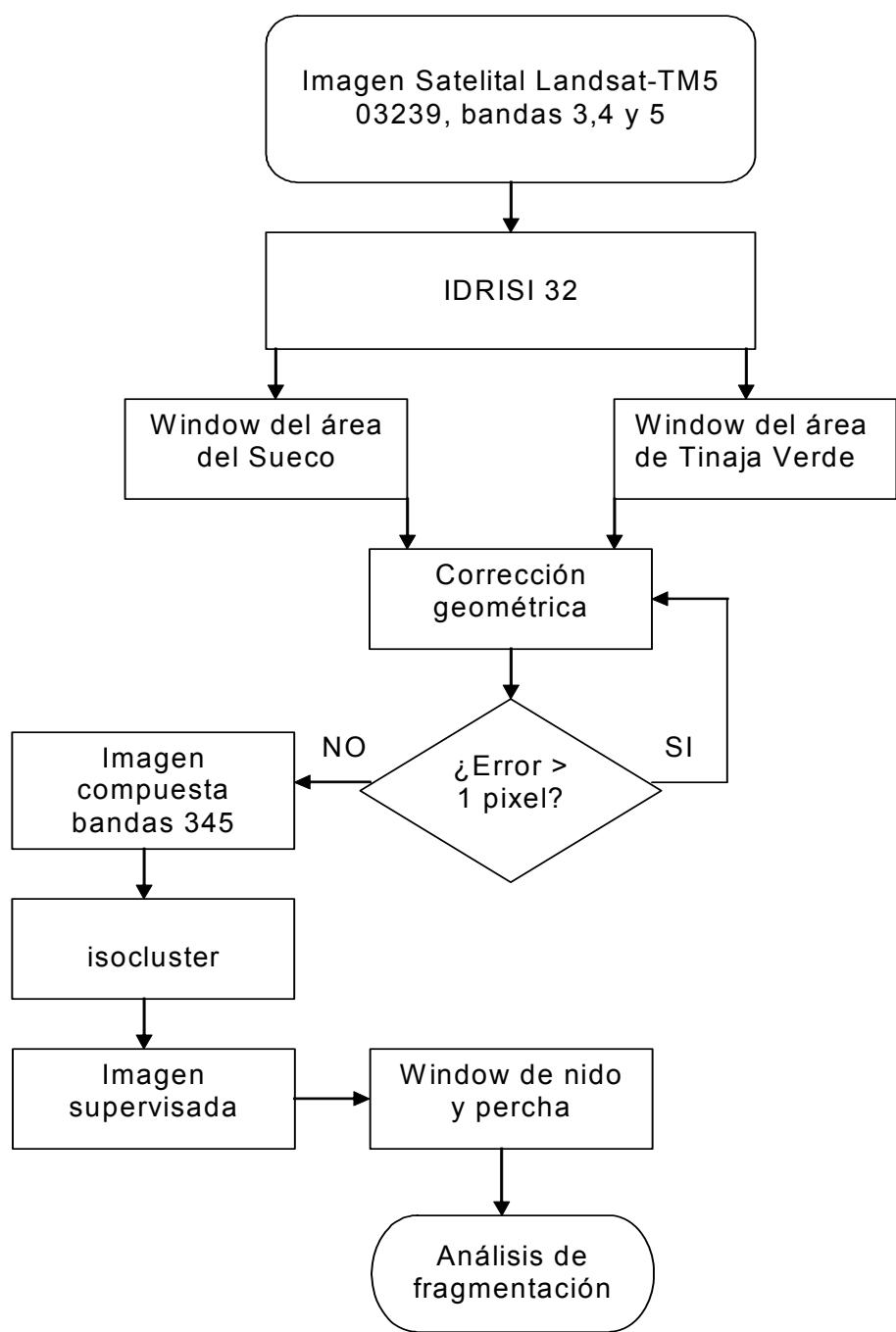
distorsiones (Wilkinson, 1991). Para llevar a cabo la corrección se ubicaron 25 puntos de control (PDC) por localidad. Estos PDC se cotejaron con las cartas topográficas del INEGI y las columnas y renglones de las subescenas, para documentar los archivos y transformar las coordenadas en la imagen de salida con un error menor a un píxel (Figura 5).

### **Mejoramiento de la Imagen**

Para ubicar los PDC se recurrió a aplicar mejoras a la imagen (realces) las cuales ayudaron en la visualización e interpretación de los datos por lo que mediante algunos comandos (Stretch lineal), las diferencias entre los valores de reflectancia se hicieron más notorias.

### **Clasificación de la Imagen y Extracción de la Información**

Después de aplicar los realces se procedió a elaborar una imagen compuesta en falso color de las bandas 3, 4 y 5, debido a que fue la composición más fácil de interpretar con un archivo de salida de 8 bit. Una vez generada la imagen, se realizó una clasificación no supervisada de las áreas con el modulo isocluster, y al analizar el histograma se optó por darle una salida de cinco clusters, ya que resultaron los más representativos. Después de obtener el isocluster se realizó una clasificación supervisada para catalogar la imagen en los diferentes tipos vegetativos, los cuales se verificaron en campo ubicando coordenadas con un aparato geoposicionador (GPS). Ya obtenidas las imágenes con un error aceptable (menor a 25 m para ambas localidades) se efectuaron los cortes de forma cuadrada de las diferentes áreas con el comando window. Primeramente se ubicaban espacialmente los sitios de nidación y percha obtenidos en el año de 1999. Después a las coordenadas se



**Figura 5.** Diagrama de flujo de la manipulación de las imágenes de satélite para aplicar el análisis de fragmentación de hábitat del halcón aplomado.

les sumaban 2314.6 m en dirección de los cuatro puntos cardinales para obtener los sitios con el área máxima reportada para la zona que es de 21.43 km<sup>2</sup> (Montoya, 1995) la cual fue denominada ambito hogareño. Al tener los diferentes cortes se procedió a la aplicación del análisis de fragmentación, por medio del programa computacional Fragstats 2.0. (McGarigal y Marks, 1995).

### **Variables a Medir**

Derivado del análisis de fragmentación, se midió la cobertura expresada en hectáreas representada por los diferentes tipos vegetativos: pastizal natural, sabana, pastizal-matorral, bajío y matorral. A nivel paisaje (la conjunción de todos los elementos dentro de cada sitio) se obtuvieron siete variables generadas por Fragstats 2.0 para explorar la dispersión espacial de los tipos de cobertura vegetativa. Las variables son: índice del porcentaje del tamaño de parche más grande (%PMG), es representado por el porcentaje de área contenida por el parche más grande. Su rango es  $0\% < \text{PMG} \leq 100\%$  cuando se aproxima a cero es que el parche es pequeño y cuando es igual a 100 es que el parche es grande. El número total de parches (NP) en cada corte (window) es otra variable y se expresa como el número total de parches en el paisaje, su rango es:  $\text{NP} \geq 1$ , sin límite. De lo anterior se deriva el tamaño promedio de parche (PP), su rango es:  $\text{PP} > 0$  y es expresado en hectáreas. La importancia de esta variable es que por si sola resulta la pieza más útil de la información obtenida en el paisaje, ya que la reducción progresiva en el tamaño de los fragmentos del hábitat es un componente clave en la fragmentación, es decir cuanto más pequeño sea al parche más fragmentación existirá. El bordo

total (BT) en metros, es una medida absoluta del total del contorno de todas las zonas de contacto de los diferentes tipos de parche; su rango es:  $BT \geq 0$  sin límite, siendo igual a cero cuando no tenemos bordo en el paisaje. El índice de forma de paisaje (IFP) se incluyó como una medida en la irregularidad de la forma, y esta basado en la relación perímetro-área, el cual tiene su rango:  $IFP \geq 1$ , sin límite. Cuando  $IFP = 1$ , el paisaje entero consiste de un solo parche cuadrado (en formato raster); el IFP se incrementa sin límite cuando la forma del paisaje es más irregular. El índice de contagio (C), esta basado en las adyacencias de los pixeles y no de los parches, por lo que el C mide la extensión en la cual los elementos del paisaje (tipos de parche) están agregados o dispersos. Su rango es  $0\% < C \leq 100\%$ , por lo que altos valores de C pueden resultar de paisajes con pocos parches, largos y contiguos; mientras valores bajos generalmente son caracterizados por paisajes con pequeños parches y dispersos. Por último el índice yuxtaposición (distribución espacial de los diferentes tipos de parche) e interspersión (la mezcla interna de las unidades de los diferentes tipos de parche) es representado por IYI y se expresa en porcentaje, que a diferencia del C evalúa las adyacencias de los parches con otros tipos de parche, pero únicamente considera los perímetros de los parches, por lo que los pixeles internos son ignorados. Así que altos valores de IYI son producto de paisajes en los que diferentes tipos de parches están muy mezclados, mientras que valores bajos caracterizan paisajes en los cuales los diferentes tipos de parche están poco mezclados; su rango  $0\% < IYI \leq 100\%$ , (Mcgarigal y Marks, 1995).

## **Análisis Estadístico de la Información**

Con la finalidad de detectar diferencias de las variables vegetativas entre las localidades de Tinaja Verde y El Sueco y los sitios de Nidación y Percha se realizó una comparación de medias utilizando el procedimiento de Tukey (Steel y Torrie, 1988). Para ello se realizó un análisis de varianza donde se ajustó un modelo estadístico de una vía, en el que se incluyó como efectos clasificatorios al área, sitios y la interacción área\*sitio, utilizando el procedimiento de GLM de SAS (SAS, 1992). Este análisis se hizo por separado para las variables vegetativas Pastizal Natural, Sabana, Pastizal Matorral, Bajío y Matorral. Los mismos procedimientos anteriores se llevaron a cabo para analizar las distintas variables del paisaje %PMG, NP, PP, BT, IFP, IYI y C.

El nivel de significancia establecido para todas las pruebas fue de ;= 0.05, pero considerando que la significancia estadística puede diferir de la biológica valores de P<.10 fueron considerados en algunos casos como biológicamente significativos (Macías, 2002), lo que además permite minimizar los errores de tipo II (Lehman *et al.*, 2000).

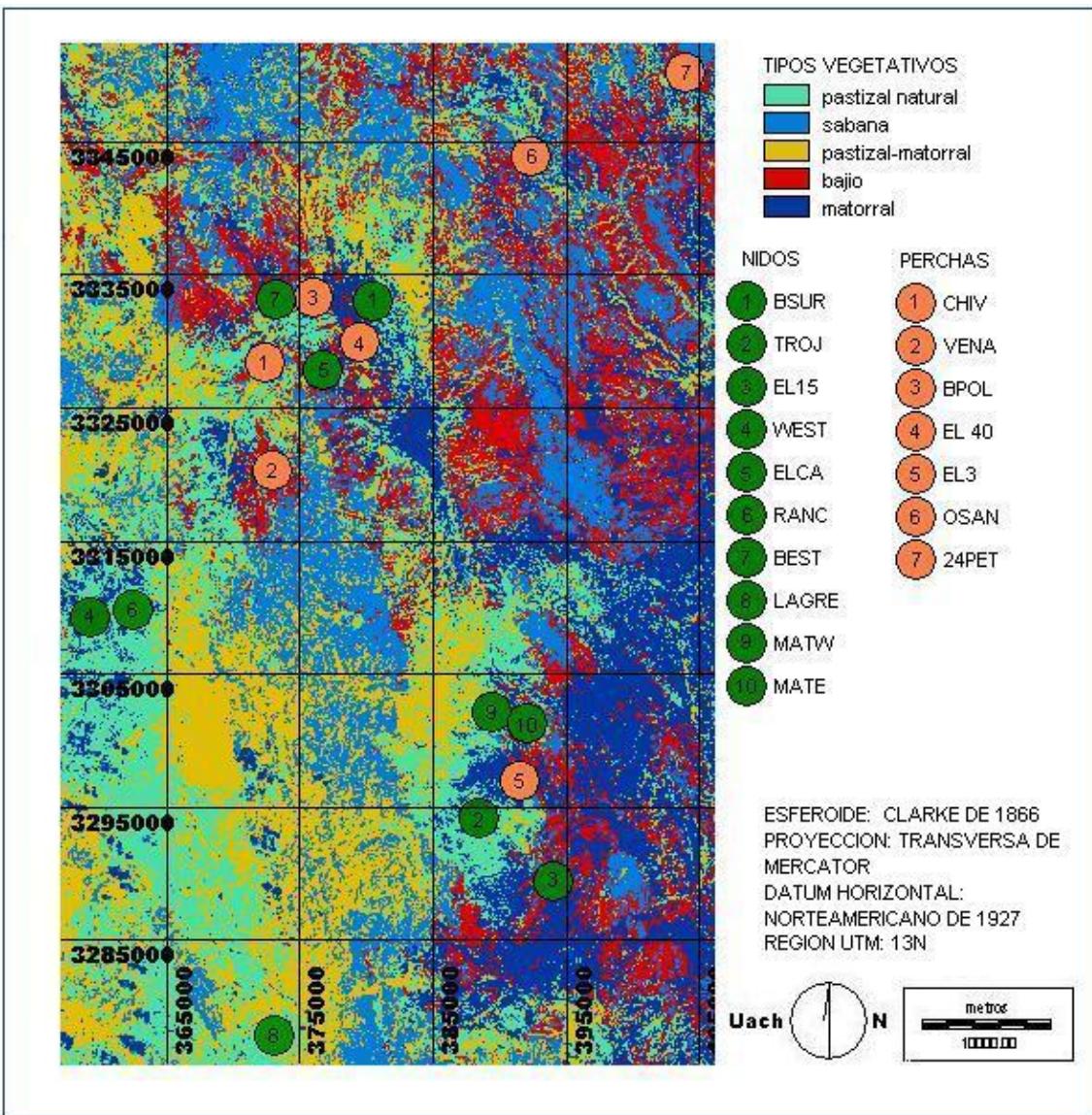
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se obtuvieron mapas de la utilización del suelo (Figuras 6 y 7) para ambas localidades con un error de .54 píxel para El Sueco y .56 píxel para Tinaja Verde. Esto significa un error de geoposicionamiento de 13.5 m y 14 m respectivamente, en lo referente al desplazamiento al Norte en ambas localidades fue menor a 20 m, lo mismo sucede con el desplazamiento al Este. Derivadas de los mapas de vegetación y uso del suelo en ambas áreas, se elaboraron cortes de los diferentes sitios de nidación y perchas.

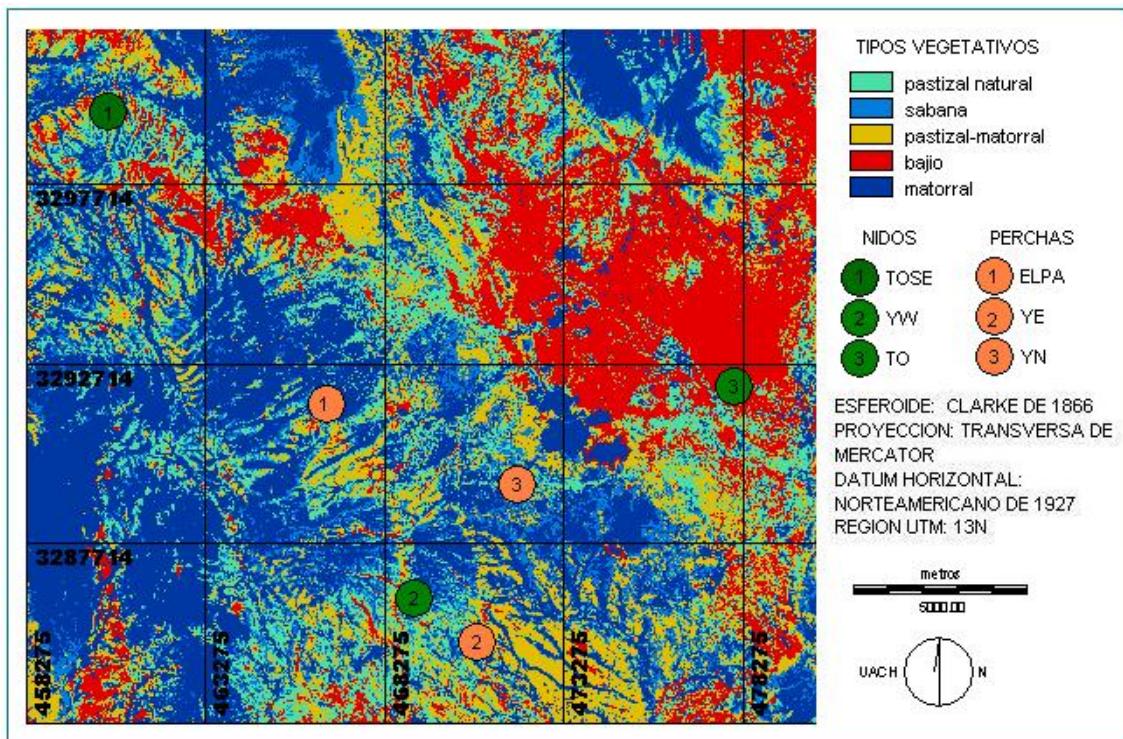
### **Utilización del Suelo y Vegetación**

Se identificaron 5 tipos vegetativos en ambas localidades, de los cuales se tomó la clasificación de Méndez (2000) y Zamarrón (2002): pastizal asociado con matorral, matorral, bajío, sabana y pastizal natural.

Con los datos del máximo ámbito hogareño reportado por Montoya (1995) para el área de estudio ( $21.43 \text{ km}^2$ ) se obtuvieron las superficies cubiertas por los cinco tipos vegetativos. En el Cuadro 1 se muestra la superficie cubierta por cada tipo de vegetación en ambas localidades a excepción del bajío. Para el pastizal natural El Sueco presentó una cobertura mayor en promedio que Tinaja Verde, 632.04 y 418.9 has respectivamente; no se detectaron diferencias ( $P>0.05$ ). En el tipo de vegetación de sabana (Figura 8) tampoco hubo diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre las localidades. La cobertura para Tinaja Verde fue de 264.9 has; en El Sueco fue de 199.17 has. En el pastizal-matorral (Figura 9) no hubo diferencia ( $P>0.05$ ) para las localidades, esto nos indica que sigue el mismo patrón, tanto en Tinaja Verde



**Figura 6.** Tipos vegetativos y localización de nidos y perchas de halcón aplomado en la localidad El Sueco, en el municipio de Villa Ahumada, en Chihuahua, México.



**Figura 7.** Tipos vegetativos y localización de nidos y perchas de halcón aplomado en la localidad de Tinaja Verde, en el municipio de Coyame, en Chihuahua, México.

CUADRO 1. MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$  ERROR ESTANDAR)<sup>1</sup> DEL MOSAICO VEGETATIVO EN CUATRO TIPOS DE VEGETACIÓN EN TERRITORIOS DE HALCÓN APLOMADO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.

---

Localidad	Cobertura (has)			
	PN	S	PM	M
ES	632.04 $\pm$ 77.36	199.17 $\pm$ 40.02	221.69 $\pm$ 46.46	727.63 $\pm$ 78.47
TV	418.90 $\pm$ 128.18	264.91 $\pm$ 66.32	396.85 $\pm$ 62.07	740.32 $\pm$ 130.02

ES = El Sueco; TV = Tinaja Verde; PN = Pastizal Natural, S = Sabana; PM = Pastizal-Matorral; M = Matorral.

<sup>1</sup> Todas las medias de cobertura en las localidades fueron iguales ( $P>0.05$ ).



**Figura 8.** Aspecto de los Tipos vegetativos pastizal natural (al frente) y sabana (al fondo) en la localidad de El Sueco, municipio de Villa Ahumada, en Chihuahua, México.



**Figura 9.** Aspecto del pastizal-matorral en la localidad Tinaja Verde, municipio de Coyame, en Chihuahua, México.

como en El Sueco ( $P>0.05$ ) con 396.85 has y 221.69 has, respectivamente, lo que sugiere que es indistinto el uso que se le da a este componente vegetativo, además esto indica que la distribución del pastizal-matorral en las localidades de estudio es homogénea, aunque para Tinaja Verde se tenga una mayor cobertura en promedio que para El Sueco. La cobertura promedio presentada por el matorral (Figura 10) en las localidades fue la de mayor extensión debido a que en la localidad de Tinaja Verde se encontró un promedio de 740.32 has y en El Sueco hubo en promedio 727.63 has, por lo que se distribuye uniformemente en ambas localidades ( $P>0.05$ ), concordando con lo reportado por Piñón (1996).

Por otro lado en el Cuadro 2 también se muestra la superficie cubierta para cada uno de los tipos de vegetación: pastizal natural, sabana, pastizal-matorral y matorral. La influencia del pastizal natural afecta el comportamiento del halcón aplomado ( $P<0.10$ ). La elección del sitio para anidar requiere una cobertura promedio de 660.66 has. En los sitios de perchas se presentó una menor cobertura vegetal de 390.28 has. En lo relativo a la sabana los sitios de perchas mostraron mayor cobertura ( $P<0.10$ ) con 297.13 has, mientras que en los sitios de nidación fue de 166.95 has. Lo anterior establece la base de que para elegir los sitios de nidación el halcón los prefiere abiertos y con poca cobertura leñosa, concordando por lo mencionado por Keddy-Héctor (2000) y Macias (2002). Howell y Webb (1995) establecen que la sabana es el hábitat típico del halcón aplomado. Para el pastizal-matorral las coberturas presentadas por los sitios de nidación con 288.98 has y perchas con 329.56 has (Cuadro 2) no fueron diferentes ( $P>0.10$ ) por lo que tampoco se encontró que este tipo vegetativo



**Figura 10.** Aspecto del matorral en la localidad Tinaja Verde, municipio de Coyame, en Chihuahua, México.

CUADRO 2. MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$  ERROR ESTANDAR) DEL MOSAICO VEGETATIVO EN CUATRO TIPOS DE VEGETACIÓN EN LOS SITIOS DE NIDACIÓN Y PERCHA DEL HALCÓN APLOMADO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.

Sitio	Cobertura (has)			
	PN	S	PM	M
N	660.66 $\pm$ 103.34 <sup>a</sup>	166.95 $\pm$ 53.47 <sup>a</sup>	288.98 $\pm$ 62.07	619.77 $\pm$ 104.82
P	390.28 $\pm$ 108.33 <sup>b</sup>	297.13 $\pm$ 56.05 <sup>b</sup>	329.56 $\pm$ 65.07	848.18 $\pm$ 109.89

N = Nido, P = Percha, PN = Pastizal Natural, S = Sabana, PM = Pastizal-Matorral, M = Matorral.

<sup>ab</sup> Literales diferentes dentro de las columnas indican diferencias ( $P < 0.10$ ) entre medias.

influya en el comportamiento del halcón aplomado al escoger sus lugares para anidar. El matorral tampoco influye en la elección de los sitios de nidación ya que el comportamiento de la cobertura promedio presentada fue igual para nidación con 619.77 has y percha con 848.18 has ( $P>0.10$ ).

Con el Bajío (Figura 11) se presentó un comportamiento diferente a las demás coberturas obtenidas, ya que al existir diferencia en la interacción localidad\*tipo ( $P<0.10$ ) es indicativo que las localidades de estudio son heterogéneas. En el Cuadro 3 se puede apreciar que el tipo vegetativo esta influenciado por las localidades, por lo que al analizar los sitios de nidación y percha de para El Sueco se observa que la mayor cobertura corresponde a los sitios de percha con 466.62 has en promedio ( $P<0.10$ ), contrastando con las 250.40 has en promedio presentadas por los sitios de nidación, mientras que para la localidad de Tinaja Verde ocurrió lo contrario ya que aquí la cobertura presentada por el bajío fue mayor para los sitios de nidación ( $P<0.10$ ) los cuales en promedio presentaron 554.95 has, mucho mayor cobertura comparada con las 81.16 has registradas en los sitios de percha.

### **Comparación de la Vegetación de las Localidades Tinaja Verde y El Sueco**

El matorral fue el tipo de vegetación con mayor cobertura (matriz), por lo que ejerce una mayor influencia sobre la flora, fauna y los procesos ecológicos (McGarigal y Marks, 1995). En este contexto es de esperarse que aun y cuando hay poblaciones de halcón aplomado en ambas localidades, puede que estas sean muy sensibles a la respuesta de la vegetación, ya que una de las causas por la que los halcones aplomados abandonan los territorios es el aumento de cobertura en las tierras de matorral (Héctor, 1981) y el aumento en la densidad



**Figura 11.** Aspecto del Bajío en la localidad de Tinaja Verde en el municipio de Coyame, Chihuahua.

CUADRO 3. MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$  ERROR ESTANDAR) DE COBERTURA PARA EL TIPO VEGETATIVO BAJÍO, EXPRESADO EN HAS, EN DOS LOCALIDADES EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.

---

Localidad	Sitio	
	N	P
ES	$250.40 \pm 91.76^a$	$466.62 \pm 109.67^b$
TV	$554.95 \pm 167.53^a$	$81.16 \pm 167.53^b$

ES = El Sueco, TV = Tinaja Verde, N = Nido; P = Percha.

<sup>ab</sup> Literales diferentes dentro de las filas indican diferencias ( $P<0.10$ ) entre medias.

de pastos probablemente debido a las dificultades de cazar presas en tales coberturas (Héctor, 1987). Si bien, no hubo una mayor cobertura vegetal ( $P>.05$ ) con plantas leñosas en la sabana y pastizal-matorral para Tinaja Verde (Cuadro 1), en promedio se aprecia una mayor biomasa de leñosas para Tinaja Verde, indicativo que paisajes dominados por vegetación leñosa, tienen una mayor cantidad de parches pequeños que otros tipos de cobertura (Coppedge *et al.*, 2001). Entonces el hábitat ideal en términos de vegetación tiene amplias áreas de pastizal abierto para efectuar cacerías, arbustos o estructuras altas que les sirvan de perchas y por último áreas de matorral que provean de alimento, ya que los halcones casi no se adentran en los matorrales, sino que permanecen en los bordes de la vegetación donde se presenten estas tres condiciones. Un problema es la reducción de las áreas de pastizal las cuales se han ido perdiendo por la proliferación de arbustivas (Buffington y Herbel, 1965), lo que impacta negativamente al hábitat del halcón aplomado. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 9, donde se observa el avance del matorral, desplazando el pastizal natural, razón por la cual se estableció como tipo vegetativo la conjunción del pastizal y matorral, sin embargo, en esta misma figura también se puede apreciar un pequeño cuadro de pastizal natural, lo que es prueba de que en este rancho se están implementando mejoras al hábitat. Aquí se ha utilizado un rodillo para desmontar, con el objetivo de favorecer al pastizal para mejorar su utilización por el ganado en áreas invadidas por arbustivas, esta práctica beneficia al hábitat del halcón aplomado. En el área de influencia del pastizal-matorral (Figura 9) el último nido se registró en el año del 2001, sin embargo por observaciones personales en campo el año 2003 se

observó una pareja en dicha área, pudiendo ser indicativo del manejo que se está realizando en el rancho.

Otro factor clave es que la cobertura en el pastizal natural es la segunda en extensión en ambas localidades. Esto contrasta con los resultados obtenidos por Zamarrón (2002), ya que en su área de estudio predominó el pastizal natural. Lo importante de las coberturas encontradas es que los hábitats abiertos poseen más presas que en áreas parecidas usadas para el pastoreo (Newton, 1979), por lo que aquí entra el factor de disposición de alimento, si hay una mayor cobertura de pastizal natural existe una alta cantidad de alimento para el halcón. Esto lo confirmó Méndez (2000), que encontró un número mayor de aves presa en El Sueco (donde se presenta una mayor extensión del pastizal natural) que en Tinaja Verde.

La variable de cobertura indica que existe un hábitat más favorable para la población de halcones aplomados en El Sueco, debido a una menor cobertura de plantas leñosas y una mayor cantidad de espacios abiertos. Además, existe mayor biomasa de aves presa que tal vez sea el factor más importante que pueda determinar el éxito reproductivo (Newton, 1979). Es de esperarse que en “términos de calidad de hábitat para el halcón aplomado” la localidad de El Sueco presente más ventajas, sin embargo, Héctor (1981) menciona que la calidad de hábitat debe ser juzgada en función del número promedio de jóvenes al vuelo (reclutamiento) por intento de nidación en diferentes tipos de hábitat (pastizal natural, matorral, etc.) lo cual debe de ser obtenido por tamaño de muestra suficiente, ya que a mayor número de juveniles volando existe un mejor hábitat. Prueba de lo anterior es que para la localidad

de El Sueco en el periodo de 1996 a 2002 se obtuvo en promedio un juvenil por territorio ocupado, mientras que para Tinaja Verde fueron 0.63 (Macias, 2002).

Otro indicador de que existe un mejor hábitat en El Sueco son las distancias recorridas por los aplomados ya que en dicha área dos halcones hembras anilladas en dos nidos fueron encontradas ahogadas en pilas de agua (Montes, 2003) a menos de 25 Km donde nacieron después de uno y dos años, respectivamente, y en la localidad de Tinaja Verde, tres hembras que fueron anilladas se dispersaron a mayor distancia siendo observadas en El Sueco (107 y 78 Km) y en el S de Nuevo México a casi 300 Km de distancia de su lugar de nacimiento, por lo que se infiere que los territorios disponibles en la localidad de Tinaja Verde ya están ocupados y los juveniles tienen que emigrar a otros sitios en busca de alimento, refugio y pareja. Aunado a lo anterior este año (2004) se capturó en el área de El Sueco un macho anillado hace 6 años a pocos kms del sitio de captura. Otro punto que refuerza lo anterior es que existen más sitios de nidación y percha en El Sueco que en Tinaja Verde (Figuras 6 y 7).

### **Comparación de la Vegetación en Sitios de Nidación y Percha**

Las áreas de nidación (Cuadro 2), presentaron la mayor cobertura en el pastizal natural con 660.66 has, concordando por lo reportado por Zamarrón (2002), mientras que para los sitios de percha la cobertura del pastizal natural fue menor ( $P<0.10$ ) con 390.28 has, lo cual es razonable pues a menor cobertura de pastizal natural menor producción de aves presa, entonces si el halcón no está obligado a criar pollos, no necesita mas que asegurar sus requerimientos energéticos y esto hace suponer que con esta cobertura promedio (390.28 has) de las perchas es suficiente. Por otro lado el matorral

presenta la mayor cobertura en los sitios de percha con 848.18 has (Cuadro 2), sin embargo no fue diferente ( $P>0.10$ ) de la cobertura presentada por los sitios de nidación con 619.77 has. El tipo de vegetación que menos cobertura aportó en ambos sitios fue la sabana (Cuadro 2) con 166.95 has para los sitios de nidación y 297.13 has para los sitios de percha. Sin embargo, hubo diferencia para los sitios de nidación y percha ( $P<0.10$ ). En la combinación de pastizal y matorral (Cuadro 2) no se encontró evidencia que esta variable afecte la elección ( $P>0.10$ ) para establecer el nido y pueden utilizarla indistintamente. Los valores de cobertura de la sabana para los sitios de nidación fue menor que la obtenida para las diferentes perchas, con 166.95 y 297 has, respectivamente, lo cual suena lógico, debido a que una característica importante de los sitios de perchas es que pueden ser más altas que la vegetación que la rodea, ya que en el E de México 26 árboles de percha fueron significativamente más altos que los árboles vecinos (Héctor, 1981). El elemento determinante fue la cobertura del pastizal natural para los sitios de nidación, mientras que para los sitios de percha fue el matorral.

### **Análisis del Paisaje**

En el Cuadro 4 se presentan las diferentes variables de hábitat para las dos localidades. La variable %PMG se comportó de manera igual para El Sueco y Tinaja Verde pues no evidenció diferencia significativa entre ambas áreas ( $P>0.10$ ), sin embargo, en El Sueco se obtuvo un %PMG con 33.6 % mayor al presentado por Tinaja Verde con 24.9 %. En lo que concierne al NP (importante porque indica el grado de fragmentación del hábitat), se puede apreciar una mayor fragmentación para la localidad de Tinaja Verde ( $P<0.10$ ) con un NP

CUADRO 4. MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$  ERROR ESTANDAR) DE VARIABLES DE HÁBITAT DERIVADAS DE LAS CLASIFICACIONES SATELITALES Y ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN A NIVEL PAISAJE DE TERRITORIOS DE HALCÓN APLOMADO EN LAS LOCALIDADES DE TINAJA VERDE Y EL SUECO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.

Variable	Localidad	
	ES	TV
%PMG	33.6 $\pm$ 4.3	24.9 $\pm$ 7.2
NP	1492.6 $\pm$ 124.0 <sup>a</sup>	2465.1 $\pm$ 205.5 <sup>b</sup>
PP	1.7 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.8 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>
BT	415831.2 $\pm$ 22360.5 <sup>a</sup>	549075.0 $\pm$ 37047.7 <sup>b</sup>
IFP	23.4 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	30.6 $\pm$ 2.0 <sup>b</sup>
IYI	72.7 $\pm$ 4.2	84.2 $\pm$ 7.0
C	35.9 $\pm$ 2.9	28.2 $\pm$ 4.9

ES = El Sueco, TV = Tinaja Verde, %PMG = Porcentaje del tamaño de parche más grande, NP = Número total de parches, PP = Tamaño promedio de parche (has), BT = Bordo total (m), IFP = Índice de forma de paisaje, IYI = Índice de Yuxtaposición e interspersión y C = Porcentaje de Contagio.

<sup>ab</sup> Literales diferentes dentro de las filas indican diferencias ( $P<0.10$ ) entre medias.

2465.1 con un PP de 0.08 has, en comparación con los 1492.6 parches en El Sueco (1.7 has de PP). Esto puede explicar como influye la fragmentación del hábitat, en la selección de territorios por el halcón aplomado. Si agregamos la disposición de alimento, la localidad de El Sueco reúne mejores condiciones para la especie debido a una menor fragmentación y mayor biomasa de aves presa que en Tinaja Verde (Méndez, 2000). El efecto del BT fue mayor en Tinaja Verde que en El Sueco ( $P<0.10$ ), esto es dado por el número de parches, al haber más parches existe un mayor perímetro total para la localidad. Otro de los índices analizados fue el de la forma de paisaje la cual dio como resultado que la localidad de Tinaja Verde sea más irregular que El Sueco ( $P<0.10$ ) con índices de 23.4 contra 30.6, por lo que El Sueco tiende a ser mas uniforme (cuadrado debido al formato raster). Al haber bajos valores de contagio, los valores del índice de yuxtaposición fueron altos para ambas localidades.

En lo referente a los sitios de nidación y percha, en el Cuadro 5 se observan las estadísticas del paisaje para ambos sitios. El %PMG, para los sitios de nidación fue de 29.9 %, mientras para las perchas fue de 28.6 %, lo anterior indica que ambas áreas son homogéneas ( $P>0.05$ ), por lo cual es posible establecer que el %PMG no es un factor determinante para que el halcón aplomado prefiera establecerse y anidar en una de las dos áreas de estudio. Otro punto importante a analizar es la fragmentación de los sitios de nidación, la cual resultó menor ( $P<0.05$ ) con un NP de 1871.4 contra 2086.3 obtenidos en los sitios de percha. El PP para estas dos clases de sitios no presento diferencias. Lo anterior es trascendental debido a la utilización del

CUADRO 5. MEDIAS DE LOS CUADRADOS MÍNIMOS ( $\pm$  ERROR ESTANDAR) DE VARIABLES DE HÁBITAT DERIVADAS DE LAS CLASIFICACIONES SATELITALES Y ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN A NIVEL PAISAJE ENTRE SITIOS DE NIDACIÓN Y PERCHA DEL HALCÓN APLOMADO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.

Variable	Clase	
	N	P
%PMG	$29.9 \pm 5.8$	$28.6 \pm 6.1$
NP	$1871.4 \pm 165.6^a$	$2086.3 \pm 173.6^b$
PP	$1.4 \pm 0.2$	$1.1 \pm 0.2$
BT	$468360.4 \pm 29868.8$	$496545.8 \pm 31311.0$
IFP	$26.3 \pm 1.6$	$27.8 \pm 1.6$
IYI	$73.3 \pm 5.6^a$	$83.5 \pm 5.9^b$
C	$34.4 \pm 3.9$	$29.7 \pm 4.1$

N = Nido; P = Percha; %PMG = Porcentaje del tamaño de parche más grande, NP = Número total de parches, PP = Tamaño promedio de parche (has), BT = Bordo total (m), IFP = Índice de forma de paisaje, IYI = Índice de Yuxtaposición e Interspersión y C = Porcentaje de Contagio.

<sup>ab</sup> Literales diferentes dentro de las filas indican diferencias ( $P<0.05$ ) entre medias.

pastizal por el halcón aplomado al elegir los sitios de nidación, prefiriendo lugares menos fragmentados y con parches en promedio más grandes. Lo anterior es corroborado por la teoría de la biogeografía de islas (MacArthur y Wilson, 1967), donde pequeñas islas (áreas) tienen menos especies y son más difíciles de colonizar, soportando poblaciones mas pequeñas. Por consiguiente las poblaciones mas pequeñas tienden a extinguirse, lo cual nos indica que la población de Tinaja Verde es más susceptible a decrecer, aunque estudios anteriores mencionan que permanece estable (Macias, 2002). El BT no presentó diferencia ( $P>0.05$ ) para los sitios de nidación y percha, por lo tanto el efecto del BT sólo se puede atribuir a la localidad. El IFP respondió igual para los nidos con un índice de 26.3 y las perchas con un índice de 27.8 ( $P>0.05$ ). Para la variable de C no hubo diferencias ( $P>0.05$ ) entre los nidos con un índice de 34.4 y 29.7 para las perchas. El IYI tuvo efecto ( $P<0.05$ ) en la elección de los nidos por parte del halcón, al tener un menor índice de yuxtaposición (73.37), mientras que las perchas obtuvieron un índice de 83.5.

### **Comparación del Paisaje de las Localidades de Tinaja Verde y El Sueco**

Como no hubo diferencia en el %PMG entre ambas localidades (Cuadro 4), se consideró como una variable similar. No así las otras medidas de paisaje calculadas, las cuales muestran que Tinaja Verde es una zona con mayor fragmentación y un tamaño promedio de parches menor. Esto puede ser trascendente, debido a que la reducción en el tamaño de parche tiene implicaciones para la conservación en los pastizales fragmentados (Coppedge et al., 2001) debido a que los nuevos hábitats creados se vuelven barreras para algunas especies (CBC, 1996). Además los parches grandes son esenciales

para muchas especies sensibles al área (Bender et al., 1998) y aunque muchas especies de aves difieren de sus requerimientos específicos, necesitan áreas dominadas por pastizales con parches grandes como hábitat (Helzer y Jelinski, 1999). Esto puede explicar que ocurran menos especies de aves en Tinaja Verde. El tamaño de parche también puede predecir la densidad y el éxito reproductivo (Fauth et al., 2000). En el cuadro 4 se presentan los resultados para las diferentes estadísticas del paisaje para las localidades de Tinaja Verde y El sueco, donde observa que el NP fue mayor para Tinaja Verde ( $P<0.10$ ) con 2465 parches, mientras que para El Sueco se obtuvieron 1492.6 parches. El PP presentó un tamaño de 1.7 has para El Sueco y 0.8 has para Tinaja Verde lo que es reflejo de la fragmentación: a menor tamaño de parche mayor fragmentación. Se puede deducir que en Tinaja Verde al tener menos territorios de parejas establecidas de halcón aplomado y estar más fragmentado su hábitat se tiende a la extinción observándose que el nivel de extinción local está inversamente relacionado al tamaño de los fragmentos (Stouffer et al., 1999). En El Sueco hay más parejas de halcones y esta menos fragmentada que Tinaja Verde, por lo tanto el tamaño de la población es reflejo del tamaño de los fragmentos del hábitat y se pueden tener poblaciones más grandes en fragmentos mayores (Borgella, 1999). El BT, fue superior en Tinaja Verde con 549075 m mientras que en El Sueco ( $P<0.10$ ) se obtuvo un valor de 415831.2 m (Cuadro 4), lo que sugiere que hay un efecto adverso para el halcón aplomado producido por este factor ya que reduce el tamaño del hábitat interior (e.g. pastizal natural, sabana, bajío, matorral y pastizal-matorral). La forma del paisaje (Cuadro 4), fue más irregular para Tinaja Verde ( $P<0.10$ ), con un índice

de 30.6 superior al mostrado por El Sueco con un índice de 23.4, sin embargo en el IYI y C no se obtuvo evidencia de que fueran diferentes entre las dos localidades.

#### Comparación del Paisaje en los Sitios de Nidación y Percha

De las diferentes medidas de paisaje, las que más pueden influir en el comportamiento del halcón aplomado para la elección de los sitios de nidación son el número de parches (Cuadro 5). Se detectó que esta especie prefirió anidar en sitios con una menor cantidad de parches en promedio ( $P<0.05$ ). Una explicación de lo anterior es que en los sitios con mayor fragmentación se reduce considerablemente el éxito reproductivo (Robinson et al., 1995) por el incremento en la depredación de los nidos (Wilcove, 1985). A lo anterior Gill (1995) agrega “las aves abandonan sus huevos durante la incubación cuando se dificulta la provisión de alimentos o sus reservas disminuyen a niveles críticos y cuando son forzados a escoger entre la auto-manutención y procrear, usualmente se ocupan de ellos mismos primero ocasionando con esto la falla en la nidación”, ademas de lo anterior Newton (1979) menciona: “si los sitios apropiados de nidación estan concentrados algunas parejas podran elegir no anidar, y estaran alrededor para alimentarse”. El IYI (Cuadro 5) resultó con diferente ( $P<0.05$ ) para los sitios de nidación y percha, lo que indica que los parches internos de las áreas de nidación estan menos distribuidos y mezclados que en los sitios que se detectaron perchas. Las otras variables del paisaje para los sitios de nidación y percha (%PMG, PP, BT, IFP y C) no proporcionaron evidencia estadística ( $P>0.05$ ) de diferencia entre ambos sitios.

## Hábitat “Idóneo” del Halcón Aplomado

Al establecer los parámetros del hábitat del halcón aplomado tenemos entonces la combinación de los diferentes tipos vegetativos y características del paisaje, dando como resultado para las condiciones y año en que se llevo a cabo este estudio que El Sueco aunque no fue muy diferente en cuanto a la vegetación de Tinaja Verde si ofreció un hábitat de mejor calidad que fue debido a su mayor cantidad de sitios abiertos y una menor biomasa de plantas leñosas. Sin embargo, donde radica la diferencia más marcada no es en el aspecto vegetativo, sino en la configuración del paisaje, porque la localidad de Tinaja Verde esta más fragmentada que el Sueco, y tiene una mayor Interspersión. Bajo este orden de ideas y derivado de este estudio, el hábitat considerado como el mejor, es aquel en el que existe mayormente espacios abiertos, con bajas cantidades de plantas leñosas, y que no este muy fragmentado.

Se debe tomar en cuenta la vocación del suelo en las localidades de estudio (el cual es de agostadero) y al parecer el número de cabezas de ganado no afecta la elección de los sitios de nidación del halcón aplomado. En estas condiciones los resultados sugieren que aun y cuando en el Sueco existe un aprovechamiento mas exhaustivo del pastizal, es ahí donde se concentra la mayor parte de halcones aplomados, además se han observado cerca del ganado, tal vez debido a que entre los bovinos se encuentra gran cantidad de aves del genero *Molothrus spp* que son parte de la dieta del halcón aplomado. De los efectos adversos ocasionados es que utilizan las palmillas (*Yuca spp*) para rascarse o para comer las flores ocasionando que se quiebren, o si existen nidos activos se corre el riesgo de que provoquen la caída de los pollos.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En forma general, bajo las condiciones en que se llevó a cabo este estudio y con los datos derivados del ambito domestico (2143 has) se concluye que:

El tipo de vegetación que se presenta con una mayor extensión para ambas localidades es el matorral con 740.32 has para Tinaja Verde y 727.63 para El Sueco. Para los sitios de nidación el pastizal natural mostró la mayor cobertura con 660.66 has. Los sitios de perchas tuvieron mayor cobertura de matorral con 848.18 has.

La fragmentación resultó mayor para el área de Tinaja Verde con 2465.1 parches y para los sitios de perchas con 2086.3 parches en promedio.

La yuxtaposición se presentó de una manera homogénea entre las dos áreas de estudio, sin embargo para escoger sitios de nidación, el halcón aplomado prefirió lugares con una menor yuxtaposición de 73.3.

En general, la localidad de El Sueco presenta un mejor hábitat para el halcón aplomado, ya que Tinaja Verde soporta un número menor de halcones debido a que esta más fragmentada. Los sitios de nidación y perchas son diferentes. Para anidar, el halcón aplomado prefiere espacios abiertos con cantidades moderadas de plantas leñosas, por lo que la vegetación y/o condición del pastizal no necesariamente influyen de manera tan determinante como la fragmentación y yuxtaposición.

La vegetación de las localidades muestra poca variación; sin embargo existe en ambas localidades una alta cobertura de especies leñosas. Se recomiendan obras para controlar el matorral: desmontes y aplicación de rodillo

mecánico para crear espacios abiertos que favorezcan al halcón al facilitar sus cacerías, especialmente dando enfasis al manejo adecuado de la carga animal en agostadero.

Por otro lado se concluye que la herramienta de los sistemas de información geográficas, constituye un excelente aliado para realizar este tipo de estudios de hábitat de especies en peligro de extinción. Además se probó la eficacia del programa computacional Fragstats. Se cuantificó exactamente el grado de deterioro del ecosistema, al comparar dos zonas para poder determinar cual es la mejor hablando en términos de requerimientos y la biología de la(s) especie(s) en cuestión. Se han realizado en México pocos estudios de análisis del paisaje con el Fragstats, a pesar de ser un buen software y estar disponible en internet.

Como se ha mencionado anteriormente, los resultados del presente estudio son el reflejo de un año de trabajo, por lo que se recomienda contemplar la posibilidad de realizarlo de forma multitemporal. La continuidad de este trabajo es importante para poder ampliar el tamaño de muestra y minimizar el error y contribuir a la elaboración de un modelo integral del hábitat del halcón aplomado. Se tienen estudios etológicos, de dieta, reproductivos, falta entonces integrar todos estos componentes.

Finalmente, ambas localidades no representan la totalidad de nidos y perchas del halcón aplomado para el estado de Chihuahua, por recorridos en campo se sabe que hay más individuos dispersos en al menos otras dos localidades al N de El Sueco. Estudios futuros podrán incluir el monitoreo de dichas áreas.

## LITERATURA CITADA

- Andrén, H. 1995. Effects of landscape composition on predation rates at habitat edges. En: L. Hansson, L. Fahring y G. Merriam (Eds). Mosaic landscapes and ecological processes. pp 225-255. Chapman & Hall, Londres.
- Bender, D. J., T. Contreras y L. Fahring. 1998. Habitat loss and population decline: a meta-analysis of the patch size effect. *Ecology* 79:517-533.
- Blake, L. R. 1977. Manual of neotropical birds. Vol. 1. The University of Chicago Press. Chicago, IL.
- Borgella, R. 1999. Distribution and abundance patterns of tropical forest birds in a fragmented landscape: patch size is not the only factor. *Memorias del VI Congreso de Ornitología Neotropical. 4-10 de Octubre en Monterrey y Saltillo. Sociedad de Ornitología Neotropical.*
- Buffington, L. C. y C. H. Herbel. 1965. Vegetational changes on a semidesert grassland range from 1858 to 1963. *Ecological monographs* 35(2):139-164.
- CBC. 1996. Centro para la Biología de la Conservación, página electrónica. Disponible en: <http://www.ecovivero.org/fragmentación.pdf>. Accesado 4 de Diciembre del 2003.
- Cody, M. L. 1985. An introduction to habitat selection in birds. En: M. L. Cody (Ed). *Habitat selection in birds*. pp 4-46. Academic Press, INC, San Diego, California.
- CONABIO. 1997a. Carta de climas Chihuahua, escala 1:1000000. México, D. F.
- CONABIO. 1997b. Carta de climas Cd. Juárez, escala 1:1000000. México, D. F.
- CONABIO. 1997c. Isotermas medias anuales Chihuahua, escala 1:1000000. México, D. F.

CONABIO. 1997d. Isotermas medias anuales Cd. Juárez, escala 1:1000000. México, D. F.

CONABIO. 1997e. Precipitación total anual Chihuahua, escala 1:1000000. México, D. F.

CONABIO. 1997f. Precipitación total anual Cd. Juárez, escala 1:1000000. México, D. F.

Coppedge, R., M. Engle, D. Fuhlendorf, E. Masters y S. Gregory. 2001. Landscape cover type and pattern dynamics in fragmented southern Great Plains grasslands, USA. *Landscape ecology* 16:677-690.

COTECOCA. 1978. Chihuahua. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación regional de los Coeficientes de Agostadero SARH. Chihuahua, Chih.

Curti, M. 2002. The aplomado falcon returns to the Rio Grande Valley. *Rev. Rio Grande Valley Nature*. Fall 2002:8-10.

Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP, Madrid, España.

Danielson, B. J. 1991. Communities in a landscape: the influence of habitat heterogeneity on the interactions between species. *The American Naturalist*, 138(5):1105-1120.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 6 de Marzo de 2002.

Dunning, J. B., B. J. Danielson y H. R. Pulliam. 1992. Ecological processes that affect populations in complex landscapes. *Oikos*. 65:169-175.

Fauth, P. T, E. Gustafson y K. Rabenold. 2000. Using landscape metrics to model source habitat for Neotropical migrants in the midwestern U.S.

Landscape ecology 15:621-631.

Forman, R. T. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10(3):133-142.

Forman, R. T. y M. Godron. 1986. *Landscape ecology*. John Wiley & Sons. New York.

Gill, F. B. 1995. *Ornithology*. 2<sup>a</sup> ed. W. H. Freeman and Company. New York.

Glennon, M. J. y W. F. Porter. 1999. Using satellite imagery to assess landscape-scale hábitat for wild turkeys. *Wildlife Society Bulletin*, 27(3):646-653.

Hector, D. P. 1981. The hábitat, diet, and foraging behavior of the aplomado falcon, *Falco femoralis* (Temminck). M. S. Thesis, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma.

Hector, D. P. 1985. The diet of the aplomado falcon (*Falco femoralis*) in eastern Mexico. *Condor* 87:336-342.

Hector, D. P. 1987. The decline of the Aplomado Falcon in the United States. *American birds*, Fall 41(3):381-389.

Hector, D. P. 1988. Aplomado Falcon (*Falco femoralis*). En: Palmer, R. S. (Ed). *Handbook of North American birds*. Yale University Press, New Haven, CT.

Helzer, C. J. y D. E. Jelinski. 1999. The relative importance of patch area and perimeter-area ratio to grassland breeding birds. *Ecol. Appl.* 9:1448-1458.

Hodgson, M. E., J. R. Jensen, H. E. Mackey y M. C. Coulter. 1988. Monitoring wood stork foraging habitat using remote sensing and geographic information systems. *Photogrametic and Remote Sensing*, Vol 54(11):1601-1607.

Hodgson, Q. 2001. Aplomado falcon habitat and rangeland characteristics in semi-desert grasslands of Northern Chihuahua, México. M. S. Thesis, New Mexico State University, Las Cruces, N. M., E.U.

Howell, S. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of México and Northern Central

America. Oxford University Press, New York., E.U.

- Ims, R. A. 1995. Movement patterns related to spatial structures. En: L. Hansson, L. Fahring y G. Merriam (Eds). Mosaic landscapes and ecological processes. pp 87-109. Chapman & Hall, Londres.
- Jiménez, E. J. 1993. Notes on diet of the Aplomado Falcon (*Falco femoralis*) in Northcentral Chile. J. Raptor Research 27(3):161-163.
- Keddy-Hector, D. P. 2000. Aplomado falcon (*Falco femoralis*). En: A. Poole y F. Gill, (eds). The birds of North América, No 549. The bird of North América, Inc, Philadelphia, PA.
- Lehman, R. N., K. Steenhof, L. B. Carpenter y M. N Kochert. 2000. Turnover and dispersal of praire falcons in Southwestern Idaho. J. of Raptor Research. 34:262-269.
- Ligon, J. S. 1961. New Mexico birds and where to find them. Univ. Of New Mexico Press. Albuquerque, NM.
- Macias, D. A. 2002. Éxito reproductivo, presas potenciales y hábitat del halcón aplomado *Falco femoralis septentrionalis* Tood, en Chihuahua, México. Tesis de Maestria. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Méx.
- McArthur, R. H. y E. O. Wilson. 1967. The theory of island biogeography. Monographs in population Biology, Vol 1. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey.
- McGarigal, K y J. B. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, Oregon. U.S.
- McIntyre, N. E. 1995. Effects of forest patch size on avian diversity. Landscape Ecology, 10(2):85-99.
- Miller, G. T. 1994. Ecología y medio ambiente. Grupo editorial Iberoamérica. Mexico, D.F.

- Mendez, G. E. 2000. Abundancia relativa y biomasa de aves de pastizal dentro de territorios de halcones aplomados (*Falco femoralis*) en Chihuahua, México. Tesis de Maestria. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Méx.
- Montes, J. A. 1999. Caracterización de comportamiento de nidación del halcón aplomado (*Falco femoralis*) en la zona desértica del estado de Chihuahua, México. Programa especial de investigación. Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih, Méx.
- Montes, J. A. 2003. Implementación de una metodología para el estudio etológico de nidación y crianza de halcones aplomados (*Falco femoralis*) en la porción Centro-Norte del estado de Chihuahua. Tesis de Maestria. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Méx.
- Montoya, A. B. 1995. Hábitat characteristics, prey selection, and home ranges of the aplomado falcon in Chihuahua, México. M. S. Thesis, New Mexico State University, Las Cruces, N.M., E.U.
- Montoya. A. B., P. Zwank y M. Cardenas. 1997. Breeding biology of aplomado falcons in desert grasslands of Chihuahua, Mexico. J. Field Ornithology 68:123-135.
- Montoya, A. y P. Jenny. 2002. Research on aplomado falcons in Northern Mexico. Rev. The Peregrine Fund. vol 33:2-3.
- Naugle, D. E., Higgins, K. F., M. E. Estey, R. R. Johnson y S. M. Nusser. 2000. Local and lascape-level factors influencing black tern hábitat suitability. J. Wildlife Manage 64(1):253-260.
- Newton, I. 1979. Population ecology of raptors. Buteo Books, Vermillion, S. D.
- Odum, E. 1971. Fundamentos de ecología. Saunders, Philadelphia, PA.
- Ostro, L. E., T. P. Young, S. C. Silver y F. W. Koontz. 1999. A Geographic information system method for estimating home range size. J, Wildlife

Management. 63(2): 748-755.

Palmeirim, J. M. 1988. Automatic mapping of avian species hábitat using satellite imagery. OIKOS, 52:59-68.

Parke, D. C. y M. F. Wolf. 1965. Remote sensing. International science and technology. 43:20-31.

Pérez, C. J. 1995. Movements, habitat use and survival of released aplomado falcons at Laguna Atascosa National Wildlife Refuge, Texas. M. Sc. Thesis. New Mexico State Univ. Las Cruces, New Mexico.

Pinedo, C. A. 1998. Analisis de los recursos forestales y del hábitat de la cotorra serrana (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) en la Sierra Madre Occidental de Chihuahua, México. Disertación doctoral. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Méx.

Piñón, F. R. 1996. Ecología del halcón aplomado (*Falco femoralis*) en el estado de Chihuahua. Programa especial de investigación. Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih, Méx.

Postupalsky, S. 1974. Raptor reproductive success: some problems with methods, criteria and terminology. En: F.N. Hamerstrom, Jr Harrel y R. R. Olendorff, eds. pp 21-31. Management of raptors.

Rescia, A. J., Schmitz, M. F., Martín de Agar, P., De Pablo, C. L., Atauri, J. A. y F.D. Pineda. 1994. Influence of landscape complexity and land management on woody plant diversity in northern Spain. Journal of vegetation Science, 5: 505-516.

Riitters, K. H., V. R. O'Neill, D. J. Wickham y B. K. Jones. 1996. A note on contagion índices for landscape analysis. Landscape Ecology vol 11(4):197-202.

Robinson, S., F. R. Thompson III, T. M. Donovan, D. R. Whitehead y J. Faaborg. 1995. Regional forest fragmentation and the nesting success of migratory birds. Science 267:1987-1990.

Roughgarden, J., S. W. Running y P. A. Matson. 1991. What does remote sensing do for ecology. *Ecology* 72(6):1918-1922.

SAS User's Guide: Procedures statistics. 1992. SAS Institute Inc., Cary, N.C. USA.

Shull, A. M. 1986. Final rule: listing of the Aplomado falcon as endangered. U. S. Fish and Wildl. Serv. Fed. Register 51:6686-6690.

Stamps, J., M. Buechner y V. Krishnan. 1987. The effects of edge permeability and habitat geometry on emigration from patches of habitat. *The American Naturalist*, 129(4):533-552.

Steel, R. G. y J. H. Torrie. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. 1era Edición, Editorial McGraw-Hill/Interamericana de México.

Stouffer, P. C., A. Whittaker y R. O. Bierregard. 1999. An extremely steep species-area relationship for birds in Amazonian forest fragments. *Memorias del VI Congreso de Ornitología Neotropical*. 4-10 de Octubre en Monterrey y Saltillo. Sociedad de Ornitología Neotropical.

Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, y J. M. Milillo. 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science* 277, 494-499.

Weidensaul, S. 2000. The raptor almanac: birds of prey. The Lyon press, New York, NY. USA.

Wilcove, D. 1985. Nest predation in forest tracts and the decline of migratory songbirds. *Ecology* 66: 1211-1214.

Wilkinson, G. G. 1991. The processing and interpretation of remotely-sensed satellite imagery –a current view. En: R. Valenzuela y S. Belward (Eds.) *Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries*. pp 71-96. Kluwer Academic Press, Holanda.

Yool, S. R., M. J. Makao, y J. M. Watts. 1997. Techniques for computer-assisted mapping of rangeland change. *J. Range Manage*, 50(3):307-314.

- Young, K., Hodgson, Q. H., A. Lafón, B. C. Thompson y R. Valdéz. 2000. Determination of habitat suitability for aplomado falcons on public lands in southern New Mexico, Project progress report (January 1999-March 2000). New Mexico Cooperative Fish and Wildlife Research Unit; New Mexico State University, Las Cruces, N.M., E.U.
- Zamarron, R. E. 2002. Determinación del hábitat y diversidad del paisaje del halcón aplomado en el estado de Chihuahua, México. Disertación doctoral. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Méx.