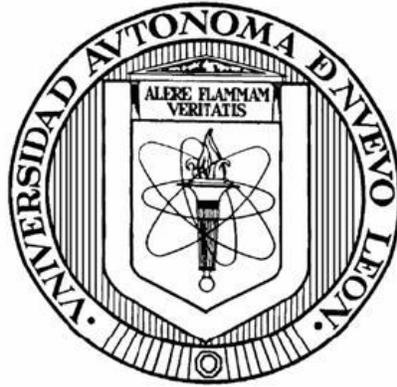


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DINÁMICA POBLACIONAL Y VIABILIDAD  
ESPACIO TEMPORAL DEL AGUILA REAL

Por

JESÚS PATRICIO TAVIZÓN GARCÍA

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
CON ESPECIALIDAD EN ECOLOGÍA

Junio 2014

## AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a mi esposa la Doctora en Ciencias María del Carmen Mondragón de la Peña, por su apoyo amoroso, asesoría y orientación en temas y ámbitos del conocimiento porque sin su guía no hubiera encontrado el camino. Agradezco a mis hijas Violeta, Marina y Anasol, por todo su cariño, consejos y conocimientos, gracias porque adoptaron al águila real como un miembro más de la familia y como un comensal asiduo en nuestra mesa.

Agradezco a Miguel Ángel Díaz Castorena, y al M. en C. Manuel de Jesús Macías Patiño, sus observaciones, informaciones personales, consejos y orientaciones, pero sobre todo valoro su amistad y su compañía en los sitios de anidación y en la vida diaria. A mis amigos y compañeros de expediciones, al Ing. Ricardo Montañez Lugo, al M. en C. Roberto Terry Flores Rodríguez, al Dr. Gustavo Cervantes Rodríguez y al M. en C. Rodolfo González Parga, agradezco su apoyo para obtener las muestras de plumas a riesgo de su integridad personal. Agradezco a la Dra.en C. Marisa Mercado Reyes sus conocimientos y apoyo, así como al Q.F.B. Isaac Juárez Rosales y la Dra. en C. Marisol Blancas Mosqueda. Gracias al Ph. D. Mohamed H. Badii S. juntos forjamos la idea original de esta tesis, y a la Dra. en C. Adriana E. Flores su apoyo incondicional.

Esta tesis se financió con los proyectos Clave ZAC-93 FOMIX-2003-01 y Clave ZAC-2008-C01-109149 apoyado por los Fondos Mixtos, y la beca PROMEP a través de la Universidad Autónoma de Zacatecas, mi *Alma Mater* a quien nunca podré agradecer suficientemente lo que ha hecho por mí, espero retribuirle con mi prestigio de universitario por siempre. Agradezco a la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, como institución y como organismo vivo, siempre estaré en deuda de gratitud con mis maestros y asesores. Igualmente estoy agradecido con las autoridades directivas y de la Subdirección de Post Grado así como con los conspicuos integrantes de mi Exámen Predoctoral y de mi Honorable Comité de Tesis Doctoral. Hago patente mi gratitud y respeto al Doctor en Ciencias Juan Homero López Soto, por su asesoría y por su intervención personal.

Para:  
María del Carmen Mondragón de la Peña  
*“Ojos míos que sois mis ojos...”*  
Gracias por existir

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
JUSTIFICACIÓN	20
HIPÓTESIS	21
OBJETIVO GENERAL	22
OBJETIVOS PARTICULARES	22
MATERIAL Y METODOS	24
RESULTADOS	38
DISCUSIONES	70
CONCLUSIONES	103
PERSPECTIVAS	105
ANEXO MAPAS	106
BIBLIOGRAFÍA	116
RESUMEN BIOGRÁFICO	129

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Género Aquila	10
Tabla 2. Subespecies de águila real	11
Tabla 3. Oligonucleótidos de águila real	26
Tabla 4. Regionalización de cuadrantes y municipios	36
Tabla 5. Distribución de microsátélites en águilas reales	39
Tabla 6. Matriz de similitud de Jaccard entre las águilas reales	42
Tabla 7. Monitoreo de sitios de anidación de 2004 a 2009	47
Tabla 8. Condición del hábitat en el sitio de anidación en la Sierra Fría	49
Tabla 9. Condición del hábitat en sitios de anidación en la Valparaíso 1, 2 y Lobatos	50
Tabla 10. Condición del hábitat en sitios de anidación en Concepción del Oro El temeroso, Las piedras de Manuel y el Papagayo	52
Tabla 11. Demes resultantes de la dispersión agregada de los sitios de anidación	54
Tabla 12. Distancia entre demes a partir de la distancia media	56
Tabla 13. Distancia del deme vecino más cercano	56
Tabla 14. Distancia entre sitios de anidación, vecinos más cercanos	57
Tabla 15. Número de registro de cuadrantes y sitios de anidación por cuadrante	58
Tabla 16. Relaciones de elementos del paisaje y sitios de anidación por cuadrante	60
Tabla 17. Respuestas a la identificación de águilas reales en su hábitat	62
Tabla 18. Apreciación utilidad de las águilas reales	66

Tabla 19. Percepción si debería seguir habiendo águilas reales	67
Tabla 20. Conocimiento de la relación del águila real con los Símbolos Patrios y con la ocurrencia en México de la especie	68
Tabla 21. Conocimiento de la ocurrencia de águila real en otros países	68
Tabla 22. Percepción de valores	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. ADN de águila real	25
Figura 2. Índice de Jaccard	27
Figura 3. Índice de Jaccard	27
Figura 4. Índice de Clark y Evans	32
Figura 5. Índice de dominancia	32
Figura 6. Índice de equitatividad de Shannon	33
Figura 7. Mapa de México que muestra la zona de estudio	37
Figura 8. Mapa del centro norte de México que muestra zona de estudio	37
Figura 9. Expresión del microsatélite Aa 43 en las muestras de plumas de águila real	40
Figura 10. Poblaciones de águila real separadas en el cladograma	44
Figura 11. Mapa de poblaciones genéticas identificadas por el método UPGMA	46
Figura 12. Sitios de anidación georreferenciados de águila real	53
Figura 13. Demes resultantes del análisis del deme más cercano	55
Figura 14. Distancia a la que han visto águilas reales	63
Figura 15. Reconocimiento previo a la encuesta y posterior de la coloración	64
Figura 16. Identificación previa a la encuesta de águilas reales por la coloración del plumaje	64
Figura 17. Modelo de función incidencia Hanski 1999, Bierman 2000	77
Figura 18. Distancia entre sitios de anidación	82
Figura 19. Distancia euclidiana entre sitios de anidación	84

Figura 20. Sitios de anidación del norte, Concepción del Oro 1 y Concepción del Oro 2	107
Figura 21. Sitios de anidación del noroeste: Nieves 1, 2 y 3. El Tanger y Guadalupe de las Corrientes	108
Figura 22. Sitios de anidación vistos desde el sur	109
Figura 23. Sitios de anidación del oeste, del sur, del centro y de Guanajuato	110
Figura 24. Brechas y terracerías	111
Figura 25. Carreteras y sitios de anidación de águila real	112
Figura 26. Escorrentías, embalses y sitios de anidación	113
Figura 27. Localidades y sitios de anidación	114
Figura 28. Minas, aprovechamientos mineros y sitios de anidación	115

## RESUMEN

El águila real (*Aquila chrysaetos*) es una especie a la que diversos factores han contribuido a fragmentar su hábitat natural y aislar poblaciones por lo que el status en la NOM-059-2010 es de especie amenazada con 81 parejas reproductoras en México y 27 en el estado de Zacatecas. Los objetivos fueron: demostrar la conectividad genética entre sitios de anidación y evidenciar la percepción y la actitud de los habitantes de localidades aledañas a los sitios de anidación. Se colectaron plumas de volantones de la Sierra Fría, sierra de Monte Escobedo, sierra de Valparaiso y sierras de Concepción del Oro del estado de Zacatecas, y de un ejemplar de Corralejo, Guanajuato. Se analizaron ocho microsátélites de águila real mediante PCR, la heterogosis para distancias geográficas se probó con el software Genepop y el dendograma se analizó con el programa Arlequin estimando la similitud entre los individuos con el índice de Jacard. La distancia genética de las poblaciones se comparó contra las distancias entre las poblaciones en su hábitat natural. El análisis geográfico se realizó a partir de veinticinco variables del hábitat. La distribución espacial de los sitios de anidación se realizó con el modelo de vecino más cercano y el patrón de distribución espacial y los fragmentos del hábitat, se estimaron con los modelos de dominancia y equitatividad. Para la percepción social se compararon actitudes antes y después de aplicar un modelo basado en material especializado. Se concluyó que las siete poblaciones identificadas tienden a formar metapoblaciones, en las que la deriva genética es más importante que el flujo genético limitado solo por los volantones que se dispersan entre los demes. La distribución de las águilas reales depende del agua, de la anchura y del área de la geoforma donde anidan; de la pendiente y de la distancia entre sitios de anidación. Los demes geográficamente identificados coinciden con las poblaciones genéticamente diferenciadas. El águila real se percibe como una especie más en el ecosistema y como depredador que afecta intereses económicos; el conocimiento de la especie es mayor en el ámbito rural que en el urbano, y el águila real induce valores sociales y culturales importantes. El águila real es una especie perseguida, vulnerable y frágil y requiere de acciones urgentes para conservarla.

## ABSTARCT

The golden eagle (*Aquila chrysaetos*) is a species to which various factors contributed to their natural habitat fragment and isolate populations, so the status in NOM-059-2010 is threatened with 81 breeding pairs in the country and 27 in the state of Zacatecas. The objectives were to demonstrate the genetic connectivity between nesting sites and demonstrate the perception and attitude of the inhabitants of villages surrounding nesting sites. Feathers of fledglings were collected from the Sierra Fría, Sierra de Monte Escobedo, Sierra de Valparaiso and Sierras de Concepcion del Oro, all the state of Zacatecas, and a sample of the Corralejo, Guanajuato. We analyzed eight specific microsatellite PCR golden eagle, the geographical distances heterogosidad tested with Genepop softwear and the dendrogram was analyzed with the program Arlequin estimating similarity between individuals through Jaccard index. The genetic distance of populations were compared against the distances between populations in their natural habitat. The geographical analysis was performed from twenty five habitat variables. The spatial distribution of nesting sites was performed using the nearest neighbor model and the spatial distribution pattern, and habitat fragments were estimated with models of dominance and evenness. Social perception is performed by comparing attitudes before and after applying an educational model based on specialty information. It was concluded that the seven identified populations tend to form metapopulations, in which genetic drift is more important than gene flow limited only by the fledglings that are dispersed among demes. The distribution of water depends golden eagles, width and area of the landform nesting, the slope of the terrain and the distance between nesting sites. The demes match geographically identified genetically distinct populations. The golden eagle is seen as one more species in the ecosystem and affecting predatory economic interests, knowledge of the species is higher in rural areas than in urban areas, and the golden eagle contradictorily induces important social and cultural values. The golden eagle is a target species, vulnerable and fragile in their populations and their habitat and requires urgent action to preserve it.

## INTRODUCCION

El águila real (*Aquila chrysaetos canadensis*, Lineo 1758), es una especie de amplia distribución en América del Norte, en el centro de México se limita su distribución ya que al sur de los Estados Unidos el águila real no es una especie migratoria y sus movimientos son locales en regiones claramente definidas. Los mapas de distribución señalan la ocurrencia desde la frontera norte hasta el centro de México, en realidad debieran representarla por puntos ahí donde ocurren solamente setenta y un parejas reproductoras, la situación de la especie es mas allá de amenazada, su extinción en México es una sombra que avanza progresiva sobre los sitios de anidación cada vez más vulnerables.

El motivo que nos llevó a desarrollar esta tesis fue encontrar vías directas de conservación para cada sitio de anidación en lugar de adoptar medidas generales de manejo. En principio fue necesario definir los límites de las poblaciones y su comportamiento, la pregunta que subyace es: ¿migración o recolonización?. Otra duda a despejar fue ¿cuáles son las variables del hábitat que determinan que una pareja de águilas reales se convierta en residente?, esta pregunta encierra otras: ¿las águilas seleccionan un hábitat óptimo o un hábitat útil? puesto que el hábitat cada vez lo comparten más con especies domésticas y actividades vinculadas al desarrollo social humano; ¿hay condiciones del hábitat que favorecen la selección de sitio de anidación? con frecuencia esta pregunta se asume al suponer como suficiente hábitat las escarpas, los llanos y la vegetación que cubre el terreno; ¿cómo se distribuyen los genes entre los sitios de anidación?, ¿hay comunicación genética entre ellos? y si es así ¿hasta que distancia?; y finalmente ¿los sitios de anidación se distribuyen en forma metapoblacional?. Suponiendo un estado óptimo de conocimiento de selección de medidas de conservación, no es posible aplicarlas sin considerar al factor de coexistencia o de extinción principal: las sociedades humanas. Aunque se asume que una especie tan simbólica como el águila real en México, debiera ser ampliamente conocida, aceptada, culturizada y protegida, pudiera decirse que la educación ambiental y la cultura cívica

han contribuido para ello pero en este estudio pretendimos conocer cómo conviven en el mismo hábitat águilas reales, pastores, agricultores, ganaderos, criadores de cabras y ovejas, cazadores, turistas y mas allá, ¿cómo asume la difusión oficial de la cultura al águila emblemática de México, y cómo la asumen los estudiantes tanto en el ámbito rural como en el urbano?, por último quisimos saber qué significa para los niños el águila real.

Para despejar las preguntas planteadas, se conjuntaron diversas tecnologías, la información básica partió de la colecta de plumas de volantes de águila real una vez que abandonaron los nidos; con métodos y técnicas clásicas de campo fueron seleccionados sitios de anidación y se registraron comportamientos reproductivos y de cría, de parejas adultas y de nidantes. Las plumas fueron recolectadas descendiendo a nidos recién abandonados, y se geoposicionaron en un sistema de información geográfica en el que se analizaron las distancias, agrupamientos y las características del hábitat que pueden determinar el asentamiento de una pareja en un sitio particular y la distribución espacial de los sitios de anidación. El estudio de ADN consistió en el análisis de microsátélites específicos de águila real y a partir de la similitud entre las plumas de águila se elaboró un árbol cladístico con el que se separaron poblaciones o grupos genéticos que se compararon con las poblaciones separadas por modelos poblacionales. Por último se diseñó un modelo educativo para aplicarlo a localidades aledañas a sitios de anidación rurales y urbanos para conocer el significado del águila real entre personas que de alguna forma o de otra influyen en la permanencia de águilas reales en sus sitios de anidación.

Las hipótesis resueltas explicaron por si mismas aspectos desconocidos pero surgieron nuevas preguntas, recientes necesidades de respuesta urgentes porque las poblaciones de águilas reales son finitas, y lo que queda en claro es que la extinción del águila real puede ser un hecho, y que si el águila real que es la especie bandera de la conservación en México se extingue, otras especies seguirán el destino de la extinción y se expondrá la mega diversidad de México.

## ANTECEDENTES

México es un país mega diverso y posee 1,007 especies de aves que representan 30% más que las que contienen los territorios de Estados Unidos y Canadá en conjunto aunque solo abarca el 11% de la misma área, también es rico en endemismos, el 31% de las especies endémicas del mundo se encuentran en territorio mexicano donde el 51% de las especies son endémicas, el águila real (*Aquila chrysaetos*, Linneo 1758) fue declarada como la especie emblemática de la conservación de la biodiversidad mexicana en el año 2010.

El águila real se distribuye en el hemisferio norte y se ha vinculado con las civilizaciones quienes le han otorgado un sitio preponderante en sus culturas, desde luego, la magnificencia de su estampa, su temperamento agresivo pero adaptable al manejo, su eficiencia depredadora y su naturaleza de vida en sitios remotos y elevados han influenciado mitos y verdades. El crecimiento poblacional humano, el desarrollo de ciudades y poblamientos han sido causas a partir de la segunda mitad del siglo XIX que le han ganado a su tendencia natural evolutiva y adaptativa, llevando a la tan admirada especie, al borde del abismo de la extinción casi en todo el mundo. En algunos países de Europa y en Estados Unidos de América, no sin dificultades, de acuerdos con ganaderos, pastores, desarrolladores urbanos y deportistas extremos, los gobiernos implantaron estrictas medidas de respeto hacia la convivencia con el águila real y pudieron rescatarla de la extirpación local y seguramente de la extinción de grandes áreas de ocurrencia.

Por eso muchos países, entre ellos México, signó los Anexos I, II, y III, del acuerdo para proteger y excluir no solo al águila real, sino a todas las aves rapaces del comercio ilegal y de su tránsito injustificado, de la Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna (CITES) en vigor desde el 16 de octubre del 2003 aunque participa en el acuerdo internacional de la CITES desde 1990. En México en el año 2001 se modificó la Norma Oficial Mexicana, NOM-059-2001, regulatoria del

estatus de las especies, y cambió al águila real de especie en riesgo a especie amenazada por considerar que las dimensiones de las poblaciones de águila real en Estados Unidos y en Canadá, aseguran a las poblaciones de águila real en México. Esta desafortunada tipificación fue analizada y discutida y en el Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Águila real, de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), al águila real para efectos de manejo y aplicación de medidas de conservación, se le considera en peligro de extinción. La conservación de las poblaciones dispersas de águila real en México es aún incipiente y los recursos federales son escasos, por lo que la participación de profesionales e instituciones privadas es importante, no es fácil romper los mitos en torno a la especie porque a pesar de ser una especie tan popular, aun se conoce poco del águila real mexicana.

### **Aspectos generales del Género *Aquila***

Las diversas especies de águilas doradas en el mundo han padecido la misma suerte que las águilas en América del Norte y se encuentran o se han encontrado alguna vez en peligro de extinción, las causas son diversas, pero coincidentes en todos los continentes, ha sido realmente hasta el siglo veinte que se despertó el interés por protegerlas y recuperar sus poblaciones a pesar de la carga cultural que las águilas doradas en general, han tenido en las diversas culturas a través del tiempo.

El águila real o águila dorada pertenece al Género *Aquila* de la Familia Accipitridae (Tabla 1), a los miembros de este género se les denomina águilas doradas por la iridiscencia dorada de sus plumas, aunque es el *Aquilachrysaetos*, la que presenta esta cualidad con mayor intensidad (Watson 1997) y la subespecie americana representativa es el *Aquila chrysaetos canadensis*(Linnaeus 1758; Howard y Moore 1991). En la distribución del águila dorada en el mundo se distinguen seis subespecies en base a su tamaño y coloración (Tabla 2). Las águilas doradas se distribuyen en todos los continentes, pero en África y Asia Central se concentran la mayor cantidad de especies, las cuales se relacionan con el continente europeo a través de la migración.

## Clasificación y Sistemática

Reino: Animalia

Phyllum: Chordata

Subphyllum: Vertebrata

Clase: Aves

Orden: Falconiformes

Familia: Accipitridae

Género: *Aquila*

Especies:

*Aquila chrysaetos*

*Aquila clanga*

*Aquila pomarina*

*Aquila heliaca*

*Aquila nipalensis*

*Aquila rapax*

*Aquila wahlbergi*

*Aquila verreauxii*

*Aquila audax*

*Aquila gurneyi*

*Aquila vindhiana*

*Aquila adalberti*

Subespecies de *Aquila chrysaetos*:

*A. c. chrysaetos* (Linnaeus 1758)

*A. c. homeyeri* (Severstzov1888)

*A. c. daphanea* (Severstzov1888)

*A. c. kamtschatica* (Severstzov1888)

*A. c. japonica* (Severstzov1888)

*A. c. canadensis* (Linnaeus1758)

El águila de cola de cuña (*Aquila audax*) es la especie de ave más grande de Australia y es la más corpulenta del género, aunque no la de mayor envergadura, es una especie sometida a una intensa presión por considerarse depredadora de ovejas y de ganado y ha sido el pretexto para someterla a cacería intensa, al grado de que la amenaza sobre la especie es cada vez mayor. Igual situación afecta al águila de Gurney cuyo hábitat está aún más restringido, y no hay posibilidades de recuperación o de conservación fuera de Australia y de Nueva Guinea respectivamente. En Australia el águila de cola de cuña se alimentaba de pequeños marsupiales, pero actualmente su principal fuente de alimento lo constituyen los conejos, que paradójicamente son considerados como especie plaga debido a su introducción al continente sin considerar sus efectos, aun así, el águila de cola de cuña en lugar de ser protegida por el servicio ambiental, es perseguida y sometida a cacería desmedida. La cacería la desarrolla sobre todo en la mañana y permanece casi toda la mañana planeando en la altitud, solo desciende para atacar alguna presa o para perchar, la temporada de reproducción inicia con vuelos de cortejo y es durante los meses de agosto y septiembre, la puesta es en los meses cálidos de la primavera austral y consiste en dos huevos, y generalmente sobreviven ambas crías que dependen de los progenitores hasta después de su primer vuelo.

El águila de Gurney (*Aquila gurneyi*) además de habitar en Nueva Guinea, Islas Arú, al norte de las Islas Molucas ocurre también en Australia, es menos conocida que el águila cola de cuña, y posiblemente esté más expuesta a la presión y su status sea más grave hacia la extinción, a excepción de Australia, y del resto de las especies del género, su hábitat es el bosque, pero infortunadamente el bosque y el hábitat están desapareciendo por la tala intensa.

Las dos águilas europeas, el águila moteada mayor (*Aquila clanga*) y águila moteada menor (*Aquila pomarina*) son difíciles de distinguir, sobre todo en estado adulto cuando ya no son moteadas, ambas solo pueden distinguirse por su ocurrencia en el hábitat que lo reparten, el águila moteada mayor es una rapaz típica de matorrales y valles y se asocia a lagos y playas de lagos, su alimentación es principalmente a base de aves acuáticas grandes, en tanto que el águila moteada menor ocurre cerca de los bosques o

dentro de ellos, se alimenta de aves del bosque y ambas especies son eficientes cazadoras de mamíferos de talla media, las presas son cuarteadas y llevadas a las ramas altas de árboles altos. Ambas especies migran en invierno al noreste de África o al Medio Oriente. El águila moteada (*A. clanga*) es una especie en peligro de extinción en Europa, su población se estima en mil parejas y la tendencia es que la población disminuya, habita en Rusia y en países del este, pero migra hacia el norte de África y en la costa mediterránea de Europa, en España es una rareza y su ocurrencia obedece a la invernación en costas cálidas españolas (Barrientos y Bolonio 2002).

El águila leonada (*Aquila rapax*) recibe su nombre por ser además de una ave rapaz eficiente como cazadora y carroñera, una pirata de las presas de otras aves, el cleptoparasitismo y su amplia gama de presas son factores para que sea una especie numerosa y versátil en cuanto a la ocupación de hábitat, por lo que su distribución incluye el este de Europa, la mayor parte de Asia, y la mayor parte de África. La población norteña es migratoria y durante la migración forma grandes parvadas.

En África el águila leonada se confunde con el Águila de Wahlberg (*Aquila wahlberi*) ya que morfológicamente son similares, aunque ésta no es cleptoparásita, es una eficiente cazadora en arbolados o matorrales de sabanas. Su alimentación consta de aves, mamíferos y reptiles, el acarreo de las presas lo hace volando de árbol en árbol.

El águila imperial (*Aquila heliaca*) es poco más pequeña que el águila real y con las iridiscencias doradas más intensas. Ocurre ampliamente en Asia central y en Europa donde la población está amenazada porque prefiere zonas abiertas donde la actividad humana es más intensa. La población española presenta marcas en forma de barra blancas sobre los hombros, y es la de mayor riesgo de extinción.

El águila de Verreaux (*Aquila verreauxi*) es el águila de más poderoso vuelo, y es de mayor apariencia majestuosa. También se llama águila negra y el nombre es en razón de los naturalistas franceses de apellido Verreaux quienes estudiaron la flora y la fauna del Cabo a principios del siglo XIX. Las montañas rocosas y los cañones son el hábitat del

águila porque son las tofoformas que le proporcionan las condiciones para elevarse y sostenerse en el aire, sus vuelos son más de carácter territorial que alimenticio y los ataques entre las parejas contiguas son raros. Durante las horas de calor permanecen perchados en rocas u aseándose.

Se alimentación consta de roedores principalmente de hyrax de roca también llamados dassies (Orden Hyracoidea, Familia Procaviidae, *Procavia capensis*) cuyo peso no excede de 2.5 kg y su longitud total es de 440 a 450 mm (Roche 1972), en Somalia y Etiopía la base de su alimentación son antílopes pequeños y liebres que no pesan más de 10 kg.

Anida en rocas y como el águila real, construye hasta seis nidos aunque a diferencia de ésta, solo ocupa uno o dos en su vida reproductiva, el nido mide 2.5 m de diámetro y llega a medir un metro de alto. La postura es de dos huevos a intervalos de tres días, la hembra incuba los huevos y ocasionalmente los machos lo hacen durante las horas diurnas.

Del género *Aquila* solo el águila real (*Aquila chrysaetos*) ocurre en el continente americano, el resto del grupo son originarias del viejo mundo, principalmente de África, Asia y Europa. Todas las especies recuerdan por su color y talla al águila real, y en vuelo solo puede semejarse con el águila real, el águila de Verreaux.

Es incontrovertible que las águilas son excelentes cazadores, su vuelo es veloz y sorpresivo y puede durar periodos prolongados, Zinner y Peláez (1999) documentan 3 ataques de águilas de Verreaux sobre papiones (*Papio hamadryas hamadryas*) en Eritrea, en los cuales los papiones macho respondieron en forma diferente que a los ataques por águila leonada (*Aquila rapax*) y señalan a las águilas como depredador y causa de la presión sobre las de poblaciones de *P. hamadryas*.

El águila de Adalberto y el águila imperial se encuentran en el Apéndice I de la CITES (16/10/2003) porque son especies apreciadas por los cetreros para exhibiciones más que para cacería, ya que no es fácil controlarlas y por su peso son poco manejables.

El *A. c. chrysaetos* (Watson 2010) ocupa desde el noreste de Europa, desde Escocia hasta Rusia, anidando en Francia, los Alpes centrales, los Apeninos de Italia, las islas de Córcega, Cerdeña y Sicilia y los Balcanes. En la Península Ibérica y norte de África ocurre *A. c. homeyeri* desde Egipto, Creta e Irán, escasamente se encuentra en Yemen, Omán y Etiopía, la subespecie es más pequeña y oscura que la del norte de Europa. El águila de los Himalaya, el *A. c. daphanea* es la más grande de las razas de águilas doradas, se distribuye desde el este de Irán, Pakistán, norte de la India y Nepal, hasta el oeste y centro de China, no ocurre en la meseta del Tíbet. El águila dorada de Siberia es *A. c. kamtschatica*, ocurre desde el oeste de Siberia en el Altai, se integra a la subespecie de *A. c. chrysaetos* y continúa la distribución hacia Mongolia, Siberia y la península de Kamchatka y el noreste de Rusia. Esta subespecie es muy grande. La más pequeña y de distribución más restringida es el *A. c. japonica*, en vuelo a la distancia se pierde el contorno de la silueta, la coloración oscura, casi negra de la edad juvenil se transforma en café bronceado, a partir de los primeros vuelos y en la edad adulta se manifiesta, como en otras subespecies de águila real, la clásica iridiscencias doradas en la nuca y el dorso, igualmente durante el primer año de vida los juveniles presentan un parche blanquecino en la cara ventral de las alas y la cola al principio tiene una ancha banda blanca en la base y una banda oscura en la punta de las plumas de la cola. Los machos son aproximadamente un tercio más pequeños que las hembras, el peso es entre 3 y 6 kilos y la envergadura en la edad adulta es de 2 a 2.5 metros(Watson 1997 *Op. cit.*).

Tabla 1. Género Aquila

ESPECIE	NOMBRE COMUN	DISTRIBUCIÓN	LONGITUD TOTAL (LT)	LONGITUD DE ALAS (LA)	LA / L T
<i>Aquila chrysaetos</i>	Águila dorada o Águila real. Golden eagle	Hemisferio norte América Europa central Irán Siberia Japón	76-89	571-711	7.68
<i>Aquila clanga</i>	Águila moteada mayor. Greater spotted eagle	Noreste de Europa Asia central Siberia	66-74	495-546	7.45
<i>Aquila pomarina</i>	Águila moteada menor Lesser spotted eagle	Europa central Este de Europa India Burma	61-66	445-508	7.43
<i>Aquila heliaca</i>	Águila imperial. Imperial eagle	España Sur este de Europa, Asia Central Sur de Asia	79-84	571- 660	7.44
<i>Aquila nipalensis</i>	Águila esteparia. Steppe eagle	Sur de Asia	-	-	-
<i>Aquila rapax</i>	Águila leonada. Tawny eagle	Este de Europa Asia África	66-79	482-559	7.21
<i>Aquila wahlbergi</i>	Águila de Wahlberg. Wahlberg's eagle	África al sur del Sahara	-	393-445	-
<i>Aquila verreauxii</i>	Águila de Verreaux. Verreaux's eagle	África al sur del Sahara Áreas montañosas de Eurasia y África	79-97	559-635	6.87
<i>Aquila audax</i>	Águila negra Águila de cola acunada. Wedge-tailed eagle	Australia	91-102	584-673 6.48	-
<i>Aquila gurneyi</i>	Águila de Gurney. Gurney's eagle	Islas Molucas y Nueva Guinea	-	533	-
<i>Aquila vindhiana</i>					-
<i>Aquila adalberti</i>	Águila de Albert. Adalbert's eagle	-	-	-	-

Características de las especies del género Aquila. El *A. verreauxii* y el *A. audax* poseen mayor longitud corporal pero menor envergadura que *A. chrysaetos* y menor proporción envergadura/longitud. La especie de mayor capacidad de planeo es el águila real con mayor capacidad de sustentación el vuelo de planeo. El águila real es la de mayor distribución mundial. Basado en Watson (1997).

En Estados Unidos y Canadá el águila real no se encuentra en status, de hecho las poblaciones se han recuperado a tal grado que cerca de san Francisco en California se encuentra una área de 820Km<sup>2</sup> denominada Diablo Mountains y contiene la mayor densidad de sitios de anidación en el mundo, el hábitat es de pastizal y bosque de encino

y sostiene 44 territorios de anidación que corresponde a 1 sitio de anidación por cada 19 Km<sup>2</sup> (Hans Peeters 1998).

La subespecie *A. c. canadensis* es el único miembro neártico del género que se distribuye ampliamente en Alaska, centro de Canadá, oeste de Estados Unidos y México. En Estados Unidos la población mayor se encuentra en la Gran Planicie desde el oeste de las Dakotas, Nebraska y Texas hasta el Pacífico, en el este ocurren hasta las Montañas Apalaches.

Tabla 2. Subespecies de águila real

SUBESPECIE	DISTRIBUCION	TALLA Y LONGITUD DE ALAS	CARACTERISTICAS
<i>A. c. chrysaetos</i>	NW de Europa. Desde Escocia hasta los Balkanes y hasta Sicilia.	Media. Alas hembra 670 mm	Coloración café pálido el cuerpo y la nuca dorada, pico pálido..
<i>A. c. homeyeri</i>	SW de Europa. Península Ibérica y norte de África hasta Etiopía.	Pequeña. Alas 635 a 684 mm y 600 a 643 mm	Nuca, espalda y hombros mas oscuro que en <i>chrysaetos</i> ,
<i>A. c. daphanea</i>	Asía Central, en los Himalaya desde Afganistán y Baluchistán hasta Assam.	Grande. Alas de 660 a 700mm y de 630 a 655 mm	Lore gris, corona y lados de la cabeza café oscuro. Alas rojizas y manchas blancas.
<i>A. c. kamtschatica</i>	Siberia, Mongolia, península de Kamtchatka, Anadyr y norte de Rusia.	Grande. Alas de la hembra 690 mm	Plumas de la nuca rojizas café
<i>A. c. japonica</i>	Japón y Korea	Pequeña. Alas de la hembra 630 mm	Obscura, plumas de la nuca rojizo oscuro
<i>A. c. canadensis</i>	Norte América, desde Alaska y norte de Canadá hasta centro de México, posiblemente hasta Oaxaca.	Media. Alas hembra 571-711 mm	Obscura distintivo rojizo de la nuca con iridiscencias doradas

Subespecies de águila real (*Aquila chrysaetos*) aunque varían en tamaño y coloración todas las subespecies presentan iridiscencias doradas en la nuca, todas anidan por arriba de los 1800 metros y algunas subespecies traslapan su distribución parcialmente.

## **El águila real en México**

El estudio para la conservación del Águila Real (AR) en México tiene sus orígenes en 1985 a través de un programa del Gobierno de México orientado hacia la conservación de cien especies prioritarias mexicanas, con lo cual también se inicia el primer listado de especies que después daría lugar a la Norma 059 que establece el status de las especies en relación al riesgo de extinción. Derivado de este programa se desarrolló una evaluación de los sitios de anidación de águila real ocupados, abandonados y potenciales en el centro norte de México y en la península de Baja California. Los estados con mayor potencial de conservación fueron Zacatecas, Durango y Chihuahua y el norte, centro y sur de la península de Baja California. A partir de estos estudios la Secretaría de Medio ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), estableció el primer listado oficial de especies prioritarias para México (Carabias *et al.* 1997), del que se desprendió en 1999 el Programa de protección, conservación y recuperación del águila real (PREP: AGUILA REAL) basado en cinco estrategias básicas: educación y difusión; conservación y manejo; rehabilitación y manejo en cautiverio; investigación científica e inspección y vigilancia. El objetivo de este proyecto es que a través del cumplimiento de los objetivos y de las metas de cada estrategia, se recuperen las poblaciones naturales de águila real para que la especie pase del estatus de especie en peligro de extinción a especie amenazada en México (Tavizón *et al.* 2002). A partir del año 2008 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) estableció el Plan de Acción para la Conservación de la Especie: Águila Real (PACE AGUILA REAL), que es la actualización de las estrategias y acciones de conservación de la especie. A partir del año 2011 las organizaciones civiles (ONG) toman participación formal en el PACE con programación de aportaciones para más de cinco años (Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A. C. ). Tanto el PREP como el PACE fueron elaborados con la participación de especialistas tanto del propio gobierno, como investigadores, prestadores de servicios profesionales, representantes de ONG y propietarios de predios.

Las poblaciones de águila real en México se han reducido tanto en cantidad como en distribución, actualmente en el centro del territorio nacional no hay evidencias de anidaciones como antes de 1950, en 1942 Menguel y Warner avistaron al sur del estado de Hidalgo (México), en el municipio de Zimapán, dos águilas adultas y un juvenil volando desde las cumbres de las montañas cercanas, hacia el valle. Después de esta fecha no hay registros, pero desde 1998 al 2002 se reportaron dos nidos de águilas en la Sierras de Guanajuato, una pareja volando en la Sierra Gorda de Querétaro y el 15 de septiembre del 2005 fue avistada una pareja de adultos sobrevolando en el estado de Oaxaca (Estudillo 2002; Grosselet y Ruiz 2005). No hay ninguna evidencia de águilas reales en el Valle de México, pero es posible que en el periodo pre colonial y colonial, las águilas reales ocurrieran en las montañas aledañas a la actual ciudad de México y área metropolitana.

La distribución histórica se ha restringido posiblemente durante el siglo XX debido a diversos factores antropogénicos como la cacería ilegal, el saqueo de huevos y de crías, pero el más significativo después de la mitad del siglo veinte ha sido la pérdida, fragmentación del hábitat principalmente por incremento de la frontera agrícola, el desarrollo de la ganadería de ovinos y de caprinos y el crecimiento urbano en localidades rurales y citadinas. El desarrollo de la agricultura se extendió hacia los pastizales convirtiéndolos en tierras de cultivo, lo que cambió la estructura poblacional por destrucción de madrigueras de las presas de las águilas y de otras rapaces, además de que se combate sistemáticamente a las especies que causan pérdidas económicas en los cultivos como conejos y liebres, mismas que forman parte de las redes alimenticias de las águilas y de otras aves rapaces.

De los estudios de 1985 realizados en los estados de Coahuila, Durango, Zacatecas y Chihuahua, se desprendió que se había reducido notablemente la población de águilas en el rango histórico de distribución y entre las principales causas se atribuyeron al tamaño de puesta de huevos y al éxito reproductivo bajo de la especie, de 1.59 pollos por año en zonas sin perturbación y 0.4 en lugares perturbados, además se indicó como causa de fragilidad la alta mortalidad de juveniles 75% durante el primer año, así como la lenta

madurez sexual hasta el cuarto año. En Coahuila se reportaron 5 zonas de anidamiento, en Durango 3; en Zacatecas 5 y en Chihuahua 1. Las poblaciones de águila real aparentemente habían disminuido en zonas de desarrollo ganadero, sujetas a presión por excesiva cacería, centros turísticos, rancherías grandes, desarrollo de ejidos, pero también se encontró reducida la población en áreas no sujetas a presión o disturbio antropogénico (Rodríguez-Estrella y Nosedal 1985).

Hasta 1998 la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca del Gobierno de la República (SEMARNAP) volvió a desarrollar una evaluación para conocer la situación del águila real en México a través de los reportes realizados por especialistas en diversos estados. La distribución de sitios de anidación o de aves volando en solitario, en parejas o interactuando en grupos en los estados (Subcomité Técnico Consultivo para la Protección, Conservación y Recuperación del Águila real. SEMARNAT). En Zacatecas se inventariaron 12 sitios de anidación. En la Sierra Fría, serranía que comparten los estados de Zacatecas y Aguascalientes, se han monitoreado 2 sitios de anidación desde el año de 1990. En las serranías del norte, que forman parte del sistema montañoso de pliegues entre Zacatecas y Coahuila se han localizado áreas de anidación, en sitios próximos en cada estado, en montañas altas de bosque de encino - pino y pastizal. Una de estas áreas al este de Zacatecas coincide con sitios de anidación de San Luis Potosí, próximos a la sierra de Catorce y cercanos a un sitio de anidación localizado en el municipio de Galeana, Nuevo León. Estos sitios de anidación coinciden con la distribución histórica del perrito de las praderas *Cinomis mexicanus*. En la Sierra Madre Occidental se han reportado sitios de anidación en Valparaíso, Zacatecas, y Mezquitic, Jalisco, así como en las estribaciones de la Sierra Madre en la sierra de Monte Escobedo, Zacatecas, donde se han localizado 5 áreas de anidación que posiblemente también ocupen las sierras de Mezquitic. En el este de Zacatecas, colindando con el estado de San Luis Potosí, se reportó un sitio de anidación en el municipio de Pinos cercano a un sitio de anidación de Salinas y de la ciudad de San Luis Potosí, también en el Estado de Jalisco se reportaron ejemplares adultos en el municipio de Tonalá y en la sierra de San Cristóbal de la Barranca, en la cercanía de la ciudad de Guadalajara, una situación similar se tiene en San Luis Potosí donde se reportan dos nidos cercanos a la ciudad

capital. En el estado de Aguascalientes se localiza un grupo de sitios de nidación relativamente próximos entre sí en la Serranía de Juan Grande (Lozano 2008), el cerro de los Gallos y la Sierra Fría. Otros sitios de anidación que se reportaron en el rango de distribución histórica son en Baja California (Rodríguez-Estrella *et al.* 1991; Rodríguez-Estrella 2002), Sonora y Chihuahua.

En otros aspectos para conocer a la especie en Zacatecas se han realizado además la prospección de los sitios de anidación, otras consideraciones como la ocurrencia y distribución territorial, sin embargo con la información disponible se desconoce si los sitios de anidación se disponen en forma contagiosa, al azar o uniforme. Conforme la distribución de los sitios de anidación reveló la coincidencia con zonas de aprovechamiento maderero, y sobre todo de ganadería caprina y la consecuente mitificación de la especie como depredadora de ganado, se realizaron estudios de dieta para determinar la presencia de restos de ganado caprino o de cualquier especie doméstica, tanto en oteaderos, como en egagrópilas y principalmente en nidos recién desocupados por los volantones. Durante cinco años se recogieron nidos y observaciones de acarreo e ingesta de presas. La dieta se compone de 70.21% de liebres (*Lepus sp.*); 17.02% de conejos (*Sylvilagus sp.*); 4.26% de tlacuache (*Didelphis virginiana*) y el 2.13% lo integraron zorrillo (*Mephitis sp.*); ardilla de roca (*Spermophilus spilosoma*), un ejemplar de la Familia Strigiforme, posiblemente una lechuza y cuervos (*Corvus sp.*). No todas las especies estuvieron en los todos los nidos, la mayor diversidad (Shannon y Weaner 1947) estuvo en un nido con seis especies, y las asociaciones positivas se encontraron entre la ardilla de roca y el zorrillo, el zorrillo y la lechuza y entre la ardilla y la lechuza en tanto que las asociaciones negativas fueron entre el conejo y el cuervo, las asociaciones positivas demostraron que cuando está presente el zorrillo como elemento de la dieta, también estará la lechuza y la ardilla, en tanto que si estuvo presente el conejo e la dieta no lo estuvo el cuervo. No se logró determinar la presencia de ganado en la dieta ni de reptiles, aunque sí se observó el acarreo de una serpiente de talla pequeña por un adulto de águila, pero ni en los nidos ni en los oteaderos se encontraron restos de reptiles (Tavizón *et al.* 1995).

La elevada presencia de liebre y de conejo indujo a observaciones detalladas de las partes corporales que acarrean los progenitores a las crías, en el supuesto que dicha abundancia no necesariamente responde a la abundancia de las especies presas en el hábitat, sino que puede deberse a otros factores. Se realizó la electroforesis en gel de poliacrilamida de conejo, liebre, venado cola blanca, perrito llanero y ardillas, encontrando diferentes patrones de bandas de proteínas para cada especie y en el análisis de liebre y conejo se encontraron diferencias no solo en las proteínas de los cuartos anteriores, tórax, cuello y cabeza de conejos y liebres contra las proteínas de los cuartos traseros de ambas especies, mostrando además una diferencia significativa, más de dos veces y media, el contenido de agua en los cuartos traseros que en los anteriores, concluyendo que además de las proteínas el contenido de agua determina la mayor preferencia de las águilas por los cuartos traseros de las liebres como alimento de las crías. En efecto en las observaciones de campo fue una constante de observación que una vez que un adulto en periodo de crianza, al cazar una presa primero come en el sitio donde cazó, los tejidos blandos como el hígado, bazo, pulmones, corazón e intestinos, una vez satisfechas las necesidades propias en el caso de los conejos es común que los carguen y los lleven al nido, pero en las liebres dividen el cuerpo en dos mitades y primero acarrean las extremidades posteriores (Padilla y Tavizón 2012).

Las observaciones por 23 años de un sitio de anidación, desde 1990 al que se le ha dado seguimiento, situado en la Sierra Fría en Zacatecas, han mostrado que la anidación no es uniforme y que el éxito de nidada está sujeto a variables poco conocidas, se determinó una tasa de producción de 20 volantones a una tasa anual de producción de 0.86 individuos ya que en cinco años, no sucesivos, no se registró producción de crías. En contraparte el sitio produjo en dos ocasiones dos volantones por nidada, con diferencia de veinte años lo que equivale a una tasa de 0.086 de producción doble. Es posible también que en este sitio se haya repuesto en una ocasión la pareja reproductora, pero al no estar identificados los ejemplares no se puede hacer conjeturas al respecto, aunque en águila imperial española (*Aquila adalberti*) Marglida *et al.* (2008) encontraron que el éxito de nidada depende de la edad de la pareja reproductora y que las parejas de aves adultas son más exitosas en lograr volantones, que las parejas de aves reproductoras

jóvenes y que las parejas de inmaduros ocupan los territorios de baja calidad en tanto que las parejas reproductoras maduras ocupan territorios de alta calidad con lo que se asocia a mejores tasas de fecundación y de producción (Ferrer y Bisson 2003). La perturbación en las proximidades de los nidos durante la incubación, aparentemente está relacionado con el éxito de la incubación y puede incluso suspender el proceso de incubación con el consecuente abandono del nido, al menos en dos ocasiones, en el año 2006 y en el año 2008, la suspensión de la incubación estuvo relacionada con la perturbación inmediata al nido productivo, la primera fue un evento público y la segunda se produjo cuando productores locales de carbón, justo debajo de un nido pusieron una hornacina de madera para producir carbón en forma no tecnificada. En este periodo solo una cría ha sido observada que presentaba una enfermedad manifiesta y se trató clínicamente de infección micótica por *Favus sp.* a las dos semanas de vida, sin embargo el aguilucho llegó a la edad juvenil sin mostrar signos de la enfermedad. En este periodo se registró la muerte de un juvenil al parecer por intoxicado.

A partir del año 2001 se desarrollaron acciones de educación tendientes a la conservación de la especie, difundiendo material educativo y a través de los medios masivos de comunicación como programas de radio y de televisión de alcance nacional.

A pesar de las campañas educativas y de difusión de la conservación y de la vinculación de la ciudadanía a la conservación del águila real, en México se destacan dos hechos innegables, el que se combata a las águilas reales por considerarlas depredadores de ganado, principalmente de cabras y borregas, en un marco de desconocimiento de la ecología, biología y etología de la especie, y por otra parte la desinformación, y peor aún, la mala información que circula ampliamente en sectores de la sociedad atribuyéndoles características míticas de poderes sobrenaturales, poseedoras de atributos supra normales a partir de las plumas, garras, picos o huevos embrionados. Estos rezagos de información con frecuencia son difundidos y promovidos por los mismos educadores o por personas poco enteradas y de tendencias místicas, resultando consecuentemente un mercado ilegal de crías y juveniles y de partes corporales. Este mercado favorece el tráfico de la especie por la venta ilegal de especímenes y

consecuentemente la posesión ilegal sobre los mismos, y promueve que los vendedores asalten los nidos, roben los huevos o las crías, maten águilas adultas y que vendan como subproductos los despojos. Pero la desinformación también ocasiona que se forme una idea falsa de la especie atribuyéndole valores antropocéntricos como “buenas” o “malas”, “depredadoras”, “asesinas”, “sagradas”, “libres” entre otros juicios de valor.

El Águila Real ha sido considerada como la especie bandera para la conservación de la biodiversidad mexicana por ser notoria, carismática, identificable, además que el mensaje que porta es fácilmente transmitido y por su componente cultural en México. También es una especie sombrilla, porque su efecto sobre la conservación es de proteger a las especies y al hábitat así como a los 117 nidos de águila real de los cuales 70 son sitios de anidación y 43 están en el estado de Zacatecas (Elvira 2009) .

Falta mucho por conocer acerca del águila real y surgen preguntas que respondiéndolas para regiones concretas pueden extrapolarse al menos a regiones biogeográficas donde se adopten medidas para el manejo y la conservación de la especie. ¿Cuáles son las condiciones del hábitat que favorecen o que se interponen con el asentamiento de parejas reproductoras?, ¿cuáles son las poblaciones, si las hay, diferentes?, ¿cómo se distancian los sitios de anidación y a qué distancia está uno del otro?, ¿Cómo se distribuyen los genes, marcadores moleculares de ADN microsátélites, en las poblaciones?, ¿cómo perciben los habitantes de las poblaciones aledañas a los sitios de anidación de águilas reales a los ejemplares?, ¿cuáles son los valores que exalta la especie bandera de la conservación de la biodiversidad de México?.

En 2008 conjuntamente con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) se desarrolló la prospección de sitios de anidación en los estados de Aguascalientes, Zacatecas, Durango, San Luis Potosí, Coahuila, Chihuahua y Baja California, sobre la hipótesis de trabajo que en el territorio habría al menos 210 sitios de anidación, los resultados arrojaron una realidad más desalentadora pues solo fue posible georreferenciar 81 parejas reproductivas y 145 nidos registrados, solo en Durango

Zacatecas y Aguascalientes se georreferenciaron cuarenta y cinco parejas reproductoras, de las cuales más de la mitad ocurren en el estado de Zacatecas, en la abundancia relativa de los sitios de anidación recae la importancia de este trabajo, los resultados de Zacatecas se reportan en esta tesis y se analiza su estatus y amenazas, los sitios corresponden a las cinco regiones que se escogieron para el seguimiento de cinco años. Se desarrolló un Sistema de Información Geográfica (SIG AR) para la ocurrencia en todo el territorio de ocurrencia en el centro norte de México, en esta tesis solo se presentarán los resultados para Zacatecas, aunque otros autores lo han hecho para otros estados de la República.

## JUSTIFICACIÓN

Trabajos de esta naturaleza se justifican ampliamente y no es sino el primero de una secuencia de estudios que deben continuarse, tanto sobre la base de la biología, la ecología y la conservación del águila real, como de índole social y cultural. México cuenta con un inventario total de ochenta y un parejas reproductoras que en su inmensa mayoría no son migratorias y los sitios de anidación son ancestrales, paralelamente en México no hay la cultura de la conservación de especies en riesgo, apenas las primeras intenciones formales al respecto iniciaron en 1996. Estudios de esta naturaleza y subsecuentes se justifican en todas las especies sombrilla estratégicas para la conservación de la biodiversidad. La participación en ellos no puede ser solo desde el espacio académico, también la participación de la sociedad a través de organizaciones competentes, iniciativa privada, patrocinadores, propietarios de predios y personas interesadas, en su ámbito y competencia. El objetivo blanco debe ser el interior de los hogares, las aulas, los grupos de difusión cultural, los estudiantes de posgrado y los espacios de toma de decisiones empresariales, de comunicación, de educación y políticas.

# HIPÓTESIS

## **Hipótesis N° 1**

La distribución espacial del águila real es regular, con poblaciones tendientes a la dinámica metapoblacional interconectadas por el flujo genético y dependientes de variables del hábitat.

## **Hipótesis N° 2**

Los habitantes de las comunidades aledañas a sitios de anidación desconocen al águila real como especie y como elemento de la cultura, por lo que presentan actitudes desfavorables hacia las águilas reales.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general 1.1**

Demostrar la conectividad genética entre los sitios de anidación.

### **Objetivo general N° 1.2**

Demostrar la regularidad de la distribución de sitios de anidación y la independencia de las características del hábitat.

### **Objetivo general 2.1**

Determinar el nivel de conocimiento biológico, cultural y de percepción del Águila Real, que tienen las personas que habitan localidades aledañas a sitios de anidación de águilas reales.

### **Objetivo particular 1.1.1**

Colectar plumas de águila real de sitios de anidación del norte, del centro y del oeste del estado de Zacatecas y del estado de Guanajuato.

### **Objetivo particular 1.1.2.**

Obtener ADN a partir de plumas de águila real.

### **Objetivo particular 1.1.3.**

Analizar los microsatélites de las muestras procedentes de los sitios de anidación.

### **Objetivo particular 1.1.4.**

Obtener e interpretar el dendograma de similitud entre sitios de anidación.

### **Objetivo particular 1.2.1.**

Localizar sitios de anidación y nidos productivos de águila real y geoposicionarlos en un SIG.

### **Objetivo particular 1.2.2.**

Caracterizar el hábitat de los sitios de anidación del águila real.

**Objetivo particular 1.2.3.**

Desarrollar un sistema de información geográfica para geoposicionar los sitios de anidación en el Estado de Zacatecas y los principales sitios de ocurrencia.

**Objetivo particular 1.2.4.**

Describir el hábitat donde ocurren los sitios de anidación considerando variables de la vegetación, de las topofomas, de los cuerpos de agua, de los cauces hídricos e infraestructura para el desarrollo.

**Objetivo particular 1.2.5.**

Interpretar los factores que determinan la distancia entre los sitios de anidación.

**Objetivo particular 2.1.1**

Aplicar encuestas en localidades y escuelas aledañas a sitios de anidación de águilas reales, proporcionar información y evaluar el cambio en las actitudes hacia las águilas reales.

**Objetivo particular 2.1.2.**

Desarrollar en escolares de ambos sexos una prueba de conocimiento biológico y ecológico del Águila Real a través de la expresión artística (dibujo).

**Objetivo particular 2.1.3.**

Analizar la información derivada de los sitios de anidación y de las localidades de los sitios aledaños y sugerir acciones de conservación de la especie en la región.

## MATERIAL Y MÉTODO

Durante cinco años se colectaron plumas de águila real en los sitios de anidación de la Sierra Fría en Genaro Codina, Monte Escobedo, Valparaíso, Concepción del Oro, en el estado de Zacatecas y Corralejo en el estado de Guanajuato. A partir de las plumas se obtuvo un polvo fino raspando el cálamo de las plumas con limas finas. Además de las plumas de águila real se sometieron al mismo proceso plumas control de guajolote norteamericano (*Meleagris gallopavo*) silvestre.

### **Estandarización**

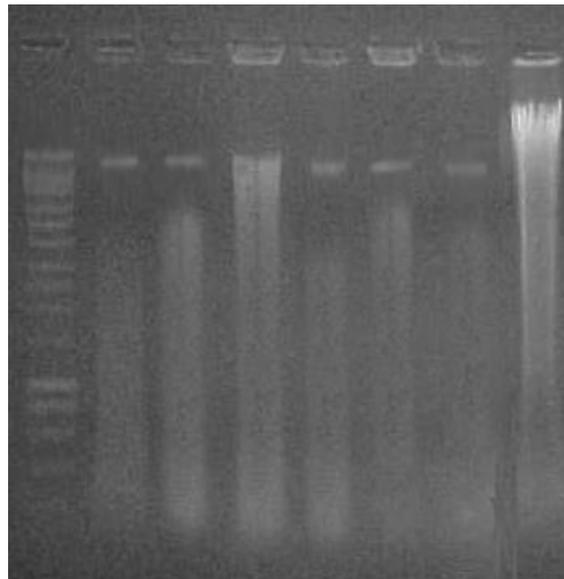
Obtención de ADN a partir de las plumas de águila real.

Cada pluma se lavó con alcohol al 96% y se obtuvo el polvo del cálamo desde el borde libre hasta el inicio de las bárbulas el polvo se colocó en morteros previamente esterilizados y calentados a 100°C durante tres días, para eliminar DNAasas. Luego los morteros se congelaron a -70°C durante media hora, el polvo de pluma se colocó en cada mortero y se le agregó por cinco veces 50 ml de nitrógeno líquido. Cada muestra homogeneizada en el mortero se pasó a tubos cónicos de 50 ml estériles, se agregó buffer SDS o RSV1 y se agitaron en vortex. Se agregó proteinasa K, 11 mg y se homogeneizaron en vortex, y se incubaron 3 horas a 37°C, después de este tiempo, se les agregó cloruro de sodio molar. El ADN se extrajo con una mezcla 10:10:1, de fenol, cloroformo y alcohol isoamílico, se mezclaron por inversión y se tomó la porción acuosa superior, a ésta se le aplicaron 2 volúmenes de dietil éter, se mezcló por inversión y se centrifugaron por 30 minutos de 3,000 a 5,000 RPM. Del centrifugado se eliminó la fase acuosa y se recuperó el precipitado al que se le agregó un mililitro de alcohol etílico y se refrigeró a -20°C por 12 horas. Posteriormente se centrifugaron por 20 minutos a -4°C a 10,000 RPM. Al centrifugado se eliminó la porción acuosa y se decantó el alcohol, el precipitado libre de alcohol se disolvió agregándole 100 microlitros de buffer TE y se mezcló por inversión, obteniéndose el ADN. A la mezcla se le cuantificó el ADN por espectrofotometría a 420 o 640 nanómetros.

### Corrimiento de ADN

En una cámara horizontal de corrimiento de ADN se aplican 25 ml de agarosa al 0.8% en Buffer TBE1 adicionado de 5 microlitros de bromuro de tudio y se colocó el peine separador. Las muestras se separaron con 3 microlitros de buffer de muestras (formamide), 10 microlitros de DNA en solución y se colocaron en el carril correspondiente. A la cámara se aplicó durante 20 minutos, 120 o 130 voltios de corriente eléctrica. Las placas de gel se observaron en cámara de luz ultravioleta para evidenciar las bandas de ADN.

Figura 1. ADN de águila real (*Aquila chrysaetos canadensis*)



1. Marcador de peso molecular
2. Águila Sierra Fría
3. Águila Monte Escobedo
4. Águila Monte Escobedo
5. Águila Monterrey
6. Águila Concepción del Oro
7. Águila Guanajuato
8. Guajolote Valparaíso

Imagen comparativa del patrón electroforético de ADN de seis águilas reales y de guajolote silvestre.

### Análisis con Microsatélites

Se seleccionaron ocho oligonucleótidos (Tabla 3) de águila real que se han utilizado en estudios similares con águilas imperiales (*Aquila adalberti*) en España (Martínez-Cruz *et al.* 2002; Juárez 2012; Mercado 2012). El ADN se extrajo de plumas y tejidos de águilas reales, de sitios de anidación de Genaro Codina, El Salvador, Monte Escobedo y Guanajuato. La extracción fue mediante fenol cloroformo (Refseth *et al.* 1997) y el

ADN obtenido se secó con etanol y se resuspendió con buffer TE (tris-HCl y EDTA) para amplificarse por reacción en cadena de polimerasa (PCR).

Para realizar la PCR se utilizó un termociclador (MJ research PTC-100) en 20  $\mu$ L conteniendo 16 mM (NH<sub>4</sub>)SO<sub>4</sub>, 2.5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.25 mM de cada dNTP, 0.5 U Taq ADN polimerasa, 0.25 de cada primer y 62.5 ng ADN, bajo las siguientes condiciones: una paso de desnaturalización inicial a 94°C; 17 ciclos de 92° C, continuando con 66-50° C por 30 s, disminuyendo un grado cada ciclo, y a 72° C por 30s; 19 ciclos de 92° C, 50° C por 30s y 72° C por 30 s, finalizando con 72° C por 5 min (Marshall *et al.* 1998).

Se probó la heterogosisidad para distancias geográficas con el software Genepop. El dendograma se realizó con el programa Arlequin (Raymond and Rousset 1995) y se estimó la similitud entre los individuos que compartían los mismos genes mediante el índice de Jaccard.

Tabla 3. Oligonucleótidos de águila real

Locus	Primer sequences 5′–3′
Aa02	F <sup>^</sup> : CTGCAGATTTACCTGTTCTG R: CTTCCAGGTCTTGCAGTTTACC
Aa04	F <sup>^</sup> : TGCAGCTCAAAGCAAAGG R: CAACCCCAACTCTCACACCT
Aa27	F <sup>^</sup> : GAGATGTCTTACAGCTTGGC R: AGTCTCAGAGACTGACGGACC
Aa35	F <sup>^</sup> : GCAGCAGAAAGTGCATACGA R: GACCAAATGAAATGCGCC
Aa36	F <sup>^</sup> : ACAGGCCAGCACCAAGAG R: TTTGGAGCCATTGTTACCGT
Aa39	F <sup>^</sup> : TTCTGTTTTTCCA CTGCTTG R: TATTGAGCTCACAAAACAAAGG
Aa43	F <sup>^</sup> : CCACACTGAGAACTCCTGTTG R: TTCTGAGAGCTCTTCCTGC
Aa49	F <sup>^</sup> : AGGAGGTGCCAGTTTTCTCC R: AGCGGTCTGTGGCTCAT

Fuente: Martínez Cruz *et al.* (2002).

Se empleó el método UPGMA (Unweighted pair-group method using arithmetic averages) para elaborar el árbol de distancia genética en base a la similitud de las poblaciones de águila real, expresado en un cladograma.

El índice de similitud de Jaccard es uno de los tres índices, Jaccard, Ochai y Dice, que cumplen con las condiciones de medir la asociación de atributos entre muestras de una comunidad o de un grupo de datos. Los índices de asociación deben cumplir con la condición de diferenciar la no asociación con valores de 0.00 y la asociación total en un límite medible y manejable, y los tres índices indicados poseen estos atributos ya que sus valores están comprendidos entre 0.00 no asociación y 1.00 asociación total. Otra característica es que discriminan entre valores positivos y negativos cuando cambia de posición en la comunidad. El índice de Jaccard originalmente fue diseñado para medir la asociación de las especies en una comunidad e indica la proporción muestras donde ambas especies ocurren sobre el total de muestras donde al menos una ocurre

Fig 2.  $JI = a / a + b + c$

Donde a,b,c, representan unidades de muestreo que contienen a las especies a,b,c.(Ludwin y Reynolds1988). El índice de Jaccard en una expresión matemática simple y clara en su significado, se basa en la relación presencia-ausencia entre el número de especies comunes en dos áreas y en el número total de especies. Este índice también se expresa de la siguiente forma:

Fig 3.  $ISj = [c / (a + b + c)] 100$

donde ISj es el Índice de semejanza de Jaccard, a, es el número de especies exclusivas de la comunidad a, b, es el número de especies exclusivas de la comunidad b, y c, es el número de especies comunes para ambas comunidades. en este estudio a y b representan

los genes presentes en el ADN procedente de las plumas a y b y c representa los genes comunes en el ADN de ambas plumas ( Badii, Landeros y Cerna 2007).

### **Georreferenciación de los sitios de anidación**

Se seleccionaron cinco regiones de ocurrencia de sitios de anidación o de ocurrencia de águilas reales, con la finalidad de verificar la actividad de los sitios de anidación durante el periodo de colecta de información para el sistema de información geográfica, colecta de plumas y componente social. Las regiones características de ocurrencia fueron Genaro Codina, Cuauhtémoc, Guadalupe, Concepción del Oro y Valparaíso, Zacatecas.

La actividad de los sitios de anidación se determinó por los indicadores de éxito del sitio de acuerdo a las variables:

- 1.- Temporada de anidación: año en que se realizó la observación del sitio.
- 2.- Región, de acuerdo al municipio y al principal sitio de anidación.
- 3.- Presencia de machos/presencia de hembras. Cantidad de crías y estatus: recién eclosionado (RE), volantón (V), roquero (R), juvenil (J), adulto (A).
- 4.- Actividad de ocurrencia. Actividad que desarrollaban los individuos al ser registrados: cortejo, anidación, cría, vuelo característico de la actividad como cacería, defensa de crías, vuelo de cortejo, sobrevuelo territorial.
- 5.- Productividad: cantidad de individuos producidos por una pareja por temporada.
- 6.- Condición del sitio: apreciación de la calidad buena, regular y mala, del territorio de cría y de cacería de un individuo o de una pareja reproductora, de acuerdo a la presencia de soportes para nidos tales como paredes verticales, árboles de más de 20 metros de altura o soportes artificiales. Altura de los nidos. Orientación de los sitios de anidación. Accesibilidad para depredadores incluyendo humanos. Actividad humana. Cobertura vegetal aledaña al nido. Cobertura vegetal de la zona de cacería. Uso del suelo, a mayor intensidad del uso, menor calidad del sitio.
- 7.- Número de sitios de anidación: Cantidad de sitios de anidación activos por región.

La condición del hábitat se determinó de acuerdo a las variables de condición a partir de 5 a los 25, 50 y 100 metros de la base del soporte del nido activo de acuerdo a las siguientes variables:

- 1.- Cobertura vegetal. Porcentaje de suelo cubierto por vegetación.
- 2.- Tipo de vegetación. Asociación vegetal dominante.
- 3.- Número de especies. Cantidad de especies vegetales presentes.
- 4.- Distancia del vecino más cercano. Menor distancia entre dos individuos de 50 centímetros o más de altura.
- 5.- Cobertura de copa. Superficie cubierta por la copa por estrato de matorral, arbustivo y arbóreo.

La caracterización de cada sitio de anidación se realizó mediante el trazado de línea de Canfield de 100 metros de longitud y medición en una parcela de diez metros cuadrados a partir de 5, 25, 50 y 100 metros de distancia, en cada parcela se cuantificó la cobertura vegetal, el tipo de vegetación, el número de especies vegetales observables, distancia del vecino más cercano tratándose de arbustos y árboles y cobertura de copa. La caracterización de campo fue empleada como referencia comparativa en cada sitio de anidación del SIG.

Para la totalidad de los sitios de anidación se dividió el estado en cuatro zonas de anidación de águilas reales, la zona norte que limita con el estado de Coahuila, la zona oeste en el municipio de Valparaíso, la zona centro que comprende los valles centrales y la zona este que limita con el estado de San Luis Potosí y Aguascalientes, se consideró un sitio extra aun poco estudiado en el sur del estado en colindancia con Jalisco. Se realizaron visitas a sitios ya conocidos y a los de reciente localización y se georreferenciaron.

Se distinguieron entre sitios de ocurrencia y sitios de anidación. Se consideraron sitios de ocurrencia a aquellos avistamientos continuos de águilas en actividad pero en los que no se ha localizado algún indicio de anidación o habiendo nidos, estos no han sido activos. Sitios de anidación son sitios de ocurrencia, comprenden uno o más nidos con

muestras actuales o antiguas de actividad reproductiva y de crianza: acumulación de material de nido, restos de nidos anteriores, restos de plumas o despojos de presas o presencia de crías, un sitio de anidación puede estar integrado por uno o más nidos y cuando menos con uno activo.

Para registrar los nidos se reconocieron como de águilas reales considerando la ubicación del nido en el soporte, su conservación, la presencia de material reciente, sus dimensiones mínimas: más de 10 centímetros de espesor en el borde expuesto, más de 2.00 metros de diámetro y más de un metro de la base al borde superior de roca del nicho por lo alto; presencia de ramas de 2.5 centímetros de diámetro, restos reconocibles de liebre, conejo o mamíferos de talla media. Un sitio de anidación activo se definió por la presencia de uno o más nidos de la temporada actual o de anteriores, con nidos terminados o parcialmente construidos, pero siempre con un nido activo. Un sitio de anidación inactivo se definió por la presencia de uno o más nidos de la temporada actual o anteriores, con nidos terminados o parcialmente construidos no activos, pero con la evidencia de actividad de cuando menos una temporada pasada.

### **Análisis de paisaje**

Para el análisis de grandes regiones se utilizó un sistema de información geográfica con edición de mapas en formato shapefile y la base de datos de los metadatos a partir de georreferenciación y digitalización de los mapas de distribución y la base de datos correspondiente. Los componentes de cada metadato son:

- 1.- Nombre del colector de los datos.
- 2.- Hora de observación.
- 3.- Fecha de observación.
- 4.- Tipo de vegetación.
- 5.- Imagen colectada, foto o video.
- 6.- Referencia.
- 7.- Observaciones.

A partir del Sistema de información geográfica (SIG CONANP 2009) se diseñó una base de datos en la que se consideraron las siguientes variables: Nombre del sitio de anidación (NSA); Número de cuadrante (C); Nombre de la geoforma (GEO); Longitud total de la geoforma (LTG); Anchura total de la geoforma (ATG); Área de la geoforma (AGEO) en otros modelos a esta variable se le denomina S; Orientación de la geoforma (OR); Vecino más cercano (V>C); Distancia del vecino más cercano (DV>C); Distancia de la carretera más cercana (DC>C); Distancia de la brecha más cercana (DB>C); Densidad de carreteras por kilómetro cuadrado (DC/K); Distancia del cuerpo de agua más cercano (DCA>C); Cantidad de embalses por cuadrante (CE); Distancia del poblado más cercano (DP>C); Distancia de la cabecera municipal más cercana (DCM>C); Distancia del aprovechamiento minero más cercano (M>C); Densidad de minas por kilómetro cuadrado (DM/K); Tipo de hábitat (HAB); Porcentaje de la superficie cubierta por vegetación arbustiva o arbórea (CC); Asociación vegetal dominante (AV), Porcentaje de terreno plano (TP); porcentaje de terreno elevado (TE); Cantidad de parejas residentes en el macizo (PR); Distancia media entre parejas (DMP); Antigüedad desde el primer sitio de anidación (ANT); Porcentaje de terreno agrícola (TA); densidad de arroyos temporales por kilómetro cuadrado (DA/K). El mapa electrónico del estado de Zacatecas fue proporcionado por la CONANP. Las relaciones entre las variables se determinaron por el coeficiente de correlación de Pearson y del coeficiente de determinación  $r^2$ .

Para determinar la distribución espacial de los sitios de anidación se consideraron dos modelos basados en la distancia al vecino más cercano, el de G-statistic (GMASD) Brown (1975) ha sido usado en estudios poblacionales de Águila real en Escocia. EL G-statistic se basa en la división de la media geométrica sobre la media aritmética de las distancias al vecino más cercano (Watson *Op cit.* 1997), este índice se ha utilizado también para otras aves rapaces, expresa la distribución espacial, es regular cuando los valores son entre 0.65 y 1.00, o al azar si el valor alcanzado es menor de 0.65. El otro modelo fue el de patrón de dispersión espacial de Clark y Evans (1954) que mide la tendencia de R hacia la dispersión agregada, dispersión al azar y dispersión uniforme (En Badiiet *al.* 2006) donde:

$r_{a(obs)}$  = Media de las distancias del vecino más cercano.

$r_1$  = distancia del vecino más cercano para el individuo "i".

n = número de individuos en el área.

$r_{a(esp)}$  = media esperada de distancias =  $1/2$  Raíz cuadrada de p, donde p = densidad de organismos =  $n/TA$ , y TA = tamaño del área, de donde parte el índice de dispersión

(R):  $R = r_{a(obs)} / r_{a(esp)}$ .

Y la prueba de significancia la determinación del tipo de dispersión de datos se basa en la ecuación

Fig. 4  $Z = (r_{a(obs)} / r_{a(esp)}) / EE (EE r_{a(esp)})$ .

Para conocer la forma en que se distribuyen los fragmentos del hábitat consideramos la proporción de cada tipo de cobertura en el hábitat (Badii y Landeros 2006), Matorral rosetófilo sub inerme; Matorral rosetófilo sub inerme y bosque de pino encino; Matorral rosetófilo sub inerme y bosque de pino encino y pastizal; Pastizal y matorral sub inerme; Bosque de pino encino y pastizal; Bosque de encino y matorral xerófilo y pastizal; matorral crasicauale y pastizal; Pastizal y matorral xerófilo; Planicie, Terreno elevado; Agrícola; y Urbano. Para el cálculo respectivo se utilizaron los modelos de Dominancia (D) (O' Neill *et al.* 1988)

Fig. 5  $D = \ln(S) + \sum_i [p_i * \ln p_i] / \ln(S)$

Donde, S es el número de tipos de cobertura  $p_i$ ;  $p_i$ , es la proporción del i-ésimo tipo de cobertura. Los valores van de 0 a 1; los cercanos a 1 indican que es un paisaje dominado por uno o varios tipos de cobertura, mientras que los cercanos a 0 indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son casi iguales.

Y la Equitatividad de Shannon (SHEI) (Pielou 1975) para cada tipo de cobertura

Fig. 6  $SHEI = -\sum_i [p_i \ln(p_i)] / \ln(S)$

Donde S es el número de tipos de cobertura,  $p_i$  es la proporción del tipo de cobertura  $i$ /ésimo. Sus valores van desde 0 a 1; los cercanos a 1 indican que las proporciones de cada tipo de cobertura son casi iguales, en tanto que los cercanos a 0 indican que el paisaje es dominado por uno o unos pocos tipos de cobertura.

Se realizaron las observaciones de águilas reales en el territorio regionalizando el estado en cinco zonas: centro, norte, oeste, este y sur. Se registraron sitios de ocurrencia y sitios de anidación y se geoposicionaron. Para situar los puntos de geoposición se elaboró un SIG dividiendo la superficie del territorio del estado que son 75,040 km<sup>2</sup> en una rejilla de cuadrados de 60 x 60 kilómetros comprendiendo cada uno 3,600 km<sup>2</sup> de superficie, a los que se les identificó por una numeración corrida seguida del número seis indicador de la rejilla de 60 km cuadrados y se les denominó como cuadrantes. De igual forma algunas pruebas se realizaron en rejillas de 10 X10 kilómetros cuadrados y con rejilla de 30 X 30 kilómetros cuadrados, considerando que el territorio varía entre 11.61 km<sup>2</sup> y 48.98 Km<sup>2</sup>, con una media de 32.76 Km<sup>2</sup> (Collopy y Edwards 1989), (Marzluff *et al*, 1997) encontraron que el rango hogareño cambió durante las estaciones, así en los meses de reproducción y cría la distancia fue mayor, de 13.7 km<sup>2</sup> a 1,700 km<sup>2</sup> y en los meses no reproductivos la distancia fue menor, 1.9 km<sup>2</sup> a 83.3 km<sup>2</sup>. Para referenciarlos se señala el número de cuadrante seguido de un punto y el número correspondiente a la rejilla con 6, 3, o 10. Los puntos geoposicionados fueron ubicados dentro de cada cuadrante correspondiente, por ejemplo 23,6; 18,6 o 8,6 ( Fig. 3). Las rejillas de 10 x 10 y de 30 x 30 se utilizaron para cuantificar elementos del hábitat a detalle pero el resultado, cuando lo hubo se incorporó a las rejillas de 60 x 60 o para analizar las zonas de cacería de las águilas reales aledañas a los sitios de anidación.

En cada sitio se registró si el avistamiento era de un macho, de una hembra o de juvenil; igualmente se registró la actividad del individuo adulto o de la cría en el momento de la observación, la productividad de crías, la condición del sitio y la cantidad de nidos.

### **Estudio de largo plazo**

Se consideró el seguimiento continuo de un sitio de anidación desde el año 1990 hasta el año 2010 en la Sierra Fría en Zacatecas, considerando la dieta, en base a contenido de restos en nidos productivos, productividad anual de crías, ubicación de los nidos y volantones. Este sitio de anidación fue la referencia para comprender algunos procesos de dispersión, colonización y extinción de algunos sitios de anidación, en sí, la dinámica del sitio de anidación. A partir de la información cuantificada se obtuvo la tasa anual de producción de volantones, las fases fenológicas y el calendario biológico desde el cortejo de la pareja reproductora hasta la separación de la cría del núcleo familiar en la dispersión, colonización y recolonización, comportamiento y dieta, de tal forma que cuando se haga referencia a alguno de estos ítems, será sobre la base de este estudio si no se indica lo contrario.

### **Análisis de percepción social**

Se reprodujeron materiales de educación ambiental especializado en águila real consistente en un manual para maestros de educación básica (SEMARNAT-PROFAUNA 2001) y un disco compacto de un documental basado en la situación del águila real en México (SEMARNAT-CONACULTA 202). Con este material se diseñó un curso de actualización dirigido a profesores de las escuelas rurales y urbanas aledañas a sitios de anidación de águila real.

Se sometieron siete escuelas rurales y 16 urbanas al análisis del conocimiento del águila real para evaluar experimentalmente cuánto puede incrementarse el conocimiento ambiental aplicado, en este caso al águila real, por medio de la información en el sentido vertical desde los profesores hacia los alumnos. Consideramos la educación ambiental

como “un proceso de transformación de actitudes o la adopción de [actitudes] nuevas, atribuidas a un proceso de enseñanza aprendizaje” para lo cual seguimos la metodología de De Alba y González (1997) que consiste en construir el concepto del mensaje de la aplicación del conocimiento y la fijación de indicadores que valoran la eficiencia transformadora de actitudes antes y después del mensaje educativo y se evalúa principalmente, pero no solamente, con la aplicación de reactivos. En este estudio se evaluó por medio de encuestas y el discurso expresivo.

El concepto creado fue el águila real en Zacatecas y su necesidad de conservarla por su importancia biológica y cultural. Los indicadores fueron los aciertos de reactivos a manera cuestionario aplicados antes y después de administrar información a estudiantes (Anexo). Los instrumentos fueron el material de enseñanza especializado y un cuestionario que se aplicó mediando un mes entre ambas encuestas. Las escuelas solo aparecen por el nombre del municipio sin embargo no necesariamente son las cabeceras municipales, tampoco aparecen los nombres de docentes y estudiantes, este factor fue decisivo en la confianza de las respuestas y aplicación del conocimiento.

La encuesta se dividió en 4 partes. El objetivo de la primera parte fue evaluar el conocimiento real acerca del águila real a través de relaciones directas; el objetivo de la segunda parte fue evidenciar las relaciones entre los habitantes de las zonas de ocurrencia con las águilas reales de acuerdo a la depredación, abundancia, y dieta. El objetivo de la tercera etapa fue determinar el nivel de conocimiento de la función ecológica de las águilas reales. El objetivo de la cuarta parte fue conocer el conocimiento vinculado a la cultura y la percepción personal.

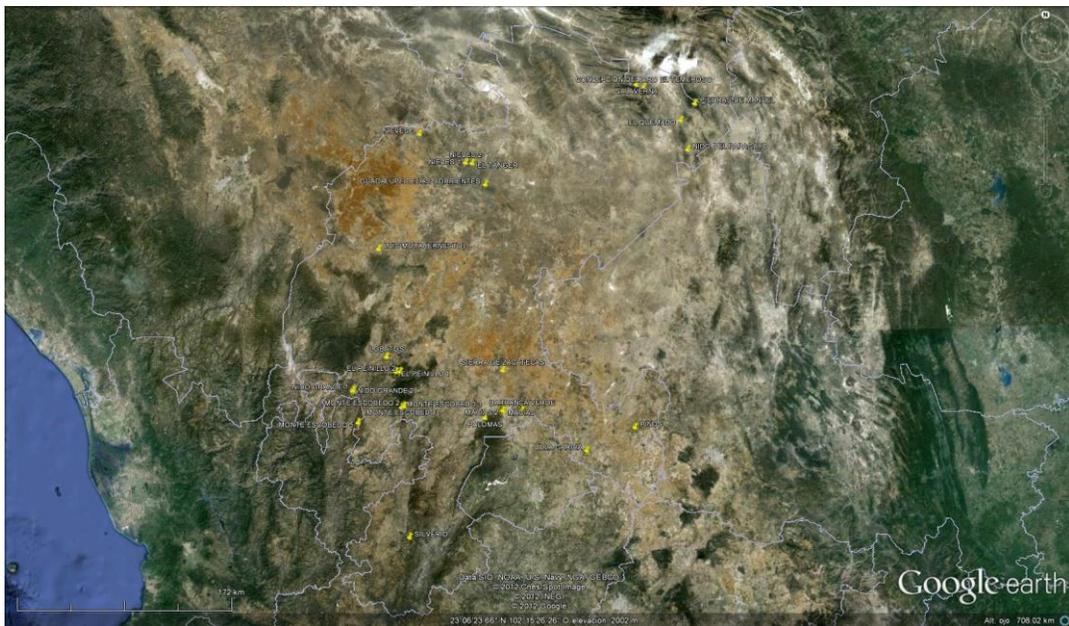
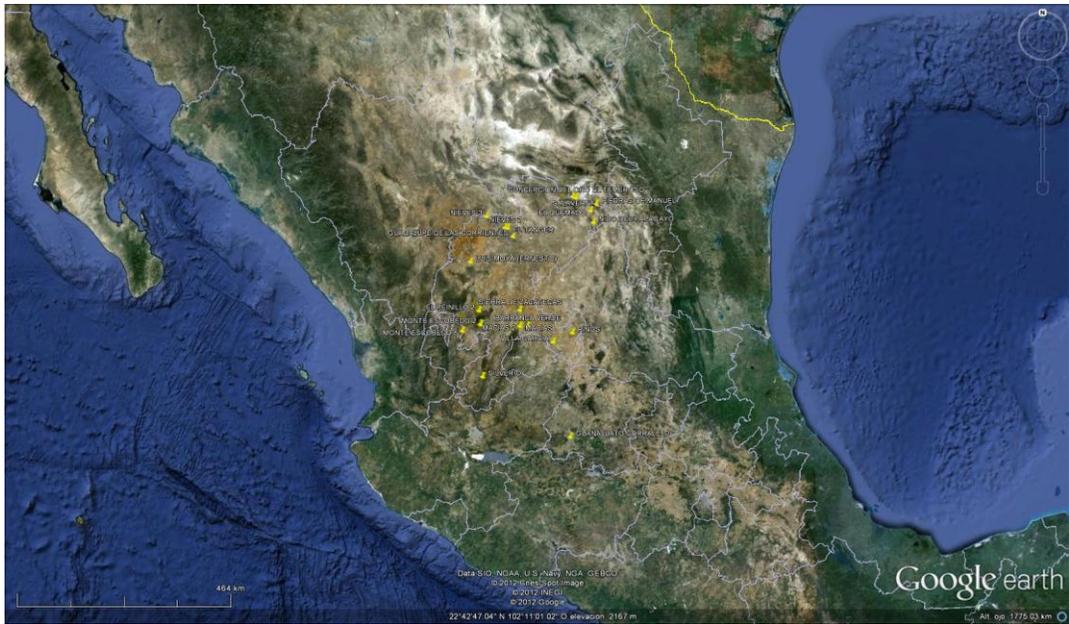
Para determinar cuánto y cómo perciben los estudiantes de nivel básico de áreas urbanas al águila real mediante su discurso interpretativo, sometimos a 60 niños y niñas de seis a 12 años de edad a un curso teórico práctico de 20 horas semanales en que se impartieron actividades, historia, arte, juegos interactivos, todos con el tema del águila real y por último se aplicó una actividad de pintura al guach y dibujo a la cera, del águila real en los ámbitos biológico, ecológico, de la conservación y de la cultura.

El análisis estadístico se realizó con la aplicación de la prueba Ji cuadrada a la transformación de los datos a frecuencias relativas para determinar la significancia de los resultados previos y finales de las encuestas, Las diferencias son significativas menos que se indique lo contrario. La muestra consistió de 60 estudiantes de zonas rurales y 60 de zonas urbanas

Tabla 4. Regionalización en cuadrantes y municipios que comprenden el territorio del estado de Zacatecas.

	Zona norte	Zona Centro	Zona este	Zona oeste	Zona sur
Cuadrante	1.6; 2.6; 3.6; 4.6; 6.6; 7.6; 8.6; 9.6; 10.6; 13.6; 14.6; 15.6; 16.6.	19.6; 20.6; 21.6; 24.6; 25.6; 30.6;	26.6; 27.6; 31.6; 32.6; 33.6	5.6; 11.6; 12.6; 17.6; 18.6; 22.6; 23.6; 28.6; 29.6;	34.6; 35.6; 36.6; 37.6; 38.6;
Municipio	Melchor Ocampo; Mazapil; Concepción del Oro; El Salvador; G. Francisco Murguía; Río Grande; Villa de Cos	Río Grande; Sain Alto; Felipe Pescador; Villa de Cos; Fresnillo; G. Enrique Estrada. Calera de V. Rosales; Morelos; Jerez; Susticacán; Tepetongo; Villa Nueva; Genaro Codina	Villa de Cos; Pánuco; Morelos; Zacatecas; Veta Grande; Trancoso; Guadalupe; Genaro Codina; Ojo Caliente; G. Pánfilo Natera; Luis Moya; Cauhtémoc; Loreto; Villa González Ortega; Noria de Ángeles; Villa García; Villa Hidalgo; Pinos	Juan Aldama; Miguel Auza; Sombrerete; G. Francisco Murguía; Río Grande; Sain Alto; Fresnillo; Sombrerete; Chalchihuites; Jiménez del Teul; Valparaiso; Jerez; Susticacán; Tepetongo; Monte Escobedo;	Villa Nueva; G. Joaquín Amaro; Tabasco; Momax; Tlaltenango; Tepechitlán; Atolinga; Florencia de Benito Juárez; Santa María de la Paz; Teul de González Ortega; G. Trinidad García de la Cadena; Mezquital del Oro; Huanusco; Jalpa; Nochistlán; Apozol; Juchipila; Moyahua

La numeración de los cuadrantes indica el cuadrante correspondiente en una rejilla de 60 kilómetros de longitud por 60 km, cada cuadrante comprende 3,600 kilómetros<sup>2</sup>.



Figuras 7 y 8. Zona de estudio en el contexto nacional (Imagen superior) y regional (Imagen inferior)

## RESULTADOS

### Análisis de microsatélites

Las muestras de ADN de águila real procedió de individuos de: 1 de Guanajuato; 3 de Sierra Fría; 3 de Monte Escobedo; 2 de Valparaíso y 4 de Concepción del Oro.

Se analizaron 19 plumas de volantones de águila real, cada una representando a un individuo, las plumas fueron colectadas de sitios de nidación recién desocupados, de distintas regiones del estado de Zacatecas y una de un ejemplar juvenil del estado de Guanajuato. Siete plumas fueron descartadas del estudio por no contener ADN de tal forma que el análisis final fue de 12 ejemplares. Al amplificarse el ADN microsatelital se obtuvieron fragmentos que variaron en longitud desde 84 a 250 pb, se generaron perfiles de bandeos que fueron compartidos entre ocho oligonucleótidos. La amplificación de los fragmentos por PCR mostró que el alelo Aa02 estuvo presente en todas las plumas, el Aa04 estuvo presente en diez, pero no se expresó en las águilas de Valparaíso; el alelo Aa27 se expresó en diez águilas incluyendo una de Concepción del Oro, y se presentó en las plumas de águilas que tienen influencia de la Sierra Madre Occidental; el Aa35 se expresó en diez ejemplares estando ausente en una águila de Valparaíso, y en una de Concepción del Oro, este alelo está presente en todas las regiones pero no en todas las águilas; el Aa36 se expresó en ocho individuos, no se expresó en una águila de Valparaíso, en dos de la Sierra Fría y en una de Concepción del Oro; el alelo Aa43 se expresó en diez águilas, se presentó en todas las regiones pero no se expresó en un ejemplar de Sierra Fría y el alelo Aa49 se expresó en diez águilas de todas las regiones.

Las plumas de águilas de Guanajuato, Sierra Fría 1, Monte Escobedo 1 y Monte Escobedo 2, expresaron todos los genes; las dos de Valparaíso expresaron los genes Aa02, Aa27, Aa43 y Aa49 pero ambas no expresaron el Aa04; el gen Aa35 y Aa36 fueron expresados uno por cada águila; Las águilas con el registro Sierra Fría 2 y 3 expresaron los alelos Aa02, Aa04, Aa27, Aa35 y Aa49, pero ambas no expresan el Aa36 y solo una expresó el Aa43; las águilas de Concepción del Oro expresaron todos los

alelos pero en forma irregular, solo la registrada con el número 4 expresó los alelos de todos los microsátélites, y tres de cuatro águilas no expresaron el Aa27, la número uno solamente expresó dos alelos, el Aa02 y el Aa04.

La secuencia Aa39 no se amplificó en ninguna de las muestras presentándose como alelo nulo, en cambio el Aa 02 se expresó en todas las plumas analizadas, pudiéndose generalizar que este microsátélite es común para todas las águilas reales de todos los sitios de anidación al menos en Zacatecas. La secuencia Aa 04 solamente no se expresó en las águilas de Valparaíso, el resto de los microsátélites se expresaron cuando menos en una de las águilas, así el Aa 27 se expresó en tres de cuatro de Concepción del Oro, el Aa 35 se expresó en una de Valparaíso pero no en la otra, y en tres de cuatro de Concepción del Oro; el Aa 36 se expresó en una águila de Valparaíso en una de Sierra Fría y en tres de cuatro de Concepción del Oro; el Aa 43 solamente no se expresó en una águila de Sierra Fría y en otra de Concepción del Oro (Tabla 5).

Tabla 5. Distribución de microsátélites en águilas reales

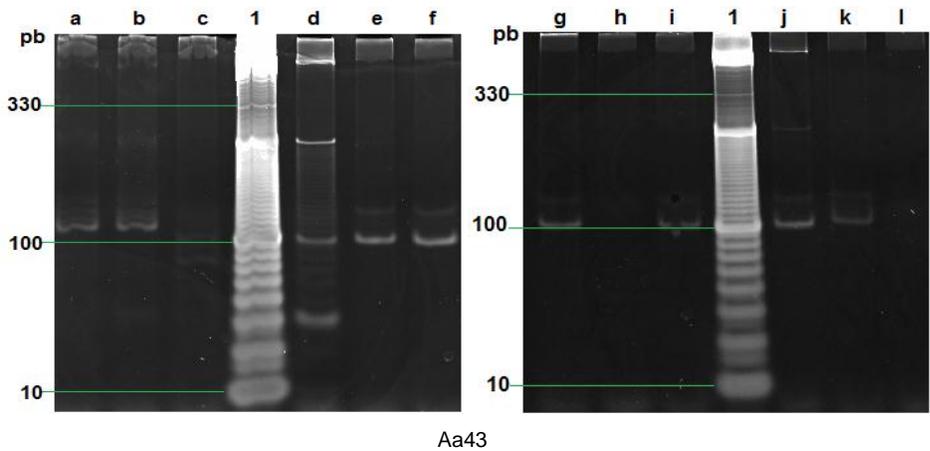
Carril	Sitio de anidación	Microsátélites						
		Aa 02	Aa 04	Aa 27	Aa 35	Aa 36	Aa 43	Aa 49
a	Guanajuato	x	x	x	x	X	x	x
b	S. Fría 1	x	x	x	x	X	x	x
c	M. Escobedo 1	x	x	x	x	X	x	x
d	M. Escobedo 2	x	x	x	x	X	x	x
e	Valparaiso 2	x		x		X	x	x
f	Valparaiso 1	x		x	x		x	x
g	S. Fría 2	x	x	x	x		x	x
h	S. Fría 3	x	x	x	x			x
i	C. del Oro 4	x	x	x	x	X	x	x
j	C. del Oro 3	x	x		x	X	x	x
k	C. del Oro 2	x	x		x	X	x	
l	C. del Oro 1	x	x					

Fuente: Aa, águila imperial española (*Aquila adalberti*) (Martínez-Cruz *et al.* 2002), Aa, águila real (*Aquila chrysaetos*) (Bourke y Dawson 2006).

En resumen, las águilas de Guanajuato, Sierra Fría 1, Monte Escobedo 1 y 2 y Concepción del Oro mostraron un comportamiento semejante en cuanto a la expresión

de la totalidad de los microsatélites, pero su comportamiento fue diferente en cuanto a similitud.

Figura 9. Expresión del microsatélite Aa 43 en las muestras de plumas de águila real



Electroforesis en gel de poliácridamida al 5% del microsatélite Aa43 en : los carriles correspondientes a (1) marcador de peso molecular, (a) Guanajuato, (b) S. Fría 1, (c) M. Escobedo 1, (d) M. Escobedo 2, (e) Valparaíso 2, (f) M. Valparaiso 1, (g) S. Fría 2, (h) S. Fría 3, (i) C. del Oro 4, (j) C. del Oro 3, (k) C. del Oro 2 y (l) C. del Oro 1.

### Análisis de distancia genética por medio de la similitud

Mediante el índice de similitud de Jaccard se compararon los fragmentos de cada microsatélite para determinar la similitud genética entre los ejemplares de águila real. Los valores variaron en las doce muestras desde 0.000 indicando no similaridad, hasta 0.73, cercano a uno que significa similitud total. Entre las águilas que no hubo similitud fueron las registradas como Sierra Fría 3 y Valparaíso 2, en las que la relación es nula porque entre ambas muestras no comparten ningún microsatélite. Entre las águilas denominadas Sierra Fría 1 y Guanajuato la similitud fue del 73% señalando una estrecha y significativa similitud. Hay relación muy débil con otras águilas de la Sierra Fría y de Monte Escobedo en valores de similitud que no llegan al 30%, con águilas de Valparaíso igualmente la similitud es débil pues es por debajo del 20% incluso llega a ser nula, pero no mejora con águilas del Desierto de Chihuahua pues en algunas la relación es menor de 10%. Destaca el águila denominada Concepción del Oro 1 pues tiene similitud débil por debajo de 0.2 con Concepción del Oro 4, Valparaíso 1 y Valparaíso 2, pero su

relación es muy marcada con la del registro Concepción del Oro 2 pues su similitud es del 41.6%. Los valores de similitud más altos del ejemplar registrado como Concepción del Oro 2 no llegan a 0.3, excluyendo la similitud con el ejemplar denominado Concepción del Oro 1. El águila registrada como Concepción del Oro 3, tiene mayor similitud con la denominada Concepción del Oro 4 con coeficiente de 0.304. La similitud del águila denominada Concepción del Oro 4 es por debajo de 2% con las de Guanajuato, Sierra Fría, Monte Escobedo 1 y 2, así como con Concepción del Oro 1 y 2, pero muestra una similitud alta con Concepción del Oro 3 y Valparaiso 1 y 2. Los valores de similitud más altos del águila identificada como Valparaiso 1 son con los ejemplares denominados Concepción del Oro 4 y con Valparaíso 2, pero es muy bajo con Sierra Fría y Guanajuato. Finalmente el águila registrada como Valparaiso 2 solamente tiene valores por encima de 2% con el águila Concepción del Oro 4 y con Valparaiso1, con las águilas del sur y oeste del estado la similitud es baja, incluso nula como se señaló, con el águila denominada Sierra Fría 3con quien no comparte ningún microsatélite (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de similitud de Jaccard entre las águilas reales

	GTO	SF1	SF2	SF3	ME1	ME2	CO1	CO2	CO3	CO4	VP1	VP 2
GTO	1	0.73	0.259	0.206	0.128	0.119	0.08	0.214	0.121	0.057	0.1	0.064
SF1	0.73	1	0.25	0.2	0.125	0.116	0.037	0.166	0.085	0.085	0.096	0.062
SF2	0.259	0.25	1	0.025	0.062	0.121	0.062	0.2	0.173	0.173	0.21	0.15
SF3	0.206	0.2	0.25	1	0.06	0.085	0.058	0.19	0.037	0.076	0.142	0
ME1	0.128	0.125	0.062	0.06	1	0.62	0.08	0.096	0.156	0.156	0.1	0.1
ME2	0.119	0.116	0.121	0.085	0.62	1	0.071	0.121	0.29	0.176	0.161	0.125
CO1	0.08	0.037	0.062	0.058	0.08	0.071	1	0.416	0.176	0.111	0.142	0.142
CO2	0.214	0.166	0.2	0.19	0.096	0.121	0.416	1	0.227	0.173	0.21	0.15
CO3	0.121	0.085	0.173	0.037	0.156	0.29	0.176	0.227	1	0.304	0.238	0.181
CO4	0.057	0.085	0.173	0.076	0.156	0.176	0.111	0.173	0.304	1	0.3	0.238
VP1	0.1	0.096	0.21	0.142	0.1	0.161	0.142	0.21	0.238	0.3	1	0.375
VP2	0.064	0.062	0.15	0	0.1	0.125	0.142	0.15	0.181	0.238	0.375	1

GTO= Guanajuato; SF1= Sierra Fría 1; SF2= Sierra Fría 3; M.E.1= Monte Escobedo 1;  
M.E.2= Monte Escobedo 2; C.O.1= Concepción del Oro 1; C.O.2= Concepción del Oro 2;  
C.O.3= Concepción del Oro 3; C.O.4= Concepción del Oro 4; VP1= Valparaíso 1;  
VP2= Valparaíso 2

### Análisis de agrupamiento

A partir del bandeado de los gels de agarosa se elaboraron las bases de datos para el análisis de similitud mediante el Índice de Jaccard. El análisis de la estructura de los agrupamientos se realizó por la técnica multivariante de apareamiento de grupos a través de la media aritmética o UPGMA (Unweighted pair-group method with arithmetic averages) el cual ejecuta la reducción progresiva de la matriz de similaridad y la expresa en un dendograma o cladograma de distancias de similitud (Salinas 2010).

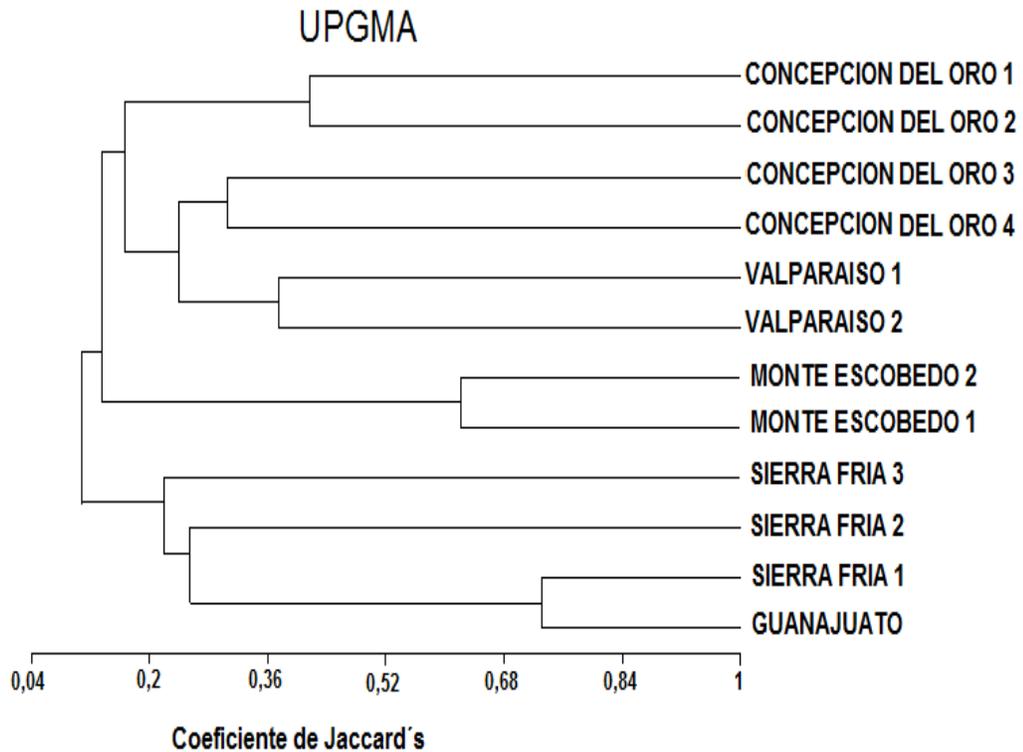
El dendograma generado a partir del análisis UPGMA indicó una distancia genética entre las muestras de las poblaciones de estudio, mostrando cuatro agrupaciones: Concepción del Oro, Valparaíso, Monte Escobedo y Sierra Fría - Guanajuato. Estas agrupaciones se dividen en tres ramas principales, la primera rama la integran las muestras de Concepción del Oro uno, dos, tres, cuatro y Valparaíso uno y dos, con índices de similitud entre 0.111 y 0.416; en esta rama la similitud es mayor entre las muestras de Concepción del Oro 1 y 2, aparte se agrupan Valparaíso 1 y 2, y Concepción de Oro 3 y 4, se agrupan con menor similitud.

En la segunda rama se agrupan Monte Escobedo uno y dos con un índice de 0.62, pero con índice cercano al 0.1 con las de Valparaíso y las de Concepción del Oro. La tercera rama corresponde a Guanajuato y Sierra Fría, esta rama tiene similitud cercana a 0.04 con la otra rama, es decir con la de Monte Escobedo, Valparaíso y Concepción del Oro. Destaca la relación de similitud estrecha de 0.73 entre las muestras de Sierra Fría 1 y Guanajuato, en tanto que las de Sierra Fría2 y Sierra Fría 3 se separan aun siendo su similitud cercano a 0.2 (Fig 10 y Fig. 11).

### **Eventos sobresalientes del monitoreo de sitios de anidación**

La Sierra Fría es una geoforma situada entre los estados de Zacatecas y Aguascalientes en donde hay sitios de anidación de águila real en el extremo noreste y en la vertiente oeste. A partir de esta vertiente se forma una región denominada Cañón de Juchipila, formado por la Sierra Fría y la Sierra de Morones que corren paralelas de noreste a suroeste. Entre la sierra de Morones y la Sierra Madre Oriental se extienden cañones y barrancas profundas, por donde corren los ríos Bolaños y el Atengo también llamado Chapalagana en la lengua de los Wixárika (Huichol), hacia la zona lacustre de Chapala. Estas serranías y barrancas de dirección norte suroeste, forman parte, con la sierra de Monte Escobedo y la sierra de Valparaíso, las estribaciones de la Sierra Madre Occidental y son un sistema de barreras filtro para muchas especies como la cotorra verde (*Ara militaris*), el jaguar (*Felis onca*) y desde luego el águila real. En esta región del occidente de México, en los estados de Jalisco, Nayarit, Zacatecas y Durango ocurren los sitios de anidación de águila real. Hacia el este del meridiano  $103^{\circ}45'$  y del paralelo  $22^{\circ}15'$  a partir de la Sierra Fría se extienden extensos valles y sierras dispersas que en el estado de San Luis Potosí que forman la Sierra Madre Oriental, y en este sentido también ocurren sitios de anidación a través de los estados de Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí. Hacia el norte se extiende la cuenca endorreica del Desierto de Chihuahua.

Figura 10. Poblaciones de águila real separadas en el cladograma



El cladograma muestra las poblaciones independientes de Concepción del Oro, Valparaíso y Monte Escobedo en una rama, y en otra rama las poblaciones de la Sierra Fría y Guanajuato, destacando la gran similitud entre ambas poblaciones.

En la Sierra Fría desde el año 1999 dejó de estar activo el sitio denominado San Antonio de las Huertas, quizás por emigración de los progenitores o por muerte, en el 2003 nuevamente se encontraron signos de actividad y se reportaron nidos activos en el año 2008. Se encontró un juvenil en Milpillitas de la Sierra pero no el nido. Otro nido de Valparaíso, el de mayor dimensión registrado en Zacatecas ya que medía más de dos metros de alto, fue destruido por vándalos (Subcomité SEMARNAT *Op. cit.*). En los sitios de anidación de Cedros y de Concepción del Oro solo se vieron parejas volando y en diciembre del 2005 se reportó un sitio en la sierra El Mascarón en Mazapil. En la zona de Calera en 1991 y 1992 se encontraron dos juveniles heridos por arma de fuego y en el año 2000 (*ca*) fue entregado a la PROFEPA otro juvenil herido proveniente de la misma zona, sin embargo los nidos no se han localizado ya que en el valle donde han sido sistemáticamente lesionados los ejemplares es zona de cacería de las águilas y no de anidación, sin embargo en 2001 y después en 2004 fueron vistos dos juveniles en el

mismo valle. Entre Jerez y Fresnillo se extiende un valle amplio que cuenta con dos presas, cada una en los extremos, entre ambos embalses se erige una sierra pequeña pero de topografía compleja denominada Sierra de la Leona, frecuentemente entre 1994 y el 2000 habían ocurrido, algunas veces un individuo y otras veces dos, durante el muestreo de 2003 a 2006 no se han observado, sin embargo reportes de los lugareños nos señalan que continúan ocurriendo en la Sierra de los Cardos que por cierto, ha sido muy impactada por ecoturismo y cacería furtiva. En Guadalupe se localiza un sitio de anidación en la vertiente este de la Sierra de Zacatecas, el cual fue reportado desde el 1986 (Díaz Castorena) y es notoria su cercanía con áreas pobladas. Durante los años siguientes, hasta el 2000, registramos vuelos a lo largo de la vertiente de la sierra, pero el sitio de anidación entró en inactividad del 2000 hasta el 2005, en 2003 registramos una pareja de adulto y juvenil volando con rumbo del sitio y en el 2004 se registraron vuelos de un adulto durante el verano en la misma vertiente pero más al norte, durante el 2005 nuevamente se registró la ocurrencia de un adulto en vuelo de caza, su proximidad con la zona urbana de Guadalupe y Zacatecas nos indicó la necesidad de desarrollar acciones de educación en las escuelas, como se describirá más adelante.

Durante el año 2004 la pareja de Águilas de la Sierra Fría anidó en un sitio que permitió llevar el registro de la cría desde pocos días de la eclosión hasta verla volar, esto nos permitió cerciorarnos de que la pareja de águilas que se habían visto en los mismos llanos del pie de monte, en realidad se trataba de otra pareja. Durante el 2005 la pareja de la sierra anidó en una barranca cercana distante 100 metros en línea recta del año anterior solo que la pareja crió a dos crías las cuales llegaron a la edad de volantones en julio y permanecieron hasta octubre en la zona aprendiendo a cazar hasta el inicio de la temporada de reproducción. En el 2006 a pesar del éxito de nidada del año anterior el nido no fue ocupado y se observó actividad en un nido antiguo 20 o 30 metros más abajo del nido del 2005 (Tabla 7). En los planes de la sierra de Valparaíso, en las proximidades de la laguna de Valderrama se encontró un juvenil en vuelo de caza y en el 2008 y 2009 se volvieron a ver adultos sobrevolando en vuelos de asecho.

Estas poblaciones están integradas por líneas genéticas o linajes que hacen a las poblaciones diversas, principalmente al deme de la Sierra Fría. En el mapa geográfico no

es posible separar las líneas genéticas, pero la disimilitud es suficiente para separar significativamente a la población de Sierra Fría con la de Concepción del Oro.

Figura 11. Mapa de poblaciones genéticamente identificadas por el método UPGMA

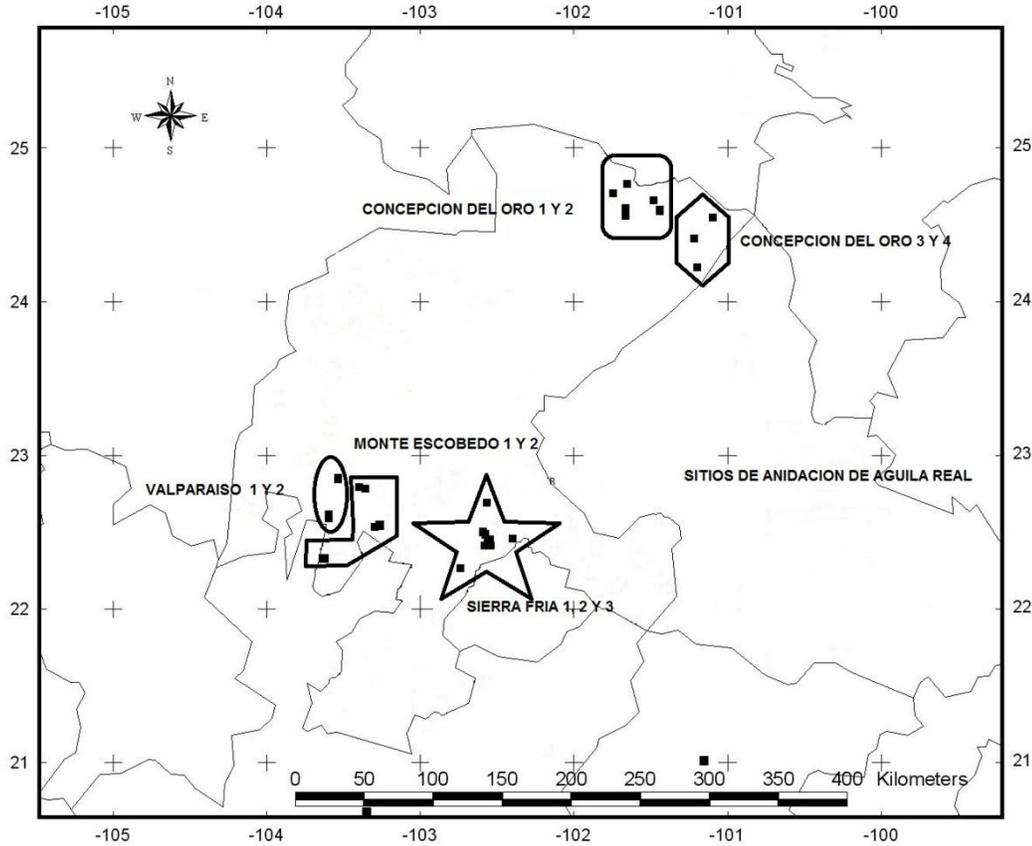


Tabla 7. Monitoreo de sitios de anidación de 2004 a 2009

Actividad de sitio año 2004

REGIÓN	MACHO	HEMBRA	CRÍA	ACTIVIDAD DE OCURRENCIA	PRODUCTIVIDAD	CONDICIÓN DEL SITIO O DEL NIDO	Nº DE SITIOS
GENARO CODINA	1	1	1	Cortejo, anidación y cría	1	Buena	1
CUAUHTÉMOC	1	1	ND	Cortejo	ND	Buena	1
GUADALUPE	1	1	1 juvenil	Sobrevuelo	ND	Buena	1
C.DEL ORO-MAZAPIL	2	2	ND	Sobrevuelo	ND	Buena	4
VALPARAISO	ND	ND	1	Vuelo de cacería	ND	ND	2

Actividad de sitio año 2005

REGIÓN	MACHO	HEMBRA	CRÍA	ACTIVIDAD DE OCURRENCIA	PRODUCTIVIDAD	CONDICIÓN DEL SITIO O DEL NIDO	Nº DE SITIOS
GENARO CODINA	1	1	2	Cortejo, anidación y cría	1	Buena	1
CUAUHTÉMOC	1	1	ND	Oteo	ND	Buena	ND
GUADALUPE	ND	1	ND	Sobrevuelo	ND	Buena	ND
C.DEL ORO-MAZAPIL	1	1	ND	Sobrevuelo	ND	Buena	4
VALPARAISO	ND	ND	1	Sobrevuelo	ND	ND	ND

Actividad de sitio año 2006

REGIÓN	MACHO	HEMBRA	CRÍA	ACTIVIDAD DE OCURRENCIA	PRODUCTIVIDAD	CONDICIÓN DEL SITIO O DEL NIDO	Nº DE SITIOS
GENARO CODINA	1	1	1	Cortejo, anidación y cría	1	Buena	1
CUAUHTÉMOC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
GUADALUPE	ND	1	ND	Sobrevuelo	ND	Mala	ND
C.DEL ORO-MAZAPIL	1	1	1	Sobrevuelo	ND	Mala	4
VALPARAISO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla 7. Continuación

Actividad de sitio año 2007

REGIÓN	MACHO	HEMBRA	CRÍA	ACTIVIDAD DE OCURRENCIA	PRODUCTIVIDAD	CONDICIÓN DEL SITIO O DEL NIDO	N° DE NIDOS
GENARO CODINA	1	1	1	Cortejo, anidación y cría	1	Buena	1
CUAUHTÉMOC	1	1	1	Sobrevuelo	ND	Buena	ND
GUADALUPE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C.DEL ORO-MAZAPIL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
VALPARAISO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Actividad de sitio año 2008

REGIÓN	MACHO	HEMBRA	CRÍA	ACTIVIDAD DE OCURRENCIA	PRODUCTIVIDAD	CONDICIÓN DEL SITIO O DEL NIDO	N° DE NIDOS
GENARO CODINA	1	1	1	Cortejo, anidación y cría	1	Buena	1
CUAUHTÉMOC	0	1	ND	Vuelo	ND	ND	ND
GUADALUPE	0	1	0	Vuelo de alimentación	ND	Riesgo	ND
C.DEL ORO-MAZAPIL	0	0	0	ND	ND	Riesgo	ND
VALPARAISO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Actividad de sitio año 2009

REGIÓN	MACHO	HEMBRA	CRÍA	ACTIVIDAD DE OCURRENCIA	PRODUCTIVIDAD	CONDICIÓN DEL SITIO O DEL NIDO	N° DE NIDOS
GENARO CODINA	1	1	1	Cortejo, anidación y cría	1	Buena	1
CUAUHTÉMOC	0	1	ND	Vuelo	ND	ND	ND
GUADALUPE	0	1	0	Vuelo de alimentación	ND	Riesgo	ND
C.DEL ORO-MAZAPIL	0	0	0	ND	ND	Riesgo	ND
VALPARAISO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

**Condición del hábitat**

En los sitios de anidación de la Sierra Fría, de Milpilllas y de Cuauhtémoc se pudo medir la condición de hábitat en forma directa, en Milpilllas en uno de los sitios de cacería típicos de águila real, por lo que se describió la condición del hábitat de cacería de acuerdo a la metodología.

La Sierra Fría ha sufrido una fuerte presión debido a la producción de carbón en las cercanías de los nidos, forzando a las parejas reproductoras a anidar durante tres años consecutivos en paredes de la misma barranca. En Cuauhtémoc el área de cacería está próximo al área de anidación y forma parte del área natural protegida municipal El Cedral. El área de cacería es un terreno de lomerío suave en las estribaciones de la Sierra Fría, el hábitat está integrado por táscate (*Junipero depeana*) y encino (*Quercus rugosa*).

Las zonas de cacería son pastizales modificados y tierras de cultivo en extensas planicies al pie del frente montano, el pastizal se encuentra intensamente sobrepastoreado, motivo por el que también las poblaciones de presas han descendido paulatinamente. El pastoreo de cabras principalmente y la producción de carbón son las dos amenazas más importantes para la conservación del hábitat ya que son las dos actividades económicas (Tabla 8).

Tabla 8. Condición del hábitat en el sitio de anidación en la Sierra Fría.  
Genaro Codina

Distancia del nido en metros	COBERTURA VEGETAL %	TIPO DE VEGETACION	NUMERO DE ESPECIES	DISTANCIA DEL VECINO MAS CERCAÑO (METROS)	COBERTURA DE COPA %
100	60	Matorral de manzanilla y bosque de encino	12	2.5	0
50	20	Matorral de manzanilla y bosque de encino	7	7	0
25	5	Matorral herbáceo Matorral espinoso	2	5	0
5	0	Matorral de manzanilla y bosque de encino	0	0	0

## Tlaltenango

Se observaron dos águilas juveniles en la zona del Cañón de Tlaltenango (Macías P. M.) siendo la primer evidencia de ocurrencia en el área, durante dos años no se localizó el sitio de anidación hasta que en el 2009 se encontró un nido sobre un risco elevado con acumulación de material por años consecutivos, y se observaron vuelos de cacería de los adultos.

## Valparaíso

El río Valparaíso divide la sierra en esta porción en dos macizos, uno situado al oeste de la cabecera de Valparaíso y otra porción mayor que de hecho forma parte de la Sierra Madre Occidental, al este de la cabecera del municipio. Al noreste se encuentra un sitio de anidación ubicado en una pared orientada hacia el sur oeste. Las zonas de mayor ocurrencia de águilas reales son El Peinillo, Lobatos (Díaz C. M. ), la Laguna de Valderrama como zona de cacería consistente en lomeríos suaves de pastizal y bosque bajo abierto de encino. Valparaíso 1 y 2 son pastizal y bosque de encino, Lobatos es pastizal modificado, con marcado impacto por la ganadería y bosque de encino. El frente montañoso es alto con elevaciones de más de 2,500 metros, y complicado por las irregularidades tales como barrancas y escarpas. El hábitat es diverso y abundante en presas (Tabla 9).

Tabla 9. Condición del hábitat en sitios de anidación en Valparaíso 1, 2 y Lobatos.

Distancia del nido en metros	COBERTURA VEGETAL %	TIPO DE VEGETACION	NUMERO DE ESPECIES	DISTANCIA DEL VECINO MAS CERCANO (METROS)	COBERTURA DE COPA %
100	40	Matorral de encino y pastizal	18	2.00	30
50	30	Matorral de manzanilla y encino	14	2.00	40
25	20	Matorral herbáceo	17	0	0
5	10	pastizal	5	0	0

## Concepción del Oro

Las sierras transversales forman parte de la Sierra Madre Oriental y se relacionan con el Desierto de Chihuahua en su límite oeste y con la planicie costera del Golfo hacia el este. Estas sierras, en Zacatecas, se caracterizan por ser cordilleras relativamente de corta extensión pero de gran altitud que dejan entre sí valles intermontanos, algunos estuvieron habitados por perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*) y formaron parte de la población regional endémica entre los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León y Coahuila.

El perrito de las praderas forma parte de la dieta regular de las águilas reales y de otras aves rapaces, sin embargo al extirparse el perrito las águilas también se expusieron a mayor riesgo de extinción local por competencia con otros depredadores pero con menor disponibilidad de presas. Desde 1999 se iniciaron campañas de concientización en las comunidades aledañas a sitios de anidación en Concepción del Oro, en Cedros, en Melchor Ocampo, en Tanque de Guadalupe y Rocamontes, incluso la Delegación Estatal de la SEMARNAT realizó dos exclusiones de más de 200 hectáreas para reintroducción de perrito de las praderas, especie que actualmente prospera en una colonia reintroducida en la zona. El hábitat es matorral de gobernadora, matorral rosetófilo y xerófilo

El hábitat se caracteriza por matorrales xerófilo, micrófilo, rosetófilo e izotal en las partes bajas que constituyen las áreas de cacería, en tanto que las zonas altas se caracterizan por matorral micrófilo y rosetófilo y bosque de pino encino, con un estrato bajo formado por cactáceas no opuntia y agaváceas. En las partes altas el matorral se traslapa con bosque templado de encino formando un matorral bajo de hoja caduca y suelo profundo que cambia a bosque de encino pino y algunas pequeñas áreas de pino (*Pinus johannis*) endémico (Tabla 10).

En esta zona por las propias condiciones topográficas en las partes bajas, formadas por lomeríos y planes, cruzan tendidos de alta tensión que corren desde Monterrey y Saltillo hasta Aguascalientes. A diferencia de otros lugares, en esta parte no se reportan interrupciones de suministro eléctrico por descargas en aves rapaces de gran talla.

Tabla 10. Condición del hábitat en sitios de anidación en Concepción del Oro, El Temeroso, Las piedras de Manuel y el Papagayo.

Distancia del nido en metros	COBERTURA VEGETAL %	TIPO DE VEGETACION	NUMERO DE ESPECIES	DISTANCIA DEL VECINO MAS CERCAÑO (METROS)	COBERTURA DE COPA %
100	20	Matorral micrófilo, matorral rosetófilo mezquitera	12	2.50	20.00
50	23	Matorral micrófilo rosetófilo	12	5.50	50.00
25	20	Matorral micrófilo Matorral de manzanilla	15	5.00	10.00
5	30	Matorral de encino pino madroño	16	3.00	20.00

#### Análisis de paisaje

El análisis de paisaje consta de la evaluación cuantitativa y cualitativa de la zona de ocurrencia y de la valoración del hábitat. Para esta parte se realizaron visitas a cada área estudiada y se verificó la información generada en gabinete a partir de bases de datos de vegetación, suelo, cuerpos de agua, vías de comunicación, asentamientos humanos, centros industriales, ranchos ganaderos o zonas de pastoreo. El análisis cuantitativo se realizó a través de un sistema de información geográfica del estado de Zacatecas con el programa Map info 9.0; en formato shapefill; toda la información colectada en el campo se vació a bases de datos georreferenciadas con geoposicionadores magallan. Se anexa la base de datos y el SIG, el mapa digital del estado fue facilitado por la CONANP.

#### Distribución espacial de los sitios de anidación

Considerando el total de los sitios de anidación georreferenciados en el SIG AGUILA REAL CONANP 2009, se determinó la distribución espacial de 27 sitios de anidación por medio de la estimación del vecino más cercano. Con el modelo G-statistic se obtuvo

el valor de 0.65 indicando que la distribución tiende hacia la regularidad, por lo que la distribución agregada no depende del azar sino de condiciones de la misma población y del hábitat. Considerando los sitios de anidación se midió la distancia del deme más cercano aplicando el modelo G-statistic con el que se determinó que el espaciamiento entre demes es regular, ya que el valor G-statistic fue de 0.91 y valores menores a 0.65 indican distribución al azar. La regularidad de la distribución es confirmada por el valor cercano al uno. (Fig. 12 )

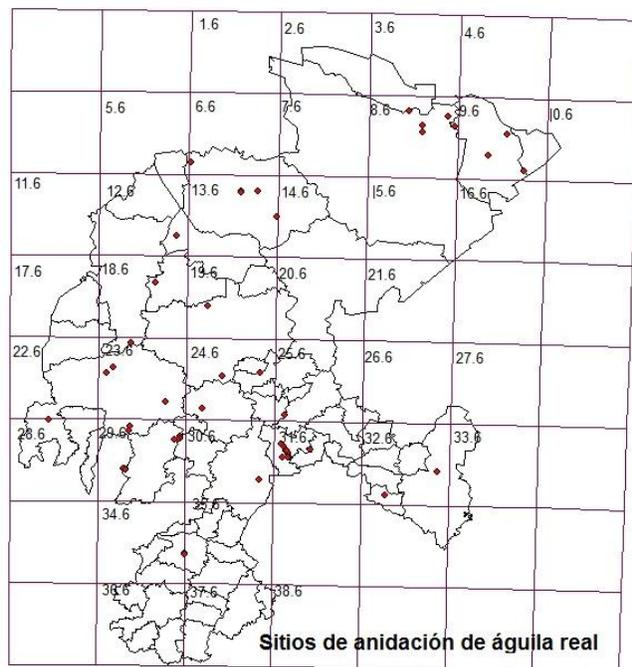


Figura 12. Sitios de anidación de águila real georreferenciados

Con el modelo de Clark y Evans (1954) se determinó que el patrón de dispersión espacial de la población es agregado ya que el valor  $R = 0.0030$ , y los valores menores de 1 tienden a la agregación. Mediante la prueba de significancia se rechazó la hipótesis nula según la cual la dispersión es al azar, con lo que se aceptó la hipótesis alternativa que el patrón de dispersión no es al azar, donde  $H_a: 3.73 > 1.76$ ,  $\alpha 0.05$  coincidió con el patrón de distribución agregada.

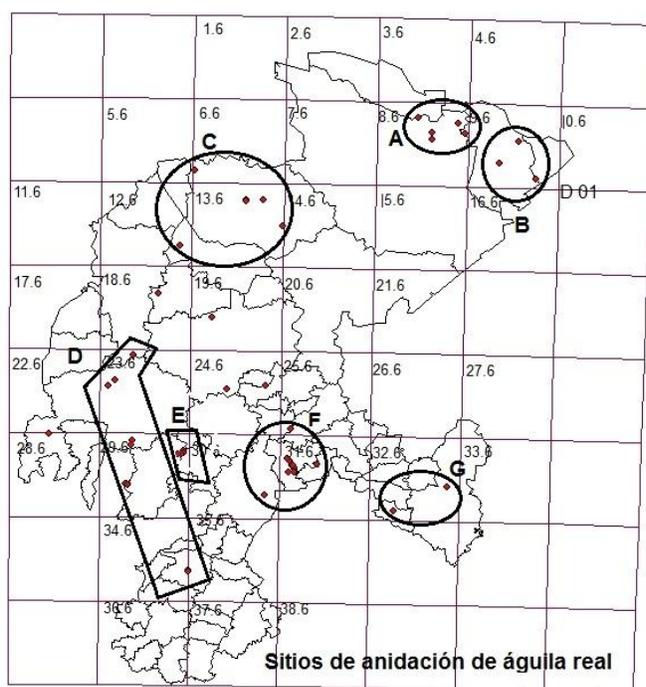
De esta forma se identificaron siete demes distribuidos dos en el norte cerca del límite estatal con Coahuila a los que se les denominó Concepción del Oro y el Quemado. En el noroeste se limitó un deme llamado Nieves. En el suroeste se encontraron dos demes con marcada influencia de la sierra Madre Occidental, Valparaíso y Monte Escobedo, en el centro sur se definió un deme, el de Sierra Fría y en el sureste se limitó el deme Pinos. Considerando la distancia del deme más cercano se estimó si los demes se distribuían al azar o en forma agregada y con significancia de  $\alpha$  0.05 el espaciamiento tiende fuertemente con valor de 0.91 muy cercano al patrón de dispersión agregado (Tabla 11 y Fig. 13).

Tabla 11. Demes resultantes de la dispersión agregada de los sitios de anidación

	DEME	SITIOS DE ANIDACION EN LOS DEMES					
A	CONCEPCION DEL ORO	SALAVERNA	TEMEROSO	CEDROS			
B	EL QUEMADO	PAPAGAYO	PIEDRAS DE MANUEL	EL QUEMADO			
C	NIEVES	NIEVES1	NIEVES 2	NIEVES 3	EL TÁNGER	S. DE GUADALUPE	LUIS MOYA
D	VALPARAISO	GRANDE 1	GRANDE 2	MONT ESCOBEDO	SILVERIO	LOBATOS	
E	MONTE ESCOBEDO	MONTE ESCOBEDO 1	MONTE ESCOBEDO 2	MONTE ESCOBEDO 3	MONTE ESCOBEDO 4	MONTE ESCOBEDO 5	
F	SIERRA FRIA	SIERRA FRÍA	BARRANCA VERDE	PALOMAS	ZACATECAS		
G	PINOS	VILLA GARCÍA	PINOS				

Los sitios de anidación que forman cada deme se espacian entre sí por cortas distancias, pero la distancia entre los demes es de más de 50 kilómetros; la distancia mayor supera los 300 kilómetros.

Figura 13. Demes resultantes del análisis del deme más cercano



- A= DEME CONCEPCIÓN DEL ORO
- B= DEME EL QUEMADO
- C= DEME NIEVES
- D= DEME VALPARAÍSO
- E= DEME MONTE ESCOBEDO
- F= DEME SIERRA FRÍA
- G= DEME PINOS

Tabla 12. Distancia entre demes a partir de la distancia media

	CEDROS	EL QUEMADO	NIEVES	LOBATOS	MONTE ESCOBEDO	SIERRA FRIA	PINOS
CEDROS	0	<b>55.9</b>	178.8	291.47	312.99	262.79	2672.27
EL QUEMADO	<b>55.9</b>	0	214.61	309.11	320.6	266.39	239.92
NIEVES	178.8	214.61	0	<b>139.61</b>	173.94	147.6	224.42
LOBATOS	291.47	309.11	139.61	0	<b>45.88</b>	66.41	173.77
MONTE ESCOBEDO	312.99	320.6	173.94	<b>45.88</b>	0	52.96	153.16
SIERRA FRIA	262.79	266.39	147.6	66.41	<b>52.96</b>	0	106.42
PINOS	267.27	239.92	224.42	173.77	153.16	<b>106.42</b>	<b>0</b>

La distancias entre los demes, o la proximidad de los demes está influenciada por la proximidad de las geoformas y que la distancia se incrementa en sentido norte sur porque la topografía de la cuenca endorréica del norte del estado carece de sierras suficientemente altas y extensas para instalar nidos; por el contrario son lomeríos suaves de vegetación principalmente de matorral xerófilo; extensas zonas de izotal, matorral micrófilo de gobernadora (*Larrea tridentata*), matorral rosetófilo, matorral crasícaule de *Opuntia* y gramíneas. En esta zona se extendieron pastizales hoy deteriorados o transformados en chaparrales y matorrales. La menor distancia entre demes fue entre Lobatos y Monte Escobedo y la mayor distancia entre vecinos más cercanos fue entre los demes de Nieves y Lobatos. La distancia promedio entre los demes fue de 71.8 kilómetros (Tabla 13).

Tabla 13. Distancia del deme vecino más cercano

DEME	VECINO MAS VERCANO	DISTANCIA EN Km
CEDROS	QUEMADO	55.9
QUEMADO	CEDROS	55.9
NIEVES	LOBATOS	139.61
LOBATOS	MONTE ESCOBEDO	45.88
S. FRIA	MONTE ESCOBEDO	52.96
PINOS	SIERRA FRÍA	106.42

Considerando los sitios de anidación la distancia entre los vecinos más cercanos varió en un rango de 85.45 kilómetros pues hubo distancias cortas de 1.55 kilómetros entre los sitios de anidación de Monte Escobedo y distancias mayores de 87.24 kilómetros entre Luis Moya y Nieves 2, no obstante ser el vecino más próximo. La distancia promedio entre sitios de anidación fue de 17.83 kilómetros (Tabla 14).

Se definieron las relaciones entre las variables del hábitat y la cantidad de sitios de anidación considerando cada cuadrante de 60 x 60 kilómetros, coincidentes en forma aproximada con la distancia media entre demes y con el territorio de las parejas reproductoras de águila real. Las variables difirieron en cada cuadrante en cuanto a su densidad por kilómetro cuadrado, o distancia lineal expresada en kilómetros, debido a las condiciones diferentes del hábitat, tratándose de terrenos planos en el desierto de Chihuahua al norte del estado o en los terrenos quebrados e irregulares de las serranías.

Tabla 14. Distancia entre sitios de anidación, vecinos mas cercanos

SITIO	VECINO MAS CERCANO	DISTANCIA EN Km
CEDROS	SALAVERNA	27.15
SALAVERNA	TEMEROSO	8.5
TEMEROSO	SALAVERNA	8.5
PIEDRAS DE MANUEL	QUEMADO	19.83
QUEMADO	PAPAGAYO	19.83
PAPAGAYO	QUEMADO	26.13
NIEVES 1	NIEVES 2	1.15
NIEVES 2	NIEVES 1	1.15
NIEVES 3	NIEVES 1	39.95
TANGER	NIEVES 1	11.03
GUADALUPE	NIEVES 2	29.5
LUIS MOYA	NIEVES 2	87.24
LOBATOS	MONTE ESCOBEDO 1	26.95
GRANDE 1	GRANDE 2	2.81
GRANDE 2	GRANDE 1	2.81
MONTE E 1	MONTE ESCOBEDO 2	1.55
MONTE E 2	MONTE ESCOBEDO 2	1.55
MONTE E 3	MONTE ESCOBEDO 2	1.91
MONTE E 4	MONTE ESCOBEDO 3	2.23
MONTE E 5	GRANDE 2	27.19
ZACATECAS	SIERRA FRÍA	28.19
SIERRA FRIA	BARRANCA VERDE	20.19
BARRANCA VERDE	SIERRA FRÍA	20.19
PALOMAS	SIERRA FRIA	24.53
VILLA GARCIA	PINOS	39.71
PINOS	VILLA GARCÍA	39.71
SILVERIO	MONTE ESCOBEDO 5	75.18

La cantidad de sitios de anidación en los cuadrantes también varió de uno a otro porque algunos contenían mayor proporción de hábitat que otros así como elementos del paisaje, cada sitio de anidación representa a una pareja reproductora y al menos un nido productivo (Tabla 15).

Tabla 15. Número de registro de cuadrantes y sitios de anidación por cuadrante

SENTIDO NORTE A SUR	NUMERO DEL CUADRANTE	N DE SITIOS DE ANIDACIÓN
1	8.6	3
2	9.6	3
3	6.6	1
4	13.6	4
5	18.6	1
6	23.6	1
7	25.6	1
8	29.6	7
9	30.6	1
10	31.6	1
11	32.6	2
12	35.6	1

Para estimar las características del paisaje se consideraron los tipos de uso del suelo en toda la distribución del águila real. Las variables fueron la proporción de ocupación por cada tipo de vegetación, el terreno plano de uso ganadero o forestal, el terreno elevado de uso ganadero o forestal, el terreno de uso agrícola y el terreno construido denominado urbano. El objetivo fue determinar si en el hábitat del águila real hay dominancia por alguno de los usos de suelo, la hipótesis nula fue que no había dominancia de ningún uso de suelo, contra la hipótesis alternativa que indicaba que al menos un uso de suelo era mayor, la medición se realizó estimando los índices de dominancia (D) (O'Neill et al. 1988) y la equitatividad de Shannon (SHEI) (Pielou, 1975). Ambos índices confirmaron que no hay dominancia de uno o algunos de los usos de suelo, con lo que se aceptó la hipótesis nula y se rechazó la hipótesis alternativa. El índice de dominancia,  $D=0.120$  indicó que las proporciones de cobertura de cada uso de suelo son casi iguales, y por consiguiente no hay dominancia de alguno de ellos, también la equitatividad cercano a 1, (SHEI= 0.879) indicó que los usos de suelo se reparten casi en igual proporción en el hábitat. Los doce tipos de uso de suelo son: matorral rosetófilo; matorral rosetófilo subinerme y bosque de pino y encino; matorral rosetófilo subinerme, bosque de pino-encino y pastizal; pastizal y matorral subinerme; bosque de pino-encino pastizal; bosque

de encino y matorral xerófilo-pastizal; matorral crasícaule.pastizal; pastizal y matorral xerófilo, planicie, ganadería o forestal; elevado ganadero o forestal; urbano.

La correlación entre los elementos del paisaje y la cantidad de parejas reproductoras en cada cuadrante de 3,600 kilómetros cuadrados fue diversa en cuanto a valores y tendencias. Destacan cinco relaciones con tendencia negativa: la cantidad de parejas reproductoras y la posición del cuadrante, donde la numeración de los cuadrantes son ascendentes en sentido norte sur y oeste este; otra es la cantidad de parejas reproductoras y la distancia al vecino más cercano; correspondiente a elementos del paisaje son la cantidad de parejas reproductivas y la densidad de brechas y la proporción del terreno plano en el cuadrante y la cantidad de parejas reproductivas. Los valores de correlación positiva más altos y significativos son la cantidad de parejas por cuadrante y la anchura de la geoforma y entre la cantidad de parejas reproductivas y la longitud total de arroyos. Los valores más bajos son la cantidad de parejas reproductivas con la distancia del cuerpo de agua más cercano y la proporción de terreno con uso agrícola. Los valores más altos del coeficiente de determinación, son la relación de la cantidad de parejas reproductoras con la distancia del vecino más cercano (Tabla 16).

Tabla 16. Relaciones de elementos del paisaje y cantidad de sitios de anidación por cuadrante

CANTIDAD DE PAREJAS REPRODUCTORAS VS	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN $r$	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN $r^2$
CUADRANTE	-0.19	0.04
LONGITUD TOTAL DE LA GEOFORMA	0.38	0.14
ANCHURA TOTAL DE LA GEOFORMA	0.60	0.36
AREA DE LA GEOFORMA	0.54	0.29
DISTANCIA MEDIA ENTRE SITIOS DE ANIDACIÓN	0.27	0.073
DISTANCIA MEDIA ENTRE PAREJAS	0.271	0.073
DISTANCIA DEL VECINO MAS CERCANO	-0.644	0.415
DISTANCIA DE LA CARRETERA MAS CERCANA	0.029	0.086
DISTANCIA DE LA BRECHA MAS CERCANA	0.45	0.20
DISTANCIA DE CUERPO DE AGUA MAS CERCANO	0.063	0.00
DENSIDAD DE CARRETERAS	0.13	0.01
DENSIDAD DE BRECHAS	-0.183	0.035
POBLADO MAS CERCANO	0.38	0.14
KILÓMETROS POR MINA	-0.059	0.00
CABECERA MUNICIPAL MAS CERCANA	0.26	0.067
CANTIDAD DE EMBALSES	-0.116	0.013
LONGITUD TOTAL DE ARROYOS	0.609	0.37
COBERTURA DE ARBUSTIVAS O ARBOLADOS	0.45	0.21
PROPORCIÓN DE PLANICIE	-0.121	0.014
PROPORCIÓN DE SUELO ELEVADO	0.132	0.017
PROPORCIÓN DE USO AGRÍCOLA	0.081	0.006

Coeficiente de correlación y de determinación de las relaciones entre la cantidad de parejas reproductivas y variables del paisaje que describen el hábitat.

La correlación es escasa y negativa entre el área de las topoformas y la distancia del vecino más cercano pues el coeficiente de correlación es de -0.181 y el coeficiente  $r^2$  es de 0.033. Tampoco hay correlación significativa entre la longitud de la topoforma y la distancia al vecino más cercano, el coeficiente de correlación es de 0.068 y el coeficiente  $r^2$  es de 0.0047. Igualmente la relación es pobre y negativa entre la anchura de

la topoforma y la distancia al vecino más cercano, el coeficiente de correlación es de -0.217 y el coeficiente  $r^2$  es de 0.047 (Tabla. 16).

#### Percepción social

Los habitantes de Genaro Codina han conocido a las águilas reales desde hace décadas y la población se ha involucrado en la conservación del águila real y es considerada como un ícono local, y ha pasado de las cumbres de la Sierra Fría a la vida cotidiana y al folclor ya que se le representa en un mural de la Presidencia Municipal, en música e incluso en estampados sobre vestidos de tela representando paisajes del hábitat local. Todo este conocimiento se plasma en los resultados de la encuesta ya que todos los encuestados han visto águilas reales al menos una vez en su vida, identifican bien a la especie y saben donde habita, no las confunden con otras especies y se aprecia una mejoría en el conocimiento después de la encuesta. En Valparaíso, Mazapil y en Concepción del Oro la población encuestada sabe de la existencia de águilas reales en su municipio sin embargo en Concepción del Oro en la encuesta final la población conocedora se duplicó.

En Genaro Codina todos los encuestados saben que en su municipio hay águila real y la han visto a un kilómetro, en Mazapil y en Concepción del Oro la población reconoce que la especie ocurre a 3 y a 10 kilómetros de su particular punto de referencia, y en algún momento la han visto, en tanto en Valparaíso la distancia de ocurrencia del punto de referencia del encuestado fue mayor de 30 kilómetros y una porción de personas encuestadas nunca las ha visto aunque sabe de su ocurrencia. Todas las personas que declaran haberlas visto, fue cuando estaban las águilas en vuelo y todos reconocieron que el águila real es más grande que las auras (*Cathartes aura*) y si acaso de igual tamaño o más grandes que los buteos de cola roja (*Buteo jamaicensis*) y los halcones de Harris (*Parabuteo unicinctus*). Las personas encuestadas no conocían los nidos de águila real, si acaso por referencia. Los valores son porcentajes (Tabla 17).

Tabla 17. Respuestas a la identificación de águilas reales en su hábitat.

	Hay águilas reales en la localidad o municipio	Distancia a la que hay águilas reales km	Si ha visto águilas reales	Actividad de las águilas reales al verlas	Son más grandes que auras	Son más grandes que aguillillas cola roja	Tienen blanco a lo largo del ala
GENARO	100	1	100	Vuelo	100	100	90
CODINA	100	1	100	Vuelo	100	100	100
GUADALUPE	0	0	0				
ZACATECAS	0	0	0				
CAS	0	0	0				
VALPARAISO	40 35	30 30	30 27	Vuelo Vuelo	100 100	100 100	85 87
MAZAPIL	60 40	3 10	60 70	Vuelo Vuelo	100 100	100 100	90 90
CONCEPCION DEL ORO	35 70	10 10	35 45	Vuelo Vuelo	100 100	100 100	80 83

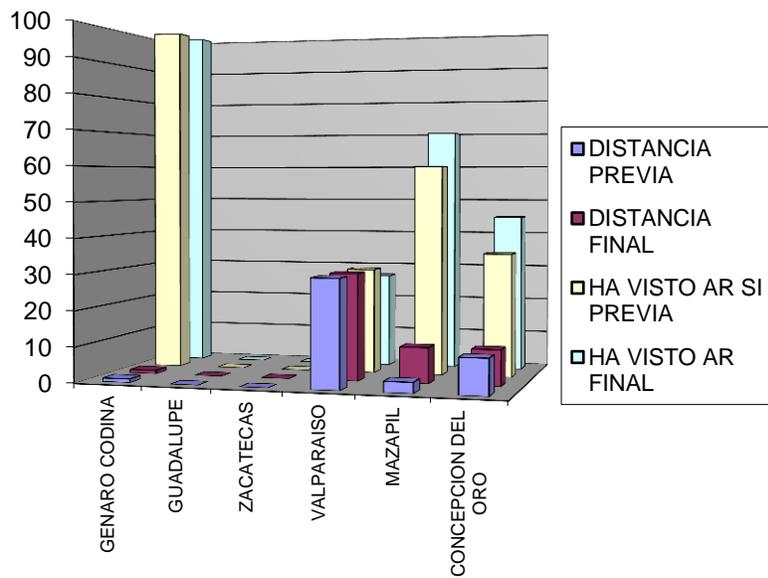
La cantidad en la parte superior de la celda indica la respuesta previa y la cantidad en la parte inferior de la celda es la respuesta después de la capacitación. Las cantidades se refieren al valor máximo expresado en porcentajes de las respuestas acertadas. Águilas se refiere a águilas reales (*Aquila chrysaetos*), ACR se refiere a Aguillilla cola roja (*Buteo jamaicensis*), Aura se refiere a *Cathartes aura*.

Respecto de la distancia a la que los habitantes de un municipio saben que existen sitios de anidación o sitios de ocurrencia de águilas reales en Genaro Codina determinaron que a 1 kilómetro de distancia ocurren, en Valparaíso la distancia a la que se encuentran las águilas es a 30 kilómetros, y en Mazapil la distancia identificada inicialmente fue superior de 3 a 10 kilómetros y en Concepción del Oro las distancias previa y posterior fue la misma. Destaca que en el caso de Mazapil y Concepción del Oro las personas que indicaron una distancia distinta en la encuesta posterior, fueron significativamente más que en la encuesta previa. En Zacatecas y Guadalupe no se identificaron distancias a partir del entorno inmediato (Fig. 14).

Conocen en Genaro Codina, en Valparaíso, en Mazapil y Concepción del Oro, a las águilas reales, las identifican como la especie, reconocen su coloración y rechazan las coloraciones de otras especies, también en cuanto a las dimensiones corporales la identifican. Con mucho el aspecto de una águila real tanto en vuelo como en tierra o perchada, es distintivo de otras especies, así, la posición de las alas por encima del lomo formando una “V” en las auras estando en vuelo, no se presenta en águila real, ni su corpulencia, ni coloración, ni su aspecto.

Las águilas reales presentan algunas manchas o parches blancos sobre todo en la cara ventral de las alas y de la cola, con la edad se desvanecen. La coloración café chocolate con iridiscencias bronce o doradas del águila real son características y no presentan la coloración roja ladrillo de los Parabuteos en los parches sobre los hombros ni la coloración roja de la cola de Buteos (Fig. 15 y Fig. 16).

Figura 14. Distancia en kilómetros a la que han visto águilas reales



AR significa Águila Real

Figura 15. Reconocimiento previo a la encuesta y posterior de la coloración Águila real vs aura

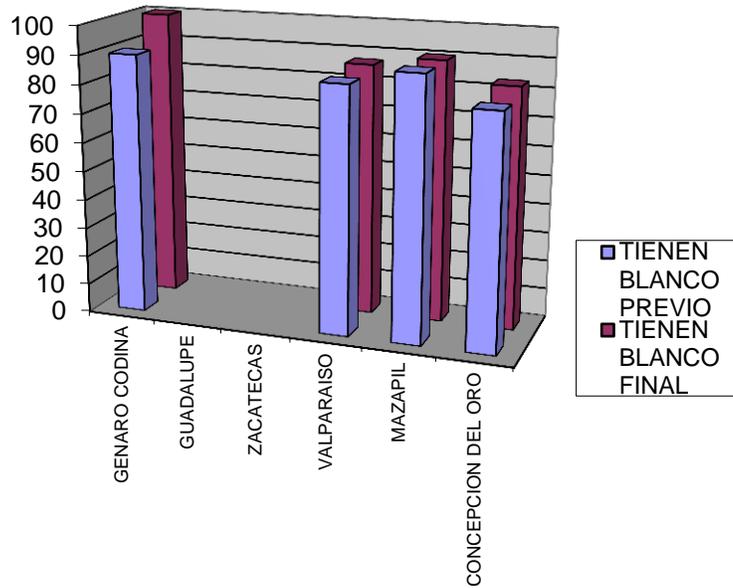
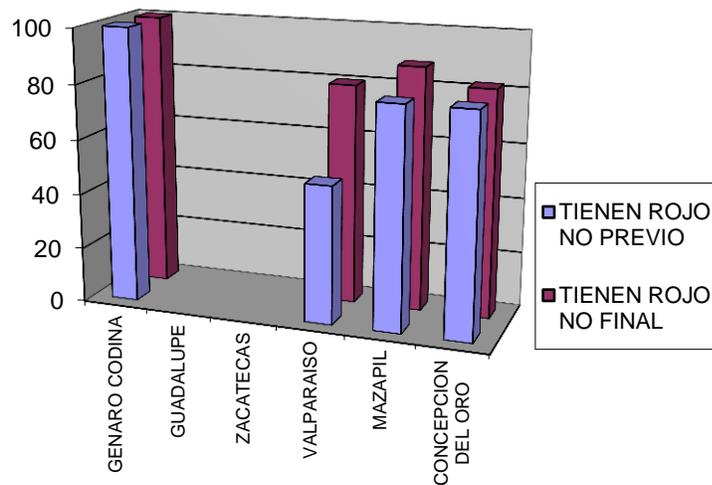


Figura 16. Identificación previa a la encuesta de águilas reales por la coloración del plumaje de

Águila real vs *buteo*



Las relaciones entre las águilas reales, y en general, entre la fauna silvestre, y los habitantes de un sitio, se manifiesta con mucha frecuencia con actitudes agresivas sobre todo cuando hay amenaza real, aparente o supuesta hacia las pertenencias de los lugareños como son los animales domésticos o sus familias. En Genaro Codina la totalidad de las personas encuestadas señalaron no hacer nada en contra de las águilas y no han presenciado ataques de águilas reales a ganado mayor, aunque si dieron cuenta de ataques hacia ganado menor, ovino y caprino, así como a otros animales y reconocen que la dieta de las águilas reales incluye conejo (*Sylvilagus floridanus*) liebre (*Lepus callotis*) y ardillas (*Spermophilus variegatus* y *Sciurus* sp.) con todo ello la población de águilas reales es mayor que hace 10 años. Pero en Valparaíso la respuesta manifiesta agresión hacia la especie como lo constatan el 40% de las encuestas previas y el 25% de las encuestas finales que manifiestan que sí matan águilas reales por ser amenaza ya que el 50% de las personas encuestadas ha visto ataques a ganado mayor y el 90% a ganado menor y a otros animales. Aunque reconocen que la dieta de las águilas reales incluye conejo, liebre y (*Didelphis virginiana*), también manifiestan que desde hace 10 años la población de águilas reales es menor que hace 10 años. La presencia de águilas reales con frecuencia pasa desapercibida como sucede en los municipios de Guadalupe y de Zacatecas, donde ninguna de las personas encuestadas supo desde cuando ocurre la especie, no así en Genaro Codina donde tanto en la encuesta del inicio como del final la totalidad de las personas señalaron la presencia de águilas desde entre 20 y 30 años; en Valparaíso el 30% de las personas encuestadas señaló el mismo periodo, en Mazapil el mismo periodo fue señalado por el 40% y en Concepción del Oro este periodo fue señalado por el 20%, las diferencias entre ambos grupos de respuestas son significativas.

En cuanto a la apreciación por la población encuestada en relación a la abundancia de águilas reales en los sitios de anidación aledaños a su localidad se aplicaron 4 reactivos ¿cuándo fue la última vez que vio águilas reales?, ¿cuántas vio este año? y ¿cuántas vio el año pasado? A la primera pregunta en Genaro Codina en ambas encuestas manifestaron haberlas visto en el año de la encuesta, en Valparaíso en ambas encuestas señalaron haberlas visto hace más de tres años, y en Concepción del Oro y Mazapil afirmaron haberlas visto hacía dos años la última vez.

Se les preguntó para qué sirven las águilas reales, en Genaro Codina la gente sabe que su utilidad es para comer otros animales, es decir como depredadores, en Guadalupe la mayoría no sabe e incluso señalaron que para nada, así como en Zacatecas; y en Valparaíso, Mazapil y Concepción del Oro además de la función depredadora señalan un valor como es el de verlas volar y la reproducción de la especie (Tabla 18).

Tabla 18. Apreciación utilidad de las águilas reales

	Comen otros animales	Para comer ganado	Para verlas volar	Para tener crías	Para nada	No se
GENARO CODINA	45 52	15 20	0	0	0	40
GUADALUPE	0 0	25 12	0 0	0 0	22 10	53
ZACATECAS	0 0	0 0	0 0	0 0	13 24	87
VALPARAÍSO	16 26	31 26	- -	0 3	0 0	50
MAZAPIL	28 43	18 26	10 1	1 0	1 0	22
CONCEPCIÓN DEL ORO	22 21	15 40	12 5	5 0	46 22	0

La cantidad en la parte superior de la celda indica la respuesta previa y la cantidad en la parte inferior de la celda es la respuesta después de la capacitación.

Casi la totalidad de las personas encuestadas opinan que deben seguir existiendo y que son necesarias y bonitas pero también hubo en la encuesta previa opiniones que expresaron que no debería haber águilas reales porque son malas, feas y comen animales, estas respuestas en la encuesta posterior cambio disminuyendo las opiniones negativas totalmente (Tabla 19).

Tabla 19. Percepción si debería seguir habiendo águilas reales

MUNICIPIO	RESPUESTA	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	CRITERIO DE NO ACEPTACIÓN	PERCEPCIÓN
	SI	PORQUE	NO	PORQUE
GENARO CODINA	100	SON	0	
	100	NECESARIAS	0	
GUADALUPE	100	SON BONITAS	0	
	100		0	
ZACATECAS	89	AGRADAN	11	SON MALAS
	100		0	
VALPARAÍSO	98	NECESARIAS	2	FEAS
	100		0	
MAZAPIL	100	NECESARIAS	0	
	100		0	
CONCEPCIÓN DEL ORO	94	NECESARIAS	6	COMEN ANIMALES
	100		0	

La cantidad en la parte superior de la celda “RESPUESTA” indica la respuesta previa y la cantidad en la parte inferior de la celda es la respuesta después de la capacitación

Tanto la encuesta previa como la final demostraron que todas las personas encuestadas reconocen al águila real como la especie que está representada en el Escudo Nacional y en la Bandera de México (Tabla 20). En Guadalupe y en Zacatecas no todas las encuestas revelan el conocimiento de la ocurrencia de águilas reales en Zacatecas, sin embargo señalaron solo en Guadalupe y en Zacatecas que algunas personas saben que sí hay águilas reales en Guadalajara, aunque dan por entendido que también ocurren en el Valle de México (Tabla 20).

Tabla 20. Conocimiento de la relación del águila real con los Símbolos Patrios y con la ocurrencia en México de la especie.

	Es la especie del Escudo	Hay águilas reales en Zacatecas	Hay águilas reales en el Valle de México	Hay águilas reales en Guadalajara
GENARO CODINA	100	100		
	100	100		
GUADALUPE	100	92		2
	100	100		
ZACATECAS	100	92	8	
	100	100		
VALPARAÍSO	100	100		
	100	100		
MAZAPIL	100	100		
	100	100		
CONCEPCIÓN DEL ORO	100	100		
	100	100		

La cantidad en la parte superior de la celda indica la respuesta previa y la cantidad en la parte inferior de la celda es la respuesta después de la capacitación

También el resultado de las encuestas de la ocurrencia de águilas reales en otras partes mostraron que gran parte de la población estudiada sabe de la ocurrencia de águilas en México, pero tratándose de la ocurrencia en Estados Unidos o en Europa variaron los conocimientos, solo en Zacatecas y en Valparaíso se mostró el conocimiento de ocurrencia en Estados Unidos y solo en Guadalupe y en Zacatecas la población encuestada supo que había águilas en Europa (Tabla 21).

Tabla 21. Conocimiento de la ocurrencia de águila real en otros países

	MEX	EU	EUROP
GENARO CODINA	100		
	100		
GUADALUPE	60	40	
	100	50	17
ZACATECAS	53	38	9
	100	100	15
VALPARAÍSO	70	30	
	100	100	
MAZAPIL	100		
	100	80	
CONCEPCIÓN DEL ORO	100		
	100	66	

La cantidad en la parte superior de la celda indica la respuesta previa y la cantidad en la parte inferior de la celda es la respuesta después de la capacitación

El águila real representó libertad en la totalidad de las personas encuestadas, solo en Genaro Codina no representó en la totalidad de los encuestados amor patrio, Respeto a la naturaleza en Genaro Codina no es un valor difundido pues estuvo en menos de la mitad de la población encuestada, y en Concepción del Oro los valores fueron antes y después de la capacitación por debajo del cien por ciento. Si despierta el sentimiento de emoción el águila real, en algunos casos sí lo hace y en otros no, inclusive en algunos casos como en Valparaíso y en Mazapil disminuyó este sentimiento después de la información. No representa amor al lugar en Guadalupe ni en Zacatecas y en el resto de los sitios estudiados, varió aunque en Valparaíso fue más alto. Si despierta interés, varió entre la población encuestada el valor más alto fue en Genaro Codina posterior a la información difundida. No representa sentimiento de poder ni de valor (Tabla 22).

Tabla 22. Percepción de valores

	LIBERTAD	AMOR PA TRIO	RESP A NATU	EMO CION	AMOR LUGAR	INTERES	PODER	VALOR
GENARO CODINA	100 100	40 40	40 40	22 30	10 20	50 100	2 0	2 0
GUADALUPE	100 100	100 100	100 100	24 52		44 40	38 42	45 45
ZACATECAS	100 100	100 100	100 100	69 78		67 80	40 40	65 60
VALPARAÍSO	100 100	100 100	100 100	62 60	81 80	78 48	27 27	35 35
MAZAPIL	100 100	100 100	100 100	33 26	68 70	87 89	12 10	17 15
CONCEPCIÓN DEL ORO	100 100	100 100	87 90	44 58	78 78	32 43	16 8	13 5

La cantidad en la parte superior de la celda indica la respuesta previa y la cantidad en la parte inferior de la celda es la respuesta después de la capacitación

Todas las participantes en las encuestas manifestaron su interés y consentimiento en participar en campañas de conservación del águila real tanto en su localidad como a nivel nacional.

## DISCUSIÓN

El estudio que se presenta contempló diez años con trabajo de campo, de gabinete y dos de laboratorio de genética molecular. El seguimiento de los sitios de anidación es una herramienta que permite además de la observación y medición directa in situ, la colecta de muestras de excretas de otros depredadores que coexisten con el águila real, estas metodologías son de uso amplio en el mundo y proporcionan información rápidamente y precisa.

Uno de los estudios más representativos de la utilidad de los marcadores moleculares en águila real fue realizado para conocer el status del águila real japonesa, que se encuentra gravemente amenazada. Los estudios con la secuencia de 472 bases del D-Loop de ADN mitocondrial, comparando 23 individuos de águila real japonesa entre los que había ejemplares capturados de origen conocido y ejemplares capturado de origen desconocido, por substitución de nucleótidos se identificaron cinco haplotipos de la secuencia del D-Loop indicando cuando menos tres linajes maternos alrededor de Japón y la distribución de haplotipos sugirieron la comunicación entre poblaciones locales antes de la reciente fragmentación del hábitat y decrecimiento del tamaño de la población de águilas (Masuda *et al* 1998). Los estudios de genética molecular han revelado relaciones genéticas entre especies del género *Aquila* y entre poblaciones, el ADN mitocondrial reconstruyó el árbol filogenético quedando en la misma clade el *A. clanga* y el *A. pomarina* ambas a la misma distancia pero en diferente clade que el *A. chrysaetos* (Vali 2002). El AND mitocondrial y otros marcadores son de gran utilidad en estudios genéticos de aves pues son capaces de mostrar el flujo de genes o su persistencia en poblaciones que han sufrido fragmentación de su hábitat (Bates 2000). También han aclarado la filogenia de especies de aves no rapaces de distribución continental, separándolas no solo a nivel de especie sino calculando el tiempo en que se produjo la divergencia especies (Johnson y Clayton 2000).

Petit *et al* (1997) sugieren seleccionar poblaciones de vida silvestre como candidatas para su conservación eligiendo criterios diferentes que las medidas de diversidad

genética como la heterocigosidad esperada o el porcentaje de loci polimórficos, en su lugar sugiere que se considere la riqueza alélica, mediante una técnica de vacuidad que permite evaluar el número esperado de alelos entre muestras de igual tamaño obtenidas de diferentes poblaciones. La propuesta de selección en base a marcadores genéticos es un criterio poco aplicado actualmente y su utilidad y refinamiento eliminarían el factor de selección de poblaciones en base a criterios muchas veces de carácter personal o similar a los de selección de ganado, puntos de vista prácticos o simplemente, empíricos. De este estudio de marcadores genéticos de águila real, que han separado siete poblaciones se desprenden prioridades de conservación sobre todo de la población de la Sierra Fría, Concepción del Oro y Monte Escobedo por su heterocigosidad. En este sentido y en apoyo a los criterios de selección genética, el Índice de Jaccard es un buen estimador, no comparativo ni predictivo, sino cuantitativo “en tiempo real” de todas las combinaciones de similitud basado en la cantidad de alelos comunes entre las muestras, en esto reside su capacidad de discernir entre dos muestras sin excluir a alguna de las que compara, a menos que la similitud sea cero entre ambas. Soulé y Mills (1998) señalan que en poblaciones pequeñas en riesgo de extinción la homocigosidad y la homogeneidad de genes afectan la respuesta inmune y afectan la expresión de genes recesivos que redundan en la fertilidad y en el vigor fisiológico, sin embargo agregan que “el actor más siniestro en el drama de la extinción no es ni la genética ni el deterioro ambiental, es la pérdida del hábitat y de su calidad, sobreexplotación de los recursos naturales, especies exóticas, contaminación y cambio climático.

El uso de la técnica de extracción de ADN con fenol cloroformo, en este estudio para los subsiguientes estudios de la Reacción en Cadena de Polimerasa (PCR), a partir de plumas de águila real por su eficiencia y adaptabilidad se empleó en los primeros estudios comparativos entre ADN de águila real y de guajolote silvestre de la misma región para diferenciar los patrones de bandeo de cada especie y estandarizar la técnica; se escogieron las plumas de guajolote silvestre porque son abundantes y fáciles de manejar, en tanto que las de águila real son escasas y de muy difícil manejo. El raquis de la pluma del águila es difícil de cortar en trozos pequeños por lo que el polvo producto

de la limadura hace la muestra manejable (Mondragón de la P y Blancas M. 2001 comunicación personal).

Para el tratamiento de los microsátélites de águila real se adaptó la técnica de fenol cloroformo previamente adaptada para plumas de pato triguero (Mercado 2012), y de águila real (Juárez 2012). En este estudio las plumas procedieron de los nidos después que son abandonados por las crías o de oteaderos de águila real, algunas estaban deterioradas por el efecto de intemperie así que para ampliar la eficiencia de la extracción del ADN se adaptaron técnicas que originalmente se diseñaron para obtener ADN de muestras de pieles de aves y plumas de colecciones de museo (Paine y Sorenson 2003; Hofreiter *et al.* 2001). El deterioro por intemperismo puede ser muy acelerado dependiendo de las condiciones del sitio de anidación, de la exposición directa al sol, la temperatura de la pared de roca, la humedad, la lluvia, incluso el pisoteo por las crías y progenitores que al igual que trabajar con plumas deterioradas o almacenadas por mucho tiempo en colecciones de museo sujetas a un proceso de curtido, conservación y sustancias antifúngicas, o desinfectantes requiere de replicaciones por muestra y por locus así como de la concentración del ADN “...fragmento de PCR influye en el éxito y la repetitividad de la amplificación de los microsátélites...” (Sefcet *al.* 2003.). Para plumas similares a las de este estudio es recomendable la adopción de criterios y técnicas de obtención de ADN similares a las que se incluyeron en el estudio. Para obtener mayor cantidad de AND a partir de plumas y de otras muestras Aldaet *al.* (2007) desarrollaron un método en el que el ADN se incubaba por una noche y posteriormente se purifique en columnas QIAGEN, esta técnica no fue utilizada en este estudio.

El rango de tamaño de los marcadores analizada en este estudio con respecto a las especies estudiadas por Martínez-Cruz *et al.* (2002), es bastante similar, la longitud de los alelos en este estudio son más pequeños en promedio (entre 3 y 15 pb) comparado con las especies de estudio de las aves del viejo mundo. El microsátélite Aa 39 a pesar de que en otros estudios aparece, en este estudio no hay ninguna muestra, posiblemente porque el gen Aa 39 sea más frecuente en las poblaciones de águila real de Europa, ya que este gen se encontró originalmente en águila imperial española con lo que se perfila

como una herramienta para diferenciar entre especímenes americanas y europeas, sobre todo en la regulación del tráfico de especies o bien algunos alelos microsátélites no pueden amplificarse por el fenómeno conocido como alelo nulo (null-allele) a causa de una mutación en una parte sensible del sitio de hibridación del cebador (Lee-M 2010). En el estudio se produjo una muestra de Concepción del Oro que solamente expresó dos genes, el Aa02 y el Aa04, en otros estudios que calculan el apareamiento genético, casos similares se consideran como posibles mutaciones (Rudnick *et al* 2005) aunque desde el punto de vista de la teoría de metapoblaciones, esta situación es característica de poblaciones resumidero porque consumen los genes originales de la población.

Los estudios de genética molecular son escasos y apenas en el 2006 se incorporaron los minisatélites a estudios de la especie. Con solo ocho microsátélites fue posible separar dos grupos poblacionales geográficamente definidos: uno en el norte del estado y otra hacia el sur sobre la Sierra Fría; el estudio deja claro que la Sierra Fría es una fuente de genes tanto de águilas que colonizan hacia el norte, posiblemente a través de las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, y para águilas que colonizan el sur sobre la sierras del centro de México. Se deduce por las diferencias de similitud que probablemente la colonización de sitios de anidación de la especie es por las estribaciones de la Sierra Madre Occidental a través de Valparaíso y Monte Escobedo continuando hacia la sierra de Chapultepec, sierra de Guadalupe, y sierras transversales en Mazapil, Concepción del Oro y Melchor Ocampo. Estudios posteriores con mayor cantidad de microsátélites y una muestra de plumas mas grande, de estos sitios, podrán esclarecer si estos sitios son poblaciones genéticamente independientes o si se relacionen entre sí. Las águilas de la Sierra Fría y de Monte Escobedo, a pesar de compartir los mismos genes no lo hacen en la misma proporción por lo que su similitud es muy baja, sin embargo el flujo de genes se atribuye a las sucesivas extinciones y recolonizaciones de los sitios de anidación en la Sierra Madre Occidental, situación que se repite hacia el sur de la Sierra Fría colonizándose los sitios de anidación de los que se extinguieron las águilas desde hace más de sesenta años; pasaron aproximadamente cuarenta años para que se avistara un sitio ocupado en la Sierra de Santa Rosa y aproximadamente quince años después se capturó un ejemplar lesionado en las proximidades de las serranías de

Corralejo, del que procedieron las plumas de este estudio. El tiempo transcurrido sugiere que esta águila adulta no estaba en migración cuando fue abatida, sino que su ocurrencia se debía al turnover natural. También se infiere que esta águila provenía de la población de la Sierra Fría aunque sería especular si de los sitios de anidación situados en el estado de Zacatecas o en los de la misma sierra del estado de Aguascalientes.

En este estudio se diferenciaron las poblaciones de Concepción del Oro, Monte Escobedo, Valparaíso, Sierra Fría y Guanajuato por los microsatélites, las águilas de la Sierra Fría y Guanajuato fueron altamente similares, en tanto que son totalmente diferentes de las poblaciones de Concepción del Oro. Las poblaciones de Valparaíso y Monte Escobedo indican pobre relación genética entre ellas. La distribución de los microsatélites en las poblaciones, sugiere una buena metodología para valorar el flujo genético y el rastreo de algún grupo de genes en particular, sobre todo de aquellos que mas distinguen cada población del resto de las poblaciones, que puede deberse con mucha probabilidad al entrecruzamiento de individuos de diferentes poblaciones, que enriquecen e incrementan la heterocigosis, o la ausencia de otros alelos como Aa04 para Valparaíso y Aa27 para Concepción el Oro.

A pesar que los objetivos de este trabajo no contemplaron el análisis genético de las poblaciones, las muestras de microsatélites reflejan algunas consideraciones genéticas insoslayables.

En pequeñas poblaciones amenazadas, como las de águila real en México, es difícil que se cumplan los postulados de Hardy-Weinberg que establece que la composición genética de una población permanece en equilibrio mientras no actúe la selección natural y que no se produzca ninguna mutación. En otra forma de expresión el principio supone que una población alcanza el equilibrio genético cuando se igualan la entrada y la salida de genes de la población, y consecuentemente que la segunda generación filial tendrá la misma distribución de alelos que los progenitores. Las poblaciones locales son pequeñas y aisladas la selección de pareja no es al azar, y por otra parte la selección de la pareja reproductora es complicada puesto que son parejas estables y los individuos juveniles

requieren conseguir territorio a distancia de las parejas establecidas, de modo que no todos los individuos de la población tienen la misma probabilidad de reproducirse. El flujo genético se mantiene por la migración de individuos entre poblaciones siempre y cuando se reproduzca el migrante exitosamente en la población de arribo. Sin embargo las poblaciones mexicanas del centro del territorio nacional no son migratorias, sino que su motilidad territorial es por colonizaciones de territorios potenciales. Para las poblaciones mexicanas de águila real no es preciso señalar que el flujo de genes se produce por la migración ya que los volantones no se dispersan a grandes distancias como pudiera suceder con ejemplares de Estados Unidos y Canadá. Solo hay dos reportes un tanto anecdóticos de avistamiento de águilas en la costa del estado de Veracruz durante la migración invernal de aves de presa en la ruta del Golfo de México, sin embargo bien pudieron ser ejemplares del estado de Hidalgo, siguiendo el reporte de ocurrencia de águilas en Zimapán y no de ejemplares de Estados Unidos.

No obstante que el cladograma muestra las distancias entre cuan similares son las poblaciones y estas a su vez muestran las diferencias en cuanto individuos, se distinguen genes que aunque polimórficos, están presentes en todas las poblaciones asumiendo que el gen Aa37 es característico de la especie, ya que también otros autores lo reportan en poblaciones de Europa y Norte América, y está relacionado más con la deriva genética.

Se realizó la prueba de Mantel comparando la distancia geográfica entre cada población contra la similitud de cada par de las mismas poblaciones, y se obtuvo un coeficiente de correlación de  $-0.4957$  y un coeficiente de regresión de  $0.2458$ , ambas pruebas demuestran que la asociación entre la distancia genética no depende de la distancia geográfica pues solo se explica en un  $24\%$ , pero demuestra que a medida que crece la distancia geográfica entre las poblaciones la distancia genética es menor y las poblaciones genéticamente se diferencian con lo que es posible atribuirlo más que al flujo de genes a la deriva genética, también con este resultado se identifica que el águila real en México no es migratoria y que la migración tiene un pobre efecto sobre la composición genética de las poblaciones, no obstante el establecimiento de cada pareja reproductora en una población local aporta alelos a la pila genética de la misma y puede cambiar la proporción y frecuencia alélica presente.

El ANOVA demostró la variación entre los grupos, es decir que la varianza de las medias dependió en relación a la media global influye más que la varianza dentro de cada grupo, diferenciando significativamente  $\alpha < 0.05$ , a la distancia genética de la distancia geográfica en cada par de poblaciones, al rechazar la hipótesis nula se asume que la distancia geográfica y la distancia genética cuentan con fuentes de variación distinta entre ellas y por lo tanto la distancia genética no depende de la distancia geográfica.

En las poblaciones estudiadas no se realizó el análisis de diversidad genética a través de la frecuencia alélica, sin embargo pudo estimarse en virtud de la expresión de los microsatélites por individuo en cada población. El índice de Shannon fue de 2.449 en tanto que la dominancia de Simpson fue de 0.0884; El valor de Shannon indica diversidad entre las poblaciones, mayor que la dominancia. Esta situación tiene relevancia para el manejo de poblaciones y en particular para la repoblación de un sitio de anidación cuando así fuere necesario. La mayor diversidad la obtuvieron la población de Guanajuato y la de Monte Escobedo con 1.946 seguida de la población de Sierra Fría con una diversidad de 1.898.

Este estudio motiva la investigación con muestreos más amplios que involucren sitios de anidación de Aguascalientes, de San Luis Potosí, de Durango, de Coahuila y de Nuevo León, para determinar las poblaciones fuentes y las poblaciones resumidero, así como la heterogeneidad de las mismas para determinar acciones de manejo para fortalecer aquellas poblaciones donde la heterocigosis tienda a la homocigosis y a convertirse en poblaciones resumidero.

La distribución de las águilas reales, al menos en Zacatecas, parece asumir la forma metapoblacional y define en los modelos espacialmente realistas aplicables a paisajes heterogéneos y fragmentados en los que el área y los fragmentos de hábitat óptimo adquieren relevancia. Badii (2006), indica que tanto la dinámica metapoblacional como los procesos dependientes de la densidad local de individuos son importantes para la

persistencia de la especie a largo plazo, a través de tres procesos: la migración, y como ésta afecta a la dinámica local; la extinción de la población y el establecimiento de nuevas poblaciones por la recolonización. A su vez el tamaño poblacional depende de la natalidad (eclosión)-inmigración, que incrementan la población y mortalidad o emigración que las disminuyen. Los modelos que pueden describir el comportamiento metapoblacional de las poblaciones identificadas son modelos espacialmente realistas descritos por Hanski en 1999, (Ovaskainen y Hanski, 2004) porque las poblaciones no están conectadas directamente en la realidad geográficamente y no hay una geometría definida del paisaje fragmentado. En esta categoría y con datos de migración pudiera aplicarse el modelo de de Tilman y Kareiva (1997), para hábitat altamente fragmentado y adaptado a que la cuadrícula de las celdas esté como lo es, inmerso en hábitat no apropiado, en este modelo el área del fragmento y el aislamiento juegan un rol fundamental en la determinación de las tasas de extinción y de colonización. El modelo de función incidencia de Hanski (1999) y Bierman (2000) (enBadii y Abreu, 2006) puede ser el primer paso para comprender el comportamiento de la dinámica metapoblacional porque requiere de información de campo, y por lo tanto se aplica a metapoblaciones reales y específicas. El modelo es espacialmente explícito y requiere de la información del arreglo espacial de los fragmentos, sus áreas, y datos de ausencia presencia. El modelo obtiene la probabilidad a largo plazo de que un fragmento de hábitat esté ocupado (incidencia  $J_i$ ) como resultado de la colonización ( $C_i$ ) y de la extinción ( $E_i$ ):

Fig.17       **$J_i = C_i/C_i+E_i$**

Continuando con el razonamiento de Hanski (1999) y Bierman (2000), la probabilidad de que este fragmento en particular a largo plazo se mantenga ocupado es de 0.66 o de sesenta y seis por ciento con lo cual a pesar de que la probabilidad de incidencia  $J_i$  no es cercana a cero, tampoco es demasiado cercana a uno, por lo que se hace necesario incrementar en forma natural la producción de crías y mejorar el hábitat.  $C_i$  y  $E_i$  en este sitio es posible calcularlos gracias a que en el estudio de largo plazo se registraron los movimientos de extinción, colonización y recolonización, no obstante es una alta

probabilidad de que los fragmentos continúen ocupados y es posible planear condiciones de manejo de hábitat con ello para asegurar el éxito de la permanencia en la Sierra Fría de Zacatecas. Los modelos espacialmente realistas describen poblaciones de especies que guardan fidelidad al sitio de la colonia, como el águila real por lo que es necesario desarrollar modelos semejantes (Matthiopoulos *et al.* 2005). El flujo de genes que conecta las poblaciones de la Sierra Fría de Zacatecas con la Sierra de Corralejo en Guanajuato pudiera suponerse que se produjo en el corto tiempo, sin embargo pasaron 14 años desde que se iniciaron las actividades de conservación en la Sierra fría hasta que se encontrara accidentalmente un juvenil herido en Corralejo a una distancia de 230 kilómetros con una similitud de más del 70% entre ambas poblaciones. Los movimientos de colonización, incluso los de dispersión y los vuelos no migratorios, son de 1 kilómetro en una hora y el 95 % de los vuelos no superan los 9 kilómetros con una distancia media de 6 kilómetros por día, siendo los vuelos principalmente para buscar alimento, muchos de estos vuelos son dentro de las termales (Soutullo *et al.* 2006), en cambio los vuelos migratorios son de larga distancia y en corto tiempo si se considera que una águila en movimientos migratorios puede recorrer alrededor de la frontera norte entre las ciudades del Paso en Texas y Ciudad Juárez en Chihuahua, 100 kilómetros en cuatro horas. La recolonización de sitios de anidación abandonados es en el largo plazo como ocurrió en el sitio de San Antonio de las Huertas en la Sierra fría que fue recolonizado cinco años después de haberse extinguido.

El estudio más reciente de ocurrencia de águila real en el norte de México fue en el estado de Durango (Noceda *et al.* 2010) y describe en detalle las regiones determinadas por el hábitat en las que ocurren los sitios de anidación, y también en Durango una parte de las poblaciones se localiza en los valles desérticos y pastizales y otra parte se distribuye en zonas serranas, siguiendo hasta cierto punto el contorno de la Sierra Madre Occidental, como sucede en Zacatecas, inclusive algunos sitios de anidación están en proximidades con los municipios de Valparaíso, Chalchihuites y Jiménez del Teúl. La problemática de interferencia con las localidades y con las actividades humanas similares en ambos estados y la amenaza en estas regiones comunes, es similar. Todos los sitios de anidación fueron georreferenciados. Es muy posible que las águilas

de Valparaíso formen parte de la misma población de la sierra de La Michilía del estado de Durango y que los sitios de anidación de la Sierra Madre Occidental formen una metapoblación con los sitios de anidación del sur de Durango. Es recomendable realizar estudios de georreferenciación y genéticos de la zona.

El SIG que forma la base de este estudio es parte del primero que se realiza en México en forma sistemática y actualmente reúne información de todos los estados de México donde ocurre la especie y forma parte del Programa de Acción para la Conservación de la especie (PACE: Águila Real). Esta metodología de estudio ha demostrado ser eficiente en otros estudios y para diversas acciones de conservación de aves rapaces y desde luego de águila real. Los sistemas de información geográfica en el estudio y en la conservación de aves rapaces tienen la ventaja de adaptarse a las especies pequeñas y grandes, generalizan la relación de las especies y poblaciones, incluso de los individuos con el hábitat y el paisaje, con lo que se puede llegar a conclusiones y toma de decisiones más dirigidas. Un estudio clásico es el de Castro *et al* (2008) aplicado a la distribución de lechuza de Tengmalm (*Aegolius funereus*) en España, donde se elaboró un SIG a partir de una cuadrícula de UTM 10 x 10 Km en el noreste de España; para inferir los factores determinantes de la distribución espacial utilizó un modelo predictivo con una función de favorabilidad basada en Modelos Lineales Generalizados, los datos fueron de presencia/ausencia y 32 variables climáticas a discriminar. El modelaje incluyó solo cuatro variables como las determinantes: cantidad media de días con heladas, precipitación máxima registrada en 24 horas, diferencia de altitud y longitud geográfica. El clima fue el factor que afectó la distribución de la lechuza, seguido del efecto espacial y la topografía. En el estudio que reportamos para águila real, se consideró que el modelo de rejilla es adecuado porque permite calcular las variables del paisaje y la dispersión de los sitios de anidación en un hábitat complejo formado por parches distribuidos desde el bosque templado en sitios de anidación a 2,800 metros de altitud, como sitios de anidación en el Desierto de Chihuahua, en una región única de México, prácticamente no estudiada, que comprende las sierras de pliegues que se inician en Zacatecas y se despliegan en curvas paralelas hacia el noreste hasta terminar

abruptamente en la Planicie Costera del Golfo. Los mismos pliegues geomórficos cambian en su cubierta vegetal, topografía y diversidad biológica.

El estudio sistemático del águila real en el Denai National Park de Alaska, se ha dirigido a conocer el efecto reproductivo del águila, relacionado con el ciclo de 10 años de la liebre de patas nevadas (*Lepus americanus*); se identificaron de 58 a 72 sitios de anidación por monitoreo aéreo y se ubicaron en un SIG, el seguimiento se realizó en helicóptero y vía terrestre dos veces al año, a finales de abril y principios de mayo, con el fin de encontrar parejas y crías en desarrollo, y el segundo a fines de julio y principios de agosto, para observar volantones y nuevas parejas, se contaron los huevos de nidadas para establecer la productividad y eficiencia de los sitios de anidación. La cantidad de parejas reproductivas en producción no dependió de la abundancia de las liebres, ya que debido a la plasticidad alimenticia otros componentes de la dieta fueron más significativos, como las marmotas y ardillas, y en el verano los despojos de ungulados mayores (McIntyre y Adams 1999). Los SIG se han aplicado no solo como herramientas de modelaje de hábitat o de distribución de especímenes en el espacio, Bögel y Eberhardt (2004) estudiaron las condiciones del hábitat para facilitar el vuelo del Buitre Eurasiático Grifón (*Gyps fulvus*) comparándolo con águila real. Clasificaron el hábitat de acuerdo al grado de escarpe de las paredes montañosas y aplicaron mediciones de insolación, el sistema se integró con software ARC/INFO, la información cubrió 470 km<sup>2</sup> representadas en 11,800 polígonos. Para propósitos de modelar se desarrolló un modelo digital con una resolución de 1010m para un total de 4.7 millones de celdas de la rejilla. Utilizando modelos de transformación de energía de acuerdo a las diversas inclinaciones del terreno desde los más planos hasta los más escarpados y midiendo el nivel de insolación en los mismos terrenos, se modeló el comportamiento de las termas ascendentes, durante las horas de la mañana y de la tarde. Se apreció que existen distintas formas de comportamiento dependiendo de factores como temperatura del aire, velocidad del viento, rugosidad del terreno, y se concluyó que el comportamiento de las termas debe ser un factor de estudio de índices de hábitat óptimo. Para el estudio de águila real en Zacatecas se diseñó un sistema de información geográfica con el software ARC/INFO por las ventajas técnicas del sistema, tanto en el diseño de los datum como

en el manejo de la información. En este caso el SIG tuvo dos funciones, la de georreferenciar los sitios de anidación y la de evaluar la información del paisaje, tomando como referencia la información de campo y comparándola con la cartográfica, fotografía aérea e incluso para mayor visualización en un modelo informático se utilizó el software gratuito GOOGLE HEARTH para fines didácticos.

Además de un reporte de telemetría satelital de águilas migratorias entre E. U. y Canadá y sobre todo los estudios de Juan Vargas y Catalina Porras (no publicado) en Nuevo León y otros estados de México, son pocos los estudios de monitoreo satelital de águilas reales, Soutullo *et al* (2006 b) monitorearon 13 juveniles de AR durante sus primeros años. Las distancias al nido se incrementaron poco a poco con el tiempo, la distancia máxima varió entre 57,7 km y 184 km, y fueron mayores en las hembras, la tendencia al vuelo se manifestó desde el quinto mes de vida, y la dispersión es entre los 140 y 180 días de edad, pero después de la puesta permanecieron en el nido de 60 a 120 días. El estudio fue soportado por un SIG donde se registraron las distancias de dispersión. Con esta base informativa se definió la rejilla de 10, 30 y 60 kilómetros cuadrados en el estudio de Zacatecas, encontrando que en forma natural se relaciona la distancia entre nidos y la distancia entre grupos de sitios de anidación.

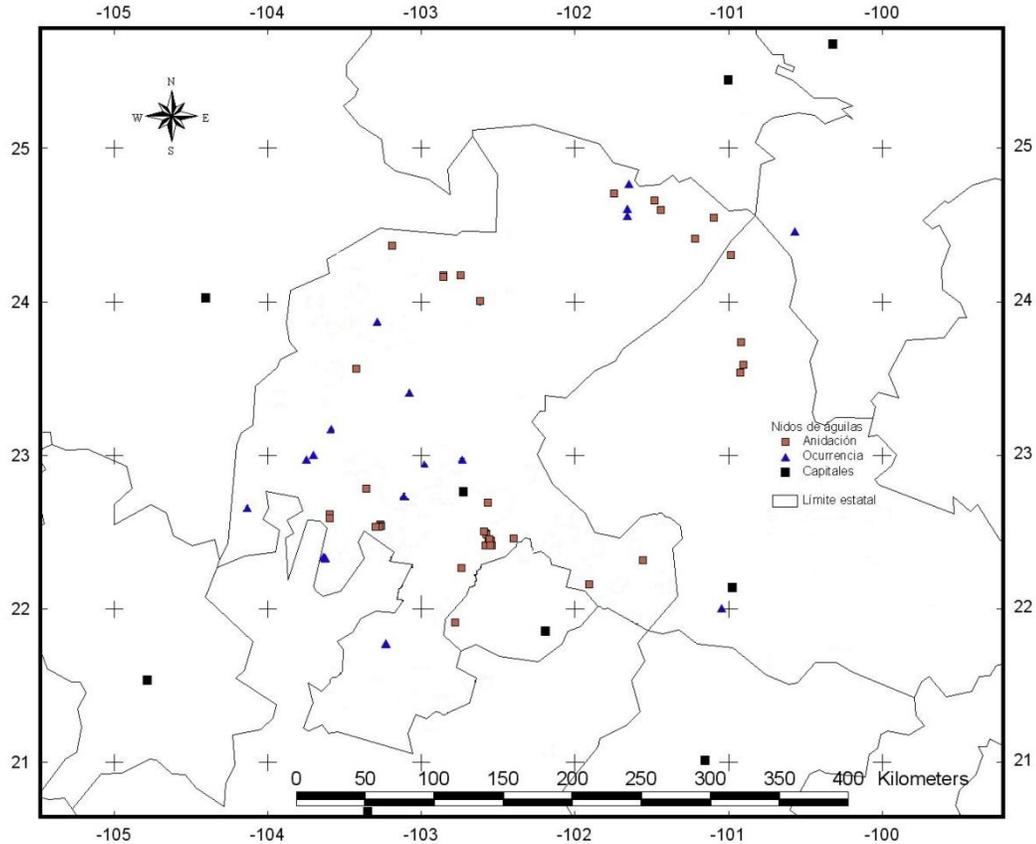


Fig. 18. Distancia entre sitios de anidación.

El SIG y sus bases de datos son indispensables para la biología de la conservación, de su riqueza depende el análisis de hábitat óptimo, el análisis de la dinámica poblacional o metapoblacional, las interacciones entre especies y el diseño de áreas de protección o de rehabilitación así como el manejo de la población o de la comunidad. Para buscar las preferencias del hábitat del águila real y modelar su hábitat óptimo es indispensable un SIG que comprenda enfoques multi escala. Los modelos generalizados lineares son una poderosa herramienta y funcionan preferentemente si se incluyen las variables topográficas (López-L 2007). Para obtener información y crear los datum del SIG es válido echar mano de todos los recursos que se pueda de acuerdo al presupuesto disponible, en este estudio de Zacatecas el cuerpo de la información fue obtenida por vía terrestre y observación directa; para determinar el tamaño de la población de AR en el

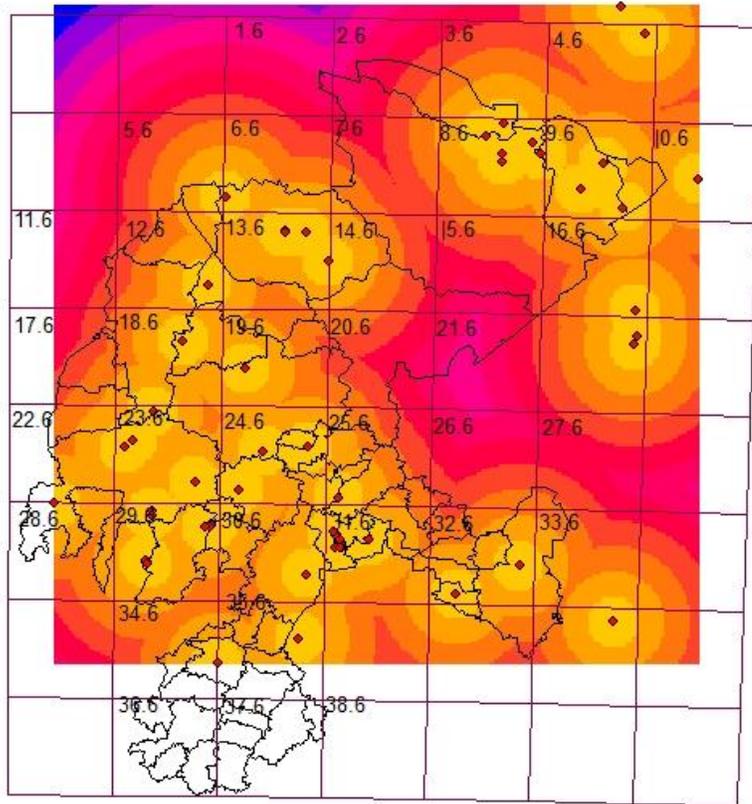
oeste de los Estados Unidos se realizaron 168 transectos de 100 km de longitud cada uno para estimar las distancias entre las águilas (Good *et al.* 2007).

El SIG es la herramienta de manejo adecuada para buscar las preferencias del hábitat y modelar el hábitat óptimo, los enfoques multi escala se han utilizado para identificar los factores que afectan la preferencia del hábitat. Los modelos generalizados lineales son una poderosa herramienta y funcionan preferentemente si se incluyen las variables topográficas (López-LOp. *cit*), en el estudio de Zacatecas los modelos lineales fueron prácticos y descriptivos capaces de inducir inferencias para comprender mejor la relación de las poblaciones de águila real con los elementos del ambiente.

Se relacionaron los elementos del paisaje, en sí, los elementos del hábitat, con la presencia de sitios de anidación en cada cuadrante de una rejilla de 60 x 60 kilómetros. 38 cuadrantes cubrieron la totalidad del estado y 17 tuvieron registros de ocurrencia de águilas reales aunque solo en 12 ocurrieron sitio de anidación.

Considerando la concentración de los sitios de anidación en el sentido de su situación geográfica es con tendencia al sur, la distancia euclidiana entre los sitios de anidación separó de forma similar a las poblaciones genéticamente diferenciadas. En este sentido ambas metodologías coincidieron y complementaron la información y permitieron desarrollar explicaciones y supuestos visualizando dos grandes poblaciones semejantes a metapoblaciones una en el norte del estado y otra en el resto del territorio asociadas a la Sierra Madre y pudiera señalarse una tercera población en el sureste en la región de Pinos. En este caso la georreferenciación complementa la ausencia de información por no contar con por plumas de águila real procedentes de las sierras de Guadalupe, Chapultepec, de Morones y de la región de Pinos (Fig. 19).

Figura 19. Distancia euclidiana entre sitios de anidación de águila real



La distancia al vecino más cercano es una medida que indica la densidad de una población de individuos, parejas reproductoras o sus sitios de anidación en este caso, se aplica a organismos sésiles preferentemente. Kochert *et al* (2002) señalan distancias de 1.5 km a 8 km (media 6) en Denali National Park; 3.1 km a 8.2 km (media 5.3) en Wyoming; 0.8 km a 16 km (media 4.3) en Idaho; para Salmon Falls Creek la media es de 4.39 y para los río Kisoralik y Tuluksak en Alaska la media es de 4.8 km. En este estudio, la distancia media de los vecinos más cercanos fue de 17.83 kilómetros y el que un vecino esté cerca del otro, depende más de la distancia entre la anchura de la topografía en sentido negativo, es decir que a medida que disminuye la anchura se incrementa la distancia entre vecinos, que de la longitud total de topografía o del área de la topografía donde a medida que disminuye el área se incrementa la distancia entre vecinos. Aunque las correlaciones no son significativas las tendencias si lo son. Estas

condiciones explican suficientemente que la distribución de los sitios de anidación tienda significativamente hacia la distribución regular y agregada, confirmando que además de ser poblaciones genéticamente diferentes, también lo son geográficamente, facilitando con ello el flujo de genes cuando las distancias entre demes son cortas. La distancia entre el vecino más cercano y la cantidad de parejas en el macizo o geoforma es significativa para la reproducción ya que a medida que disminuye la distancia entre vecino más cercanos se incrementa la cantidad de parejas reproductivas. También explica que después de 17 años de protección de la población de la Sierra Fría de Zacatecas, se encuentran genes de esta población en Guanajuato, confirmándose que la recolonización de sitios es muy lenta y es a través de sitios próximos, y no mediante movimientos migratorios de largo alcance. Con ello la estrategia de conservación es proteger los sitios de anidación desocupados y potenciales para acelerar la recolonización o colonización. En este sentido los volantones juegan un papel importante porque también la distancia de dispersión se infiere es de no más de 140 kilómetros, distancia que coincide también entre demes, ya que el más alejado fue entre Nieves y Lobatos con 139.61 kilómetros y el más cercano entre Lobatos y Monte Escobedo con 45.88 kilómetros. En un estudio de 45 años de seguimiento se estudió la reutilización de nidos, y se encontró que los nidos se reúsan de 1 a 26 veces en 45 años es decir más de la mitad del tiempo, sin embargo no influyó en el éxito de la nidada; la distancia entre nidos adyacentes fue de 1 a 1822 metros pero el 90 % de los nidos adyacentes más cercanos fue de menos de 500 metros en Idaho (Kochert y Steenhof, 2012). En el caso de los nidos de Nieves 1 y Nieves 2 en Zacatecas la distancia es de solo 92 metros.

La longitud total de la geoforma no es un elemento importante en la selección de sitio de anidación, el área de la geoforma juega un papel más importante para la selección de sitio, pero más aun la anchura total de la geoforma. Esta dependencia explica porque la ocurrencia de sitios de anidación es mayor en sierras complejas, como las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, que en las sierras de pliegues alargadas pero de escasa anchura, el área principal en estas sierras está en las pendientes pronunciadas y escarpas. Pero habría que ver si al considerar todas las sierras de pliegues desde Zacatecas hasta

Nuevo León, el comportamiento de selección de sitio cambiara inclusive por la disponibilidad de presas como el perrito llanero (*Cynomys mexicanus*) en los valles intermontanos de Coahuila.

La mayor cantidad de parejas reproductoras depende de la densidad de embalses puesto que a medida que disminuye la cantidad de embalses por kilómetro cuadrado, disminuye la cantidad de parejas reproductoras en la geoforma aunque los cuerpos de agua tienen que estar preferentemente alejados de los sitios de anidación porque el número de parejas reproductoras se incrementa con la distancia a los cuerpos de agua. También la relación es significativamente positiva cuando se incrementa la longitud total de los arroyos de temporal pues aumenta también la cantidad de parejas reproductoras. Es importante considerar en la conservación estas relaciones porque con la distancia se reduce la competencia por los recursos del hábitat que significa tanto la cobertura como las presas que dependen del agua.

La distancia de la infraestructura de desarrollo tal como la distancia de la carretera más cercana a los sitios de anidación, la distancia de la brecha más cercana, y la densidad de carreteras por kilómetro cuadrado interfieren significativamente ya que a medida que se incrementan estas distancias se incrementa igualmente la cantidad de parejas reproductivas en una geoforma, de manera recíproca, cuando disminuye la densidad de brechas por kilómetro cuadrado, se incrementa la cantidad de parejas reproductoras. El cambio de uso de suelo agrícola no tiene relación con la cantidad de parejas en la geoforma ni la relación de la cantidad de kilómetros cuadrados por mina. En este sentido la relación negativa es una forma de adaptación inmediata, no evolutiva a los cambios en el hábitat, sin duda muchas de los caminos de terracería además de ser servidumbres agropecuarias, también lo son mineras.

La topografía es importante porque a medida que disminuye la cantidad de terreno plano y se incrementa el terreno alto, se incrementa la cantidad de parejas reproductoras correspondiendo a la preferencia de sitios altos y escarpados para la situación de nidos, esta relación tiene un carácter complementario en la distancia corta y depende de la

cubierta vegetal y disposición de recursos, agua y presas, como en otros estudios (Carrete *et al.* 2000) la pendiente ascendente y la proporción de vegetación nativa son importantes tanto para eventos reproductivos como por el incremento en la disposición de alimentos. En Galicia de 18 variables entre las que están el uso de suelo y la topografía, fueron estas últimas las que tuvieron mayor capacidad de predicción del hábitat óptimo para la reproducción de la población local de águilas reales (Tapia *et al.* 2007).

La distancia de la cabecera municipal más cercana al sitio de anidación y la distancia de las localidades interfiere con la cantidad de parejas reproductoras en la geoforma, porque a medida que se incrementa la distancia de estos poblados, se incrementa también la cantidad de parejas reproductoras.

La perturbación ambiental de los sitios de anidación juega un papel importante tanto por los cambios de uso de suelo como por las especies introducidas principalmente forrajeras que impactan directamente en las poblaciones de presas de las águilas reales, sin que hasta la fecha en México se hayan realizado estudios al respecto, sin embargo en Escocia la reforestación con especies exóticas ha ocasionado severos daños ambientales afectando las poblaciones de águila real por ocupación de los sitios de cacería, considerando la ecología del AR y las bases de datos de un SIG se pronosticaron los sitios de ocupación y nuevos sitios de reproducción así como las especies con las que pudieran interactuar, se observó restricción en los territorio ocupados incluso durante los primeros años del establecimiento forestal la población se redujo 5%, sin embargo la resiliencia de la población ha llevado a adaptaciones, en términos generales, los sitios de anidación que desde un principio no sufrieron restricciones la productividad se mantuvo o se incrementó un poco, en tanto que si se afectaban al principio, algunos sitios perdieron su productividad o al perder territorio, perdieron cantidad de hijos producidos. La pérdida o la perturbación del hábitat se presentan en diferentes formas, las invasiones masivas de especies exóticas como las pináceas en Escocia (Whitfield *et al.* 2006) son un ejemplo, así como la desforestación y erosión causada por la agricultura, de las consecuencias negativas sobre las poblaciones de águila real y consecuentemente de

todas las especies con las que coexiste. Wingfield (2012) destaca que hay diversos niveles de control endócrino que se comportan como sistemas regulatorios del individuo en respuesta a los cambios en la temporada reproductiva, en las migraciones y en las perturbaciones ambientales porque muchos cambios son masivos por influencias antropogénicas, como la pérdida de la biodiversidad global, así los cambios dramáticos ambientales afectan los sensibles sistemas moleculares y celulares, El complejo percepción–transducción–respuesta involucra múltiples sistemas regulatorios y es la clave para predecir el costo que tendrá el cambio climático global y la modificación del hábitat fragmentándolo , es una de las principales causas de disminución de las poblaciones en México.

Ninguno de los usos de suelo o cobertura tiene mayor importancia que otros en el hábitat, tanto la dominancia de (O’Neil *et al* 1988) y la equitatividad de Shannon (Pielou, 1975) confirmaron que no predomina un uso de suelo sobre otro, y esto es importante porque significa que la presencia de águilas reales es independiente del uso del suelo, es obvio que son los usos de suelo los que han invadido los territorios de las águilas reales y al no ser migratorias la respuesta de las poblaciones se manifiesta con la tendencia a alejarse de estructuras y construcciones, sin embargo la fragmentación del hábitat es un proceso que por su velocidad no permite respuesta adaptativa y puede ser el mecanismo de incremento de riesgo hasta llegar a estados críticos de hábitat mínimo requerido por las poblaciones locales ( Lande 1988). La falta de relación significativa es una medida de adaptación inmediata a los cambios en el hábitat, tanto hacia el impacto sobre la estructura como sobre la composición del hábitat. Esta situación hace que las águilas y su hábitat sean sumamente frágiles y estén expuestas a riesgos, como la persecución o destrucción de nidos o a la infraestructura para el desarrollo como los tendidos eléctricos, en Zacatecas no es problema serio porque no hay zonas de ocurrencia de águilas reales donde el único sitio de perchado sean instalaciones eléctricas, como en Chihuahua (Manzano-F 1990) (Cartron, Garber, Finley, Rustay, Kellermueller, y Day 2000) donde se han reportado no solo muertes de águilas reales (*A. chrysaetos*) sino de especies como cuervos, halcón ferruginoso (*Buteo regalis*), halcón de cola roja (*Buteo jamaicensis*), halcón de las praderas (*Falco mexicanus*), halcón

cernícalo (*Falco sparverius*) y auras (*Cathartes aura*), constituyendo ya un problema para sus poblaciones. Y qué decir del efecto de las wind farms sobre las poblaciones de águilas que impactan directamente los sitios de anidación; estas bastas extensiones densamente pobladas de torres generadoras de energía eléctrica han sido objeto de análisis en el mundo, sobre todo por el efecto negativo que se demuestra por el distanciamiento, pero no por ello disminución de riesgos, de los nidos activos de los aerogeneradores, pero que se han identificado por lo menos dos efectos decisivos, desplazamiento, mortalidad y baja en la productividad de los nidos a mediano y largo plazo (Fielding and Howorth 2010). La selección de sitio, como se ha demostrado no es fácil, pues la presión antropogénica sobre los sitios de anidación es tolerada una vez que se cumplen las condiciones de hábitat óptimo, y en el corto plazo los efectos de las construcciones es poco manifiesto, este efecto también se aprecia en otras partes (Ecosphere Environmental Services 2007), (Whitfield 2000).

En el abandono y dispersión del área casera paterna y la distancia entre sitios de anidación pueden ser influenciadas por la presión intraespecífica más que por la competencia entre otras especies con las que traslape su nicho alimenticio, no solo con aves rapaces como las aguilillas cola roja (*B. jamaicensis*) sino entre mamíferos de talla media como coyotes (*C. latrans*) y gato de cola corta (*L. rufus*). La estructura del hábitat y la complejidad de la comunidad local se convierten en factores decisivos para la coexistencia entre especies depredadoras, y el deterioro del hábitat puede alterar la dinámica poblacional, como se percibió con incremento de colonizaciones, como la de los sitios de anidación de San Antonio de las Huertas, la Barranca Verde y posiblemente otros en Guanajuato gracias al mejoramiento del hábitat y protección durante más de quince años en la Sierra Fría y que sitios del Estado de Aguascalientes declaradas como áreas naturales protegidas de la Sierra Fría como Área de Conservación de Recursos Naturales que abarca parte de los estados de Zacatecas y de Aguascalientes (CONANP. 2006. Declaratoria de Área de Conservación de los Recursos Naturales del Distrito de riego N° 1, Pabellón) y Área de protección del Águila real en la Serranía de Juan Grande (Lozano y Ávila 2009). Posiblemente el efecto de competencia entre el águila real y otros depredadores en el mismo rango hogareño del águila induzca la competencia intraespecífica entre águilas reales que ocupan territorios cercanos o que se traslapan

como ocurre entre águila real y águila Bonelli; ambas especies pueden coexistir en la costa mediterránea en el largo plazo manteniendo las poblaciones en un equilibrio dinámico y solo cuando los territorios de ambas especies se traslapan, la competencia intraespecífica se convierte en factor restrictivo, inexistente cuando cada especie ocupa sola el espacio. Nuestro estudio pone de manifiesto que en México la necesidad más urgente para recuperar las poblaciones de águila real, es el mejoramiento del hábitat, actualmente fuertemente perturbado para favorecer la productividad (Carrete *et al.* 2004). Las poblaciones de águila real en términos generales han disminuido en el mundo por diversas causas y circunstancias, sin embargo en la región Panhandle de Texas se encontró que la disminución poblacional no se debe a efecto antropogénico, pero sí a cambios en el hábitat como la transformación de tierras de pastoreo a cultivos agrícolas, el control de las especies presa, y los cambios de pastizales a matorrales, en esta región la disminución en la población en solo tres años fue del 40% al 71% de la población original (Boa *et al.* 2008). Estos mismos factores de transformación del hábitat no solo se presentan en forma común y regularmente en Zacatecas, sino en todas las regiones donde habita el águila real en México.

La distancia entre los sitios de anidación de Águila Real permite diferenciar que la distribución espacial está limitada tanto por la capacidad de desplazamiento individual, como por la distancia de la población fuente, de tal forma que un sitio de otro se distancia por las condiciones del hábitat. Por otra parte la colonización de sitios y regiones ocupadas y posteriormente desocupadas, pueden recolonizarse con águilas juveniles en dispersión, creando un flujo de información genética entre sitios de anidación y poblaciones locales dando lugar a metapoblaciones. Coincidiendo con observaciones de otros autores, (Soutullo *et al. op cit.* 2006) monitorearon 13 juveniles de Águila real durante sus primeros años, las distancias de vuelo desde el nido se incrementaron poco a poco con el tiempo, llegando a la distancia máxima entre 57,7 km y 184 km, siendo mayores en las hembras, la tendencia al vuelo se manifestó desde el quinto mes de vida, y la dispersión fue entre los 140 y 180 días de edad, estos estudios se soportaron con un SIG. Jerbenger (2008) señala que el espaciamiento regular de las parejas reproductivas de águila real, en Suecia no varía en las áreas boscosas ni en las

áreas montañosas, el espaciamiento, señala, se debe más al propio comportamiento de las parejas que a la proximidad de los sitios de anidación, sin embargo las distancias del vecino más cercano fueron menores en las regiones montañosas (distancia media de 102 km) que en las regiones boscosas (170 km), los factores que influyen en el espaciamiento fueron posiblemente la diferencia en la topografía, y en la diversidad de especies. Sin embargo la variación en el comportamiento entre los vecinos más cercanos puede afectarse en forma negativa por la instalación de torres aerogeneradores de energía debido a que se convierten en hitos y factores de espaciamiento territorial (Ocotillo Express LLC, 2011).

Con los datos actuales no se puede hablar de conectividad en términos de metapoblaciones a pesar de que por la definición que implica la tasa de migración y el flujo de genes entre las poblaciones en relación con la tasa de colonización de los parches de hábitat vacíos. Seguramente este estudio comprende más la conectividad desde el punto de vista de la ecología del paisaje donde la conectividad se considera como un atributo del paisaje y no tanto como un determinante del parche de hábitat, por lo que la conectividad de paisaje comprende la combinación de efectos de la estructura del paisaje y el uso que la especie hace del paisaje, de donde deriva que la capacidad de movimiento y el riesgo de morir a causa de los elementos del paisaje, o a la tasa de movilidad (capacidad de movimiento) entre los diferentes parches del paisaje, son factores cruciales para la sobrevivencia de la especie en un paisaje particular, entendiendo como paisaje un hábitat compuesto por unidades o parches de hábitat con características propias. Este estudio, en la ecología espacial, presenta elementos sobresalientes de ambos puntos de vista, por una parte demuestra el flujo de genes entre poblaciones y paisajes y por otra parte demuestra la estructura compleja de cada paisaje donde ocurre y la posibilidad de conexión entre vecinos más cercanos. Sin embargo para abordar el estudio desde el punto de vista metapoblacional, adolece de información de tasas de inmigración y de emigración, de mortalidad y de productividad (Moilanen y Hansky 2001)

Los estudios de largo término en sitios puntuales producen información de una población local que si bien es reducida, la intensidad del muestreo, de la calidad y de la persistencia, permite que se hagan extrapolaciones a poblaciones más grandes. Este método debe contar con un control de calidad permanente y un equipo de trabajo estandarizado para realizar sistemáticamente las observaciones. No son comunes estos estudios sin embargo son de mucho valor tanto informativo como formativo. Verdejo y López (2008) desarrollaron un estudio por quince años de una población de halcón peregrino (*Falco peregrinus brookei*) en el este de España, georreferenciaron y desarrollaron un SIG de la población en 1500 kilómetros cuadrados, se determinaron la estabilidad de los territorios y de las zonas de anidación así como la productividad de nidada y el incremento de parejas reproductoras, un resultado que compartimos en el subcomité (Zacatecas y Aguascalientes) con el obtenido en esta investigación, es que la población se beneficia con la presencia de investigadores porque hay mayor comunicación con los habitantes del sitio y mayor nivel de conocimiento y corresponsabilidad con las aves.

Los estudios de largo tiempo permiten igualmente evaluar el éxito reproductivo así como la productividad de los sitios de anidación. El águila imperial es una especie que se distribuye en Europa central y particularmente en España. Un estudio de 17 años en un área cuadrículada UTM 10 x 10 kilómetros reveló que la población de reproductoras se duplicó incrementándose 20 parejas mas y la producción de 33 territorios así como la desaparición de 13. Es notable que la tasa de vuelo y la productividad fue mayor en cuadrículas de mayor densidad de parejas reproductoras, que en las de baja densidad. En esta área de Toledo, la densidad no es un factor limitante de crecimiento poblacional, en tanto que sí lo es la interacción humana por medio de los cazadores de caza menor (Castaño 2007). De 1983 a 2004 Margalida *et al.* (2008) reportaron un estudio de largo alcance que determinó que las águilas jóvenes ocupan territorios jóvenes, es decir territorios de recién ocupación, en tanto que las parejas adultas ocupan territorios viejos (ocupados desde mucho tiempo). Se observó que la productividad es mayor en águilas adultas que en águilas jóvenes o parejas mixtas adulto-joven. La incorporación de hembras jóvenes es significativa en relación al crecimiento poblacional; este estudio

comprendió igualmente el diseño de un SIG que permitió la evaluación de territorios y la comparación de la productividad entre ellos. Estudios (Verdejo y López-L 2008) por veinte años en poblaciones determinadas de halcón peregrino han proporcionado datos de dinámica poblacional y de interacción con otras especies, incluyendo águila real, en el área de estudio, el estudio se realizó en 1500 kilómetros cuadrados y gracias a los registros estimaron el crecimiento al doble en 21 años.

En la Sierra Fría en la porción zacatecana, el estudio de largo plazo por 20 años ha proporcionado información concreta del sitio, han eclosionado y sobrevivido 17 crías con una productividad media de 0.85 crías, que es semejante a otras productividades que no son superiores a 0.95 crías por año (Ruas 2010). Sánchez-Zapata *et al* (2000) señalan que las poblaciones de águila real de Europa tienen una productividad media de 0.59 y en España es desde 0.58 hasta 1.00 con una media de 0.59. En zacatecas se mantuvo la misma tasa de producción de volantones en 0.85 por año, durante tres años seguidos la producción fue nula, dos años atribuibles a perturbación ambiental. Para esta porción de la sierra se han registrado tres eventos turnover, una extinción y dos recolonizaciones. Margalida *et al* (2008) señalan que las parejas no adultas tienen menos productividad que las parejas en que el macho es adulto, igualmente en aves adultas, el tamaño de la nidada es mayor que en las parejas no adultas y las parejas adultas también producen más volantones. Esta situación puede explicar que el sitio de anidación de la Sierra Fría tenga un éxito de nidada mayor que el 50%, pero también explica que en sitios de anidación donde matan a un miembro de la pareja el tiempo de recuperación de la tasa de repoblación es de mayor gasto de tiempo.

En México son muy pocos los registros sistemáticos, destacan los de Rodríguez Estrella y Necedal, quienes iniciaron los estudios sistemáticos. Sobre todo los reportes de Rodríguez E (2002) en Baja California constituyen una sólida aportación, los muestreos en México se han hecho por vía terrestre y muchos reportes se han hecho a la CONABIO, supuestamente están en un SIG o al menos en una base de datos. Las principales zonas de anidación son en los frentes montañosos con pastizales abiertos como zonas de caza. Las poblaciones se han incrementado debido a la promoción de la

protección o quizá solo sea el efecto de la intensidad de muestreo en algunas regiones, pero donde si es notable el incremento es en Chihuahua y Zacatecas, seguramente en otros estados también. Los SIG y bases de datos de los profesionales de los estudios de AR se unirán en un solo instrumento que permitirá definir políticas de conservación y medidas de manejo para la conservación. Este documento es la base fundamental de los estudios del A.R. es un documento más maduro que el primer reporte del Instituto de Ecología A.C. este es un resumen de la situación del águila real en el norte y noroeste. La propuesta que presenta de hacer un estudio similar es este proyecto que será básico para estudios de ecología Nocedal (en prensa) presenta una relación de los sitios de anidación históricos de México y la situación actual de las poblaciones, presenta sugerencias claras para su manejo y la base de datos de un SIG de los sitios de anidación del estado de Durango. (Nocedal y Zúñiga *Op cit.*).

En la mayoría de los países donde ocurre el águila real es sistemáticamente combatida por los ganaderos por considerarla amenaza y depredador del ganado, el tráfico de ejemplares es común al grado que personal del CITES actúa sistemáticamente en los concursos y eventos de halconería y decomisa AR que los poseedores no pueden acreditar su legal procedencia, en Arizona se han registrado hasta 40 ejemplares colgados en cercados muertos por envenenamiento o acribilladas, el estudio más amplio de dieta del AR se desarrolló en Canadá en buches de 300 ejemplares y las muestras no fueron colectadas in vivo. En México, el Subcomité Técnico Consultivo para la Protección, Conservación y Recuperación del Águila Real, ha señalado en sus reuniones oficiales y ha emitido recomendaciones para actuar contra el tráfico de especies y contra las autorizaciones de manifestaciones de impacto ambiental de empresas mineras situadas en zonas de anidación, uno de los grandes logros fue que las autoridades ambientales no consideren desde el año 2009, a las águilas reales como mascotas, con lo que se disminuye el otorgamiento de permisos para posesión de ejemplares y con ello, el tráfico de ejemplares.

México es un país mega diverso y posee 1007 especies de aves, que representan 30% más que las que contienen los territorios de Estados Unidos y Canadá en conjunto

aunque solo abarca el 11% de la misma área, también es rico en endemismos, el 31% de las especies endémicas en el mundo se encuentran en territorio mexicano, tan solo en México el 51% de las especies son endémicas. Para la conservación actual se han establecido por el Gobierno estrategias tendientes al aprovechamiento y también a la conservación principalmente por tres sistemas: la Unidad de Manejo Sustentable (UMA), Áreas Naturales Protegidas de diversas categorías y en diversidad de tenencias de la tierra y la participación de los propietarios de la tierra, de organizaciones no gubernamentales y la participación del sector productivo, sin embargo estos sistemas han sido discutidos concluyendo que aun son incompletos señalándose la necesidad del incremento de investigación científica, el estímulo a los poseedores de la tierra y la educación general en materia de biología de la vida silvestre (Valdez *et al.*, 2006). El sistema de UMA ofrece una buena estrategia de manejo de especies y hábitat, pero no es la única y quizá tampoco la mejor para todos los hábitat mexicanos, críticas muy severas han emanado de una de las regiones de mayor diversidad y endemismos de México, el sureste (Weber *et al.* 2006) Muchos de los sitios de anidación de águila real se localizan en alguna UMA por lo que en estas situaciones el modelo de unidad de manejo, debe cumplir con su función de protección y conservación del águila real.

Los sistemas invasivos de monitoreo en cualquiera de sus técnicas, se convierten en factores de riesgo acumulativo que contribuye a la extinción de las poblaciones locales, cuando menos; el águila real es una de las especies nidantes de acantilados o de árboles adecuados, más sensibles al disturbio humano, el seguimiento agitado o molesto puede ser causa de falla y abandono del nido, incluso del sitio de anidación de forma definitiva (Pagelet *al.* 2010), (McGrady y Grant 1996). En la Sierra Fría la producción artesanal de carbón inmediatamente debajo de un nido tuvo como consecuencia el abandono de la nidada en el año 2009, ya estando avanzada la incubación, no se presentó segunda puesta.

Los métodos invasivos de captura con redes de disparo controlado por radio tienen margen de error atribuible por una parte al equipo, como la eventual baja en la potencia de las baterías del disparador cuando las trampas permanecen mucho tiempo esperando

al ejemplar; la imposibilidad de que el disparador capte la señal de disparo; y por otra parte el error se atribuye a las águilas, cuando perciben ítems sospechosos como pueden ser ruidos, objetos extraños o comportamientos extraños del cebo; estos errores pueden llegar a ser entre el 13% y el 21% que al final de cuentas se traduce en experiencias de aprendizaje negativas hombre-águilas (Jackman *et al.* 1994). En el manejo del águila real y en la conservación de otras especies en riesgo, como ocurre como las zorras isleñas (*Urocyon littoralis*) el trampeo y la translocación de ejemplares es la única forma de conservar ambas especies en su hábitat natural y aun así el sistema invasivo de trampeo y traslado de águilas, debe ser ejecutado por expertos y con equipo adecuado (Latta 2004). Los sitios de anidación en Zacatecas son de difícil acceso, sin embargo se prefirieron las técnicas no invasivas en lugar de cualquier forma de trampeo, para no producir alteraciones ni en el comportamiento ni en el metabolismo de las águilas, equipos especializados en alpinismo descendieron (nunca ascendieron) a los nidos después de que fueron abandonados por los volantones, aun en estas condiciones los descensos de colecta se realizaron cuando las águilas volaban lejos del nido. El valor del trampeo de águilas reales para estudios de ocupación de hábitat ha sido discutido porque después del trampeo se han reportado dos efectos negativos, el primero es la reducción en el éxito reproductivo de los animales capturados que se refleja en la reducción de éxito reproductivo en sitios de reproducción anuales, y el segundo efecto es que los sitios de anidación donde las águilas han sido trampeadas, dejan de ser utilizados frecuentemente (Gregory *et al.* 2003). Actualmente los métodos invasivos de estudio han cedido ante las técnicas no invasivas, incluso la PCR se ha desarrollado en águila real para determinar el sexo utilizando los iniciadores P2 y P3 seguidos de digestión con enzimas de restricción para apuntar correctamente a los cromosomas sexuales de las aves CHD-W y CHD-Z (Craig *et al.* 2009).

El águila real es una especie bien identificada en el ámbito de su ocurrencia, tanto en ambientes urbanos como en rurales, significa una carga cultural sin precedentes en los elementos de la naturaleza, sin embargo la forma en que se comprende es diferente.

La aplicación de encuestas previa y posterior a la entrega de material didáctico, es una herramienta práctica para evaluar el impacto que produce la información en una persona o en una comunidad (Dimopouluset *al.* 2008). En el caso de la evaluación del conocimiento del águila real en las comunidades rurales y urbanas aledañas a los sitios de anidación, se les entregó material educativo a profesores y previamente se aplicó una encuesta compuesta por reactivos de evaluación con preguntas concretas y sencillas diseñadas para despertar el interés por responderlas. El material didáctico utilizado en este estudio fue avalado por las autoridades educativas de Zacatecas, y constó de un manual para educadores elaborado por PROFAUNA A.C. con información nacional, incluso local, un documental en disco compacto elaborado profesionalmente con escenas de sitios de anidación de Zacatecas e información histórica y cultural, además se entregó material impreso de siluetas de aves rapaces en vuelo y en descanso y un artículo informativo de la biología, ecología y valor cultural y cívico de la especie. Los profesores recibieron con entusiasmo el material, sin embargo muchos de ellos no lo dejaron en la escuela como acervo cuando ellos se fueron y el material se perdió. Algunos no lo mostraron a sus alumnos y solo lo comentaron y fue claro que solo en Guadalupe los maestros si lo mostraron y comentaron con sus alumnos aunque ni ellos ni sus alumnos sabían de la ocurrencia de águilas en su municipio.

El resultado a la encuesta previa a la entrega del material educativo, en la primera sección de los reactivos se percibe diferentes niveles de conocimiento pero son más consistentes en Genaro Codina y Mazapil, en esta población en la segunda encuesta aumentaron las personas que vieron águilas de lo que se deduce que sí motivó a la percepción de conocerlas. Los reactivos de control indican que sí identificaron ejemplares en vuelo y no las confundieron con aguilillas ni con auras. En Zacatecas y en Guadalupe el nivel de conocimiento de la especie es superior a sitios rurales porque su información procede de la televisión por medio de documentales que son alejados de la realidad de México. Las encuestas igualmente mostraron la ignorancia relativa a la especie. De la dieta desconocen qué hacen las águilas en la naturaleza, pero en el resto de los sitios no cambiaron los indicadores previos y finales.

La segunda parte de las encuestas estaba dirigida a la percepción social, una vez que se tenía la seguridad que si estaban comentando del águila real y no de otras especies. La primer percepción es en ese sentido que más de la mitad de los encuestados desconocen para qué existen las águilas reales, las percepciones más significativas fueron que las águilas sirven para comer otros animales y en alto nivel respondieron antes y después que sirven para comer ganado, y en Concepción del Oro casi la mitad respondió que no sirven para nada, y en menor cantidad la respuesta fue similar en Guadalupe, Valparaíso y Mazapil. Esta situación es preocupante porque le atribuyen valor de coexistencia de cero y pueden desaparecer, extinguirlas sin motivar e ellos interés de conservarlas. Quienes opinan que deben seguir existiendo fue porque son útiles y en Zacatecas y Guadalupe, porque son bonitas; quienes no tienen interés en que sigan existiendo es porque son feas y porque comen animales. Los conocimientos se confunden en los encuestados porque solo en Genaro Codina la opinión es que deben seguir existiendo porque son necesarias, también coincide en que conocen la actividad depredadora de la especie, en el resto el sentimiento es en base a un juicio de apreciación subjetivo y personal pues la opinión es que sí deben existir está basado en la personal apreciación de la belleza y el riesgo es que de prevalecer esta opinión al llegar a edad de tomar decisiones, podrán perseguirlas por juicios de valor individual y no por el valor real de la especie en el ecosistema y en la cultura, no es de extrañar que sea una causa de muerte, inmortalizar un momento del águila real cazando una serpiente u obteniéndola como trofeo, pudiera ser su belleza la causa de su extinción . Para establecer programas de educación dirigidos a la conservación debe seleccionarse la información local para que el efecto sea sobre la realidad del entorno, así en estudios previos de dieta de águila real en Zacatecas no se han encontrado restos de animales domésticos, aunque sí hay reportes de ello, sin embargo no hay evidencias, contrario a otros sitios donde las evidencias señalan que las águilas reales comen corderos, gallina y perros, y contrario a Zacatecas la principal especie consumida es el conejo y no la liebre (Delibes *et al.* 1975). La posición apical del águila real como especie depredadora es importante para el funcionamiento de los hábitat donde ocurre, y la persecución como presión es un grave problema para la conservación de la especie y la cinética del ecosistema; pueden atenderse dos componentes sociales uno contingente como es la migración de las

personas hacia los centros urbanos o hacia otros países, el desarrollo de fuentes de empleo que concentra personas en puntos determinados, algunos como “puntos rojos” si están en las cercanías de sitios de anidación; y el otro contingente es determinista, en el cual los medios de comunicación juegan un rol de gran importancia, (Martínez-A *et al* 2008) como lo demuestra la situación de Guadalupe y de Zacatecas que aunque no conocen sus habitantes a las águilas reales en su proximidad, tienen un conocimiento científico mayor que en las comunidades rurales, también en este factor determinista intervienen como herramienta de cambio las redes sociales, el correo electrónico y las páginas web.

Igualmente prevalece el desconocimiento de su ocurrencia en su entorno inmediato, y llegan a relacionarla con especies de Estados Unidos o de Europa, conocimiento que deriva de los documentales y películas de otros sitios que no son de México. Una ventaja a favor del águila real es que todos quienes participan en las encuestas, antes y después de la entrega de material didáctico sabían que las águilas reales representan a la especie del Escudo Nacional y de la Bandera Mexicana. Este indicador debe reforzarse y a partir de él es adecuado diseñar toda una estrategia de conservación de la especie y de la cultura que deriva de ella.

El águila real representa diversos valores, sobresale el de libertad y este es otra ventaja rescatable para sensibilizar las campañas de conservación, solo en Genaro Codina, por la proximidad de los sitios de anidación la percepción es mas biológica y menos idealista que en otros lugares. Despierta sentimiento de identidad llamado amor patrio, difícil de explicar pero más fácil de demostrar en los actos cívico escolares. También despierta amor por la naturaleza, amor al lugar y emociones; motiva el interés por su estudio más que la percepción de poder y valor.

Los valores son personales así como las emociones pero pueden cultivar una moral (Eagles y Demare 1999)de responsabilidad ecológica si se refuerza desde la casa a través de actitudes ecológicas, para crear cultura ambiental no solo en la escuela, la moral ecológica es igual en hombres que en mujeres, pero estas tienen mayores actitudes

ecologistas. Con lo que su participación es estratégica en programas de conservación, en este estudio las niñas mostraron igual interés que los niños pero fueron menos inquietas.

No es suficiente saber cómo percibe la población común al águila real, sino saber por qué la mata, Ilka Hanski en una conferencia televisiva señaló como causa de pérdida de diversidad la agresión hacia las especies perseguidas, que son aquellas a las que no solo se les ataca sino que también se les persigue “de oficio”, “porque está ahí” y por ese hecho desencadenan la agresión enconada hacia los animales, sus crías, sus madrigueras o nidos incluso contra el hábitat, en acciones sin sentido, porque el hábitat que destruyen es el mismo que ocupan la especie perseguida y la especie perseguidora, la humana. El águila real es una especie perseguida en el sentido de Hanski, se le persigue en el campo por la amenaza, mas de tipo imaginaria que real, que representa para las crías de ganado menor, pero también para los potrillos, los becerros, incluso para los niños pequeños. Pero también se le persigue por sus plumas, por sus garras, por su cráneo o por tenerla en posesión. Los talleres de formación para docentes, para medios de comunicación, intercambio de conocimiento científico y cultural han sido estrategias para educar y fomentar la conservación de águila arpía en Panamá, vale la pena incorporar esas experiencias a la conservación en México (Curti y Valdez 2009).

En los programas de conservación es importante que el equipo de investigadores participen de la opinión de los habitantes para ajustar la dimensión y la conceptualización de la especie, en dos comunidades de la Sierra Fría en Zacatecas, en una el conocimiento biológico de la especie es una fortaleza, y en la otra comunidad la fortaleza es el valor cultural del águila real, también debe distinguir cual o cuales, son los obstáculos que pueden hacer decrecer el interés de los habitantes de las comunidades o llegar a abandonar el proyecto y actividades de conservación ( Puente 2008).

La expresión artística es una forma de interpretar el discurso artístico y de contenido del artista, en este estudio participaron ochenta niños y niñas que habían respondido antes y después de entrega de material educativo, las encuestas de percepción, además durante una semana se les informó de la influencia de los elementos naturales, sobre todo águila

real, en la cultura mediante pláticas y actividades especialmente diseñadas, y por último se les pidió que representaran cualquier actitud que habían conocido de las águilas reales y cómo las percibían. El resultado fue el discurso pictórico de motivo y contenido; en principio descubrimos que no saben ejemplificar con líneas básicas una ave, mucho menos una águila real. Además no supieron expresar el contenido, y por último desconocen a las águilas reales en vida libre aun por medio de los documentales, pues no las han representado satisfactoriamente (Tavizón *et al.* 2006).

Para conservar el águila real se debe considerar la experiencia con otras especies (Ontiveros *et al.* 2004) y hacer propias las recomendaciones y prácticas de manejo exitosas y accesibles para las instancias que participan en la conservación de la especie y en todas las actividades y medidas que se adopten debe aceptar y participar la sociedad aprovechando el carácter carismático, simbólico, cultural y la disposición de las personas vecinas de los sitios de anidación, que con mucha frecuencia son los vecinos más cercanos de las águilas reales en su hábitat natural. Algunas medidas posibles y urgentes de adoptar son: la reducción de las causas de mortalidad de los adultos, principalmente la persecución directa sobre la especie, la electrocución por instalaciones eléctricas, principalmente en el rango del área casera de las parejas reproductoras en sitios de anidación identificados y seleccionados por su persistencia; protección de acantilados como sitios potenciales de anidación en sitios de anidación persistentes, sobre todo de desarrollo urbano, prácticas de diversión y apertura de tierras a cultivo o desforestación; localización de sitios de dispersión de juveniles e intensificar su protección; incrementar la cobertura vegetal y fomentar las prácticas productivas no invasivas, sustentables, uso tradicional del suelo, el incremento en las poblaciones de especies presa naturales, y conservar los cuerpos de agua y las escorrentías (Arroyo 2004). Pero no es suficiente considerar las grandes causas de amenaza a las poblaciones tanto locales como en el plano regional, incluso continental, también deben considerarse prácticas de aprovechamiento tales como el ecoturismo. Las características carismáticas y todo lo simbólico que representa el águila real en sus hábitat naturales, incitan a verla, a tener contacto directo, incluso en México el turismo de “New Age, el rapell, la fotografía de aficionados y la observación de la naturaleza” busca el este tipo de

encuentros entre el águila, sus nidos, sus plumas o su imagen, sin considerar que estas actividades son perturbaciones que pueden afectar la ocupación de los sitios de anidación pudiendo llegar a afectar los sucesos de reproducción y de cría. Las prácticas efectivas de conservación requieren dirigir y limitar los factores tendientes a la afectación antropogénica en la ocupación y en el éxito reproductivo (Kaisanlahti-Jokimäki 2008).

La investigación ecológica y el manejo de vida silvestre y de la biodiversidad cuentan solo con referentes éticos un tanto distantes, mas no especializados, y en la práctica profesional el bienestar público, las especies y los ecosistemas se ven víctimas de tal carencia. La bioética deriva de la biomedicina, y de los tratados internacionales, por su parte la ética ambiental con frecuencia no incluye el componente biológico ni ecosistémico; para la conservación de la biodiversidad en general y del águila real se hace necesario reunir criterios de ética, ciencias, y manejo de vida silvestre para crear un marco ético integral basado en la ética teórica, normativa, y en los principios científicos para regular la investigación científica, las actividades de manejo, la participación ciudadana y de los grupos sociales y de gestión productiva (Minteer y Collins 2005). Hanski (2005) señala que el gran problema para concientizar a la sociedad es que ésta tiene el concepto de destrucción masiva (y cambio climático) solamente en la mente, y que es ahí donde se resuelven los grandes problemas, pero sin llevar el convencimiento a la práctica o al llevarla es en forma equivocada, por la desinformación.

## CONCLUSIONES

La población de águila real en Zacatecas está distribuida siguiendo una forma semejante a las metapoblaciones. Integrada por siete demes que posiblemente se continúen con los demes de otros estados colindantes. Los microsátélites Aa02, Aa04, Aa27, Aa35, Aa36, Aa39 y Aa43 son herramientas genéticas de valor para estudios sucesivos, el gen Aa39 debe estudiarse. Los microsátélites separaron las poblaciones en siete grupos: Concepción del Oro, Monte Escobedo, Sierra Fría y Guanajuato Las poblaciones de Concepción del Oro, Valparaíso y Monte Escobedo posiblemente se vinculan genéticamente con águilas reales de Coahuila, Nuevo León, Coahuila, Durango y Jalisco. La población más endogámica es la de Concepción del Oro 1, y es una población en alto riesgo por comportándose como resumidero de genes, en comparación con las de Sierra Fría-Guanajuato y Monte Escobedo, que son las más heterogéneas genéticamente y se comportan como poblaciones fuente de genes.

Se concluye que en las poblaciones estudiadas la deriva genética tiene un papel importante posiblemente mayor que el flujo genético puesto que la migración es limitada, aun de los volantones que se dispersan. La pila genética es diversa y las poblaciones más diversas son la de Monte Escobedo, Guanajuato y Sierra Fría y la de mayor dominancia es la de Valparaíso, quizá por su aislamiento.

Los sistemas de información geográfica son una importante herramienta para evaluar el paisaje y el hábitat así como para ubicar los sitios de anidación y determinar su forma de distribución contagiosa y semejante a metapoblaciones a través de las cuales fluyen los genes.

Los cuatro componentes del paisaje más significativos y que determinan la ocurrencia de sitios de anidación son la presencia de agua, la anchura y el área de la geofoma, la pendiente del terreno, la corta distancia entre sitios de anidación.

Los demes geográficos coinciden con los demes genéticamente diferenciados.

En las ciudades de Guadalupe y de Zacatecas el conocimiento acerca del águila real es prácticamente nulo.

La gente del ambiente rural ubica al águila real como una especie más y que además ofrece peligro como depredador en tanto que la de ámbito urbano la comprende como una especie ajena.

El águila real es representada como un valor social y cultural de importancia pero desconocido, su conocimiento se basa en la praxis o en información de águilas ajenas a la realidad ambiental y biótica de México.

El águila real exalta valores humanos y sociales por lo que puede coadyuvar para construir un tejido social basado en valore.

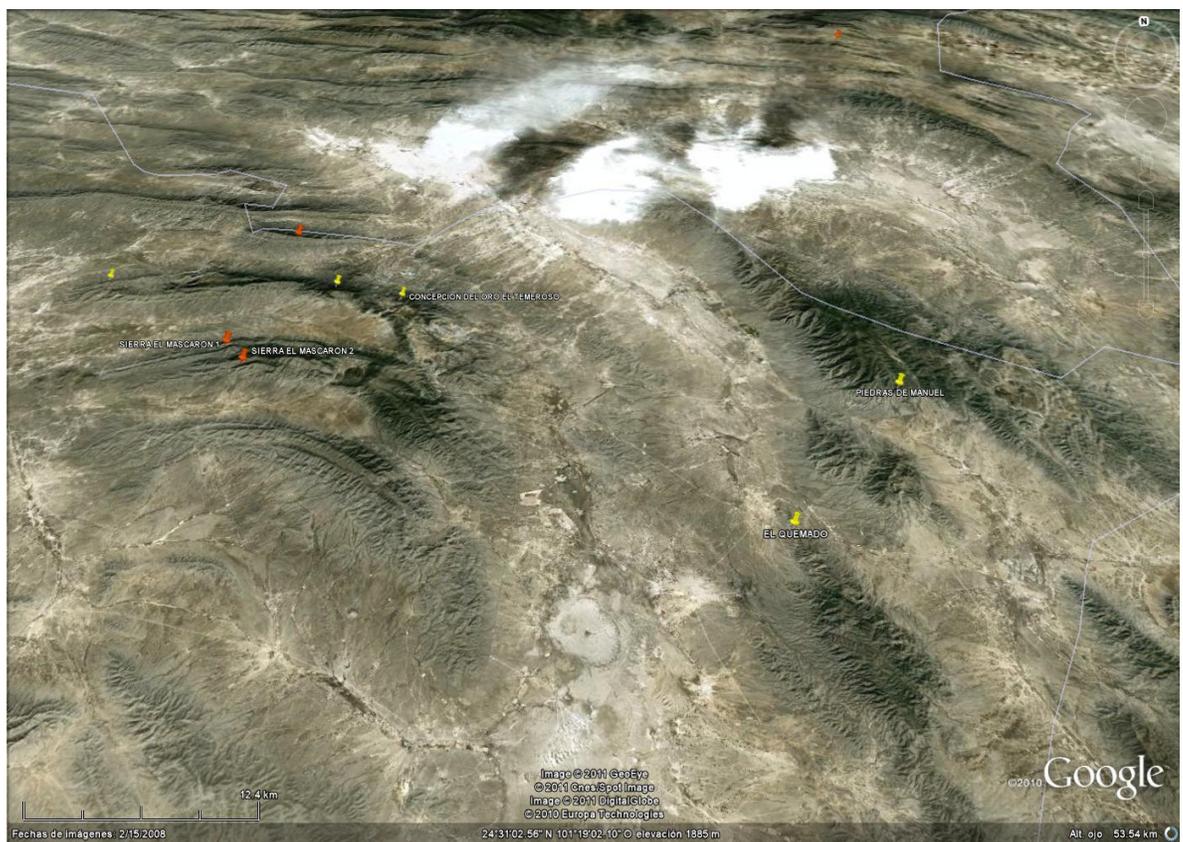
El águila real es una especie perseguida, vulnerable y frágil en sus poblaciones y en su hábitat y requiere de acciones urgentes para conservarla.

## PERSPECTIVAS

Es una necesidad imperante la conservación del águila real en México, el cambio climático, la destrucción, modificación y deterioro progresivo y acelerado del hábitat, la pérdida de la biodiversidad, las extinciones masivas, el deterioro del ambiente, son realidades ambientales que afectan a la biodiversidad y no solo a una especie, incluyendo a la humanidad. No puede dejarse que tales realidades avancen inexorablemente o se les deposite en las manos a terceros intereses tales como las leyes del mercado, las tendencias de la moda o la inactividad. Mas bien, se puede optar por tomar una especie emblemática de la biodiversidad mexicana: el águila real (no limitativo), y crear los atractores que capturen a la sociedad en su vórtice y produzcan un cambio de estado, desde la apatía, hasta la actividad para recuperar nuestro medio ambiente; y que este cambio de estado active a las Universidades para que formen a los actores de la conservación, que produzcan los conocimientos para transformar, y que se automultipliquen creando el cambio en la sociedad y en los intereses de la sociedad. Recomiendo que los autores del cambio a partir de las universidades sean doctores, maestros, especialistas, docentes, alumnos y líderes académicos y sociales; que continúen los estudios de genética de poblaciones y de dinámica poblacional del águila real, pues son necesarios para la toma de decisiones con un alto nivel de certeza y ahorro de energías en el sistema; que formen mujeres y hombres ornitólogos, ecólogos, manejadores de vida silvestre, genetistas, biólogos de la conservación, médicos de la conservación, inmunólogos, etólogos, comunicadores, educadores, abogados, físicos, mercadólogos, historiadores, gestores de cultura, administradores, periodistas, geógrafos, ingenieros ambientales, especialistas en conservación de la biodiversidad y en particular del águila real; que se establezcan en un centro de investigación nacional del águila real, que puede residir en una Universidad, interdisciplinario y de alta calidad y que se incorporen a la sociedad difundiendo el conocimiento del águila real y se relacionen con organizaciones que fomenten y financien la conservación y la recuperación de la biodiversidad.

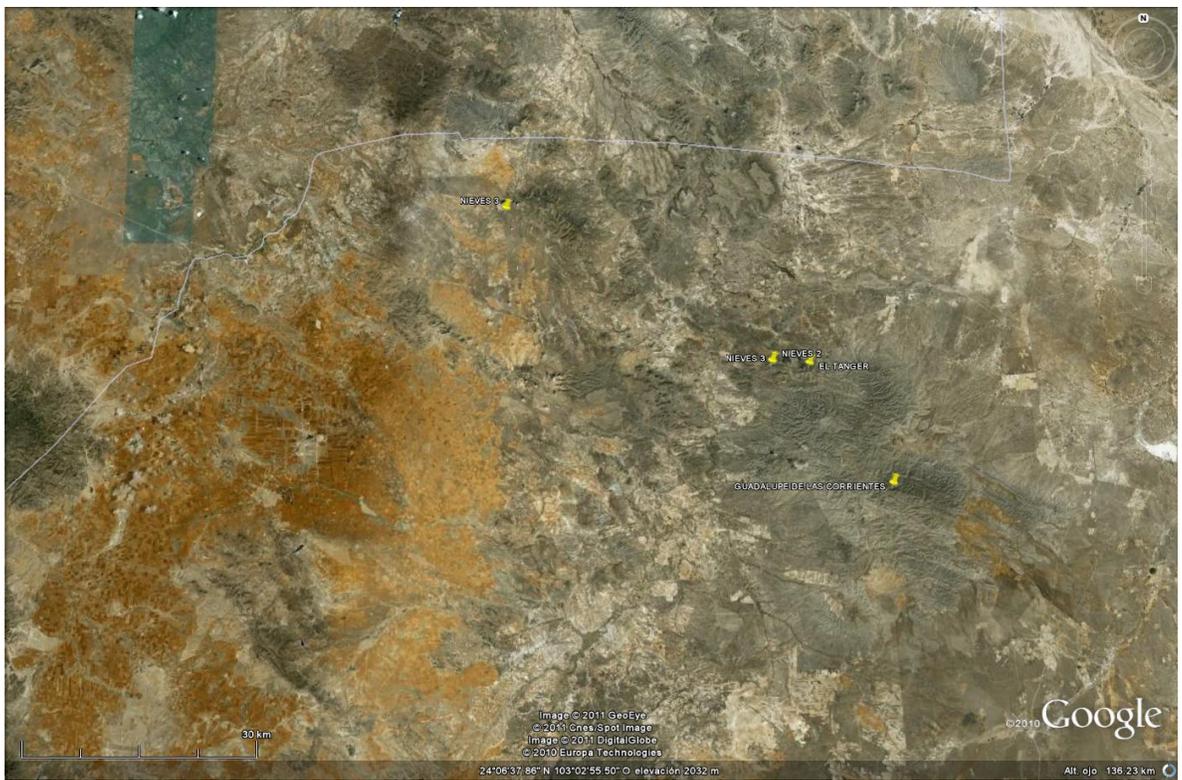
## ANEXO DE MAPAS E IMÁGENES

Fig. 20. Sitios de anidación del norte, Concepción del Oro 1 y Concepción del Oro 2



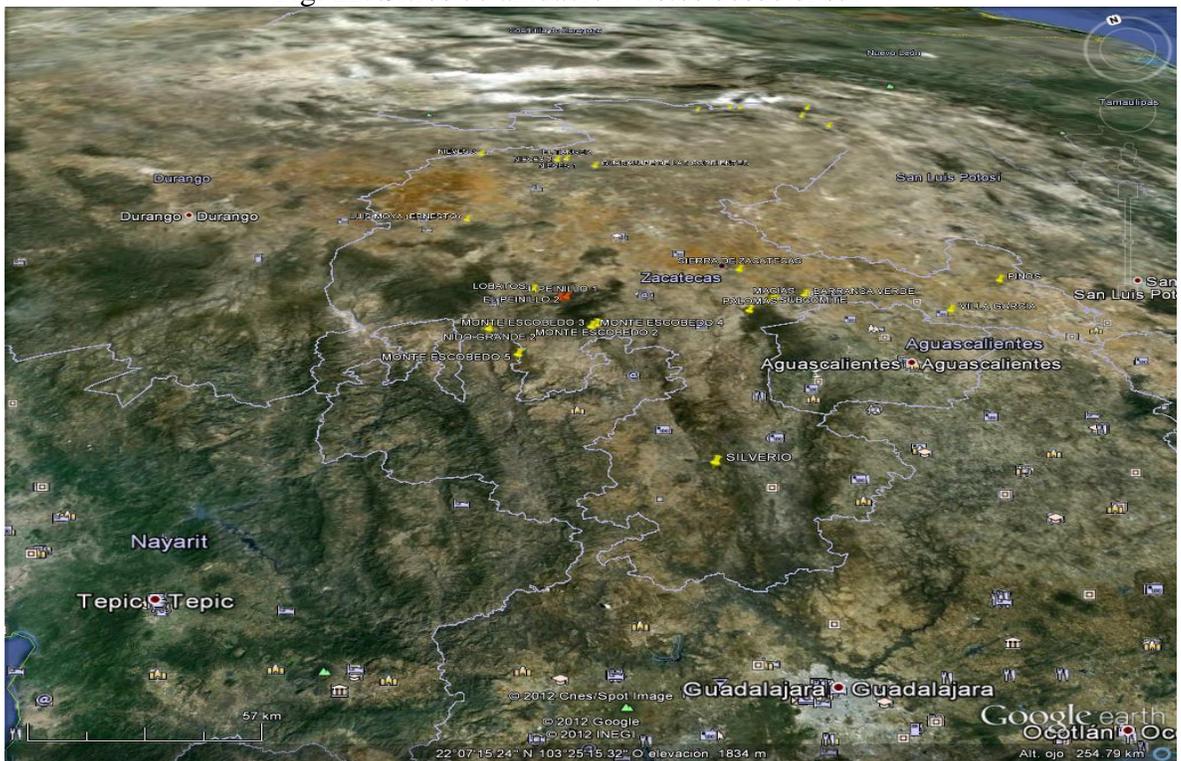
Las Poblaciones Concepción del Oro 1 y Concepción del Oro 2, un poco al sur este se encuentra el Nido de El Papagayo. Al norte, en Coahuila se encuentran al menos tres sitios de ocurrencia en el sistema de sierras plegadas. Al este y sur este se continúan los sitios de anidación de Nuevo León y San Luis Potosí. Algunos de estos sitios se relacionan con colonias de perrito llanero (*Cynoms mexicanus*).

Fig. 21. Sitios de anidación del noroeste: Nieves 1, 2 y 3. El Tánger y Guadalupe de las Corrientes



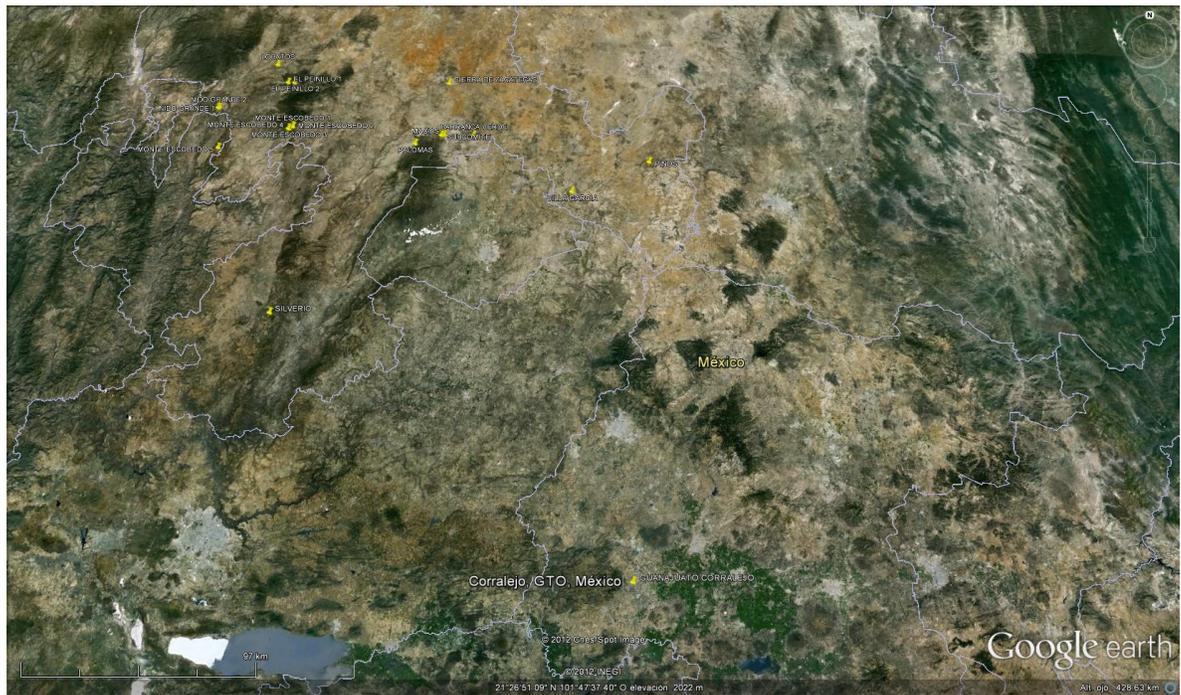
Posiblemente esta población y la de Luis Moya situada un poco más al sur oeste, se relacionen con las poblaciones de Concepción el Oro 1 y 2, y con las del oeste de Monte Escobedo y Valparaíso.

Fig. 22. Sitios de anidación vistos desde el sur



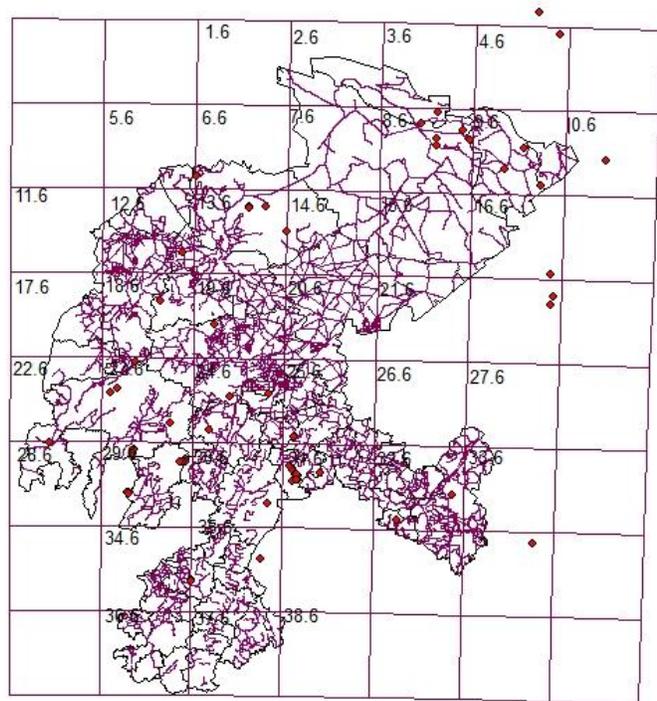
En el centro y sur del estado, en sentido este oeste, se encuentran los sitios de anidación de la región de Pinos, las poblaciones de la Sierra Fría, la población de Monte Escobedo y la de Valparaíso. Entre las regiones de Pinos y la Sierra Fría se localizan los sitios de anidación en el estado de Aguascalientes. Las poblaciones de Valparaíso quizá se relacionen con las de la sierra de La Michilía en Durango.

Fig. 23. Sitios de anidación del oeste, del sur, del centro y de Guanajuato



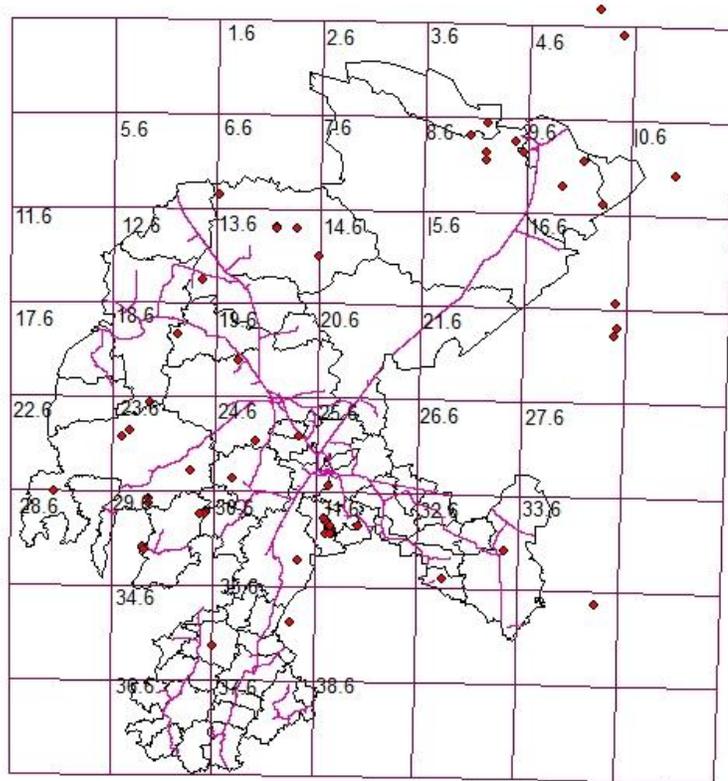
A 230 kilómetros de la Sierra Fría se sitúa el sitio de ocurrencia de Guanajuato, en el mismo estado al norte de Corralejo se encuentra otro sitio de anidación aun más antiguo.

Fig. 24. Brechas y terracerías



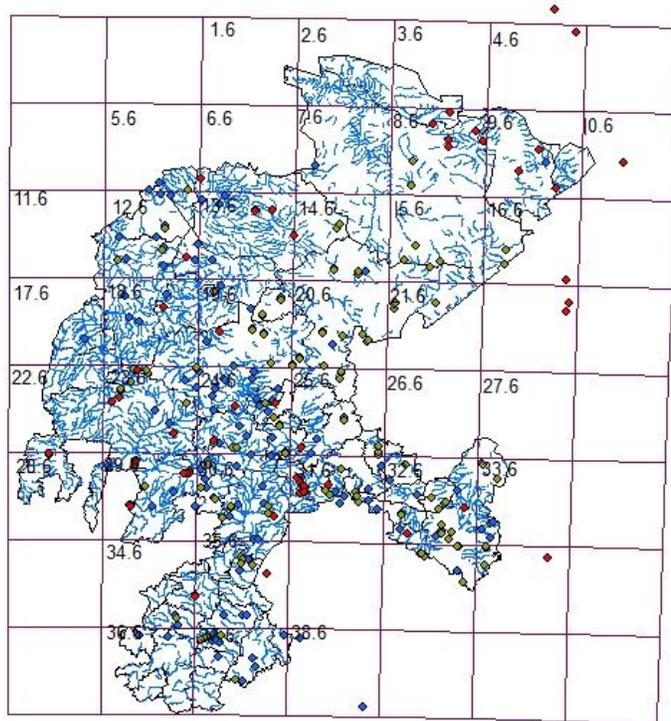
La red de caminos rurales fue extendiéndose y alcanzó a los sitios de anidación y áreas de cacería.

Fig. 25. Carreteras y sitios de anidación de águila real



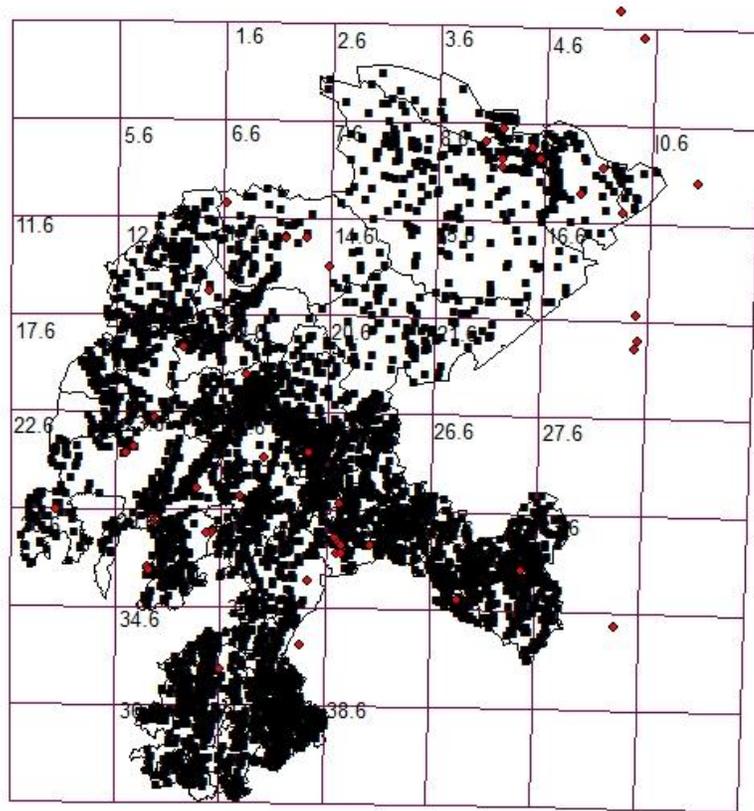
Al igual que los caminos rurales, las carreteras alcanzan progresivamente los sitios de ocurrencia de las águilas reales, así como las brechas y terracerías; las águilas tienden a distanciar los sitios de anidación en proximidad a la red carretera.

Fig. 26. Escorrentías, embalses y sitios de anidación



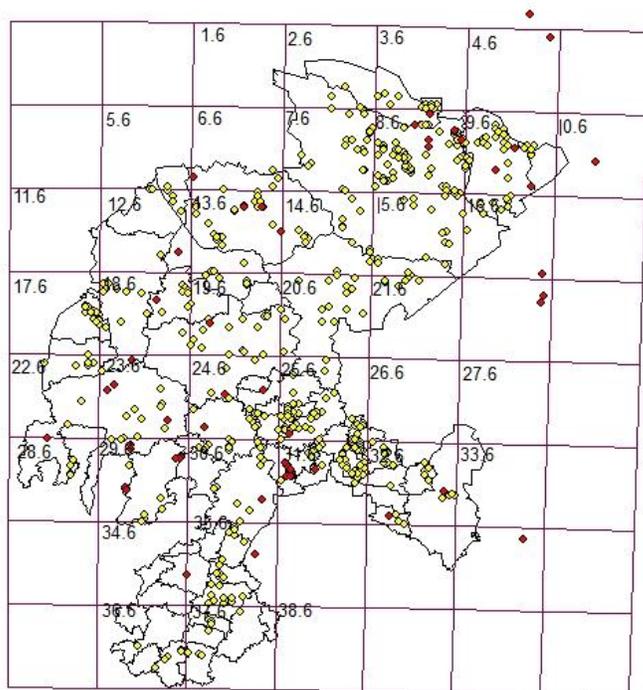
Los sitios de anidación guardan relación positiva con las escorrentías y cuerpos de agua, factor importante para el manejo de la especie, la conservación estos humedales favorecen la conservación del hábitat del águila real. Los puntos en rojo son sitios de ocurrencia y de anidación. Del agua dependen tanto la agricultura, la ganadería, los aprovechamientos forestales, los aprovechamientos de vida silvestre y los sitios de ocurrencia de águila real.

Fig. 27. Localidades y sitios de anidación



El poblamiento de los espacios naturales es continuo y desigual, obedece a la distribución de los recursos naturales y a la disponibilidad económica para aprovecharlos, el desarrollo urbano es una seria amenaza para los sitios de anidación y áreas caseras de las águilas reales.

Fig. 28. Minas, aprovechamientos mineros y sitios de anidación



La minería es una de las actividades económicas tradicionales y de mayor importancia para la economía del estado, gran parte de la infraestructura de la minería está relacionada con la distribución del águila real, los caminos, tajos, presas de jales y sitios mineros ofrecen riesgos para las águilas reales. En las autorizaciones de planes de manejo minero debieran estar presentes las medidas de mitigación y de remediación del hábitat del águila real.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alda F, Rey I., and Doadrio I. 2007. Un método general para la extracción de ADN degradado en muestras de aves y otras especies. *Ardeola* 54(2): 331-334.
2. Arroyo B. Aguila Real, *Aquila chrysaetos*. Casi amenazada; NT C1. En: Libro Rojo de las aves de España. 2004. Primera edición. Sociedad española de Ornitología (SEO/BirdLife), (eds). Alberto Madroño, Cristina González y Juan Carlos Atienza, pp 151-153.
3. Badii S. M.H., y Abreu J.L. 2006. Metapoblación, conservación de recursos y sustentabilidad. *Daena: international Journal of Good Concience* 1(1): 37-51.
4. Badii M.H., Guillén E., Cerna E., Landeros J., Valenzuela y Ochoa Y. 2006. Estimación poblacional por muestreo a distancia. *Daena: Int. Journ. Of Good Conc.* 7(1): 85-96.
5. Badii M. H., Landeros J. y Cerna E. 2007. Patrones de asociación de especies y sustentabilidad. *Daena: International Journal of Good Concience.* 3(1): 632-660.
6. Badii M. H. y Landeros J. 2006. Cuantificación de la fragmentación de paisaje y su relación con sustentabilidad. *Daena: International Journal of Good Concience.* 2(1): 26-38.
7. Barrientos R., y Bolonio L. 2002. Registros de águila moteada *Aquila clanga* en la Península Ibérica. *Ardeola* 49(2): pp 293-296.
8. Bates J. M. 2000. Allozymic genetic structure and natural habitat fragmentation: data for five species of amazonian forest birds. *The Condor* 102: 770-783.
9. Boal C.B., Haralson C.L. y Howe W.H. 2008. Status of golden eagles in the Texas Panhandle. *Journal of Raptor Research* 42(3): 220-224.

10. Bögel R. y Eberhardt R. 2004. A GIS model for predicting flight conditions for soaring raptors, evaluated with data on eurasian griffon vultures (*Gyps fulvus*) and golden eagles (*Aquila chrysaetos*). En: Spatial análisis in raptor ecology and conservation. En Rodríguez E.R. y Bojorquez T.A.. México, CIB-CONABIO 2004. pp.40 - 531.
11. Callopy M.W. and Edwards T.C. Jr. 1989. Territory size, activity budget, and role of undulating flight in nesting golden eagles. J. Field Ornithol. Pp: 43-51.
12. Carabias J., Cuadri de la T. G., Ramírez Ruiz de V F. 1997. Programa de conservación de la vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural.SEMARNAP-INE. Primera edición 107-134.
13. Carabias L. J., Provencio E., Ramírez Ruiz de V. F., Lozano D. L., Tavizón G. P.1999. Proyecto de Protección, conservación y recuperación del águila real. SEMARNAP-INE. Primera edición pp 90.
14. Craig R. L., Craig J.A., Rudolph K.M. y Craig E.H. 2009. Using polymerase chain reaction for sex determination of golden eagles (*Aquila chrysaetos*). Journal of raptor Reseach 43(1):63-65.
15. Cartron J-L. E., Garber G.L., Finley C., Rustay CH., Kellermueller R., y Day M.P. 2000. Power pole causalities among raptors and raves in northwestern Chihuahua, Mexico. Western Birds 31: 255-257.
16. Carrete M., Sánchez-Zapata J.A., Calvo J.F. y Lande R. 2004. Demography and habitat availability in territorial occupancy of two competing species. Oikos Vol. 108(1): 125 –136.

17. Carrete M. Sánchez-Zapata J. A., Calvo J. F. 2000. Breeding densities and habitat attributes of golden Eagle in southeastern Spain. *J. Raptor Res.* 34(1):48-52
18. Castro A., Muñoz A-R., Real R.. 2008. Modelación de la distribución espacial de la lechuza de Tengmalm *Aegolius funereus* en su límite suroeste paleártico (NE España). *Ardeola* Vol. 55, pp. 71-85
19. CITES Do, 9.22 (Rev). Interpretación y Aplicación de la Convención. Examen de Supuestas infracciones y de otros problemas relacionados con la aplicación efectiva de la Convención, Informe de la Secretaría.
20. CONANP. 2006. Declaratoria de Área de Conservación de los Recursos Naturales del Distrito de riego N° 1, Pabellón.
21. CONANP. 2009. Área de protección del Águila real en la Serranía de Juan Grande. Lozano y Ávila.
22. Curti M. y Valdez U. 2009. Incorporating community education in the strategy for harpy Eagle conservation in Panamá: *The Journal of Environmental Education.* 40 (4): 3-16.
23. De Alba A. y González G. E. 1997. Evaluación de programas de educación ambiental. Experiencias en América Latina y el Caribe. Primera edición. Universidad Nacional Autónoma de México. 19-57.
24. Delibes M., Calderón J. e Hiraldo F. 1975. Selección de presa y alimentación en España del Águila Real (*Aquila chrysaetos*) *Ardeola* vol 21 (Especial) pp 285-903.

25. Dimopoulus D. Paraskevopulos S. y Pantis J.C. 2008. The cognitive and attitudinal effects of a conservation module elementary school students. The journal of environmental education 39(3):47-61.
26. Eagles P.F.J. y Demare R. 1999. Factors influencing children's environmental attitudes. The Journal of Environmental Education 30(3): 33-37.
27. Ecosphere Environmental Services U.S. Bureau of Reclamation. 2007. Golden Eagle monitoring al Carbon Mountain: Final summary report for the 2003-07 breeding seasons. U.S. Bureau of Reclamation, western Colorado area Office Animas-La Plata Project, Durango, Colorado. P.p 9 – 28.
28. Elvira Quesada Juan Rafael. Encuentro 24 de marzo 2010 "Águila Real Símbolo Vivo de México. 2010 Año Internacional de la Biodiversidad". Zacatecas. Discurso Inaugural.
29. Fielding A. and Howoerth P. 2010. Golden eagles and wind farms. Haworth Conservation. England. Pp 56.
30. González A. y Luna J. 1999. Diagnóstico preliminar y situación actual del águila real (*Aquila chrysaetos*) en el estado de Jalisco. INE-CERES, SEMARNAP. Jalisco.
31. Good R.E., Nelson R.M., Sawyer H. y Mcdonald L.L. 2007. A population estimate for golden eagles in the western United States. J. of Wildl. Manag. Vol. 71(2): 195-402.).
32. Gregory M.J.P., Gordon A.G. y Moss R. 2003. Impact of nest-trapping and radio-tagging on breeding golden eagles *Aquila chrysaetos* in Argyll, Scotland. Ibis 145: 113-119.

33. Hanski I. 2005. Landscape fragmentation, biodiversity loss and the societal response. *EMBO Reports* Vol 6 (5): 388-392.
34. Hans Peeters 1998. Primera Reunión del Subcomité Técnico Consultivo para la Protección Conservación y Recuperación del Águila Real SEMARNAP. Zacatecas, Zac., 13 de octubre.
35. Herrera F. E. 2002. De vida o muerte... historia de conservación. El águila real mexicana en peligro. Dirección y guión Eduardo Herrera, asesoría científica Díaz C. M., Macías P. M de J., Tavizón G. P.. Documental video. Producción CONACULTA-Canal 11 y SEMARNAT.
36. Hofreiter M., Serre D., Poinar H.N., Kuch M. and Pääbo S. 2001. Ancient DNA. *Nature Reviews* (2): 363-369.
37. Jackman R.E., Hunt W.G., Driscoll D.E. y Lapsansky F.J. 1994. Refinements to selective trapping techniques: a radio-controlled bow net and power snare for bald and golden eagles. *J. Raptor Res.* 28 (4): 268-273.
38. Jerbenger M.J. 2008. Spacing golden eagle *Aquila chrysaetos* nests in relation to nest site and food availability. *Ibis* 127(2): 250-255.
39. Johnson K.P. y Clayton D.H. 2000. A molecular phylogeny of the dove genus *Zenaidura*: mitochondrial and nuclear DNA sequences. *The Condor.* 102: 864-870.
40. Juárez R. F. I. 2012. Distribución de microsatélites en poblaciones nativas de águila real (*Aquila chrysaetos*) Tesis UAZ.
41. Kaisanlahti-Jokimäki M.L., Huhta E., Ukkola M., Helle P y Ollila T. 2008. Territory occupancy and breeding success of the golden Eagle (*Aquila*

- chrysaetos) around tourist destinations in northern Finland. *Ornis Fennica* 85: 2-12.
42. Kochert M. N., Steenhof K., Mcintyre C. L. y Craig E.H. 2002. Golden Eagle. *The Birds of North America*, N°684.
43. Kochert M. N., y Steenhof K.. 2012. Frequency of nest use by golden eagles in southwestern Idaho. *Journal of Raptor Research* 46(3): 239-247.
44. Lande R. 1988. Demographic models of the northern spotted owl (*Strix occidentalis caurina*). *Oecologia* 75: 601-607.
45. Latta B. C.. Channel Islands golden eagle translocation program. Summary Report 1999-2004. Contract number: SCI 022304. The Nature Conservancy. Santa Cruz Island Preserve. Pp 89.
46. Lozano R. 2008. Primer informe sobre la identificación de áreas de anidación y distribución del águila real (*Aquila chrysaetos*) en el estado de Aguascalientes. Gobierno del estado de Aguascalientes, Instituto de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
47. Lozano R. L.F., Ávila V.H. 2009. Águila Real el símbolo nacional de México en riesgo. Primera edición. Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes ISBN 978-607-7607-11-3. Pp 77-79.
48. Lee- Mueller H. Y. M. 2010. DNA microsatellite analysis for the identification and parentage control of birds of prey populations in Austria. Institut für Tierzucht und Genetik Veterinärmedizinische Universität Wien. P 25.
49. López-López P. 2007. Identifying potentially suitable nesting habitat for golden eagles applied to important bird areas design. *Anim. Cons.* Vol. 10 (2): 208-218.

50. Ludwin J.A., y Reynolds J.F. 1988. Statistical ecology. A primer on methods and computing. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A.. pp 125-155.
51. Margalida A., Mañosa S., González L.M., Ortega E., Sánchez R. & Oria J. 2008. Breeding of non-adults and effects of age on productivity in the Spanish Imperial Eagle *Aquila adalberti*. ARDEA 96 (2): 173-180.
52. Masuda R., Noro M., Kurose N., Nishida-Umehara Ch., Takechi H., Yamasaki T., Kosuge M., Yoshida M.C. 1998, Genetic characteristics of endangered Japanese golden eagles (*Aquila chrysaetos japonica*) based on mitochondrial DNA D-loop sequences and karyotypes. Zoo Biology 17(2): 111-121.
53. Martínez-Abrain A., Crespo J., Jiménez J., Pullin A., Stewart G. y Oro D. 2008. Friend or foe: societal shifts from intensive persecution to active conservation of top predators. Ardeola 55(1): 111-119.
54. Martinez-Cruz B, David VA, Godoy JA, Negro J.J, 'Brien SJ, Johnson WE (2002). Eighteen polymorphic microsatellite markers for the highly endangered Spanish imperial eagle *Aquila adalberti* and related species. *Molecular Ecology Notes*, 2,323–326.
55. Manzano-Fisher P., List R., y Ceballos G. 1999. Grassland birds in prairie-dog towns in northwestern Chihuahua, Mexico. Studies Avian Biol. 19: 263-271.
56. Marzluff H. M., Knick S. T., Vekasy M., Schueck L. S. y Zarriello T. J. 1997. Spatial use and habitat selection of golden eagles in southwestern Idaho. The Auk 114(4): 673-687.

57. Matthiopoulos J., Harwood J. y Thomas L., Metapopulation consequences o site fidelity for colonially breeding mammals and birds. 2005. *Journal of Animal Ecology* 74, 716-727.
58. McGrady and Grant J.R. 1996. The use of power snare to capture breeding golden eagles. *J. Raptor Res.* 30(1): 28-31.
59. McIntyre C.L., Adams L.G. 1999. Reproductive characteristics of migratory Golden Eagles in Denali National Park, Alaska.” *The Condor* Vol. 101: 115 – 123.
60. Mengel R. T. And Warner D. W. 1948. Golden Eagles in Hidalgo, México. *The Wilson Bull.* 60(2): 122.
61. Mercado R. M.. 2012. Ecología y genética de la conservación del pato triguero *Anas platyrhynchos diazi* en el Altiplano Zacatecano. Tesis doctoral UANL.
62. Minter B.A., and Collins J. 2005. Ecological ethics: building a new tool kit for ecologists and biodiversity. *Conservation Biology* 1803-1812.
63. Moilanen A., Hanski I. 2001. On the use of connectivity measures in spatial ecology. *Oikos* 95 (1): 147-141.
64. Nocedal J., Zúñiga-Fuentes A. y Arroyo S. 2010. El águila real (*Aquila chrysaetos*) en el estado de Durango, México. Distribución e implicaciones para su protección y conservación. *El canto del Centzontle* 1(2): 134-147.
65. Nocedal y Zúñiga 2010. *Op cit.*
66. Ocotillo Express LLC. 2011. Golden Eagle conservation plan for the Ocotillo Wind Energy Facilities. P, 17.

67. Ovaskainen O. and Hanski I. 2004. Metapopulation dynamics in highly fragmented landscapes. En Ecology, Genetics, and Evolution of metapopulations. (eds) Elsevier Inc., pp 84-87.
68. Ontiveros D., Real J., Balbontín J., Carrete M., Ferreiro E., Ferrer M., Mañosa S., Pleguezuelos J. M. y Sánchez-Zapata J.A. 2004. Biología de la conservación del águila perdicera *Hieraaetus fasciatus* en España: Investigación científica y gestión. *Ardeola* 51(2): 461-470.
69. Padilla S. y Tavizón P. 2003. Preferencia alimenticia del águila real (*Aquila chrysaetos canadensis* Linnaeus) determinada por la calidad alimenticia de lagomorfos. Tesis de maestría. Unidad de Biología Experimental Universidad Autónoma de Zacatecas.
70. Pagel J.E., Whittington D.M. y Allen G.T. 2010. Interim Golden Eagle inventory and monitoring protocols; and other recommendations. U.S. Fish and Wildlife Service. p.10.
71. Paine R.B., y Sorenson D. 2003. Museum collections as sources of genetic data. *Bonner zoologische Beiträge*. Band 51 (2002): 97-104
72. Petit R.J., El Mousadik A. y Pons O. 1997. Identifying populations for conservation on the basis of genetic markers. *Conservation Biology* 12 (4): 844-855.
73. Programa de acción para la conservación de la especie: águila real (*Aquila chrysaetos*). 2008. (eds) SEMARNAT-CONANP. pp 43+5.
74. Puente M. A. 2008. Knowledge and attitudes towards the golden Eagle (*Aquila c. canadensis*) and its conservation in the communities of La Saladita and San

Antonio de las Huertas, Zacatecas, Mexico. Dissertatiton MSc Degree. Durrell Institute of Conservation and Ecology, university of Kent, UK.

75. Rodríguez E. R. y Necedal M. J.. 1985. El águila real *Aquila chrysaetos* L. en México: Prospección de su distribución y hábitos. (eds) Instituto de Ecología, A. C. 29 + 7 pp.
76. Rodríguez-Estrella R., Llinas-Gutiérrez J. y Cancino J. 1991. New golden Eagle records from Baja California. *J. Raptor Res.* 25(3): 68-71.
77. Rodríguez-Estrella R. 2002. A survey of golden eagles in northern Mexico in 1984 and recent records in central and southern Baja California Peninsula. *J. Raptor Res.* 36(1 Supplement):3-9.
78. Roche, J. 1972. Systematique du genre *Procviaet* des damans en general. *Mammalia*; 36: 22-49.
79. Ruas Q. J.P. 2010. Estudo da populac,ao de Águia-Real no nordeste de Portugal. Departamento de Biología, Universidad de Aveiro. Tesis. P:25.
80. Rudnick J.A., Katzner T.E., Bragin E.A., Rhodes jr. E y de Woody J.A. 2005. Using naturally shed feathers for individual identification genetic parentage analyses, and population monitoring in an endangered eastern imperial Eagle (*Aquila heliaca*) population from Kasakhstan. *Molecular Ecology* 14: 2959-2967.
81. Salinas A. N. del R. 2010. Estudio de la variabilidad genética de tres poblaciones de piñón (*Jatropha curcas*) en la Provincia de Manabí mediante la utilización de marcadores moleculares ISSR's. Tesis. Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador. 51-52.

82. Sánchez-Zapata J., Calvo J. F., Carrete M. y Martínez J. 2000. Age and breeding success of a Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) population in southeastern Spain. *Bird Study* 47: 235-237.
83. Sefc K., Payne R.B., Sorenson M. D. 2003. Microsatellite amplification from museum feather samples: effects of fragment size and template concentration on genotyping errors. *The Auk* 120(4): 982-989.
84. SEMARNAT PROFAUNA A.C. 2000 Manual para la educación ambiental. Águila real. Segunda edición 2005. ISBN 968-817-521-8. pp 28+7.
85. Soule M. E. y Mills L. S. 1998. No need to isolate genetics. *Science* 282 (5394): 1658-1659.
86. Soutullo A., Urios V. y Ferrer M. 2006. How far away in an hour? Daily movements of juvenile golden eagles (*Aquila chrysaetos*) tracked with satellite telemetry. *J. Ornithol.* 147: 69-72.
87. Soutullo A., Urios V., Ferrer M., Peñarrubia S.G. 2006 b. Post – fledging behavior in Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*): onset of juvenile dispersal and progressive distancing from the nest. *Ibis* Vol. 148(2): 307-312.
88. Subcomité Técnico Consultivo para la Protección, Conservación y Recuperación del Águila Real. Subcomité SEMARNAT. Documentos de las reuniones técnicas. Cotera M., Vargas. J., Fernández Borja H. 1999. Subcomité Técnico Consultivo para la Protección Conservación y Recuperación del Águila real. Díaz C. M.. 1998. Subcomité Técnico Consultivo para la Protección Conservación y Recuperación del Águila real. Díaz C. M. 1999. Subcomité Técnico Consultivo para la Protección Conservación y Recuperación del Águila real. Díaz M, Casillas F, García J y Canales E y Carrera J. 1999. Subcomité Técnico Consultivo para la Protección Conservación y Recuperación del Águila

real. Díaz C., Tavizón, Macías P. M., Montañez y Flores, 1999. Subcomité Técnico Consultivo para la Protección Conservación y Recuperación del Águila real. Estudillo J. 2002. Nido de Águila Real en Oaxaca. Reporte del Subcomité de Protección Conservación y Recuperación del Águila Real. SEMARNAT. Grosselet M. y Ruiz M. G. 2005. Avistamiento de pareja de Águila Real en Oaxaca. Comunicación Personal. Lafón T. A.. 1999. Subcomité Técnico Consultivo para la Protección, Conservación y Recuperación del Águila Real.

89. Tapia L., Domínguez J y Rodríguez L. 2007. Modelling habitat use and distribution of golden Eagle *Aquila chrysaetos* in a low-density area of the Iberian Peninsula. Biodivers Conserv 16: 3559-3574.

90. Tavizón G. P., Flores R. R., Díaz C. M. 1995. Hábitos alimenticios del águila real (*Aquila chrysaetos*) en Zacatecas, México. Memorias del XIII Congreso Nacional de Zoología. Morelia Mich.

91. Tavizón P., Macías P. M. y Díaz C. M.. Proyecto nacional para la protección, conservación y recuperación del águila real. 2002. A Texas Academy of Science Meeting. Laredo Tex.

92. Tavizón P., Tavizón M. V. E., Aguilar C. D. E. 2006. Niñas y niños de Zacatecas pintando el águila real. (eds) Instituto de Ecología y Medio Ambiente de Zacatecas y Museo de Guadalupe. pp 60+10.

93. Vali U. 2002. Mitochondrial pseudo-control region in old world eagles (genus *Aquila*). Mol Ecol. 2002 Oct;11(10): 2189-94.

94. Valdez Raul, Guzmán-Aranda J.C., Abarca F.J., Tarango-Arámbula L.A. y Clemente S. F..2006. Wildlife conservation and management in México. Realmente el sistema está protegiendo a la especie? Wildlif. Soc. 34 (2): 270-282.

95. Vargas J. 1999. Subcomité Técnico Consultivo para la Protección Conservación y Recuperación del Águila real.
96. Verdejo J., López-López P. 2008. Seguimiento a largo plazo de una población de halcón peregrino: tamaño poblacional, parámetros reproductores y características de los nidos. *Ardeola* Vol. 55: 87-96.
97. Watson J. 1997. The Golden Eagle. (eds) T. & AD Poyser Ltd. London. Pp. 16 – 17.
98. Watson J. 2010. The golden Eagle. (eds) T & A.D. Poyser. Second edition. London. pp 41-43.
99. Watson L. 1997. Op. cit. 8-19.
100. Whitfield P. 2000. Golden Eagle *Aquila chrysaetos* ecology and conservation issues. Review N° 132, Advisor Services, Scottish Natural Heritage. Pp11-17.
101. Whitfield D.P., Fielding A.H., Gregory M.J.P., Gordon A.G., Mcleod D.R.A. y Haworth P.F. 2006. Complex effects of habitat loss on Golden Eagles *Aquila Chrysaetos*. *Ibis* Vol.149 (1): 26 – 36.
102. Wingfield J.C. 2012. Regulatory mechanisms that underline phenology, behavior, and coping with environmental perturbations: an alternative look at biodiversity. *The Auk* 129 (1): 1-7.
103. Zinner D., Pelaez F. 1999. Verreaux's eagles (*Aquila verreauxi*) as potential predators of hamadryas baboons (*Papio hamadryas hamadryas*) in Eritrea. *A. M. J. Primatol.* 47(1): 61-

## RESUMEN BIOGRÁFICO

Jesús Patricio Tavizón García

Candidato para el Grado de

Doctor en Ciencias Biológicas con Especialidad en Ecología

Tesis: DINÁMICA POBLACIONAL Y VIABILIDAD ESPACIO  
TEMPORAL DEL AGUILA REAL

Campo de Estudio: Manejo de Vida Silvestre y Ecología.

Datos Personales: Pachuca Hidalgo; 19 de junio de 1950. Padre y madre,  
Remberto Tavizón Reyes y Ana María García Téllez.

Educación: Médico Veterinario Zootecnista, por la Universidad Autónoma de  
Zacatecas, Especialidad en Patología Aviar en la Universidad Nacional  
Autónoma de México; Maestría en Ciencias con Especialidad en Manejo  
de Vida Silvestre y Doctorado en Ciencias con Especialidad en Ecología en  
la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo  
León.

Experiencia profesional: Docente Investigador en la Universidad Autónoma de  
Zacatecas, Director del Instituto de Ecología y Medio Ambiente del  
Gobierno del Estado de Zacatecas y consultor independiente en manejo de  
vida silvestre, conservación y medio ambiente.