



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LOS SITIOS DE MIGRACIÓN
DEL QUETZAL (*Pharomachrus mocinno*. TROGONIDAE, AVES)
EN CHIAPAS, MÉXICO.**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

B I O L O G A .

PRESENTA:

LAURA PINEDA MATIAS

DIRECTORA DE TESIS
DRA. SOFÍA SOLÓRZANO LUJANO



AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Mis más sinceros agradecimientos a mi directora de tesis la Dra. Sofía Solórzano Lujano por las correcciones minuciosas, comentarios, sugerencias, por su apoyo en este trabajo que me ha dado la posibilidad de mejorarlo y que me han sido útiles como formación académica. Aprovecho la ocasión para reconocer el valioso aporte científico que ha realizado para la conservación del quetzal. Agradezco al resto de mi jurado por sus revisiones en esta tesis Dr. Miguel Ángel Castillo Santiago, Dr. Oswaldo Téllez Valdés, Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga y Dra. Verónica Farías González quienes enriquecieron con sus comentarios esta tesis.

Este trabajo contó con el invaluable apoyo del personal y las autoridades de la CONANP, Chiapas. A la directora del Parque Nacional Lagos de Montebello la Ing. Ma. Odetta Cervantes Bieletto, al biólogo Adolfo Vital, al biólogo Martín Castillo Paniagua y al Sr. Roberto Castellanos Castellanos por el hospedaje en las instalaciones del parque y las facilidades para realizar el trabajo de campo. Al director de las Reserva de la Biosfera El Triunfo Juan Carlos Castro Hernández, al biólogo Carlos Guichard Jefe del Programa de Monitoreo que me brindaron apoyo logístico y a los vigilantes Ismael Gálvez, Enelfo Gálvez y Heriberto López por las facilidades otorgadas y la hospitalidad durante el desarrollo del trabajo de campo de esta tesis. Al director de la Reserva La Sepultura, Víctor Negrete Paz y a el vigilante Juvenal Galdaméz por apoyar el trabajo de campo. Al director de la Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná, Alejandro López Portillo y al personal de la reserva por apoyar el acceso hacia la zona de amortiguamiento y núcleo. En las Montañas del Norte, a las autoridades de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica “*Tzama Cun Pümy*” en Tapalapa, a las autoridades ejidales de Ocotepéc al Sr. Ananías Valle Cruz y Coapilla al Sr. Rutilo Morales. Finalmente quiero manifestar una felicitación y reconocimiento a los vigilantes de los bosques por su valioso trabajo y por el gran aporte que brindan a favor de la conservación en las Áreas Naturales Protegidas.

Esta tesis se financió completamente con el proyecto PAPCA No. 34 2009-2010 FES Iztacala, UNAM y con los recursos asignados por la División de Investigación y Posgrado, FESI, a la Dra. Sofía Solórzano Lujano en reconocimiento a su pertenencia al Sistema Nacional de Investigadores. El Macroproyecto Ecosistemas y Desarrollo Humano (UNAM-SDEI-PTID-02) coordinado por la Dra. Patricia Dávila Aranda, facilitó el vehículo usado para realizar las salidas de campo.

Al Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), San Cristóbal de las Casas, Chiapas por permitirme realizar una estancia para mi entrenamiento básico en sistemas de información geográfica. Particularmente, agradezco al Dr. Miguel Ángel Castillo Santiago por su asesoría y haber conseguido en la Secretaría de Marina de México las imágenes de satélite usadas en esta tesis, también el uso de sus bases de datos digitales de vegetación, climas, carreteras, censos cafetaleros y de altitudes para todo el estado de Chiapas, elaboradas en proyectos anteriores.

Agradezco a los alumnos del laboratorio de Bioquímica Molecular y compañeros que me apoyaron en las salidas de campo: Diana Cuevas, Francisco Alberto Rivera, Gustavo Torres, Luis Carlos Vega, Marisol Ibarra, Oscar Salomón Sanabria, Rosario González, y Verónica García.

DEDICATORIA.

Este trabajo que representa para mí la culminación de una etapa y el comienzo de otra está dedicado a las personas que más quiero y admiro.

Gracias papá por enseñarme a ser una persona trabajadora y responsable, pesé a todas las dificultades de que somos parte, siempre te estaré agradecida por tu amor incondicional, tu paciencia y tu apoyo, tu eterno apoyo.

Mamá, gracias por ser el ejemplo de mujer independiente, trabajadora y fuerte que necesito, pero sobretodo te agradezco por levantarme cuando el ánimo decaía y mirar siempre a un objetivo y perseverar hasta verlo cumplido.

Con mucho cariño a mi persona favorita y al ser que más amo en este mundo, a mi Mony, mi compañera quien siempre me saca una sonrisa en los momentos más difíciles, gracias hermanita por siempre cuidarme y sobre todo confiar en mí.

A mi Gus, te agradezco por compartir lo que seguramente es una de las etapas más importantes en mi vida, nadie más que tú sabe lo que esto representa para mí. Gracias por tenerme la confianza, la paciencia, el respeto, pero sobre todo el amor que me demuestras día a día. Gracias mi amor por dejarme ser parte de ti.

A mi amiga Romina, por todos estos años de amistad, de consejos, de complicidad y de risas, pero sobre todo por esa hermandad que no sabemos explicar. A mi amigo Isael, que lo quiero tanto, tan ausente y tan presente siempre él.

A mi familia universitaria Diana, Chayito, Beca, Carlos, Alan, Abraham y a las chicas: Ada, Dianita, Bre, Mariana, Anis Yoli, Mimi. No puedo estar más agradecida a la vida por haberlos conocido, por ser ustedes mis compañeros de equipo, de viajes, de estudio, de alegrías, de disgustos, de desvelos, y de fiestas. Pese a nuestras grandes diferencias nos une algo muy fuerte, el amor por la biología y las ganas de salir adelante. Gracias colegas.

Y por último, deseo dedicar este momento tan importante e inolvidable a mí, por no dejarme vencer, ya que en ocasiones el principal obstáculo se encuentra dentro de uno mismo.

RESUMEN.

El Quetzal (*Pharomachrus mocinno*) se clasifica a nivel internacional como una especie cercana a la amenaza y en México se considera como un ave en peligro de extinción a consecuencia de la sobreexplotación, fragmentación y destrucción de su hábitat. Por ser una especie migratoria altitudinal es necesario conocer la distribución de los bosques que esta ave usa durante su migración y anidación a lo largo de su ciclo reproductivo anual. En México, se ha evaluado la distribución de los bosques de anidación, los cuales están amenazados por el cambio de uso de suelo. En esta tesis, se evaluó la distribución y cobertura vegetal de los bosques de migración del quetzal a partir del análisis de las imágenes de satélite y salidas de campo en cuatro de las regiones montañosas de Chiapas: Altiplanicie de Chiapas, Montañas del Este, Montañas del Norte y Sierra Madre de Chiapas. Se digitalizaron 340 polígonos que representan parches de bosques que utiliza el quetzal durante la migración. Estos bosques sumaron un total de 646.57 km² de los cuales el 75.4 % se localizaron en la Sierra Madre de Chiapas. En estos bosques se identificaron cinco tipos de vegetación arbórea, de los cuales el más representado fue el Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar* (261.9 km²) y Bosques Tropical Lluvioso de Montaña (102.5 km²). Los resultados de esta tesis sugirieron que la fragmentación es la principal amenaza para la persistencia de los hábitats del quetzal, principalmente por el cambio en uso de suelo debido a actividades agropecuaria, particularmente por el cultivo de café y maíz. Ante la acelerada destrucción de estos sitios, una de las posibles estrategias de conservación es la inclusión de corredores que permitan aumentar la conectividad de los polígonos aislados, sobre todo en la parte Oriental y Norte del estado de Chiapas; así se

podría preservar y garantizar la supervivencia del quetzal y de otras especies que comparten el mismo hábitat a largo plazo.

INDICE.

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS.....	I
DEDICATORIA.....	III
RESUMEN.....	IV
INDICE.....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. El quetzal.....	2
1.2.1. <i>Filogenia y clasificación.</i>	2
1.2.2. <i>Distribución.</i>	5
1.2.3. <i>Reproducción.</i>	6
1.2.4. <i>Migración.</i>	7
1.3. Aplicación de los sistemas de información geográfica a la conservación biológica.....	10
2. OBJETIVOS.....	13
3. MÉTODOS.....	14
3.1. Área de estudio.....	14
3.2. Trabajo en campo	15
3.3. Evaluación de la distribución de los hábitat de migración del quetzal.....	15
3.4. Estimación de los tipos de vegetación en los hábitats de migración del quetzal.....	17
4. RESULTADOS.....	21
4.1. Distribución y cobertura vegetal de los bosques de migración del quetzal.....	21
5. DISCUSIÓN.....	29
6. CONCLUSIONES.....	36
LITERATURA CITADA.....	38

1. INTRODUCCIÓN.

La diversidad biológica se distribuye de manera heterogénea en el planeta; esta distribución es una de las características más importantes que definen a las comunidades biológicas (Rickelfs y Schluter, 1993). La distribución y la abundancia de una especie está determinada por las especializaciones y limitaciones impuestas por su historia evolutiva, condiciones ambientales, disponibilidad de recursos, natalidad, mortalidad y migración (Begon *et al.*, 2006).

La posición geográfica de México, su variedad de climas, topografía e historia geológica han producido una de las riquezas biológicas más altas del mundo (Rzedowski, 1978). Estos factores contribuyen a formar un mosaico de condiciones ambientales que promueven una gran variedad de hábitats y de formas de vida (Sarukhán *et al.*, 1996). Sin embargo, existen factores que amenazan la supervivencia de las especies y sus ecosistemas; algunas causas tienen que ver con procesos estocásticos como las variaciones en las condiciones climáticas, la dinámica interna de las poblaciones (e.g. tamaño poblacional, índices de natalidad y mortalidad) y características genéticas de la población (e.g. consanguinidad y deriva génica) (Baena y Halffter, 2008). Otros factores son las actividades antrópicas como la introducción de especies exóticas, contaminación, tráfico de especies, sobreexplotación, destrucción, deterioro y fragmentación del hábitat (CONABIO, 2008).

Con la publicación de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Diario Oficial de la Federación, 2010) la cantidad de especies de flora y fauna en peligro de extinción ascendió de 372 en el año 2001 a 500 en 2010. Una de las especies en la categoría de riesgo es el quetzal (*Pharomachrus mocinno*) (figura 1).

El quetzal se clasifica a nivel internacional como especie cercana a la amenaza (IUCN, 2011) y en México se considera como una especie en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Diario Oficial de la Federación, 2010).

1.2. El quetzal.

1.2.1. Filogenia y clasificación.

El quetzal pertenece al orden de los Trogoniformes que contiene únicamente a la familia Trogonidae (Sibley y Monroe, 1990). Los análisis morfológicos son contradictorios por lo que no resuelven sus relaciones filogenéticas. Sibley y Ahlquist (1990) con base en la hibridación de ADN colocan a los Trogoniformes en un grupo filogenético artificial de posición incierta (*insertae sedis*) junto con los Coraciiformes. Por su parte, Espinosa de los Monteros (2000) encontró con base el análisis del segmento Cit *b* y la subunidad 12S encontró que los Coliiformes (pájaro ratón) y Psitaciformes (pericos y guacamayas) son los grupos más cercanos a los Trogoniformes, pero tampoco resolvió sus relaciones filogenéticas.

El género *Pharomachrus* se compone de cinco especies. *P. antisianus* y *P. pavoninus* que se distribuyen en Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela; *P. auriceps* se localiza en los mismos países pero se extiende hasta Panamá, *P. fulgidus* se distribuye en Colombia y Venezuela, y *P. mocinno* se encuentra desde el noroeste de Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Guatemala y el sureste de México (Sibley y Monroe, 1990).

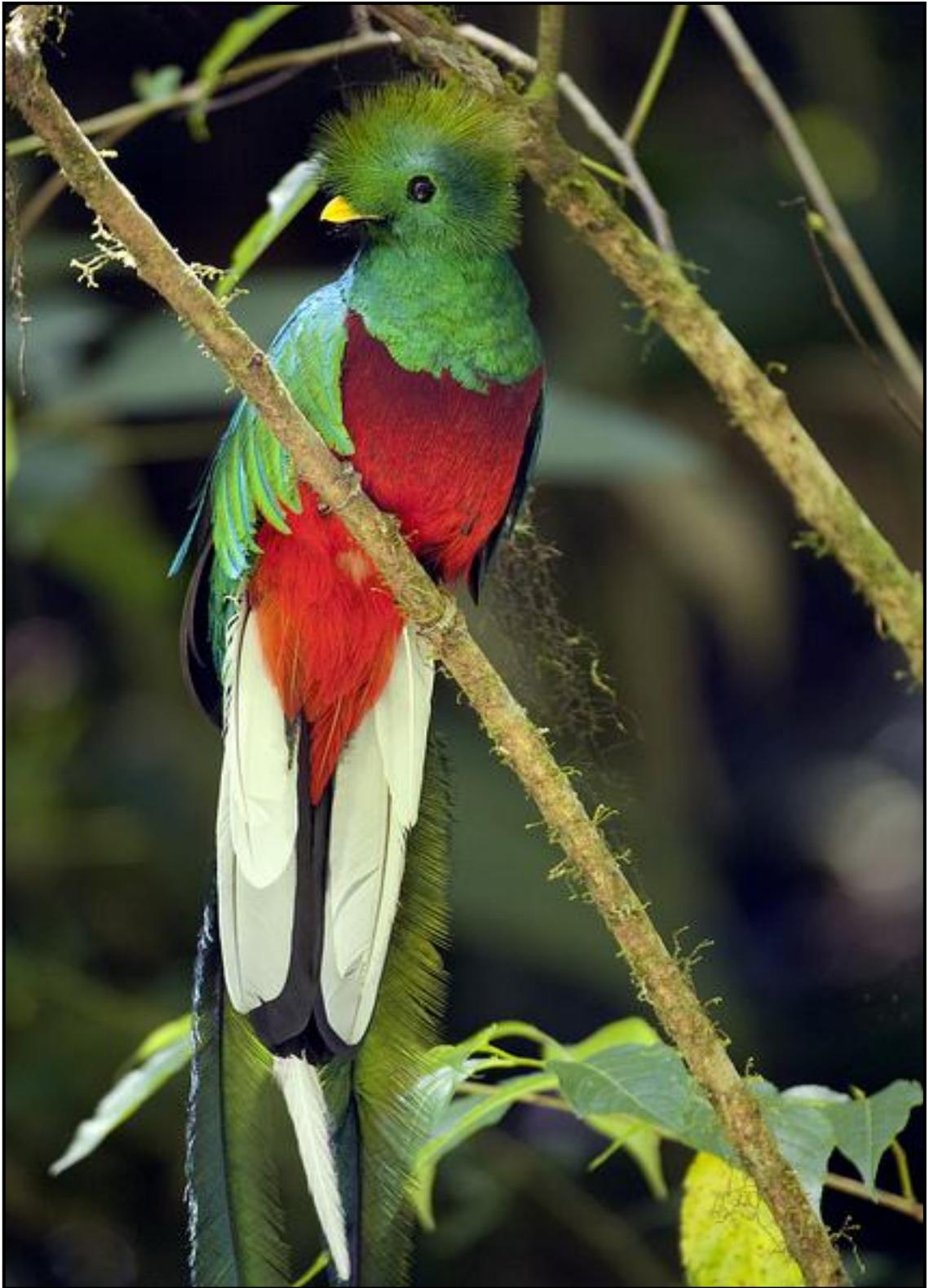


Figura 1. Quetzal macho adulto de *Pharomachrus mocinno*. Fotografía tomada de Fulvio Eccardi (2013) publicada en <http://verdebandera.com.mx>.

Para la especie *Pharomachrus mocinno* se reconocen tradicionalmente dos subespecies: *P. mocinno mocinno* y *P. mocinno costaricensis*. Los criterios para separarla en dos subespecies fueron de tipo morfológico como son el tamaño corporal y la longitud de las plumas cobertoras supracaudales de los machos (Sibley y Monroe, 1990). Por su parte, Solórzano *et al.* (2004) encontraron que el número de diferencias genéticas que separa a los haplotipos dentro de las subespecies fue pequeño con respecto al número de sustituciones que existe entre ellas, lo que indicó una fuerte división poblacional, estos autores proponen que las subespecies sean consideradas como unidades evolutivas significativas independientes. Más tarde estudios realizados por Solórzano y Oyama (2010) a partir de la gran divergencia molecular y morfométrica, además del aislamiento genético estimado en casi 3 ma (Solórzano, 2003) proponen dos especies independientes, correspondiendo *P. m. mocinno* a *P. mocinno* y *P. m. costaricensis* a *P. costaricensis* (Cuadro 1). En este trabajo se consideró esta clasificación taxonómica.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del quetzal (Solórzano y Oyama, 2010)

CATEGORIA	NOMBRE
Reino	Animalia
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Clase	Aves
Subclase	Neornithes
Superorden	Neognathae
Orden	Trogoniformes
Familia	Trogonidae
Genero	<i>Pharomachrus</i>
Especie Norteña	<i>Pharomachrus mocinno</i>
Especie Sureña	<i>Pharomachrus costaricensis</i>

1.2.2. Distribución.

Pharomachrus mocinno se distribuye desde el sureste de México, Guatemala, El Salvador, Honduras hasta Nicaragua y *P. costaricensis* se distribuye desde la cordillera central de Costa Rica hasta Panamá (Sibley y Monroe, 1990; Solórzano *et al.*, 2004) (figura 2). Estas especies presentan una distribución alopátrida ya que se encuentran aisladas geográficamente por el lago de Nicaragua y el Río San Juan así como por la ausencia de bosques templados en el suroeste de Nicaragua (Skutch, 1944). Cabe mencionar que la distribución del quetzal no es continua en los siete países en los que se registra; sino que ocupa pequeños parches que se distribuyen naturalmente en forma de archipiélago (Solórzano, 2003).

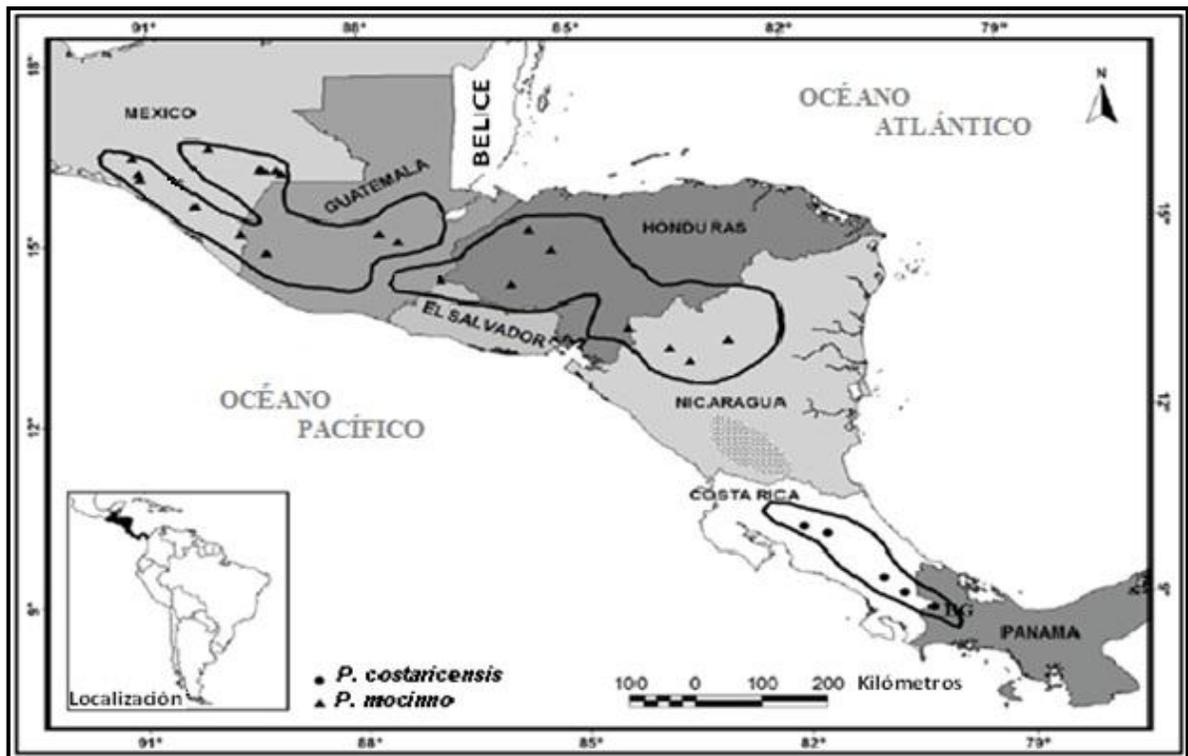


Figura 2. Distribución geográfica del quetzal. Los símbolos representan los sitios de anidación del quetzal en los Bosques de Niebla Perennes, los polígonos representan las áreas potenciales que los quetzales visitan durante la temporada de migración (tomado y modificado de Solórzano *et al.*, 2004).

Específicamente para México la distribución del quetzal abarca las tierras del sureste de Oaxaca y las regiones montañosas del estado de Chiapas (Sibley y Monroe, 1990; Ávila y Hernández, 1990; Solórzano, 1995).

1.2.3 Reproducción.

Convencionalmente en México los hábitats de reproducción o anidación del quetzal se conocen como Bosque Mesófilo de Montaña (Ávila y Hernández, 1990; Solórzano, 1995). Sin embargo, Solórzano *et al.* (2003) sugieren que esta denominación es muy genérica para los hábitats de anidación ya que esta incluye diferentes tipos de vegetación que corresponden tanto a sitios de reproducción como de migración. Estos autores adoptaron la clasificación propuesta por Breedlove (1981), por considerarla más precisa para nombrar a los hábitats del quetzal.

Breedlove (1981) identificó cuatro formaciones vegetales dentro de lo que tradicionalmente se considera Bosque Mesófilo de Montaña: el Bosque de Niebla Perenne (*Evergreen Cloud Forest*), Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar* (*Pine-Oak-Liquidambar Forest*), Bosque de Pino-Encino (*Pine-Oak Forest*) y el Bosque Tropical Lluvioso de Montaña (*Montane Rain Forest*).

El Bosque de Niebla Perenne es el tipo de vegetación que Solórzano *et al.* (2003) determinaron como hábitat de anidación del quetzal.

Los bosques de reproducción del quetzal en Chiapas se caracterizan por la presencia de niebla la mayor parte del tiempo, se localizan a altitudes entre los 1600 a los 3200 msnm (Solórzano *et al.*, 2003) aunque al sur de la Sierra Madre en el Volcán Tacaná se localizan entre los 2500 a 3600 msnm (Solórzano, 2010). Los bosques son de clima templado húmedo y con temperaturas medias anuales de 16° C (Solórzano *et al.*, 2000).

En México, la reproducción del quetzal generalmente inicia en la estación seca en el mes de enero y finaliza con las primeras lluvias del mes de junio (Ávila y Hernández, 1990; Solórzano, 1995). En la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, se determinó que el periodo de reproducción inició en el mes de enero con el cortejo, la incubación de febrero a marzo y la crianza del polluelo de abril a junio (Solórzano, 1995). Para estas etapas la pareja participa con iguales tiempos de esfuerzo (Solórzano, 1995). Anualmente se produce una sola puesta con uno o dos huevos (LaBastille *et al.*, 1972; Skutch, 1944; Solórzano, 1995). No obstante, el éxito reproductivo de los nidos alcanza un 20% y es en la etapa de incubación cuando se pierde su mayor porcentaje (Ávila y Hernández, 1990; Solórzano, 1995).

1.2.4. Migración.

Dentro de las primeras observaciones que se realizaron sobre la migración del quetzal se encuentra la de Skutch (1944) en Costa Rica, el notó la ausencia de quetzales en los sitios de anidación entre los meses agosto y febrero. Sin embargo, no sabía si atribuirlo a una real ausencia de las aves o a una minoría en su actividad lo que lo hacía menos conspicuas. Wheelwright (1983) documentó que los

quetzales presentan movimientos estacionales entre octubre y diciembre y lo atribuyó directamente a una ausencia de frutos de la familia Lauraceae. Posteriormente, Loiselle *et al.* (1989) confirmaron la ocurrencia de movimientos altitudinales estacionales quienes documentaron la presencia de quetzales a 1060 msnm a inicios de enero y a finales de febrero se localizaron a los 1500 msnm.

En la década de 1990, el uso de la radiotelemetría permitió establecer que el quetzal es una especie migratoria altitudinal (Powell y Bjork, 1994; Solórzano, 1995; Paiz, 1996). Las migraciones altitudinales son movimientos estacionales en que las especies se desplazan entre las partes altas y las partes bajas de las montañas (Palminteri *et al.*, 1999). El quetzal se desplaza hacia bosques de menor altitud después de que ocurre la reproducción y es un evento asincrónico a nivel poblacional (Solórzano, 1995; Clair, 1996).

En Costa Rica, Powell y Bjork (1994) documentaron que en la Reserva Monteverde el quetzal migra hacia la vertiente del Pacífico a altitudes entre los 1000 a los 1450 msnm de junio a octubre, luego regresan al área de reproducción a los 1800 msnm y siguen hasta la vertiente Atlántica entre los 550 a los 1200 msnm de octubre a mediados de enero. En Guatemala, Paiz (1996) registró los movimientos para dos poblaciones de quetzales en la Reserva de La Biosfera Sierra de las Minas. Ella registró una primera migración de julio a febrero, a altitudes entre los 1200 a los 2400 msnm, y una segunda migración de octubre a febrero, entre los 1600 y los 1800 msnm. En México, en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Solórzano (1995) estableció que la migración ocurre de julio a diciembre a altitudes entre los 900 y los 1600 msnm; aunque Ávila y Hernández (1990) documentaron que para

esta región los quetzales migraron a finales de mayo hasta mediados de noviembre hacia altitudes entre los 1090 a 1790 msnm.

La altitud y los tipos de bosques que habita el quetzal durante la migración son variables según los países en los que se distribuye (figura 3).

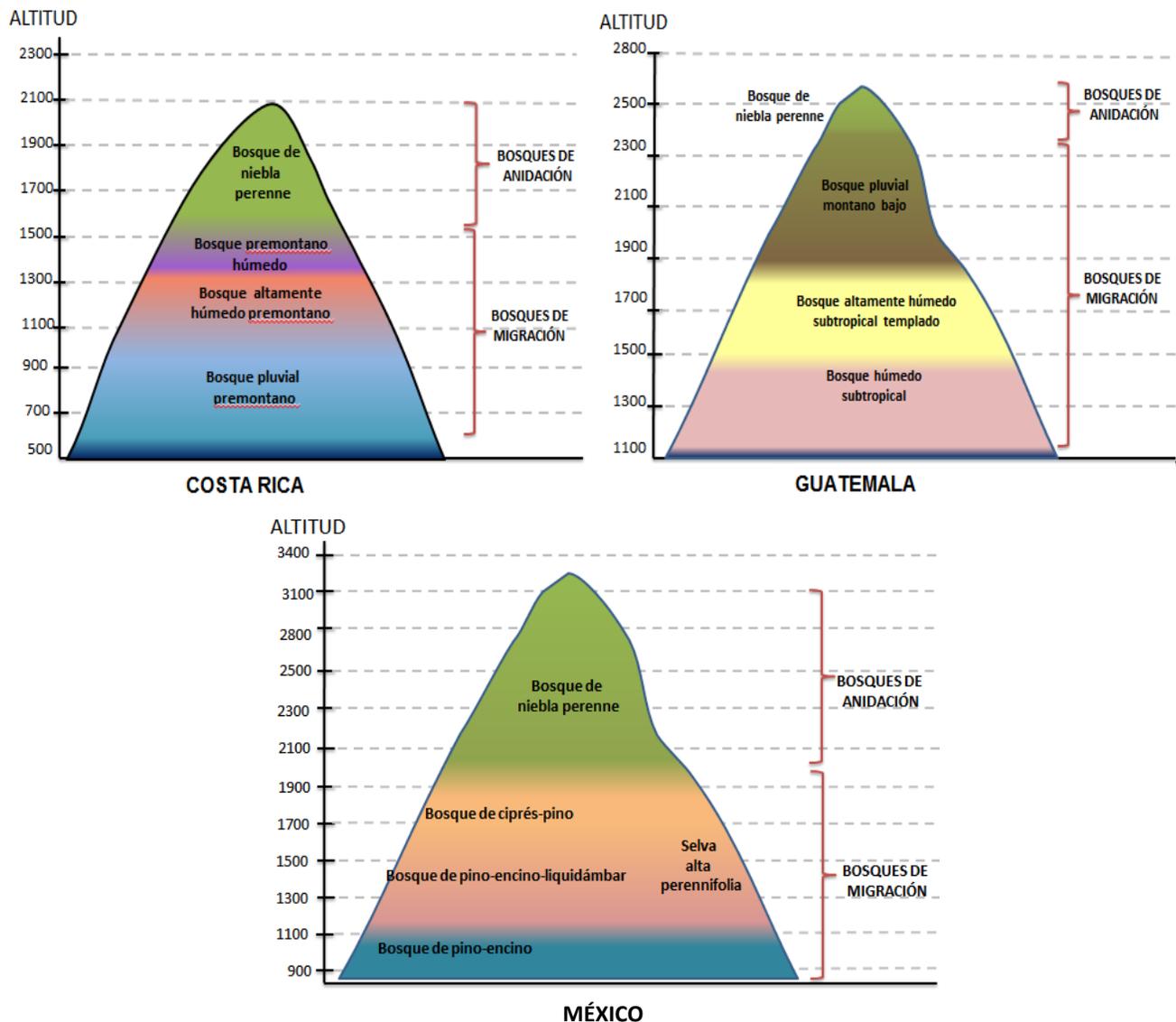


Figura 3. Tipos de vegetación habitados durante la migración en un gradiente altitudinal para *Pharomachrus costaricensis* en Costa Rica (Powell y Bjork, 1994) y *Pharomachrus mocinno* para Guatemala (Paiz, 1996) y México (Solórzano, 1995). Para Costa Rica y Guatemala se utilizó la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987) y para México la clasificación de Rzedowski (1978); los Bosques de Niebla son los bosques habitados durante de la anidación del quetzal (Powell y Bjork 1994; Solórzano, 1995; Paiz, 1996).

A partir del estudio que realizó Wheelwright (1983), Solórzano *et al.* (2000) estudiaron su dieta en la Reserva de la Biosfera El Triunfo para describir la relación entre la abundancia de frutos de la familia Lauraceae y la del quetzal. Estos autores encontraron una correlación significativa con el número total de especies que fructificaron pero no con la abundancia de frutos de la familia Lauraceae; por lo que no apoyó la propuesta de Wheelwright (1983).

1.3 Aplicación de los sistemas de información geográfica a la conservación biológica.

Desafortunadamente las poblaciones del quetzal en México han declinado en su área de distribución, especialmente en los últimos 40 años a consecuencia de la sobreexplotación, fragmentación y destrucción de su hábitat. Una situación similar se observó en Nicaragua, El Salvador y en algunos bosques de Guatemala y Honduras (Solórzano *et al.*, 2003).

Una alternativa para contribuir a la conservación de las especies vulnerables es la generación de bases de datos con información geográfica, lo cual permite predecir la distribución espacial potencial de las especies. Los sistemas de información geográfica (SIG) son una herramienta tecnológica cuyo objetivo principal es servir de apoyo en la toma de decisiones espaciales para el manejo y conservación de recursos naturales (Brambilla *et al.*, 2009; Sample, 1994). Una de las aplicaciones múltiples es que permite generar mapas, mostrando la distribución espacial de las especies lo que puede facilitar su conservación, incremento o restauración de los hábitats (Brambilla *et al.*, 2009).

Uno de los aspectos más importantes asociados a la extinción de las especies es la pérdida del hábitat en el cual se pueden mantener sus poblaciones (Baena y Halfter, 2008). Un ejemplo de la pérdida de cobertura forestal es el estudio de Cayuela *et al.* (2006) quienes analizaron la tasa de deforestación y los patrones de fragmentación de los Bosques Tropicales de Montaña en los Altos de Chiapas a partir de imágenes de satélite para los años 1975-2000. Los resultados mostraron una tasa de deforestación anual de 1.3 y 4.8% para los periodos 1975-1990 y 1990-2000 respectivamente; en este lapso se incrementó el número de fragmentos (3520 a 10542) y disminuyó el tamaño de parche (65 - 8.7 ha) perdiendo cerca del 50% de la cobertura vegetal para esta región.

En el caso particular de los quetzales, Lira y Soberón (2008) con base al método de modelación de nichos ecológicos que utilizaron Peterson *et al.* (2007) estimaron la pérdida del hábitat primario a escala biogeográfica ($> 10^5 \text{ km}^2$) de diez especies. Una de las especies fue *P. mocinno* para la cual se calculó que existió una pérdida del área de distribución promedio de 73.3 km^2 anuales de Bosques Mesófilos de Montaña entre los años 1900 a 2000. Un estudio más preciso sobre los bosques de anidación del quetzal es el de Solórzano *et al.* (2003); en donde se evaluaron los impactos ante los cambios de cobertura de Bosques de Niebla Perennes sobre la distribución de *P. mocinno* en cuatro regiones montañosas en Chiapas, a partir de imágenes de satélite de 1970 y 2000. Este estudio identificó 39 sitios de reproducción en la década de 1970 ocupando una cobertura de 973 km^2 y para el año 2000 solo permanecieron 11 de estos sitios, con un área de 312 km^2 ; es decir que se perdió alrededor del 67% de los hábitats de anidación del quetzal.

El quetzal es una especie importante ecológicamente pues es un dispersor de semillas, principalmente de frutos de la familia Laurácea (Paiz, 1996). Asimismo tiene una importancia cultural, pues es un ave que actualmente es el símbolo nacional de Guatemala y se consideró sagrada por los pueblos precolombinos (Solórzano, 2010).

A pesar de la importancia ecológica y cultural, en México sólo se ha evaluado la distribución de los bosques de anidación, los cuales están amenazados por el cambio de uso de suelo (Solórzano *et al.*, 2003). La conservación del quetzal depende principalmente del conocimiento de la distribución, las características y la disposición espacial de su hábitat. Por ser el quetzal una especie migratoria altitudinal es necesario conocer la distribución de los bosques que habita esta ave a lo largo de su ciclo reproductivo. El presente estudio es una contribución al conocimiento de la distribución y cobertura de los hábitats de migración del quetzal (*Pharomachrus mocinno*).

1. OBJETIVOS.

- Determinar la distribución de los sitios de migración del quetzal (*Pharomachrus mocinno*), con la finalidad de contribuir al conocimiento sobre el estado de la conservación de estos hábitats en Chiapas, México.
- Estimar la cobertura de los distintos tipos de vegetación usados durante la migración del quetzal en las regiones fisiográficas de la Altiplanicie de Chiapas, Montañas del Este, Montañas del Norte y Sierra Madre de Chiapas para conocer los tipos de vegetación preferenciales de esta ave

3. Métodos.

3.1. Área de estudio.

Este estudio se desarrolló en el estado de Chiapas que se encuentra ubicado al sureste de México; geográficamente se localiza entre los 17° 59' y 14° 32' latitud norte y 90° 22' y 94° 14' longitud oeste (INEGI. 2009). En particular en cuatro de las siete regiones fisiográficas reconocidas por Müllerried (1957) para Chiapas: Altiplanicie de Chiapas, Montañas del Este o del Oriente, Montañas del Norte y Sierra Madre (Figura 4).

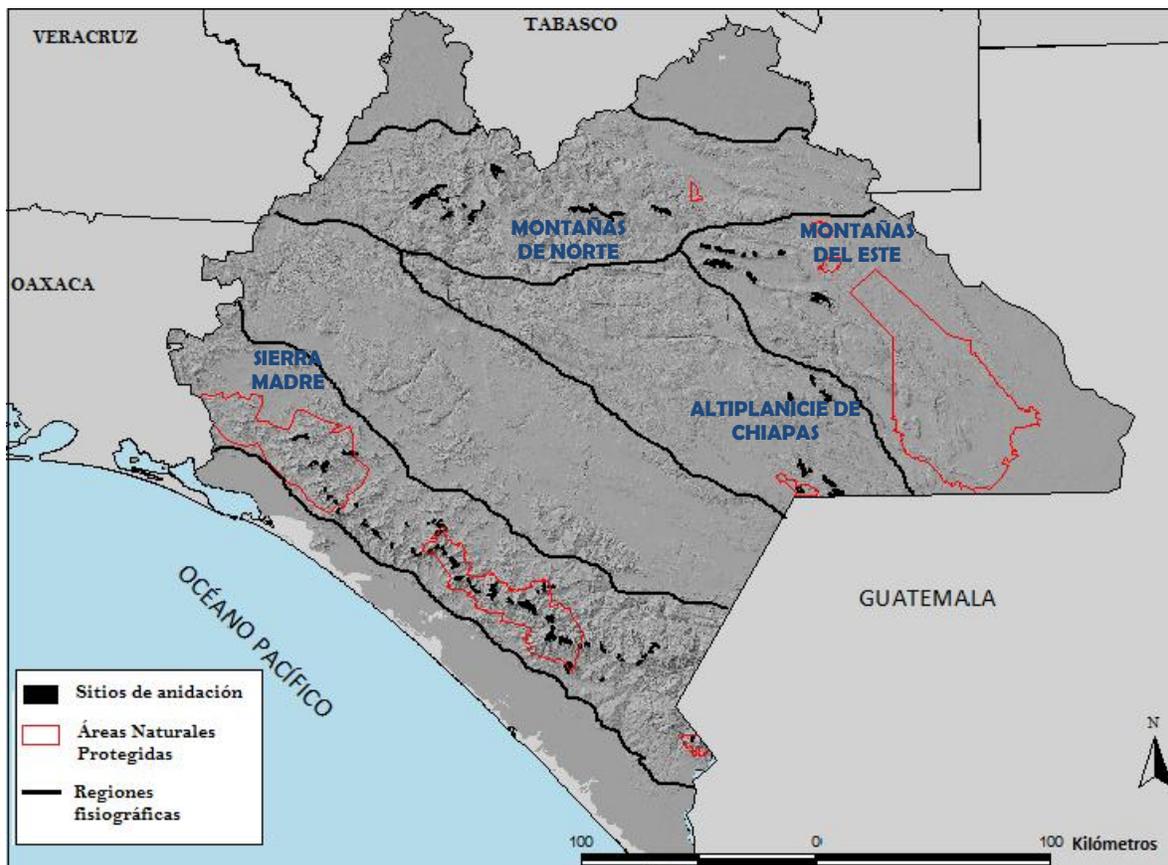


Figura 4. Áreas de estudio, donde se destacan las regiones fisiográficas Altiplanicie de Chiapas, Montañas del Este, Montañas del Norte y Sierra Madre de Chiapas (modificado de Müllerried, 1957). Los polígonos negros representan los bosques de anidación documentados hasta el año 2000 por Solórzano *et al.* (2003).

3.2. Trabajo en campo.

Se visitaron de diciembre de 2009 a abril de 2010 los bosques de anidación del quetzal documentados por Solórzano *et al.* (2003) para ubicar a los bosques de migración. Durante las visitas a los bosques de migración se registraron coordenadas geográficas con ayuda de sistema de posicionamiento global (GPS). Se anotó también la altitud, el tipo de vegetación y las observaciones de la calidad del bosque. Para este último rubro se hizo referencia a aquellos bosques con alteraciones naturales o antropogénicos que en el sotobosque o en los bordes de los caminos presentaron especies de rápido crecimiento como arboles jóvenes y arbustos o que ha sido remplazado bajo un cultivo de sombra natural.

3.3. Evaluación de la distribución de los hábitats de migración del quetzal.

En el proceso de delimitación de los hábitats de migración se emplearon imágenes de satélite pancromáticas y multiespectrales SPOT5 del 2008 y 2009, se trabajó con compuestos de color que incluían las bandas infrarroja, roja y verde. Se utilizó como información auxiliar el mapa de los bosques de anidación de Solórzano *et al.* (2003), los registros georeferenciados de quetzales de Solórzano (2003) y los registros de campo de este estudio. Posteriormente se siguieron los siguientes criterios biológicos de la migración con base en los estudios de telemetría de Powell & Bjork (1994), Solórzano (1995) y Paiz (1996).

- 1) Las áreas de vegetación localizadas hasta 56 km de distancia a partir de los sitios de anidación se seleccionaron, porque fue la distancia máxima recorrida por los quetzales (Solórzano, 2003, Paiz, 1996).
- 2) Con apoyo del modelo digital de elevaciones tamaño de pixel de 30 m (INEGI, 2000, 2002, 2004, 2006), se seleccionaron aquellas áreas boscosas con una elevación entre los 900 y los 1790 msnm (Ávila y Hernández, 1990; Solórzano, 1995). Sin embargo, los bosques de anidación reproducidos de Solórzano *et al.* (2003) alcanzan altitudes hasta los 3100 msnm al sur de la Sierra Madre (Volcán Tacaná) y en las Montañas del Este a los 2100 msnm, por lo que los sitios de migración para estas regiones se encontraron a altitudes mayores.
- 3) A partir de la interpretación de las imágenes de satélite se precisaron los límites de las áreas con vegetación boscosa, gracias a las diferencias visuales como el color, la textura, forma y patrón de distribución.
- 4) Para nombrar a los bosques de migración se seleccionaron aquellos tipos de vegetación documentados, para esto se consideró la carta de tipos de vegetación y usos de suelo de INEGI (serie III). También durante la fotointerpretación se utilizó la base de datos del censo cafetalero del estado de Chiapas con la finalidad de descartar las áreas identificadas como cafetales.
- 5) Con la carta de Áreas Naturales Protegidas se proyectaron sus polígonos para distinguir las diferencias entre los bosques bajo alguna categoría de conservación y saber si presentaban diferencias en la cobertura vegetal fuera de estas áreas.

- 6) También se consideraron las coordenadas geográficas que se registraron de los sitios de migración en tres de las cuatro regiones fisiográficas: En la Sierra Madre de Chiapas las tres Reservas de la Biosfera El Triunfo, La Sepultura y El Tacaná; en la Altiplanicie de Chiapas el Parque Nacional Lagos de Montebello y en las Montañas del Norte de la Reserva Forestal *Tzama Cun Pümy*.

Los análisis de SIG se realizaron con ArcView versión 3.2 y sus extensiones *Geoprocessing, Graticules and Measured Grid, Image Analysis, JPEG Image Support, Spatial Analyst, XTools* (Environmental System Research Institute, 1996). Para el área de los sitios de migración se estimó y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) (Duran *et al.*, 2004) para comparar las diferencias de la cobertura dentro de cada región fisiográfica.

3.4. Estimación de los tipos de vegetación en los hábitats de migración del quetzal.

Una vez que se digitalizaron los polígonos correspondientes a los bosques de migración, se empleó la carta de tipos de vegetación y uso de suelo de INEGI (serie III) para estimar el tipo de vegetación en cada polígono. Usando las facilidades del SIG se realizó una sobreposición de ambas bases geográficas. Se consideraron los tipos de vegetación que se han documentado durante la migración como el Bosque de Pino, Bosque de Encino, Bosque de Pino-Encino y Selva Alta Perennifolia (Solórzano, 1995).

El sistema de clasificación de Breedlove (1981) se consideró por ser el más preciso para describir el hábitat del quetzal. Con el fin de adaptar la carta temática de usos del suelo y tipos de vegetación de INEGI al sistema de clasificación de Breedlove se diseñó un diagrama de cada región fisiográfica para identificar la vegetación presente cada 300 msnm. Los diagramas fueron basados en el que realizó Solórzano (1995) para la Sierra Madre de Chiapas (figura5).

En la Sierra Madre de Chiapas, los tipos de vegetación en las elevaciones bajas son el Bosque Tropical Caducifolio y Bosque Tropical Lluvioso de Montaña; al norte, en las elevaciones altas y medias se encuentran el Bosque de Pino-Encino y Bosque de Niebla Perenne y hacia el sur es común encontrar Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar*. Cabe señalar que gran parte de los bosques fueron destruidos o remplazados por plantaciones de café (Breedlove, 1981).

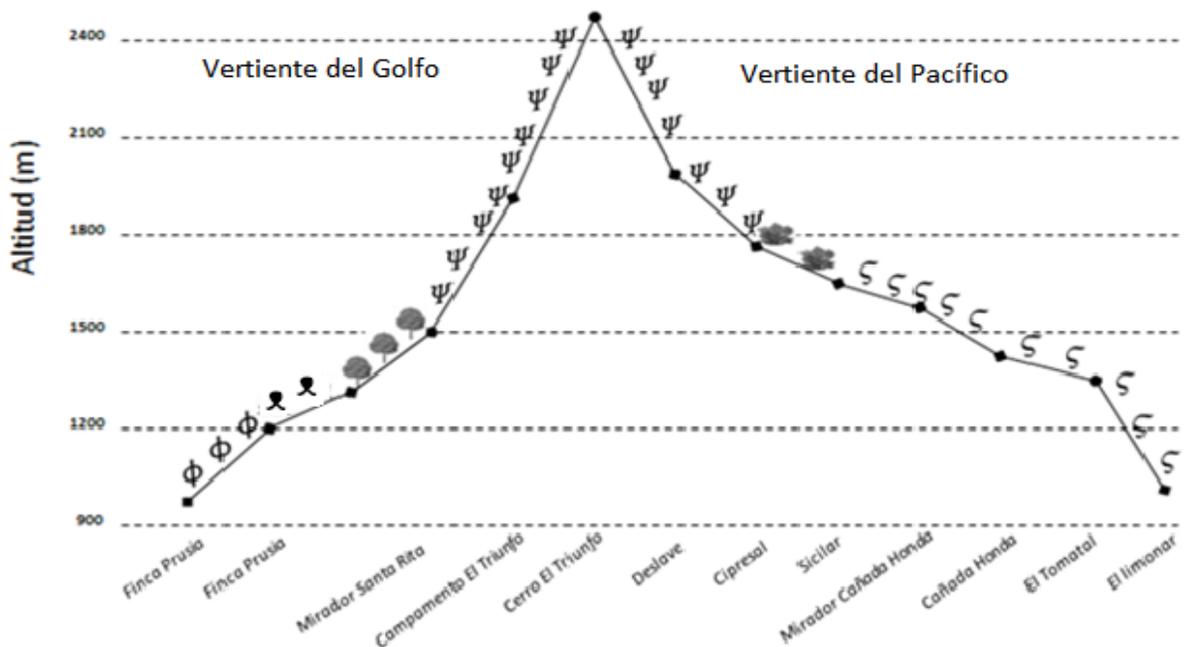


Figura 5. Tipos de vegetación en un gradiente altitudinal que se presentan en localidades de la Reserva de la Biosfera El Triunfo (modificado de Solórzano, 1995). Cafetal (Φ), vegetación boscosa perturbada ($?$), Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar* ($!$), Bosque de Niebla Perenne (Ψ), Bosque de Ciprés-Pino (Σ) y Bosque Tropical Lluvioso de Montaña (Σ).

Para las Montañas del Norte y las Montañas del Este la distribución de la vegetación es similar (Breedlove, 1981) (figura 6). No obstante, en las Montañas del Este la vegetación más común es el Bosque Tropical Lluvioso de Montaña, aunque existen parches pequeños de Sabana, Bosque de Palma y Bosque de Niebla Perenne (Breedlove, 1981). En las partes más altas de las Montañas del Norte es común el Bosque de Niebla Perenne y en las áreas más bajas y templadas se encuentra el Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar* y Bosque de Pino-Encino (Breedlove, 1981).

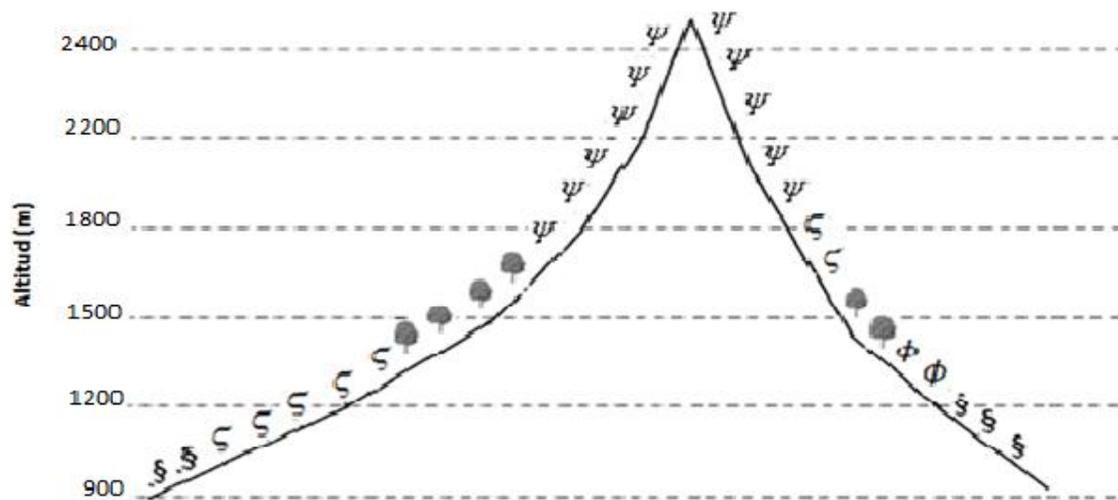


Figura 6. Representación de los tipos de vegetación por gradiente altitudinal de las Montañas del Este y las Montañas del Norte. Bosque de Pino-Encino (S), Bosque Tropical Lluvioso de Montaña (Ϛ), Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar* (⊙), Bosque de Niebla Perenne (ψ) y Cafetal (Φ).

En la Altiplanicie de Chiapas los sitios de anidación se encuentran a una altitud variable entre los 1000 y los 1800 msnm (Solórzano *et al.*, 2003). La comunidad vegetal más representada es el Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar*, Bosque de Pino-Encino y Bosque Tropical Caducifolio y en los picos más altos el Bosque de Niebla Perenne (Breedlove, 1981) (figura7).

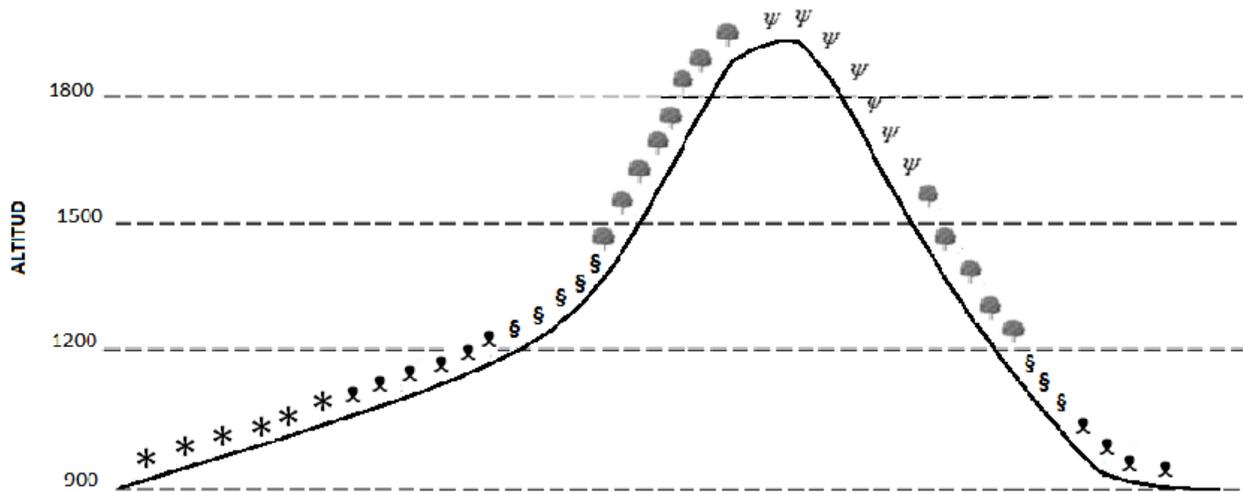


Figura 7. Representación de los tipos de vegetación de la Altiplanicie de Chiapas. Cultivos agrícolas (*), vegetación boscosa secundaria (☺), Bosque de Pino-Encino (♌), Bosque de Pino-Encino-Liquidambar (♎) y Bosque de Niebla Perenne (♏).

4. RESULTADOS.

4.1. Distribución y cobertura vegetal de los bosques de migración del quetzal.

En las imágenes de satélite se identificaron 340 polígonos que se clasificaron como bosques de migración del quetzal que se distribuyeron en la Altiplanicie de Chiapas, Montañas del Este, Montañas del Norte y Sierra Madre de Chiapas. Estos polígonos sumaron una cobertura total de 646.5 km². Las diferencias entre las cuatro regiones fisiográficas con respecto al área de los bosques de migración fueron significativas ($F= 4.09$ $P<0.05$); la mayor cobertura estuvo en la Sierra Madre ya que para esta zona se contabilizó el 74.7% de los sitios de migración en comparación con el 25.3% de las regiones restantes. Se estimaron cinco tipos de vegetación que utiliza el quetzal durante la migración en Chiapas: Bosque de Encino, Bosques de Pino, Bosque de Pino-Encino, Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar* y Bosque Tropical Lluvioso de Montaña.

En la Altiplanicie de Chiapas se estimó la menor cobertura de sitios de migración con 21.9 km² distribuidos en 25 polígonos y se encontraron en un gradiente altitudinal entre los 1340 a los 1650 msnm aunque hay regiones en donde se alcanzan los 1740 msnm (figura 8). Estos bosques presentaron tamaños variables que oscilaron entre 0.02 a 15.1 km². El polígono de mayor extensión se encontró dentro del Parque Nacional Lagunas de Montebello, fuera de esta Área Natural Protegida se presentaron bosques fragmentados con áreas menores a 1 km². Los principales tipos de vegetación que se

encontraron en la Altiplanicie de Chiapas fueron Bosques de Pino-Encino-*Liquidambar* y Bosques de Pino-Encino (cuadro 2).

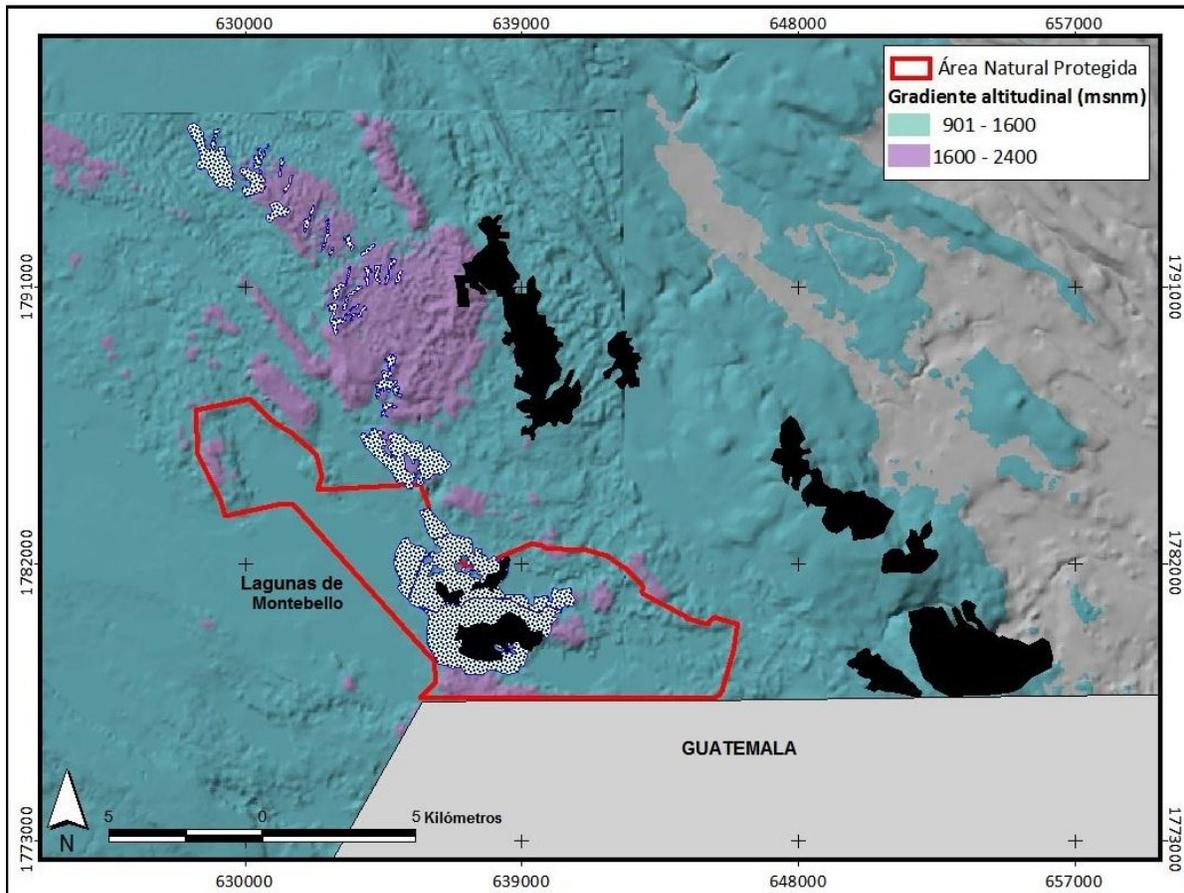


Figura 8. Distribución de los bosques de migración y anidación del quetzal en la Altiplanicie de Chiapas. Los polígonos punteados representan los bosques de migración y los polígonos negros los bosques de anidación, estos últimos reproducidos de Solórzano *et al.* (2003).

Cuadro 2. Tipos de vegetación utilizados durante la migración en la Altiplanicie de Chiapas.

VEGETACIÓN	EXTENSIÓN (km ²)
Bosque de Pino (perturbado)	2.8
Bosque de Pino-Encino	0.1
Bosque de Pino-Encino (perturbado)	5.6
Bosque de Pino-Encino- <i>Liquidambar</i>	6.9
Bosque de Pino-Encino- <i>Liquidambar</i> (perturbado)	6.3
Total	21.95

Para las Montañas del Este se estimó una cobertura de 89.3 km² de bosques de migración distribuidos en 48 polígonos y se localizaron en un gradiente altitudinal entre los 700 y 1800 msnm (figura 9). El tamaño de los bosques fue variable desde 0.07 a 37.5 km², mediante la fotointerpretación se identificó que estos bosques se encontraron fuertemente fragmentados identificando que 33 de ellos mostraron una cobertura menor a 1 km². La vegetación predominante en esta región fue Bosque de Pino-Encino y Bosque Tropical Lluvioso de Montaña (cuadro 3).

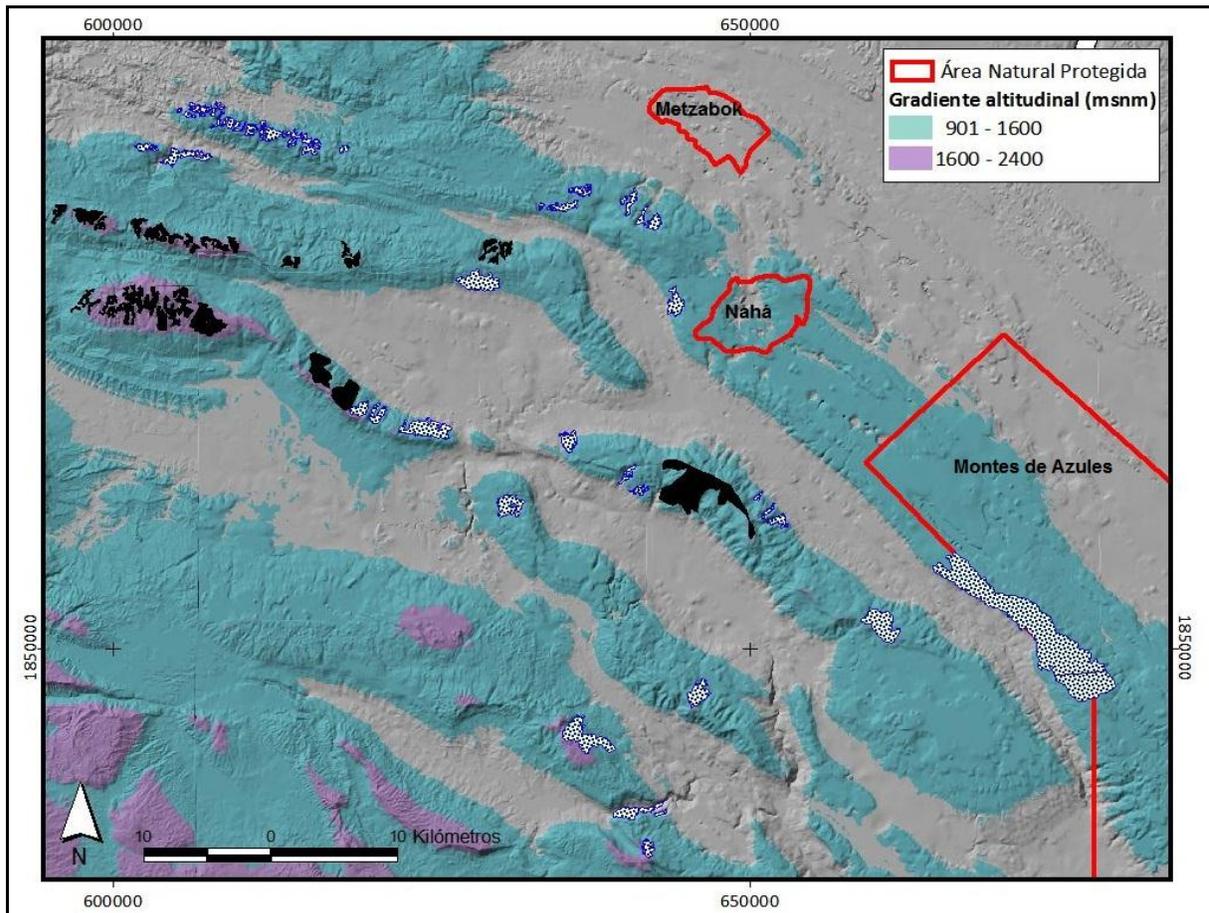


Figura 9. Distribución de los bosques de migración y anidación del quetzal en las Montañas del Este, Chiapas. Los polígonos punteados representan los bosques de migración y los polígonos negros los bosques de anidación. Los bosques de anidación reproducidos de Solórzano *et al.* 2003).

Cuadro 3. Tipos de vegetación utilizados durante la migración en las Montañas del Este, Chiapas.

VEGETACIÓN	EXTENSIÓN (km²)
Bosque de Pino-Encino	27.9
Bosque de Pino-Encino (perturbado)	2.8
Bosque de Pino-Encino- <i>Liquidambar</i>	15.1
Bosque de Pino-Encino- <i>Liquidambar</i> (perturbado)	3.1
Bosque Tropical Lluvioso de Montaña	30.5
Bosque Tropical Lluvioso de Montaña (perturbado)	9.8
Total	89.32

En las Montañas del Norte se estimó una cobertura de 47.8 km² distribuidos en 58 polígonos de bosques de migración localizados en una cota altitudinal entre los 760 a los 1750 msnm (figura 10). Estos bosques presentaron tamaños desde 0.05 a 12 km². Sin embargo, se encontró que 52 parches de bosques presentaron una superficie menor a un 1 km². El tipo de vegetación para esta región fisiográfica fue principalmente Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar* y Bosque de Pino-Encino (cuadro 4).

Cuadro 4. Tipos de vegetación utilizados durante la migración en las Montañas del Norte, Chiapas.

VEGETACIÓN	EXTENSIÓN (km²)
Bosque de Pino (perturbado)	0.06
Bosque de Pino-Encino	18.9
Bosque de Pino-Encino (perturbado)	2.7
Bosque de Pino-Encino- <i>Liquidambar</i>	19.02
Bosque de Pino-Encino- <i>Liquidambar</i> (perturbado)	6.6
Bosque Tropical Lluvioso de Montaña (perturbado)	0.4
Total	47.78

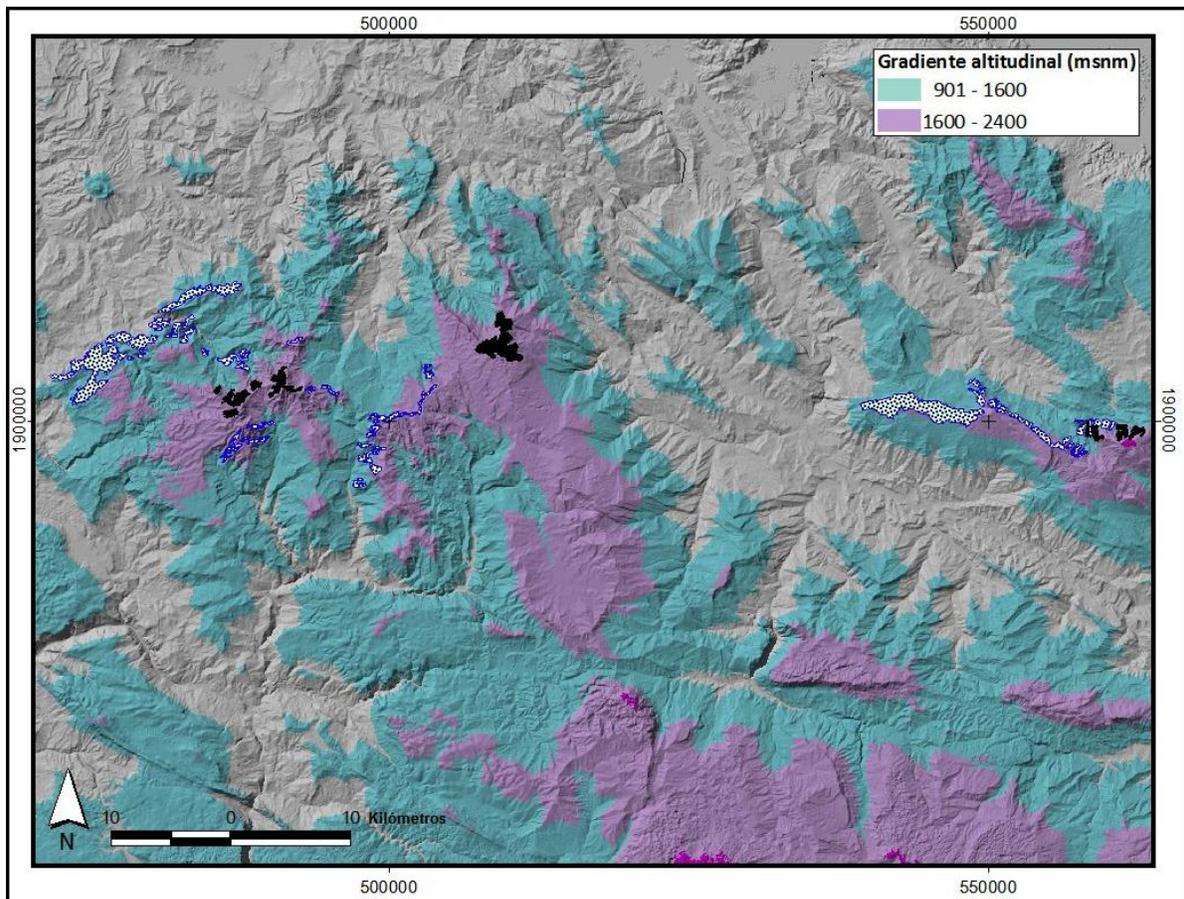


Figura 10. Distribución de los bosques de migración y anidación del quetzal en las Montañas del Norte, Chiapas. Los polígonos punteados representan los bosques de migración y los polígonos negros los bosques de anidación. Los bosques de anidación reproducidos de Solórzano *et al.* (2003).

La Sierra Madre fue la región fisiográfica con la mayor extensión de bosques de migración, se estimó una cobertura de 487.5 km² distribuidos en 209 polígonos, estos bosques se localizaron en una cota altitudinal de los 800 a los 2400 msnm y presentaron tamaños desde 0.08 a 19.5 km². En esta región se encuentran tres Reservas de la Biosfera. Al norte de la Sierra se localiza La Reserva de la Biosfera La Sepultura (figura 11, A). En el centro de esta región se encuentra la Reserva de la Biosfera El Triunfo (figura 11, B), en esta zona se encontró el mayor número de bosques de migración.

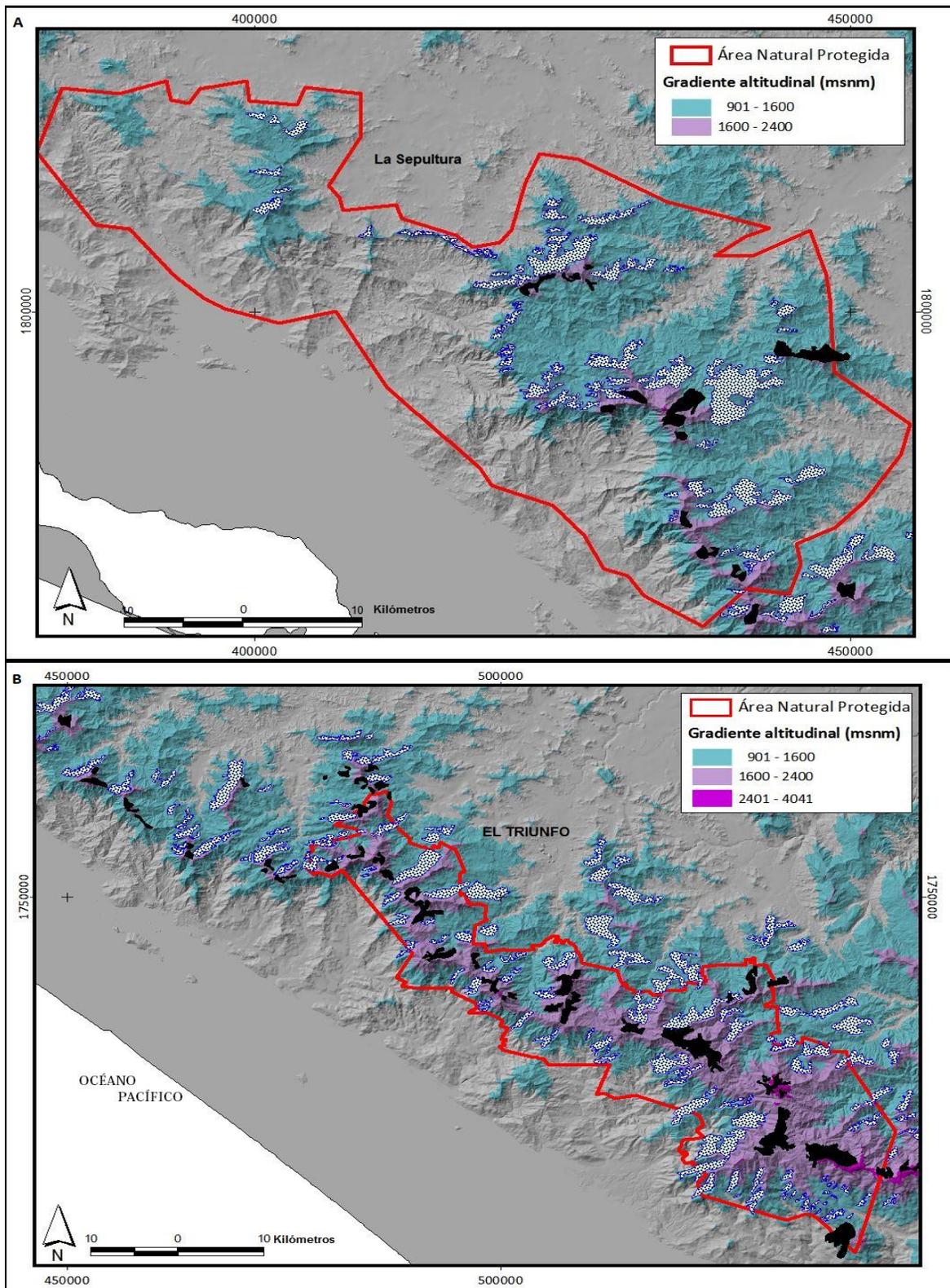


Figura 11. Distribución de los bosques de migración y anidación del quetzal en la Reserva de la Biosfera La Sepultura al norte de la Sierra Madre (A) y la Reserva de la Biosfera El Triunfo en el centro (B). Los polígonos punteados representan los bosques de migración y los polígonos negros los bosques de anidación. Los bosques de anidación reproducidos de Solórzano *et al.* (2003).

Al sur de la Sierra se localiza la Reserva de la Biosfera El Tacaná, los sitios de migración en esta zona fueron identificados a una cota altitudinal entre los 1200 y los 2400 msnm (figura 12), esto debido a que los sitios de anidación se registraron a altitudes entre los 2400 y los 3100 msnm (Solórzano *et al.*, 2003).

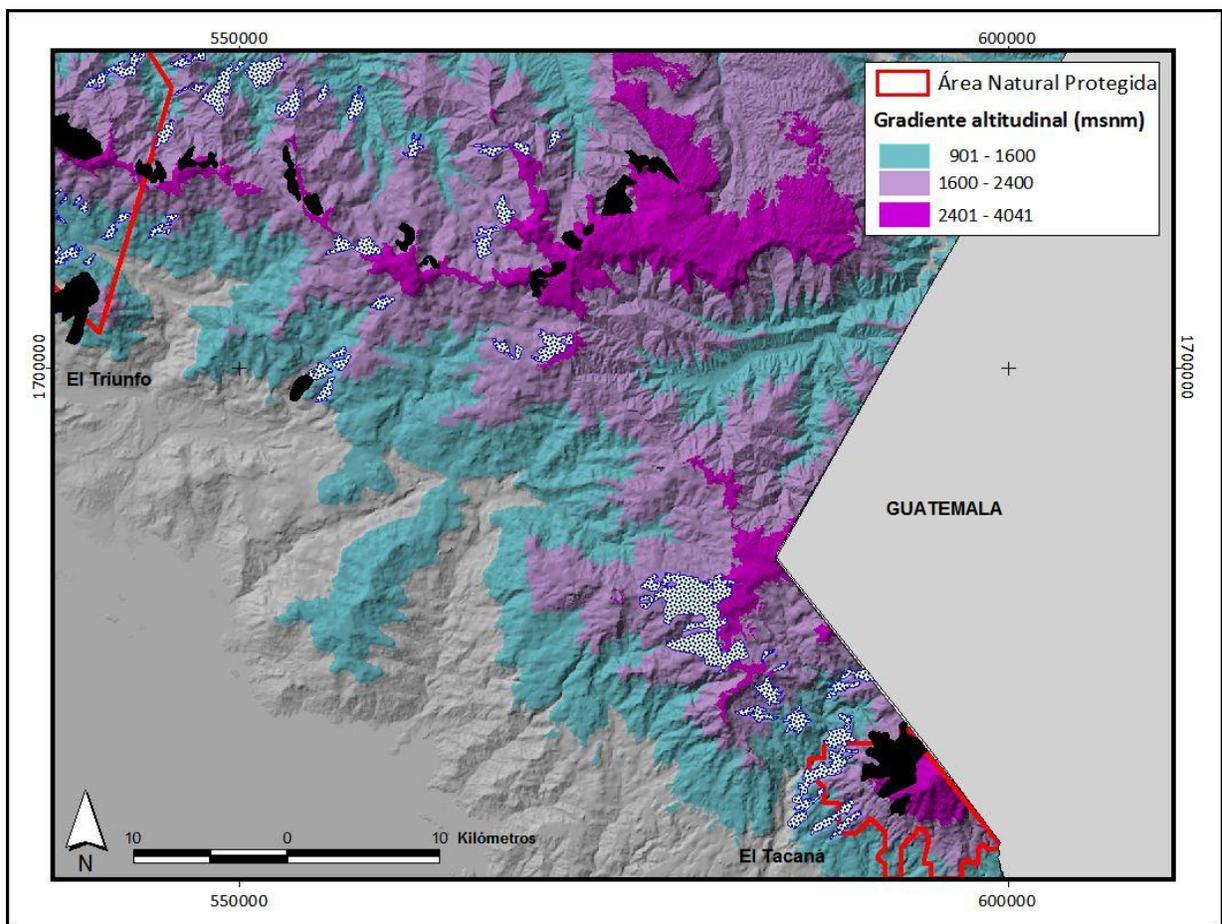


Figura 12. Distribución de los bosques de migración y anidación del quetzal en La Reserva de la Biosfera El Tacaná al sur de la Sierra Madre, Chiapas. Los polígonos punteados representan los bosques de migración y los polígonos negros los bosques de anidación. Los bosques de anidación reproducidos de Solórzano *et al.* (2003).

La distribución de la vegetación en la Sierra Madre es muy similar a lo largo de toda esta región fisiográfica. Los tipos de vegetación principales que conformaron los bosques de migración son representados por Bosques de Pino-Encino-*Liquidambar* en la vertiente del golfo y por Bosques Tropicales Lluviosos de Montaña en la vertiente del pacífico (cuadro 5).

Cuadro 5. Tipos de vegetación utilizados durante la migración en la Sierra Madre de Chiapas.

VEGETACIÓN	EXTENSIÓN (km²)
Bosque de Encino	2.3
Bosque de Encino (perturbado)	0.01
Bosque de Pino	68.03
Bosque de Pino (perturbado)	15.9
Bosque de Pino-Encino	48.05
Bosque de Pino-Encino (perturbado)	19.7
Bosque de Pino-Encino- <i>Liquidambar</i>	220.8
Bosque de Pino-Encino- <i>Liquidambar</i> (perturbado)	30.7
Bosque Tropical Lluvioso de Montaña	71.9
Bosque Tropical Lluvioso de Montaña (perturbado)	9.9
Total	487.5

5. DISCUSIÓN.

El tamaño relativamente pequeño de los parches es un indicador del alto nivel de fragmentación que presentan la mayoría de los bosques de migración del quetzal. Las causas de la pérdida de hábitats son de diferente naturaleza. En la Altiplanicie de Chiapas, se registró que las principales amenazas para los bosques son extracción de madera, introducción de especies exóticas, desarrollo urbano, turismo y agricultura (Arizmendi y Márquez, 2000). Específicamente uno de los disturbios que afectó aproximadamente 50% de la superficie del Parque Nacional Lagunas de Montebello fueron los incendios ocurridos en 1998, lo que eliminó la vegetación arbórea al 30% de los bosques existentes (CONANP, 2006). De hecho, durante las observaciones de campo para esta tesis en el año 2009 la vegetación se encontró en estado de sucesión debido a los incendios forestales. Por otra parte, en una franja periférica de cinco kilómetros fuera del Parque Lagunas de Montebello la transformación o afectación de los tipos de vegetación natural fue casi del doble que en el interior (March y Flamenco, 1996). Estas evaluaciones coinciden con los resultados obtenidos en este trabajo para la Altiplanicie de Chiapas, ya que 14.8 km² (67.8%) de la cobertura vegetal se estimó como vegetación perturbada y la fragmentación de los bosques de migración fue más evidente fuera del Parque Nacional Lagunas de Montebello.

Para las Montañas del Este en el año 2000 Solórzano *et al.* (2003) consideraron la presencia potencial de quetzales, pero por conflictos en la zona no se pudo corroborar su presencia. Sin embargo, en el 2008 se obtuvieron dos registros de esta ave en el ejido Tzeltal de Zaragoza durante el periodo de anidación y migración (Palacios *et al.*, 2009). A partir de la interpretación de las imágenes de satélite se identificó que los bosques de migración se encuentran fuertemente fragmentados y perturbados a consecuencia del cambio de uso de suelo, los remanentes de estos bosques se observaron rodeados de parcelas de cultivo y asentamientos humanos.

Una situación muy similar se observó en los bosques de migración de las Montañas del Norte, los cerros en donde se localizaron estos bosques (El Calvario, La Danta y La Bandera) en los municipios de Coapilla y Tapalapa, se han aislado entre si debido a áreas de cultivo y ranchos de ganado. Para esta región se consideró que una de las mayores amenazas es la deforestación de los bosques de anidación ya que durante las visitas de campo se observó que los bosques de estos sitios fueron destruidos y sustituidos por la introducción de actividades agropecuarias (figura 13). No obstante, la comunidad en la región de Tapalapa se encontró interesada en la conservación y el manejo de sus recursos naturales, quienes trabajaron para la declaración de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica “*Tzama Cun Pümy*” (SEGOB, 2006). Con estos planes de conservación se espera que se frene la deforestación en los sitios de anidación del quetzal, de no ser así, Solórzano *et al.* (2003) documentaron que en las Montañas del Norte y Este se obtuvieron

las tasas de deforestación anual más altas y que para los próximos 50 años se registrará la extinción total de las poblaciones de esta especie en la parte oriental y norte de Chiapas.



Figura 13. Deforestación de los bosques de anidación del quetzal en el municipio de Tapalapa en la Montañas del Norte, Chiapas. Fotografía tomada de L. Pineda.

La Sierra Madre de Chiapas presentó la mayor cobertura y mayor número de bosques de migración; la razón más evidente de la conservación de estos bosques es la presencia de tres Reservas de la Biosfera, las cuales protegen 250.06 km² (51.29%). La mayor problemática que se presentó en esta región fue la presencia de cultivos de café, esta actividad afectó la continuidad de bosques de migración entre el centro y sur de la Sierra en la región del Tacaná. La deforestación de los bosques para el uso de áreas

cafetaleras se incrementó en las últimas décadas (Blackman *et al.*, 2006). Según cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para el año 2009, Chiapas concentró más de la tercera parte del volumen de la producción cafetalera a nivel nacional con 33.2%, esta actividad es una de las principales fuentes de generación de ingresos para el estado (SAGARPA, 2010). Aunque es inevitable la remoción de esta actividad agrícola, una alternativa que se ha presentado es el café de sombra (Anta, 2006). Si bien, esta actividad agroforestal no beneficia al quetzal, pues el café es una especie introducida a los bosques que habita esta ave favorece el mantenimiento de al menos dos estratos arbóreos de vegetación.

El tamaño mínimo de los bosques donde los quetzales fueron observados durante la etapa de reproducción fue de 7.4 km² (1-2 parejas) (Solórzano, 2003). Si bien no se tienen registros del tamaño mínimo de los bosques de migración, se piensa que éstos podrían ser menores a los de anidación ya que los movimientos altitudinales están asociados a la abundancia de alimento (Wheelwright, 1983; Solórzano *et al.*, 2000). El tamaño mínimo que se obtuvo como bosque de migración fue de 0.2 km², los quetzales podrían utilizar estos parches de bosques de menor tamaño para moverse hacia bosques más grandes con los recursos necesarios durante la migración, ya que se ha registrado que esta ave puede desplazarse a una distancia máxima de 56 km, pero esto no ocurre en un solo vuelo, es decir que se desplazan a través de diferentes bosques de poca o nula perturbación para alcanzar estas distancias (Paiz, 1996).

Por otra parte, la evaluación de la cobertura vegetal muestra que los principales tipos de vegetación utilizados durante la migración fueron Bosques de Encino, Bosques de Pino, Bosques de Pino-Encino, Bosques de Pino-Encino-*Liquidambar* y Bosques Tropicales Lluviosos de Montaña. Es importante destacar que los tipos de vegetación que se encuentran en los bosques de migración para todo el estado de Chiapas fue similar a lo que Solórzano (1995) identificó solamente para el área alrededor de La Reserva de la Biosfera El Triunfo, a lo que se puede decir que esta es un sitio de gran importancia biológica para desarrollo del ciclo reproductivo del quetzal.

Para las Montañas del Este, Altiplanicie de Chiapas y Montañas del Norte los bosques de migración y anidación no se encuentran actualmente bajo alguna categoría de conservación, salvo una pequeña área de influencia en el Parque Nacional Lagos de Montebello y Montes Azules. Para estas regiones fisiográficas la fragmentación, la destrucción y la perturbación de estos bosques han sido más evidentes en comparación con la Sierra Madre. Esto a menudo conduce al incremento de la distancia entre los bosque remanentes, lo que trae como consecuencia la reducción del tamaño poblacional y mayor dificultad para el intercambio de individuos entre las poblaciones aisladas (Brambilla, 2009; Pimm *et al.*, 1988). En condiciones de aislamiento genético y tamaño poblacional pequeño se incrementa las probabilidades de extinción local (Solórzano, 2003).

Ante la acelerada destrucción de estos bosques, una de las acciones prioritarias para poder conservarlos es la protección de las áreas en donde se asegure la sobrevivencia de ésta y otras especies que comparten el mismo hábitat (Arizmendi y Márquez, 2000). Una posible estrategia de conservación ha sido la inclusión de corredores que permitan aumentar la conectividad de los parches aislados, sobre todo en la parte Oriental y Norte del estado de Chiapas.

Un corredor biológico es un continuo de parches de vegetación cercanos, que facilitan el movimiento entre ellos evitando el aislamiento de poblaciones (Merriam, 1988). Clair (1996) señala que la cobertura boscosa no tiene que ser continua para que se den las migraciones. Esta autora registró quetzales en regiones de bosques degradados a orillas de estos o incluso en áreas abiertas y perturbadas por sistemas agroforestales; pero en todos los casos se debe de tomar en cuenta las necesidades básicas del quetzal en los bosques de migración, como son los estratos arbóreos y las fuentes de alimentación.

Se sugiere además realizar una evaluación de la presencia de quetzal en los remanentes de bosque de niebla perennes para la región de las Montañas del Este y la Altiplanicie de Chiapas, sobre todo si estos remanentes reúnen las condiciones necesarias para que los quetzales sobrevivan y se reproduzcan. Esta evaluación también debe incluir los sitios potenciales que funcionan como corredores biológicos usados por los quetzales, sobre todo entre los sitios de migración. De esta forma, se podrán establecer estrategias

de manejo y conservación del hábitat reproductivo y de migración del quetzal en Chiapas. También se recomienda realizar la caracterización de las comunidades vegetales que los quetzales usan como bosques de migración con la finalidad de identificar qué posibles variables ambientales y ecológicas determinan que sean seleccionados como sus hábitats.

Por último, es importante recalcar que al lograr la protección de esta especie a través de la protección de su hábitat, se asegura la conservación de muchas más especies que requieren los mismos recursos. Con la generación de los resultados de este trabajo aunado con la de Solórzano *et al.*, (2003) se estima el hábitat total ocupado por *P. mocinno* en el estado de Chiapas. Se espera que estas investigaciones sean tomadas en cuenta para incluirlas como parte del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas con el fin de preservar y garantizar la supervivencia de esta especie a largo plazo.

6. CONCLUSIONES.

Como conclusiones de esta tesis se puede mencionar que los 340 polígonos identificados como bosques de migración del quetzal presentaron un tamaño relativamente pequeño, que es un indicador del alto nivel de fragmentación que presentan estos bosques. A partir de las observaciones de campo y del análisis de imágenes de satélite se sugiere que la pérdida de estos bosques está asociada a actividades como la extracción de madera, desarrollo urbano, turismo, introducción de ganado y agricultura especialmente al cultivo de café y maíz.

A partir del análisis de las imágenes de satélite y de observaciones en campo mostró que el patrón de distribución de los bosques de migración sobre todo para la Altiplanicie de Chiapas, Montañas del Norte y Montañas del Este que la fragmentación y destrucción ha incrementado las distancias geográficas entre los bosques remanentes lo que podría dificultar el flujo genético entre las poblaciones así como una reducción del tamaño poblacional. La Sierra Madre de Chiapas fue la región fisiográfica con la mayor cobertura y menos grados de fragmentación de los bosques de migración por lo que representa el mayor potencial para la conservación del quetzal. Además de que esta región tiene tres reservas de la biosfera (La Sepultura, El Tacaná y El Triunfo) lo que podría apoyar la conservación de los hábitats de migración. Sin embargo se debe considerar el 48.7% de estos bosques no están incluidos en estas Áreas Naturales

Protegidas, lo que los hace vulnerables a su pérdida o transformación. Se propone que la conservación de los hábitats de migración del quetzal mantenga la conectividad entre las cuatro regiones fisiográficas donde se registra esta ave.

La evaluación de la cobertura vegetal muestra que los principales tipos de vegetación utilizados durante la migración del quetzal fueron Bosque de Pino-Encino, Bosque de Pino-Encino-*Liquidambar* y Bosque Tropical Lluvioso de Montaña que ocupan un gradiente altitudinal que varía de los 700 a los 2400 m. De acuerdo con los datos del censo cafetalero y de las observaciones de campo los bosques que se distribuyen en estas altitudes son frecuentemente vulnerables a la tala.

Por tanto los resultados de esta tesis nos indican que la conservación del quetzal debe incluir tanto los bosques de anidación como los de migración. Si se mantiene una buena cobertura boscosa sobre las regiones fisiográficas y las conexiones, se puede asegurar que los quetzales puedan seguir migrando entre ellas.

LITERATURA CITADA

Aldrich, M., Billington, C., Edwards, M., Laidlaw R., 1997. Tropical montane cloud forest: an urgent priority for conservation. Bulletin N° 2 World Conservation Monitoring Centre. WCMC Biodiversity. Cambridge, Reino Unido. 18 pp.

Anta, S., 2006. El café de sombra: Un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F., 80, 19-31 pp.

Arizmendi, M. C. y L. V. Márquez., 2000. Área de importancia para la conservación de las aves en México. CIPAMEX. México, D.F. 440 pp.

Ávila-Hernández, M. de L. y V.H. Hernández-Obregón, 1990. Contribución al conocimiento de la biología y distribución del quetzal *Pharomachrus mocinno* (Trogonidae: Aves) en la reserva de la Biosfera El Triunfo. Chiapas, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, México, D.F.

Baena, M. L., Halffter, G., 2008. Extinción de especies. En *Capital natural de México*, vol. I: *Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, D.F. 263-282 pp.

Begon, M. J., Colin, R. T., Harper, J. L., 2006. Ecology. From invidious to ecosystem. Blackwell. Reino Unido. 30-58 pp.

Blackma A., Ávalos, J.S., Chow, J., Aguilar, F., 2006. Pérdida de los bosques en las áreas de cultivo del café de sombra en El Salvador. Resources for the future. El Salvador. 86 pp.

Brambilla, M., Casale, F., Bergero, V., Croevetto, G. M., Falco, R., Negri, I., Siccardi, P., Bogliani, G., 2009. GIS-models work well, but are not enough. Habitat preference of *Lanius collurio* at multiple levels and conservation implications. *Biological Conservation* 142, 2033-2042.

Breedlove, D.E., 1981. Flora of Chiapas. Part 1. Introduction to the flora of Chiapas. The California Academic of Sciences Press. San Francisco, California. 35 pp.

Cayuela, L., Rey, J.M.B., Echeverría, C., 2006. Clearance and fragmentation of tropical montane forest in the Highlands of Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management* 226, 208-218.

CONABIO, 2008. Capital Natural de México. Volumen 1. Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 263-303 pp.

CONANP, 2006. Programa de conservación y manejo Parque Nacional Lagunas de Montebello. México, D.F. 191 pp.

Duran D., A. Vargas, E. Cisneros, 2004. Bioestadística. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Edo. Méx. 220 pp

Espinosa de los Monteros, A., 2000. Higher-level phylogeny of trogoniformes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 14, 20-34.

ESRI, 1996. Usando ArcView-GIS 3.2. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, CA.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2000. Carta topográfica (1:50, 000). Cartas D15A29. México. Mapa digital.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2002. Carta topográfica (1:50, 000). Cartas D15A18, D15A19, D15B11, D15B12, D15B22, D15B23, D15B31, D15B32, D15B43. México. Mapa digital.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2004. Carta topográfica (1:50, 000). Cartas E15C49, E15D31, E15D41, E15D42, E15D43, E15D44 E15D51, E15D52, E15D53, E15D54, E15D64, E15D65, E15D74, E15D75, E15D85. México. Mapa digital.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2006. Carta topográfica (1:50, 000). Carta E15C59, E15C87. México. Mapa digital.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2009. Marco geoestadístico estatal de la República Mexicana. México. (mapa digital).

IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.1. <www.iucnredlist.org>

Harrison, J., 1995. Finding the information. Parks 5, 12-19

Krebs, C.J., 2001. Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. Benjamin Cummings. San Francisco, California. 57-60 pp.

LaBastille A., Allen, D. G., Durell, L. W., 1972. Behavior and feather structure of the quetzal. Auk 89, 339-348.

Lira N. A., Soberón J., 2008. Recuadro: Estimación de la pérdida de hábitat primario y extinción de especies. En: Baena, L., Halfter, G. (Eds). *Capital natural de México*, vol. I: *Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO. México, D.F. 266-267 pp.

Long, A., Heath M., 1991. Flora of the Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico: a preliminary floristic inventory and the plant communities of polygon I. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 62, 133–172.

March, I., Flamenco, A., 1996. Evaluación rápida de la deforestación en las áreas naturales protegidas de Chiapas (1970-1993). El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. 67 pp.

Merriam, G. 1988. Landscape dynamics in farmland. *Trends in Ecology and Evolution* 3, 16-20.

Müllerried, F.K.G. 1957. Geología de Chiapas. Cultura Editorial. México, D.F. 180 pp.

Paiz C. M., 1996. Migraciones estacionales del quetzal (*Pharomachrus mocinno* de la Llave) en la región de la Sierra de las Minas, Guatemala y sus implicaciones para la conservación de la especie. Tesis de licenciatura. Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades. Guatemala.

Palacios, P. M.G., Rangel J. L. S., Moguel R. V., 2009. Dos registros recientes del quetzal (*Pharomachrus mocinno*) en las Montañas del Este de Chiapas. *Huitzil. Revista de Ornitología Mexicana* 10, 52-55.

Pimm S. L., Jones H.L., Diamond J., 1988. On the risk of extinction. *American Naturalist* 132, 757-785.

Powell, V. N. G. y Bjork R. D., 1994. Implication of altitudinal migration for conservation strategies to protect tropical biodiversity: a case study of the Quetzal *Pharomachrus mocinno* at Monteverde, Costa Rica. *Bird Conservation International* 4, 161-174.

Powell, V.N. G. y Bjork R. D., 1995. Implications of intratropical migration reserve design: a case study using *Pharomachrus moccino*. *Conservation Biology* 9, 354-362.

Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México, D.F. 432 pp.

Rickelms, R.E., Schluter D., 1993. Species diversity: regional and historical influences. En: Rickelms R.E., Schluter D. (Eds). *Species diversity in Ecological Communities. Historical and Geographical Perspectives*. University of Chicago Press. Chicago. 350-363 pp.

SAGARPA. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. (programa informático).

Sample V.A., 1994. *Remote sensing and GIS in ecosystem management*. Island Press. Washington, D.C.

Sarukhán, J., Soberón J. y Larson-Guerra J., 1996. Biological Conservations in a High Beta-diversity Country. En: Di Castri, F. y T. Younés (Eds.) *Biodiversity Science and Development: Towards a New Partnership*. CAB International.

Secretaria de Gobierno, 2006. Decreto No. 432 por el que se declara área natural protegida, con carácter de zona sujeta a conservación ecológica, el área conocida como "tzama cun pumy". En *Periódico Oficial*. Órgano de difusión oficial del estado libre y soberano de Chiapas.

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010, Norma Oficial Mexicana NOM-059 SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo, en *Diario Oficial de la Federación*, México.

Sibley, C. y Monroe B.L., 1990. Distribution and taxonomy of the birds. A study in molecular evolution. Yale University Press, Michigan. 1011 pp.

Sibley, C. y Ahlquist J.E., 1990. Phylogeny and classification of birds: A study in molecular evolution. Yale University Press, Michigan. 976 pp.

Skutch, A. F., 1944. Life history of the quetzal. Condor 46, 213-235.

Solórzano, L. S., 1995. Fenología de 22 especies arbóreas y su relación con la migración altitudinal del quetzal (*Pharomachrus mocinno mocinno* de la llave 1832) en la Reserva de la Biosfera el Triunfo, Chiapas, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, D.F., México.

Solórzano, S., Castillo S., Valverde T. y Ávila M.L., 2000. Quetzal abundance in relation to fruit availability in a cloud forest in Southeastern Mexico. Biotropica 32, 523-532.

Solórzano, S., Castillo-Santiago M.A., Navarrete-Gutierrez D. A. y Oyama K., 2003. Impacts of the loss of Neotropical Highland forests on the species distribution: a case study using Resplendent Quetzal an endangered bird species. Biological Conservation 114, 341-349.

Solórzano, S., 2003. Genética de la conservación del quetzal (*Pharomachrus mocinno*) e impactos de la pérdida de sus hábitats reproductivos sobre su distribución. Tesis de doctorado. UNAM. D.F., México.

Solórzano, S., Baker A. J. y Okama K., 2004. Conservation priorities for resplendent on analysis of mitochondrial DNA control region sequences. The condor 106, 449-456.

Solórzano, S. y Oyama K., 2010. Morphometric and molecular differentiation between quetzal subspecies of *Pharomachrus mocinno* (Trogoniformes: Trogonidae). *Biotropica* 58, 357-371.

Solórzano, S. 2010. La historia natural del quetzal y sus perspectivas en la conservación. En: F. M. A. Pérez, C.C. Tejada, S.R. Evodia (Eds). *Los bosques mesófilo de Chiapas*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Chiapas, México. 227-268 pp.

Wheelwright, N.T., 1983. Fruits and the ecology of Resplendent Quetzal. *The Auk* 100, 286-301
