



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA
MADERA

FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

TESIS

**“DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL Y BAJO ESCENARIOS CLIMÁTICOS
FUTUROS DE CUATRO ESPECIES DE ENCINOS EN LA CUENCA DE
CUIZEO MICHOACÁN, MÉXICO”**

P R E S E N T A

LUCERO ELIZABETH PIMIENTA RAMÍREZ

Como requisito para obtener el grado de

Maestra en Ciencias y Tecnología de la Madera

(Orientación: Manejo y Conservación de Recursos Maderables)

DIRECTORES DE TESIS

DR. JOSÉ CRUZ DE LEÓN

En Ciencias Forestales

DR. JUAN MANUEL ORTEGA RODRÍGUEZ

En Ciencias Biológicas

Morelia, Michoacán, Mayo-2014



ÍNDICE GENERAL

	Paginas
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO GENERAL.....	2
2.1 Cambio climático.....	2
2.2 Nicho ecológico.....	3
2.3 Modelos de distribución.....	4
2.4 Evidencias del cambio climático.....	5
2.5 Aspectos generales y taxonómicos de los encinos.....	10
2.5.1 Descripción de las especies de estudio.....	11
2.6 Descripción del area de estudio.....	14
3. JUSTIFICACIÓN.....	22
4. OBJETIVO GENERAL.....	22
4.1 Objetivos particulares.....	22
5. PREGUNTAS CENTRALES.....	23
6. HIPOTESIS DE TRABAJO.....	23
7. BIBLIOGRAFÍA.....	24

CAPITULO I

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* EN LA CUENCA DE CUITZEO MICHOACÁN, MÉXICO.

1. INTRODUCCIÓN.....	29
2. OBJETIVO.....	30
3. METODOLOGÍA.....	30
4. RESULTADOS.....	37
5. DISCUSIÓN.....	49
6. CONCLUSIONES.....	53
7. BIBLIOGRAFÍA.....	54

CAPITULO II

POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE CUATRO ESPECIES DE ENCINOS EN LA CUENCA DE CUITZEO

1. INTRODUCCIÓN.....	57
2. OBJETIVO.....	58
3. METODOLOGÍA.....	58
4. RESULTADOS.....	60
5. DISCUSIÓN.....	66
6. CONCLUSIONES.....	69
7. BIBLIOGRAFÍA.....	73

ÍNDICE DE CUADROS

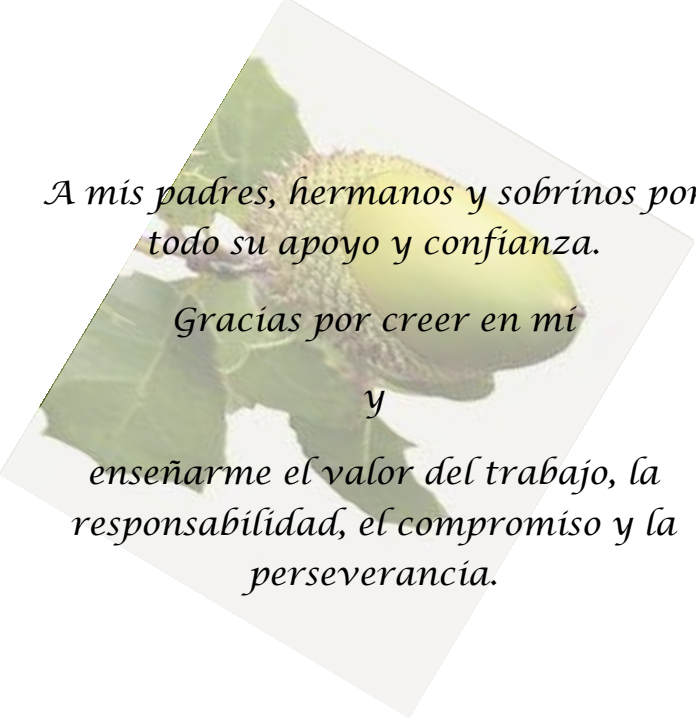
Cuadro. 1 Municipios que conforman la Cuenca de Cuitzeo.....	15
Cuadro. 2 Tipos de suelos que se encuentran en la Cuenca de Cuitzeo.....	18
Cuadro. 3 Aspectos climáticos de la Cuenca de Cuitzeo.....	19
Cuadro. 4 Variables climáticas utilizadas en la modelación de las especies.....	32
Cuadro. 5 Parámetros utilizados para modelar en GARP.....	33
Cuadro. 6 Registros históricos de las especies de estudio.....	37
Cuadro. 7 Registros de campo de las especies de estudio.....	38
Cuadro. 8 Valores de ROC parcial de los modelos.....	39
Cuadro. 9 Análisis de Chi-cuadrada del consenso de los modelos (GARP y MAXENT).....	39
Cuadro. 10 Datos climáticos de las especies de estudio.....	47
Cuadro. 11 Valores de curva ROC parcial de los modelos.....	60
Cuadro. 12 Análisis de Chi-cuadrada del consenso de los modelos (GARP y MAXENT).....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Emisiones anuales mundiales de GEI.....	8
Figura. 2 Emisiones de GEI en México.....	8
Figura. 3 Temperatura observada superficial a escala continental y mundial.....	9
Figura. 4 Variación de temperatura, nivel del mar y nieve en el Hemisferio Norte.....	9
Figura. 5 <i>Quercus castanea</i>	11
Figura. 6 <i>Quercus crassipes</i>	12
Figura. 7 <i>Quercus frutex</i>	13
Figura. 8 <i>Q. glaucoides</i>	14
Figura. 9 Ubicación geográfica de la Cuenca de Cuitzeo.....	16
Figura. 10 Distribución potencial de <i>Quercus castanea</i>	40
Figura. 11 Distribución potencial de <i>Quercus crassipes</i>	41
Figura. 12 Distribución potencial de <i>Quercus frutex</i>	42
Figura. 13 Distribución potencial de <i>Q. glaucoides</i>	43
Figura. 14 Rango altitudinal de las especies de estudio.....	44
Figura. 15 Rango de pendiente de las especies de estudio.....	45
Figura. 16 Orientación de ladera de las especies de estudio.....	46
Figura. 17 Rangos de temperatura y precipitación de las especies de estudio.....	48
Figura. 18 Posibles cambios futuros en el clima de la Cuenca de Cuitzeo.....	61

Figura. 19 Distribución actual y futura de <i>Quercus castanea</i>	62
Figura. 20 Distribución actual y futura de <i>Quercus crassipes</i>	63
Figura. 21 Distribución actual y futura de <i>Quercus frutex</i>	64
Figura. 22 Distribución actual y futura de <i>Quercus glaucoides</i>	65

DEDICATORIA



*A mis padres, hermanos y sobrinos por
todo su apoyo y confianza.*

Gracias por creer en mí

y

*enseñarme el valor del trabajo, la
responsabilidad, el compromiso y la
perseverancia.*

AGRADECIMIENTOS

A la división de estudios del Posgrado, a través del Programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera (FITECMA) de la UMSNH.

A CONACYT por la beca otorgada a partir de marzo 2012 a marzo 2014.

Al Laboratorio de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por proporcionar el material necesario para desarrollar esta investigación.

Mis más sinceros agradecimientos al Dr. Juan Manuel Ortega Rodríguez, por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, por su paciencia y su tiempo, por su asesoría y valiosa ayuda en la realización de esta investigación.

También agradezco al Dr. José Cruz de León, por asesorarme en esta investigación, por sus aportaciones y su valioso tiempo.

Al comité académico que formo parte importante de esta investigación: Dra. María Luisa España Boquera, al Dr. Alfredo Amador García y al DR. Jorge Enrique Ambríz Parra.

A mis compañeros del laboratorio por su valiosa amistad y apoyo: Gerardo Reyes Abrego, Leticia Reyes, Isabel Villicaña, Marisol Jiménez y Mario Suárez.

A mis amigos por siempre apoyarme: Eva, Sandý, Juanita y Jesús Morales.

RESUMEN

Se evaluó la distribución potencial de *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* en la cuenca de Cuitzeo, utilizando modelos de nicho ecológico y variables ambientales de alta resolución. Los modelos predicen áreas con aptitud para *Q. castanea* y *Q. crassipes* de 1,631 km² y 1,958.2 km²; para *Q. frutex* y *Q. glaucoides* las áreas potenciales fueron 742.44 km² y 254.0 km², estas zonas se ubican principalmente en bosque de encino, bosque de pino-encino, matorral subtropical y áreas agrícolas de la cuenca de Cuitzeo. Información que podría orientar el desarrollo de planes de conservación de este recurso forestal. Además, con estas herramientas de nicho ecológico se evaluó el impacto del cambio climático en la distribución potencial futura de dichas especies, utilizando dos escenarios climáticos, el A2 (pesimista) y B1 (optimista), generados por el Modelo de Circulación General Global Canadiense (CGCM3), los cuales fueron proyectados para el año 2030 y 2060. Los resultados obtenidos muestran que en el área de estudio, podría incrementarse la temperatura y disminuir la precipitación, siendo el escenario A2 el más drástico con un aumento de 0.69 °C para el año 2030 y de 1.9 °C para el 2060; la precipitación podría llegar a disminuir entre el 17.1% y 21.1% respectivamente. Bajo estos supuestos la distribución potencial futura de las especies podría verse altamente afectada en los dos escenarios climáticos. Aunque, en el A2 se observaron las mayores reducciones de las áreas potenciales desde el año 2030. Las áreas con aptitud que probablemente podrían ya no ser aptas para las especies, son las de menor altitud donde se distribuyen potencialmente en la actualidad y solo podrían conservarse las zonas de mayor elevación de la cuenca de Cuitzeo. Estos resultados permiten obtener información geográfica y ecológica de las especies estudiadas para su distribución en la actualidad, así como tener una primera visión de los posibles impactos del cambio climático sobre estos encinos locales.

Palabras clave: encinos, modelo de nicho ecológico, cambio climático, GARP y MAXENT.

Abstract

The potential distribution for *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* and *Q. glaucoides* in the Cuitzeo basin was evaluated utilizing ecological niche modeling and environmental variables of high resolution. The models predict areas with aptitude for *Q. castanea* and *Q. crassipes* 1,631 km² and 1,958.2 km²; for *Q. frutex* and *Q. glaucoides* the potential areas were 742.44 km² and 254.0 km², these zones are primarily located in oak forest, pine-oak forest, subtropical thicket and agricultural areas from the basin of Cuitzeo. Information that could guide the development of plans for conservation of this forest resource. As well, using these tools of ecologic niche the impact of climatic change was also evaluated in the potential future distribution of said species utilizing two climatic scenarios, A2 (pessimist) and B1 (optimist) generated by the Canadian Global General Circulation CGCM3, which were projected for the year 2030 and 2060. The obtained results showed that in the study area, the temperature could increase and precipitation decrease, A2 being the most tragic scenario with an increase of 0.69 °C for the year of 2030 and an increase of 1.9 °C for 2060; the precipitation could come to decrease between a 17.1% and 21.1% respectively. Under these assumptions, the potential future distribution of the species could become highly affected with either climatic scenarios, although a greater reduction of the potential areas was observed in A2. The fitness areas that could probably not be suitable for species could be lost are the ones with less altitude in which they potentially distribute in actuality and would only be able to be preserved in higher elevation zones in the Cuitzeo basin. These results permit us to obtain geographic and ecological information of the studied species for their distribution in the present, and have a first glimpse of the potential impacts of climate change in these local oaks.

Key Word: oaks, ecological niche modeling, climatic change, GARP and MAXENT.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El acelerado cambio climático que se ha registrado durante los últimos años a nivel mundial, representa una amenaza significativa para la biodiversidad; se ha reportado pérdida de hábitat, pérdida de la cobertura vegetal, así como numerosas transformaciones en la distribución y abundancia de especies y en las interacciones ecológicas (Ackerly 2010; Molen *et al.*, 2011; Luna *et al.*, 2012). Se han realizado diversos trabajos con el objetivo de documentar el posible impacto del cambio climático en las plantas; por ejemplo se han estudiado las modificaciones en la distribución geográfica, declive en algunas especies del genero *Pinus*, la proliferación de plagas etc. (Candau y Fleming 2005; Gómez 2007; Berg *et al.*, 2006; Sáenz *et al.*, 2012; Rehfeldt *et al.*, 2012). Sin embargo, todavía falta mucho por investigar, en particular en aquellos grupos de interés comercial. Ante la importancia de este problema, es claro que los esfuerzos se deben encaminar hacia la implementación de estrategias y la generación de conocimiento para la protección de la biodiversidad (Molen *et al.*, 2011; Hsu *et al.*, 2012;). Recientemente, se han desarrollado un conjunto de metodologías conocidos como modelos de distribución de especies, que se fundamentan en la teoría del nicho ecológico, con las cuales es posible predecir la distribución potencial de los organismos, conociendo las condiciones ambientales donde habita la especie (Peterson *et al.*, 2002; Peterson 2003; Pacheco *et al.*, 2010; Pliscoff y Fuentes 2011; Hsu *et al.*, 2012). Estas herramientas representan una línea de investigación en expansión, la cual ha sido aplicada en múltiples áreas del conocimiento, tales como la ecología, la sistemática y la biología de la conservación (Peterson 2006). Algunos trabajos se han enfocado en entender los requerimientos ecológicos de las especies y sus aspectos biogeográficos, otros han buscado predecir la existencia de poblaciones desconocidas, apoyar la conservación de especies amenazadas, identificar sitios de reintroducción, diseñar áreas naturales protegidas, así como evaluar los efectos del cambio climático etc. (Ortega y Peterson 2008).

En el presente estudio se realiza un análisis de la distribución geográfica de *Quercus castanea* Nee, *Q. crassipes* Humb-Bonpl, *Q. frutex* Trel. y *Q. glaucoides* M. Martens-Galeotti (Bello y Labat 1987), en base a sus requerimientos climáticos y topográficos, con el objetivo de evaluar la distribución actual y el posible efecto del cambio climático sobre estas especies en la cuenca de Cuitzeo.

2. MARCO TEÓRICO GENERAL

2.1 Cambio climático

El cambio climático es un efecto ambiental que ha adquirido gran relevancia a nivel global, convirtiéndose en uno de los principales retos de la comunidad científica para el siglo XXI (Guhl-Corpa 2008; Grassl 2011; Ganju 2010). El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés IPCC), ha evaluado estos cambios a través de los Modelos de Circulación Global (MCG). Estos modelos muestran que los incrementos en la temperatura y los cambios en los regímenes de precipitación del planeta tienen su origen en actividades antropogénicas, particularmente en aquellas relacionadas con la combustión de energía de origen fósil y la deforestación, así como en aquellos procesos que consumen energía donde se emiten enormes cantidades de bióxido de carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero, además del metano y óxido nitroso entre otros (IPCC 2007). Las proyecciones realizadas por diferentes modelos resultan preocupantes, especialmente en áreas que se caracterizan por poseer una alta riqueza de especies (Maqueda *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2012). Existe todavía mucha incertidumbre acerca de sus impactos potenciales sobre la biodiversidad; sin embargo, diversos estudios realizados, señalan que estas modificaciones ambientales han producido un aumento de la pérdida de hábitat, así como de cambios en la distribución y abundancia de las especies (Theirillat y Guisan 200; Maqueda *et al.*, 2005; Grassl 2011; Delgado y Duque 2009). Se cree que los ecosistemas más vulnerables serán los manglares, los arrecifes de coral y los ecosistemas de altitudes elevadas, tales como los bosques templados, los cuales es posible que se expandan a nuevas áreas o bien disminuyan en tamaño (Jiménez *et al.*, 2009; Molen *et al.*, 2011; Crabbe 2013)

Es así, que ante estas posibles modificaciones en el clima del planeta, los organismos pueden responder de tres formas: 1) persistir en el ambiente modificado, es decir adaptarse, 2) migrar hacia climas más adecuados o 3) extinguirse local o regionalmente (Theirillat y Guisan 2001; Soberón y Peterson 2011; Matías 2012).

2.2 Nicho ecológico

La distribución geográfica de una especie está determinada por diversos factores, entre los cuales se encuentran las condiciones abióticas, que incluyen aspectos del clima y condiciones edáficas (Soberón 2011). Estos factores imponen límites fisiológicos sobre la capacidad de las especies para persistir en un área determinada (Peterson 2003; Peterson 2006; Wiens *et al.*, 2010). Este conjunto de condiciones ambientales conforman el nicho ecológico, concepto que tiene un lugar central en la teoría ecológica (Peterson 2006). El concepto fue sugerido a principios del siglo pasado por los ecólogos Joseph Grinnell, Charles Sutherland Elton y George Evelyn Hutchinson, quienes buscaban entender establecer el papel de las especies e identificar la subdivisión del ambiente (hábitat), que era ocupado por un organismo. Así Grinnell define nicho como la combinación de condiciones ambientales que permiten mantener a una población sin inmigración (Peterson 2003; Pliscoff y Fuentes 2011). A su vez, Elton describe al nicho como “el lugar que ocupa una especie en el ambiente biótico, su relación con el alimento y sus enemigos naturales”. Sin embargo, Hutchinson en el año de 1957 define este término como un “hiperespacio n-dimensional, que integra el conjunto de todos los factores físicos y biológicos que actúan en un organismo” (Hutchinson y MacArthur 1959; Soberón y Peterson 2011;). Además, hace una distinción entre nichos, reconociendo como *nicho fundamental* a todos los aspectos (variables) del espacio o hipervolumen, en donde la especie puede mantener poblaciones viables sin necesidad de migrar y el *nicho realizado*, como un subconjunto del nicho fundamental, en el cual las especies están restringidas debido a interacciones interespecíficas, es decir el espacio ecológico y geográfico donde la especie vive (Anciaes y Peterson 2006).

2.3 Modelos de distribución

En los últimos años se han desarrollado técnicas aplicadas de programación y sistemas de información geográfica (Drake *et al.*, 2006), que al ser integradas han permitido el desarrollo de modelos de distribución de especies. Estos modelos ayudan a la toma de decisiones referentes a la conservación, así como a buscar nuevas localidades de especies raras y amenazadas (Menon *et al.*, 2010). De esta forma contribuyen al avance en la comprensión de los patrones espaciales de la biodiversidad y permiten evaluar el impacto del cambio climático sobre la distribución de los organismos (Elith *et al.*, 2011). Estas metodologías son complejas debido a que integran diversos campos de la biología (biogeografía, ecología, botánica o zoología), estadística, cartografía (georreferenciación, proyecciones geográficas, sistemas de coordenadas), la informática (manejo de una gran variedad de programas), la teledetección, la climatología, y los sistemas de información geográfica (Panas *et al.*, 2011; Pliscoff y Fuentes 2011). En la actualidad constituyen un importante avance en diversas áreas del conocimiento relacionadas con la conservación de especies y en particular son cada vez más utilizados para estimar los posibles efectos futuros del calentamiento global (Sáenz *et al.*, 2012).

Con estas herramientas es posible conocer la respuestas de las especies a nivel ecológico y geográfico, como por ejemplo, en relación con el cambio climático, lo cual nos permitirá identificar sus efectos y determinar aspectos tales como las áreas estables a largo plazo y áreas de expansión o extinción de los bosques sobre la biodiversidad regional y local, que puedan afectar en el futuro la distribución de plantas y animales (Anderson y Mayer 2004; Pacheco *et al.*, 2010).

Para utilizar estos modelos se requiere información de dos tipos: los datos primarios, que hacen referencia a los sitios (georreferenciados) de colecta u observación de la especie de interés, las cuales se pueden obtener de las bases de datos de colecciones científicas o publicaciones, así como con visitas de campo, y los datos secundarios, que corresponden a las características climáticas, topográficas y cobertura vegetal de la zona de estudio (Menon *et al.*, 2010; Pacheco *et al.*, 2010; Hsu *et al.*, 2012).

Los modelos disponibles en la actualidad se basan en diversos tipos de algoritmos entre los cuales se encuentran; los puramente estadísticos: Modelos Lineales Generalizados (GLM) y los Modelos Aditivos Generalizados (GAM); los métodos de clasificación (Random Forest (RF) y los Boosted Regresión Trees (BRT), los métodos de “envolturas climáticas” (BIOCLIM, ENFA) y por ultimo aquellos basados en algoritmos específicos (GARP y MAXENT), derivados de la rama informática de la inteligencia artificial (Anderson y Mayer 2004; Plischoff y Fuentes 2011; Anderson 2013).

Existen numerosas investigaciones en el sector forestal con el uso de GARP y MAXENT que confirman su aplicabilidad, por ejemplo: se han empleado para determinar distribución potencial en especies tropicales como *Cedrella odorata*, *Ceiba aesculifolia*, *Albizia plurijuga* (Reyes-Abrego 2014), leguminosas (Guevara *et al.*, 2008), especies del genero *Pinus* (Aguirre y Duivenvoorden 2010), así como para predecir especies en peligro de extinción y especies raras (Menon *et al.*, 2011; Londoño y Ferreira *et al.*, 2008), especies endémicas (Irfan *et al.*, 2007). Otras investigaciones se han enfocado para determinar la distribución potencial de plagas que infestas los bosque y con ello afectas la producción de madera (Wang *et al.*, 2010). También se han evaluado el efecto del cambio climático en especies de bosque templado (Rojas *et al.*, 2012) y especies tropicales (Fitzpatrick *et al.*, 2008; Reyes-Abrego 2014).

2.4 Evidencias del cambio climático

El clima establece una constante y compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo y los continentes del planeta (IPCC 2002). La variabilidad de los diferentes factores implicados en esta relación hace que se puedan presentar condiciones extremas, como sequías, inundaciones, heladas, ondas de calor, granizadas etc. Durante la historia del planeta, estas situaciones han sido atribuidas a causas naturales, tales como las variaciones de la órbita de la Tierra en torno al Sol, o del eje de la Tierra, los cambios en la actividad solar y las erupciones volcánicas (Jiménez *et al.*, 2009). Hoy en día estos factores no bastan por sí solos para explicar los rápidos cambios observados en la temperatura y las anomalías

de la precipitación en diversas zonas del planeta. Por ello, el grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), han confirmado que existen claras evidencias de que el calentamiento del planeta registrado en los últimos 50 años puede ser atribuido a los efectos de las actividades humanas, específicamente a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que surgen por la quema de combustibles fósiles, las prácticas agrícolas y los cambios de uso de suelo. Los principales GEI son el metano, el dióxido de carbono y el óxido nitroso. Estos gases siempre se han emitido; pero desde hace algunos años se emiten en mayor cantidad, saturando la atmósfera. Las emisiones mundiales de GEI han aumentado en un 70% desde la era preindustrial; las emisiones de CO₂ aumentaron en un 80% entre 1970 y 2004 (Figura 1). En México también se han registrado un aumento de 1990 al 2005 (Figura 2), lo que podría llevar a un aumento de la temperatura de 1.5 y 2.5°C para el 2020 y de 2 a 4°C para el año 2080. El CO₂ es el gas más importante de los GEI, ya que tiene la propiedad de permitir el paso a través de la atmósfera, de la luz y el calor provenientes del Sol, pero impide parcialmente la salida. Esto indica que, a mayor cantidad de GEI, mayor será la cantidad de calor que se absorba, con lo cual la superficie del planeta podría alcanzar una temperatura más alta, lo que modificaría el clima; esto es lo que se observa en las predicciones que ya se han obtenido, según diferentes escenarios de cambio climático (IPCC 2007).

A pesar de que el cambio climático global es un tema en discusión, las principales academias de ciencias del mundo, así como el IPCC han llegado a la conclusión de que existen claras evidencias de que el calentamiento ya se está registrando. Algunos ejemplos de ello son: el aumento del promedio mundial de la temperatura superficial (Figura 3) y del océano de aproximadamente 0.74°C, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar en el hemisferio sur (Figura 4).

Evidencias registradas en la vegetación

El incremento en el número de eventos extremos, así como en la duración y severidad de la sequía y el estrés por calor asociado al cambio climático, podrían alterar fundamentalmente la composición, la estructura y la biogeografía de los bosques en muchas regiones del planeta; estos cambios ya se han registrado en algunos casos, como por ejemplo: debido al incremento de la temperatura, se han propagado plagas (*Dendroctonus rufipennis*) con mayor intensidad, provocando mortalidad masiva de árboles de las especies del genero *Picea* y *Pinus*, esto en Estados Unidos (Candau y Fleming 2005; Berg *et al.*, 2006; Rehfeldt *et al.*, 2009; Gitlin *et al.*, 2011), ya que se ha observado que son beneficiados aumentando sus rangos de distribución y por lo tanto la infestación es mayor (Carrol *et al.*, 2006). Otras investigaciones han reportado mortalidad de individuos de pinos por sequias extremas, en bosque de Estados Unidos y Canadá (Breshears *et al.*, 2005; Allen *et al.*, 2010; Loret 2012), en el Norte de Arizona, se ha observado la misma respuesta en *Pinus ponderosa* (Ganey y Vojta 2011), así como también mortalidad del álamo temblón (*Populus tremuloides*) por el incremento de la temperatura al Suroeste de Colorado, USA (Worrall *et al.*, 2008). Otros han reportado mayor incendios forestales por aumento del calor (Tchebakova *et al.*, 2009). En México se ha reportado la reducción del hábitat de la mariposa monarca en los bosques de *Abies* (Sáenz *et al.*, 2006; Sáenz *et al.*, 2012). Otro estudio revela con el análisis dendrocronológico, una disminución en el crecimiento de las especies de *Abies alba*, *Pinus sylvestris* y *Pinus halepensis* en bosques templados de Veracruz; Donde se observaron arboles poco frondosos formando menos albura y ésta contenía una menor concentración de azúcares solubles, principalmente por la sequías observadas en los últimos años (Camarero *et al.*, 2012).

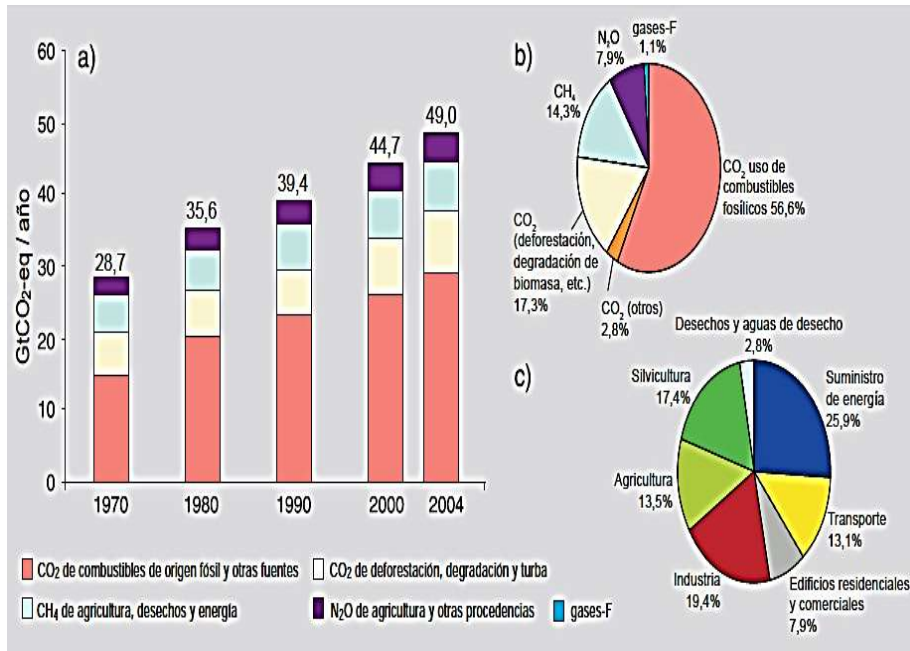


Figura. 1 Emisiones anuales mundiales de GEI. a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004 b). Parte proporcional que representan diferentes GEI antropógenos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO₂ equivalente. c) Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO₂ equivalente. (En el sector silvicultura se incluye la deforestación) (IPCC 2007).

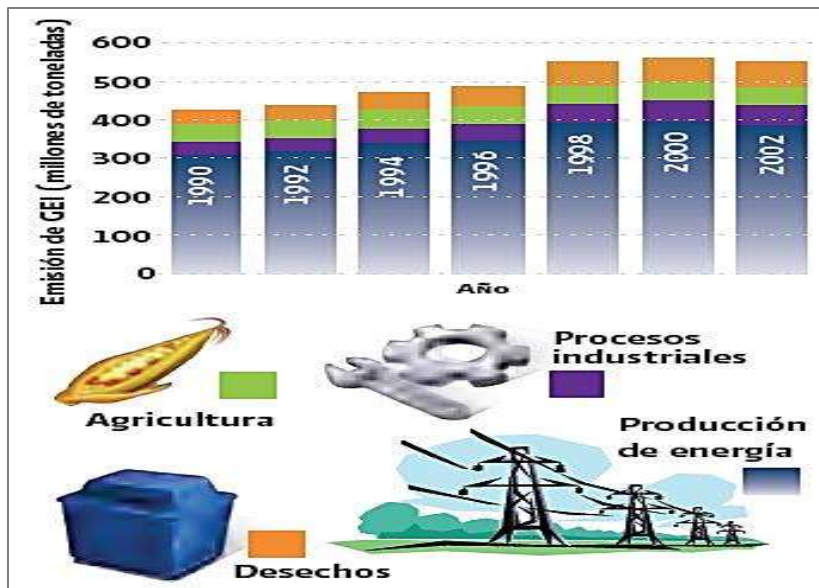


Figura. 2 Emisiones de GEI en México. Emisiones de GEI en México evaluados de 1990 a 2002 (SEMARNAT 2009).

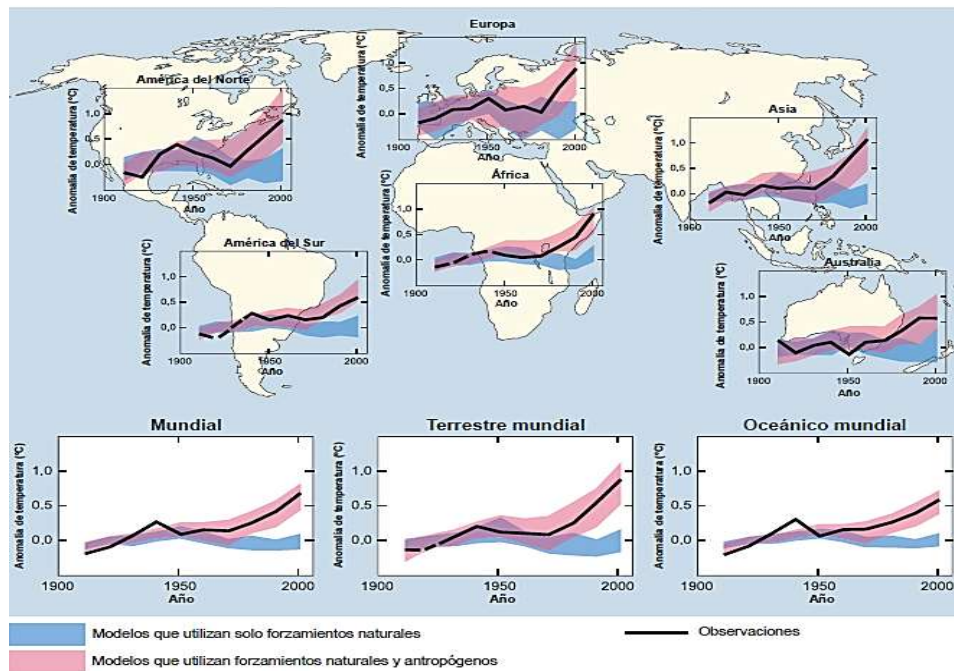


Figura. 3 Temperatura observada superficial a escala continental y mundial. Cambios observados de la temperatura superficial a escala continental y mundial, comparada con los resultados simulados mediante modelos del clima que contemplan evaluaciones naturales o evaluaciones naturales y antropógenos (IPCC 2007).

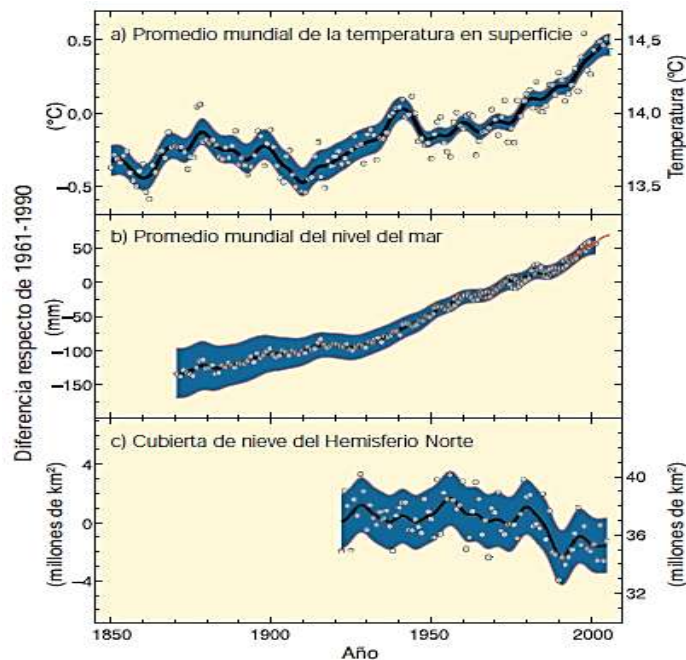


Figura. 4 Variación de temperatura, nivel del mar y nieve en el Hemisferio Norte. Variación observada: a) el promedio mundial de las temperaturas en la superficie b) promedio mundial del nivel del mar c) la cubierta de nieve del Hemisferio Norte (IPCC 2007).

2.5 Aspectos generales y taxonómicos de los encinos

Los encinos o robles pertenecen al género *Quercus* y a la familia Fagaceae. Este grupo de plantas comparten una serie de características biológicas, tales como presentar tallos leñosos, hojas coriáceas, flores unisexuales que nacen en inflorescencias separadas en el mismo individuo, las flores masculinas nacen en amentos y el fruto (bellota) protegido por una cúpula. Su hábito de crecimiento es arbóreo (con una altura de 3 a 40 m), pero algunas especies tienen hábito de crecimiento arbustivo (con alturas de 10 a 100 cm), pero nunca herbáceas; su desarrollo es lento, por lo cual son de larga vida y pueden ser totalmente caducifolios o perennifolios (Bello y Labat 1987; Arizaga *et al.*, 2009). Forman parte de los bosques templados, bosques tropicales, semitropicales y de los matorrales de climas secos. Son uno de los principales grupos de plantas de las zonas montañosas de México (cubren aproximadamente el 5.5% de la superficie total del país), donde se han reportado 161 especies, de las cuales 81 pertenecen a los encinos blancos (*Erythrobalanus*), 76 a encinos rojos (*Leucobalanus*) y 4 a los intermedios (*Protobalanus*) (Valencia 2004). Se calcula que 109 de las 161 especies son endémicas de México. Para Michoacán se han reportado aproximadamente 30 especies. En el país se distribuyen en casi todo el territorio excepto en el estado de Yucatán y Quintana Roo (Rzedowski 1978).

Importancia ecológica

Tienen una gran importancia ecológica ya que son fundamentales en la formación de suelos, contribuyen al reciclaje de nutrientes y al balance hídrico.

Se les considera especies claves en los ecosistemas debido a que albergan a una gran cantidad de aves, insectos, hongos, mamíferos y plantas (Arizaga *et al.*, 2009).

Importancia económica

En México la madera de encinos ocupa el segundo lugar de aprovechamiento a nivel nacional, después del pino y antes de las maderas tropicales (Pérez *et al.*, 2006). En la cuenca de Cuitzeo es utilizada principalmente para combustible en forma de leña y carbón, así como para escuadría, siendo la principal actividad económica de algunos pueblos de esta región (Aguilar-Romero 2010).

2.5.1 Descripción de las especies de estudio



Figura. 5 *Quercus castanea*, cercanía del Cerro Hueco, Quiroga: Fotografía: Lucero Pimienta.

Quercus castanea Nee, pertenece a los encinos rojos (Lobatae) (Figura 5). Se les conoce comúnmente como capulincillo, encino amarillo, encino blanco, encino negro, roble, urikua etc. Los árboles miden de 5-20 m de alto, con un diámetro de 10-80 cm, ramillas de 2.5-5 mm de grueso, tomentosas de color café castaño, abundantes lenticelas; yemas de 2-4 mm de largo ovoides o aguda, presentan un color café claro, estipulas de 1-4 mm de longitud, lanceoladas, envés de las hojas jóvenes de color amarillo, haz verde, pubescencia estrellada, con pelos glandulares, de color rojo,

hojas maduras de color blanco en el envés, coriáceas y rígidas, oblanceoladas y obovadas de 2.5-15 cm de longitud por 1.3-5 cm de ancho, ápice de agudo a redondeado, base subcordada o cordada, margen liso o revoluto, provisto de aristas que se engrosan cerca del ápice, peciolo tomentoso, pronto glabro y liso de color moreno claro a amarillo de 0.3-1 cm de longitud; flores estaminadas con 40-60, estambres filamentosos filiformes. Las flores de 1.5 mm de longitud por 2 mm de ancho, fruto anual en grupos de 2 a 3 sobre un pedúnculo grueso de 4 a 5 mm de longitud, involucre hemisférico de 10-14 mm por 5-10 mm de alto, bellota ovoide de 18-25 mm de largo por 12 mm de ancho, corteza de color café oscura. Se propagan por bellotas producidas en noviembre a enero.

Hábitat: laderas y cañadas, en bosque de pino-encino y bosque mesófilo entre 1,400 a 2,600 m.s.n.m. y sobre suelos arcillosos o arenosos con pedregosidad (Bello y Labat 1987; Arizaga *et al.*, 2009).



Figura. 6 *Quercus crassipe*, cercanía del Cerro Hueco, *Quiroga*: Fotografía: Lucero Pimienta Pimienta.

Quercus crassipes Humb. & Bonpl. Se ubica dentro de los encino rojos (Figura 6). Se conoce como encino blanco, capulincillo, encino laurelillo, encino urikua y roble etc. De 10-35 m de alto, con diámetro de 15 a 100 cm; ramillas de 2-5 mm de grueso, cuando son jóvenes con tupido tomento amarillo y cuando son maduras con el tomento esparcido café oscuro, de café a casi negro, con pocas lenticelas; yemas de 2-3 mm de largo, ovoides, de color moreno rojizo, glabras; estipulas linear-lanceoladas pubescentes, de 1-3 mm de largo, hojas de consistencia coriáceas, angostas y enteras, casi

elípticas o lanceoladas u oblanceoladas de 2.5-14 cm de largo y 0.64 cm de ancho, ápice con arista de 1-2 mm de largo, base subcordada o redondeada, márgenes revolutos, 11-24 pares de nervios laterales, haz lustroso, duro, de color verde grisáceo o verde oscuro, glabro o con tomento sobre el nervio central, envés amarillento cubierto por tomento persistente que obscurece por completo la superficie; peciolo de 1-7 mm de largo, tomentoso de color amarillo o café oscuro; fruto bianual, generalmente solitarios o en pares, con pedúnculo de 4-8 mm de largo por 4-7 mm de grueso, involucreo hemisférico de 20 mm de diámetro por 9-13 mm de alto, escamas delgadas y ligeramente tomentosas, bellota ovoide de 1-2.1 cm de largo por 1.2-1.4 cm de ancho y de corteza pardo oscura con placas alargadas. Su mecanismo de propagación es por bellotas las cuales se producen de octubre a enero

Hábitat: barrancas, en bosque de pino-encino y pastizales entre 1,100 y 2,700 m.s.n.m. y sobre suelos pedregosos.

Usos: leña, carbón, fabricación de cercas, cabos, arcos de violín, trompos, baleros, plataformas y papel.

Manejo: no hay programas de manejo para su aprovechamiento.

Estado de conservación: amenazado, con hábitat transformado por tala y cultivos (Bello y Labat; Arizaga *et al.*, 2009).



Figura. 7 *Quercus frutex*, Cañada del Río Chiquito, Morelia.
Fotografía: Lucero Pimienta.

Quercus frutex Trel. Pertenece al grupo de encinos rojos (Figura 7). Es un arbusto conocido como: encino comalillo, encino chaparro entre otros. Mide de 40 a 100 cm de alto o más, ramificado desde la base y con un rizoma grueso: ramillas de 2-3 mm de diámetro; estipulas subuladas de 3-5 mm de largo; las hojas con el peciolo tomentoso de 2-4 mm de largo; gruesas elíptico-

oblongas, ovado-lanceoladas u oblanceoladas, ápice redondeado o subagudo, cortamente mucronado, el margen entero revuelto a veces algo ondulado base generalmente redondeada o subcordada, haz estrellado o pubescente, envés tomentoso, el tomento formado por pelos erguidos unido en un tronco basal corto, a veces deja ver la epidermis glauca y algo papilosa; fruto solitario o en pares, sésil, involucro hemisférico, bellota ovoide de 10-15 mm de largo y 18-25 mm de largo por 12 mm de ancho, de corteza café rojiza a casi oscura, se propagan por tallos subterráneos (rizomas) y bellotas.

Hábitat: laderas y terrenos planos, en matorrales de encino y bosque de encino-pino entre 1,900 a 2,800 m.s.n.m. y sobre suelos pedregosos y someros.

Usos: para leña

Manejo: no hay programas de manejo para su aprovechamiento.

Estado de conservación: en peligro debido a su distribución restringida y transformación del hábitat por incendios y cultivos (Bello y Labat; Arizaga *et al.*, 2009).



Figura. 8 *Quercus glaucoide*, Cerro el Quinceo. Fotografía: Lucero Pimienta.

Quercus glaucoides M. Martens & Galeotti, pertenece a la sección (*Quercus*) encinos blancos (Figura 8). Es conocido como encino blanco, encino negro, roble, tocuz etc. Es de aproximadamente de 3-13 m de alto, tronco de 17-50 cm de diámetro; ramillas de 4-7 mm de grueso con fino tomento cuando son jóvenes, glabras en la madurez, de color gris o café amarillento,

con numerosas lenticelas prominentes, color café o amarillo tenue, yemas generalmente de 2 mm de largo, ovoides, cafés, rojizas; estipulas linear-subuladas de 1-4 mm de largo, ligeramente pilosas pero generalmente glabras; hojas jóvenes rojizas; hojas maduras coriáceas, verde-glaucos, deciduas, suborbiculares u oblanceoladas, elípticas u obovadas, de 3.7-15.5 cm de largo 1.5-7 cm de ancho, ápice de obtuso a redondeado, base cordada o redondeada, margen grueso y ondulado, haz opaco, verde-gris, liso y glabro, envés casi glauco, glabro o poco puberulento, 9-14 pares de nervios laterales; peciolo de 3-7 mm de largo, rojizo y con vello de color glauco; amentos de 20-30 mm de largo, bellota de 13 mm o más de 18-25 mm de largo por 12 mm de ancho, la corteza gris a gris oscura y escamosa, se propagan por bellotas las cuales son producidas en agosto.

Hábitat: laderas, en bosque de encino y bosque tropical caducifolio entre 830 a 2,000 m.s.n.m. y sobre suelos pedregosos y someros

Usos: leña, carbón, fabricación de horcones, cabos y puertas de golpe

Estado de conservación: Amenazado (Bello y Labat 1987; Arizaga *et al.*, 2009).

2.6 Descripción del área de estudio

La cuenca de Cuitzeo se localiza en el Eje Volcánico Transversal entre los paralelos 19°30' y 20°05' de latitud norte y los meridianos 100°30' y 101°35' de longitud oeste (Figura 9), tiene una superficie de aproximadamente 4,000 km² (Mendoza 2002), abarca 28 municipios

(Cuadro. 1) de los cuales 23 corresponden a la parte norte de Michoacán (92.8%) y 5 al sur del estado de Guanajuato (7.2%) (Ortega-Rodríguez 2003; Nares *et al.*, 2012).

Cuadro. 1 Municipios que conforman la cuenca de Cuitzeo.

	MUNICIPIO	SUPERFICIE TOTAL (ha)	SUPERFICIE EN LA CUENCA (ha)	(%) PORCENTAJE DEL TOTAL MUNICIPAL
M I C H O A C A N	ACUITZIO	18,041.1	14057.1	77.9
	ALVARO OBREGON	15,694.9	15694.9	100.0
	COPANDARO	17,552.3	17552.3	100.0
	CUITZEO	25,641.9	25591.2	99.8
	CHARO	32,454.8	20005.0	61.6
	CHUCANDIRO	19,184.1	18313.2	95.5
	HIDALGO	11,5459.0	1628.2	1.4
	HUANDACAREO	91,07.3	9077.2	99.7
	HUANIQUEO	20,442.3	745.9	3.7
	HUIRAM,BA	81,47.6	6526.7	80.1
	INDAPARAPEO	17,723.5	16781.0	94.7
	LAGUNILLAS	81,30.5	7829.9	96.3
	MADERO	10,1981.0	306.0	0.3
	MORELIA	11,9522.1	105743.0	88.5
	MORELOS	18,172.7	4518.2	24.9
	PATZCUARO	43,470.2	8345.1	19.2
	QUERENDARO	23,067.6	15923.9	69.0
	QUIROGA	21,823.3	2942.2	13.5
	SANTA ANA MAYA	10,366.5	10366.5	100.0
	TACAMBARO	78,809.3	76.3	0.1
	TARIMBARO	26,237.4	26237.4	100.0
	TZINTZUNTZAN	16,891.0	260.5	1.5
	ZINAPECUARO	59,976.2	42836.9	71.4
G U A N A J U A T O	ACAMBARO	87,402.64	14634.016	16.7
	MOROLEON	15,821.09	3213.835	20.3
	SALVATIERRA	58,637.86	6420.260	11.0
	URIANGATO	11,470.01	2944.929	25.7
	YURIRIA	66,953.11	1755.743	2.6

ÁREA DE ESTUDIO

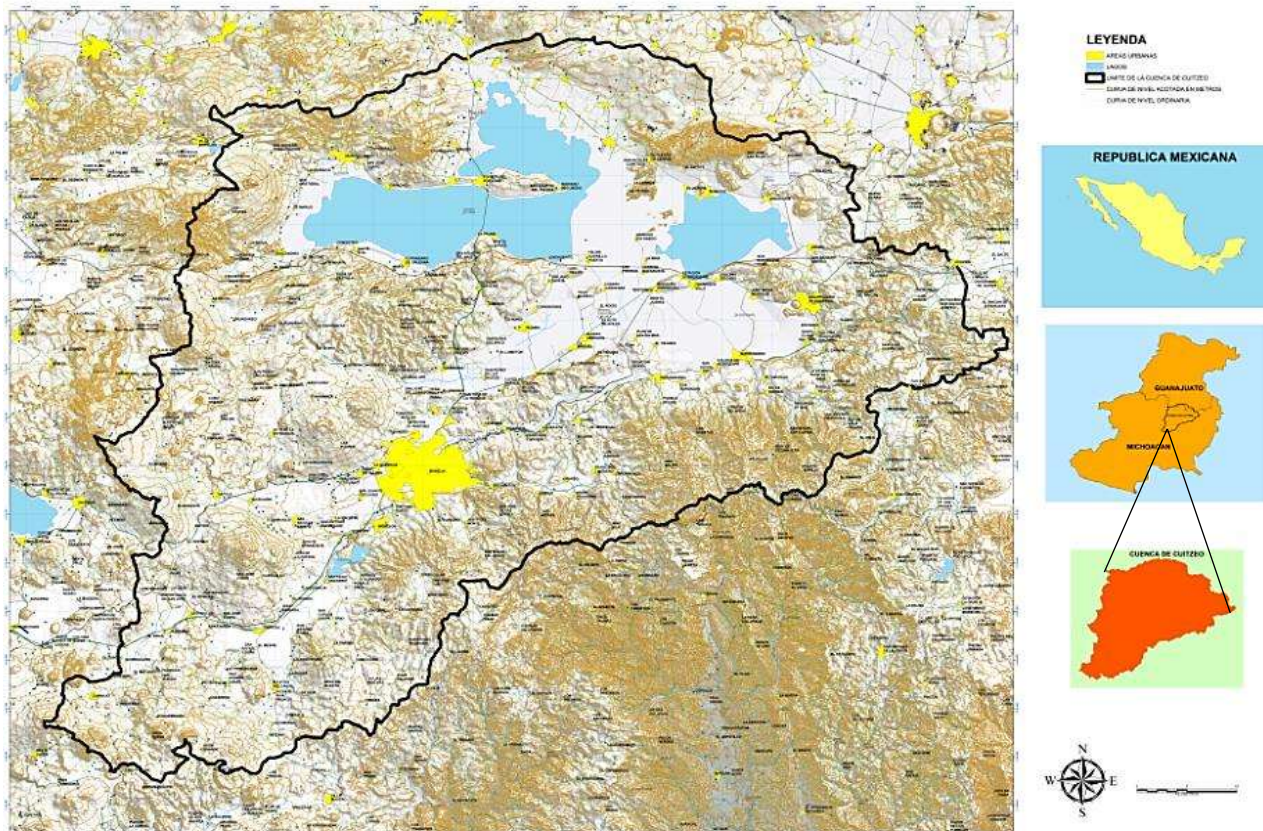


Figura. 9 Ubicación geográfica de la cuenca de Cuitzeo (Ortega-Rodríguez 2003).

Fisiografía

La cuenca de Cuitzeo pertenece al Eje Volcánico Transversal y contiene partes de las subprovincias de las Sierras y Bajíos Michoacanos al norte y la de Mil Cumbres, al sur. A su vez está limitada en su parte W y SW por las Sierras de Zirate y del Tigre y por el sur con la Sierra de Otzumatlán (Mil Cumbres). Contiene a los Valles de Morelia, al centro y SSW, así como los de Queréndaro y Zinapécuaro en la porción NE. La altimetría de la Cuenca abarca desde los 1,800 hasta los 2,400 m.s.n.m. pero existen algunas eminencia en la zona (Ortega-Rodríguez 2003; Israde *et al.*, 2009).

Geología

La cuenca de Cuitzeo surgió a fines del periodo Cretácico y durante el Cenozoico, como resultado de la actividad orogénica del Eje Volcánico Transversal, lo cual origina rocas ígneas extrusivas y sedimentarias. Las primeras se constituyen por derrames de lavas, escorias, aglomerados, tobas y flujos de tobas soldadas, con composiciones que varían de ácida a básica (ignimbritas, andesitas y basaltos). Las rocas de origen sedimentario continental se encuentran constituidas por sedimento lacustres (arenas, gravas y conglomerados) intercalados con tobas que cubren en las porciones bajas a las ignimbritas y tobas riolíticas, que a su vez son cubiertas por basaltos del Plioceno superior. También en la región existen rocas ígneas extrusivas del Terciario superior. Mientras que los depósitos más recientes se constituyen de limos y arcillas (Mendoza *et al.*, 2002; Ortega-Rodríguez 2003).

Edafología

Los tipos de suelos que se presentan en la cuenca son doce, aunque dominan los siguientes: Vertisol, Luvisol, Andosol, Acrisol y Feozem ocupando alrededor del 80% (Cuadro 2). Los Vertisoles se presentan en las porciones más bajas de la cuenca, con pendientes suaves o planas, en donde los escurrimientos convergen y el movimiento del agua es lento, favoreciéndose el depósito de partículas. Los Luvisoles, Andosoles y Acrisoles se presentan en la zona montañosa de la cuenca donde las pendientes son más fuertes y la erosión predomina sobre el depósito de partículas (Ortega-Rodríguez 2003; García *et al.*, 2011).

Cuadro. 2 Tipos de suelos que se encuentran en la cuenca de Cuitzeo.

No.	Unidad de suelo	Porcentaje de superficie ocupada
1	Regosol	0.03
2	Cambisol (B)	0.4
3	Gleysol (G)	0.6
4	Planosol (W)	0.9
5	Ranker (U)	1.5
6	Solonchak (Z)	2.1
7	Litosol (I)	3.4
8	Feozem (H)	10.0
9	Acrisol (A)	10.3
10	Andosol (T)	11.6
11	Luvisol (T)	17.3
12	Vertisol (V)	33.8
	Cuerpos de agua	8.0
	Total	100.0

Hidrología

El Lago de Cuitzeo es el cuerpo de agua más sobresaliente y forma parte de la gran cuenca Lerma-Chapala-Santiago, siendo sus principales escurrimientos el Río Grande de Morelia que nace a partir de los 2,000 m.s.n.m. y el Río Chiquito. Sus principales afluentes son los arroyos Tiripetío y Tirio que se unen aguas arriba de Santiago Undameo. El área cuenta con una red de drenaje que muestra las diferentes etapas de erosión por la que atraviesa una provincia relativamente joven, como corresponde al Eje Volcánico Transversal (Ortega-Rodríguez 2003).

Clima

En la cuenca se tienen registros de alrededor de 27 estaciones meteorológicas que se encuentran distribuidos en casi toda la región, el clima predominante corresponde a templado húmedo con estación invernal seca. Aunque de acuerdo a la cartografía de efectos climáticos regionales de INEGI, se divide en dos períodos que van de los meses de

noviembre a abril (época de secas) y de mayo a octubre (época de lluvias) (Cuadro 3). También es posible reconocer tres tipos de climas en toda la cuenca, (A) C (W₀), es el más cálido de los semicálidos, corresponde al más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano, se presenta en la porción más baja de la cuenca (centro norte), el C(W₁), desplazándose hacia el sur, el clima cambia a templado subhúmedo con lluvias en verano y un grado intermedio de humedad principalmente y el C(w₂) se encuentra en la porción sur de la cuenca el clima sigue siendo templado subhúmedo con lluvias de verano, pero con un grado mayor de humedad (ídem).

Cuadro. 3 Aspectos climáticos de la cuenca de Cuitzeo.

Periodo	Precipitación media (mm)	Superficie (ha)	Temperatura media máxima(°C)	Superficie (ha)	Temperatura media mínima (°C)	Superficie (ha)
Mayo a Octubre	< 700	15,5425.1	<18°	4,631.3	<6°	9,496.1
	700 a 800	13,6842.6	18° a 21°	30,408.4	6° a 9°	51,373.6
	800 a 900	27,586.7	21° a 24°	12,0486.3	9° a 12°	18,0717.0
	900 a 1000	41,808.3	24° a 27°	17,5729.8	>12°	15,8736.1
	1000 a 1200	28,706.8	>27°	69,067.2		
	>1200	99,53.4				
Noviembre a Abril	<75	20,3433.3	<18°	5,995.9	<0°	940.2
	75 a 100	14,1711.8	18° a 21°	34,846.7	0° a 3°	15,384.9
	100 a 125	46,556.9	21° a 24°	33,8283.5	3° a 6°	70,107.1
	125 a 150	81,72.8	>24°	21,196.9	>6°	31,3890.9
	>150	44,8.3				

Vegetación

En la cuenca de Cuitzeo se registran los siguientes tipos de vegetación: bosque de coníferas, bosque de encinos, bosque de oyamel, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, matorral subtropical, pastizal y de galería (Rzedowski 1978).

1.- Bosque de coníferas o de pino: se distribuye desde los 2,100 hasta los 2,700 m.s.n.m. a lo largo de la porción montañosa que va desde los azufres hasta el sureste de la Cuenca, donde se encuentran los Cerros el Burro, El Frijol y Las Nieves. Se desarrolla sobre

andosoles, luvisoles y acrisoles. Este bosque es siempre verde con alturas que varían entre 8 y 25 m, si bien en ocasiones pueden llegar hasta los 30 m. Las especies de pinos que predominan en esta área son: *Pinus leiophylla*, *P. pseudostrobus* y *P. michoacana*, seguidos de *P. lawsonii* y *P. teocote*.

2.- Bosque de encino: se localiza en las zonas montañosas junto con los pinares, por lo que es frecuente encontrar bosques mixtos; también suele encontrarse con bosques de abies y con el bosque mesófilo de montaña. Esta comunidad vegetal se encuentran en cerros como: el Quinceo, Tetillas del Quinceo y Cerro Prieto, en la microcuenca del Río Chiquito. El bosque de encino se localiza en altitudes de 2,000 a 2,300 m.s.n.m, aunque se ha reportado hasta los 2,500 m.s.n.m. en la cuenca. Los arboles pueden alcanzar de 2 a 8 m de altura en lugares con escasa perturbación y en sitios conservados llegan a alcanzar alturas de hasta 15 m. Las especies dominantes son *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. candicans*, *Q. magnoliifolia* y *Q. rugosa*. Otras especies arbóreas asociadas a esta comunidad son *Alnus arguta*, *Arbutus xalapensis*, *Clethra mexicana*, *Garrya laurifolia*, *Styrax ramirezii* y varias especies de *Pinus*. Crecen sobre suelos de origen ígneo de tipo leptosol, acrisol y luvisol (Ortega-Rodríguez 2003).

De esta comunidad vegetal, Bello y Labat (1998), describen tres variantes de esta comunidad vegetal, según su composición y estructura:

Comunidades xerófilas: se desarrollan en altitudes que van de los 2,000 a los 2,006 m.s.n.m. Predominan *Quercus sideroxyla*, *Q. laeta*, *Q. gentryi* y *Q. desertícola*.

Comunidades mesófilas: se desarrollan entre los 2,000-2,500 m.s.n.m. Las especies dominantes son *Q. castanea*, *Q. obtusata*, *Q. martinezii*, *Q. crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. crassifolia* y *Q. laurina*.

Comunidades termomesófila: 1,000 y los 2,000 m.s.n.m. Las especies más importantes son: *Q. magnoliifolia*, *Q. resinosa*, *Q. scytophylla* y *Q. conspersa*.

3.- Bosque de Oyamel: se localiza entre los 3,000 y 3,300 m.s.n.m. y crece sobre suelos arenosos profundos con abundante materia orgánica, en laderas de pendiente pronunciada y clima templado húmedo.

4.- Matorral subtropical: esta vegetación se distribuye entre los 1,900 a los 2,300 m.s.n.m. y crece sobre suelos someros y pedregosos, entre los principales componentes arbóreos destacan *Acacia angustissima*, *A. farnesiana*, *Bursera cuneata*, *B. fagaroides*, *Casimiroa edulis*, *Cedrela dugesii*.

5.- Bosque tropical caducifolio: es una comunidad arbórea, se distribuye entre los 1,900 y 2,000 m.s.n.m. Las especies que lo conforman tenemos a *Bursera bipinnata*, *B. fagaroides*, *B. cuneata*, *Pithecellobium lepthophyllum*, *Ceiba aesculifolia* en el estrato arbóreo, mientras que en el arbustivo es común encontrar *Calliandra spp* y *Acacia farnesiana*.

6.-Pastizal: se reconocen dos tipos de pastizales: aquellos que prosperan en bosques de pino y encino, los cuales están sujetos a incendios ocasionales o pastoreo. Donde en el primer caso se encuentra *Bouteloua curtipendula*, *Hilaria cenchroides*, *Muhlenbergia macroura*, *M. robusta*, *Paspalum lividum*. En el segundo a *Digitaria ternata*, *Panicum bulbosum*, *Setaria geniculata* y *Sporobolus indicus*.

Bosque de galería: se caracteriza por desarrollarse a lo largo de corrientes de agua donde se encuentran a *Alnus acuminata*, *Arguta ssp.*, *Fraxinus uhdei*, *Salix bonplandiana* y *Taxodium mucronatum* (Ortega-Rodríguez 2003).

3. JUSTIFICACIÓN

Se ha reportado que uno de los tipos de vegetación que podría sufrir mayores impactos negativos debido al cambio climático, son los bosques templados, principalmente modificando la distribución geográfica de la vegetación (Rehfeldt *et al.*, 2012). En la cuenca de Cuitzeo, las especies de encinos se encuentran en este tipo de bosque, siendo un recurso forestal de gran importancia, sus maderas son utilizadas para la extracción de leña, carbón vegetal, resina principalmente. Además de ser la principal actividad económica en algunos pueblos de esta región (Aguilar-Romero 2010; Macedo-Santana 2011). En este trabajo se evaluaron a *Q. castanea* y *Q. crassipes* dado la importancia forestal en esta región y a *Q. frutex* y *Q. glaucoides* debido a su distribución restringida. Lo anterior hace necesario generar información del posible impacto del cambio climático en estas especies.

4. OBJETIVO GENERAL

Determinar la distribución potencial actual y bajo escenarios climáticos futuros, de las especies de *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* presentes en la cuenca de Cuitzeo.

4.1 Objetivos particulares

- ❖ Crear una base de datos de localidades de presencia de las especies objeto de este trabajo, a partir de la revisión de colecciones científicas, bases de datos en línea y trabajo de campo.
- ❖ Crear una base de datos geográfica de las variables ambientales adecuadas para el modelaje de nicho ecológico, en la distribución potencial actual de las especies de estudio.
- ❖ Determinar la distribución potencial actual y las características ambientales de las especies.
- ❖ Evaluar la distribución de las especies en base a los escenarios climáticos futuros.

5. PREGUNTAS CENTRALES

1.- ¿Dónde se localizan actualmente las condiciones potenciales aptas para la presencia de *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* en la cuenca de Cuitzeo?

2.- ¿Cuál es la vulnerabilidad de estas especies de encinos frente al cambio climático en la cuenca de Cuitzeo?

6. HIPÓTESIS DE TRABAJO

1.- Con base a los requerimientos climáticos, topográficos y los datos de presencia de *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* presentes en la cuenca de Cuitzeo, será posible predecir su distribución potencial actual.

2.- De acuerdo a los actuales escenarios de cambio climático la distribución potencial futura de *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* presentes en la cuenca de Cuitzeo se verá amenazada.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ackerly, D. D., S. R. Loarie, W. K. Cornwell, S. B. Weiss, H. Hamilton, R. Branciforte y a. N. J. B. Kraft. 2010. The geography of climate change: implications for conservation biogeography. *Diversity and Distributions*. 16:476-487.
- Aguirre, G. J. y J. F. Duivenvoorden. 2010. Can we expect to protect threatened species in protected areas? A case study of the genus *Pinus* in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81:875-882
- Aguilar-Romero, R. 2010. Propiedades Físicas de la madera, alometría y crecimiento de tres especies (género *Quercus*) bajo manejo en la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán. pp. 70
- Allen, C. D., A. K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D. D. Breshears, P. Gonzalez, R. Fensham, I. Zhang, J. Castro, N. Demidova, J.-H. Lim, G. Allard, S. W. Running, A. Semerci y N. Cobb. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 259:660-684.
- Anderson, R. P. 2013 A framework for using niche models to estimate impacts of climate change on species distributions. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1297:8-28.
- Anderson, R. P. y E. M. Mayer. 2004. Modeling species geographic distribution for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation*. 116:167-179.
- Arizaga, S., J. M. Cruz, M. S. Cabrales y M. A. B. González. Manual de la biodiversidad de encinos Michoacanos. 2009. En. 1 era ed. México D.F. pp. 147.
- Bello, M. A. G. y J. N. Labat. 1987. Los encinos (*Quercus*) del estado de Michoacán, México. 1era edición. Centre d'Études Mexicaines et Centraméricaines y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México. pp. 97.
- Berg, E. E., J. D. Henry, C. L. Fastie, A. D. D. Volder y S. M. Matsuoka. 2006. Spruce beetle outbreaks on the Kenai Peninsula, Alaska, and Kluane National Park and Reserve, Yukon Territory: Relationship to summer temperatures and regional differences in disturbance regimes. *Forest Ecology and Management*. 227:219-232.
- Breshears, D. D., N. S. Cobb, K. P. Paul M. Richd, R. G. Baliceh, W. H. Rommei, J. H. Kastensf, M. L. Floydk, J. Belnapl, J. Anderson y C. W. Meyerd. 2005. Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *PNAS*. 102 (42):15144:15148.
- Carroll, A. L., J. Regniere J. A. Logan, S. W. Taylor, B. J. Bentz, and J. A. Powell. 2006. Impacts of climate change on range expansion by the mountain pine beetle. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Victoria, British Columbia, Canada.

- Candau, J. y R. A. Fleming. 2005. Landscape-scale spatial distribution of spruce budworm defoliation in relation to bioclimatic conditions. *Canadian Journal of Forest Research*. 35: 2218-2232.
- Camarero, J. J., G. S. Barreda, A. Q. Alla, E. G. d. Andres, M. M. Martínez y S. M. V. Serrano. 2012. Los precedentes y las respuestas de los arboles a sequias extremas revelan los procesos involucrados en el decaimiento de bosques mediterráneos de coníferas. *Ecosistemas*. 21 (3):22-30.
- Crabbe, M. J. C. 2013. Coral Reef Populations in the Caribbean: Is There a Case for Better Protection against Climate Change? *American Journal of Climate Change*. 2:97-105.
- Delgado, T. S. y D. Duque. 2009. Efecto del cambio climático en la diversidad vegetal del Corredor de conservación comunitaria Reserva ecológica El Angel-Bosque protector Golondrinas en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*. 8:27-36.
- Drake, J. M., C. Randin y A. Guisan. 2006. Modelling ecological niches with support vector machines. *Ecology*. 43:424-432.
- Elith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudick, Y. E. Chee y C. J. Yates. 2011. A statistic explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*. 17:43-57.
- Fernández, A. C., R. S. Salguero, P. M. Gil y E. N. Cerrillo. 2012. Efectos del cambio climático sobre la distribución de los alcornoques españoles. Una aproximación fitoclimática para la futura gestión. *Ecosistemas*. 21:60-60.
- Ferreira, M. d. S., Giselda Durigan, P. d. Marco Junior y A. T. Peterson. 2008. Something from nothing: Using landscape similarity and ecological niche modeling to find rare plants species. *Journal for Nature Conservation Journal*. 17:25-32.
- Fitzpatrick, M. C., A. D. Goven, N. J. Sanders y R. R. Dunnz. 2008. Climate change, plant migration, and range collapse in a global biodiversity hotspot: the Banksia (Proteaceae) of Western Australia. *Global Change Biology*. 14:1-16.
- Ganey, J. L. y S. C. Vojta. 2011. Tree mortality in drought-stressed mixed-conifer and ponderosa pine forests, Arizona, USA. *Forest Ecology and Management*. 261: 162-168.
- Ganju, N. K. y D. H. Schoellhamer. 2010. Decadal-Timescale Estuarine Geomorphic Change Under Future Scenarios of Climate and Sediment Supply. *Estuaries and Coasts*. 33:15-29.
- García, A. A., E. G. López y M. E. Mendoza. 2011. Three approaches to the assessment of spatio-temporal distribution of the water balance: the case of the Cuitzeo basin, Michoacán, Mexico. *Investigaciones Geográficas*. 76 34-55.
- Grassl, H. 2011. Climate Change Challenges. *Surv Geophys* 32:319-328.
- Guevara, A. E., E. G. Sosa, H. S. Azpiri, G. M. Barrera, M. M. Díaz, M. G. Sánchez, L. H. Sandoval, Y. P. Hernández y D. O. Valerio. 2008. Distribución potencial de algunas leguminosas arbustivas en el altiplano central de México *Agrociencia*. 42:703-716.
- Gitlin, A. R., C. M. Sthultz, M. A. Bowker, S. Stumpf, K. L. Paxton, K. Kennedy, A. Muñoz, J. K. Bailey y T. G. Whitham. 2006. Mortality Gradients within and among Dominant Plant Populations as Barometers of Ecosystem Change During Extreme Drought. *Conservation Biology*. 20 (5): 1477-1486.

- Gómez, J. D. D., A. I. M. Rivas y J. Á. T. Rueda. 2007. Distribución del Cedro rojo (*Cedrela odorata* L) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques*. 13:29-49.
- Guhl-Corpas, A. 2008. Aspectos éticos del calentamiento climático global. *Revista Latinoamericana de Bioética*. 8:20-29.
- Hsu, R. C., W. L. M. Tamis, N. Raes, G. R. d. Snoo, J. H. D. Wolf, G. Oostermeijer y S.-H. Lin. 2012. Simulating climate change impacts on forests and associated vascular epiphytes in a subtropical island of East Asia. *Diversity and Distributions*. 18:334-347.
- Hutchinson, G. E. y R. H. MacArthur. 1959. A Theoretical Ecological Model of Size Distributions Among Species of Animals. *The American Naturalist*. 93:117-125.
- Irfan, M. U., G. Amarnath, M. S. R. Murthy y A. T. Peterson. 2007. Mapping the geographic distribution of *Aglaia bourdillonii* Gamble (Meliaceae), an endemic and threatened plant, using ecological niche modeling. *Biodivers Conserv*. 16:1917-1925.
- IPCC. 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. s.n.t 85 p.
- IPCC. 2007. Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis. edición. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)], Ginebra, Suiza. pp. 104.
- Israde, I. A., O. B. Delgado, V. H. G. Monroy, V. M. H. Madrigal y E. L. Granados. 2009. Problemática geológico-ambiental de los tiraderos de la Cuenca de Cuitzeo, norte del estado de Michoacán. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 61:203-211.
- Jiménez, M., A. Chain y B. Locatelli. 2009. Efectos del cambio climático en la distribución de zonas de vida en Centroamérica. *Recursos Naturales y Ambiente*. 59:32-40.
- Londoño, M. C. M. y C. V. Sánchez. 2011. Distribución y conservación de especies amenazadas en Mesoamérica, Chocó y Andes tropicales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82:926-950.
- Lloret, F. 2012. Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente a episodios extremos de sequía. *Ecosistemas* 21:85-90.
- Luna, I. V., O. A. Ayala, R. C. Medina y C. A. R. Muñoz. 2012. Ecological niche modeling on the effect of climatic change and conservation of *Ternstroemia lineata* DC. (Ternstroemiaceae) in Mesoamerica. Published by NRC Research Press. 90:637-650.
- Macedo-Santana, F. 2011. Variación en la estructura y composición de la comunidad vegetal leñosa y tipos de manejos en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán, México Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia. pp. 85
- Maqueda, M. R. G., M. V. C. Padrino, E. M. Ramírez y M. F. García. 2005. Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. *Sistema de Información Científica*. 2:14-18.

- Matías, L. 2012. Cambio en los límites de distribución de especies arbóreas como consecuencia de las variaciones climáticas. *Ecosistemas*. 21:91-96.
- Mendoza, M., G. Bocco, E. López y M. Bravo. 2002. Implicaciones Hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del Lago de Cuitzeo Michoacán. *Investigaciones Geográficas*. 049:92-117.
- Menon, S., B. I. Choudhury, M. L. Khan y A. T. Peterson. 2010. Ecological niche modeling and local knowledge predict new populations of *Gymnocladus assamicus* a critically endangered tree species. *En dangered Species Research*. 11:175-181.
- Molen, M. K. d., B. J. M. Hurk y W. Hazeleger. 2011. A dampened land use change climate response towards the tropics. *Clim Dyn*. 37:2035-2043.
- Nares, O. A. L., M. E. Mendoza y E. C. Gonzáles. 2012. Análisis y modelamiento espacial de información climática en la cuenca de Cuitzeo, México. *Investigaciones Geográficas*. 83:1152-1170.
- Ortega, M. A. H. y A. T. Peterson. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79:205- 216.
- Ortega-Rodríguez, J. M. 2003. Evaluación multicriterio y sistemas espaciales de toma de decisiones aplicados a la planeación del uso del suelo en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán. Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. , Morelia, Michoacán. pp. 148
- Pacheco, S., L. R. Malizia y L. Cayuela. 2010. Effects of Climate Change on subtropical forest of South America. *Tropical Conservation Science*. 3:423-437.
- Panas, D., A. Maccione, L. Berdondini y M. H. Hennig1. 2011. What can MaxEnt reveal about high-density recordings and what can high-density recordings reveal about MaxEnt?. *Neuroscience*. 12:146.
- Pérez, C., S. V. Jiménez y J. C. Romero. 2006. Anatomía de la madera de ocho especies de *Quercus* (FAGACEAE) de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*. 12:63-94.
- Peterson, A. T. 2003. Predicting the geography of species`invasions via ecological niche modeling. *The quarterly review of biology*. 78:419-433.
- Peterson, A. T. 2006. Uses and Requirements of Ecological Niche Models and Related Distributional Models *Biodiversity. Informatics*. 3:59-72.
- Peterson, A. T., M. A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberon, R. H. Buddemeier y D. R. B. Stockwell. 2002. Future Projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*. 416:627-629.
- Pliscoff, P. y T. C. Fuentes. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y el espacio una nueva revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía. Norte Grande*. 48:61-79.
- Rehfeldt, G. E., N. L. Crookston, C. S. Romero y E. M. Campbell. 2012. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications*. 22:119-141.
- Rehfeldt, G. E., D. E. Ferguson y N. L. Crookston. 2009. Aspen, climate, and sudden decline in western USA. *Forest Ecology and Management*. 258:2353-2364.

- Reyes-Abrego, G. A. 2014. Distribución potencial actual y bajo escenarios de cambio climático de especies arbóreas tropicales en México, mediante el modelaje de nicho ecológico. Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia. pp. 68.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. edición., México, 432 p.
- Rojas, O. R. S., V. Sosa y J. F. Ornelas. 2012. Forecasting cloud forest in eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodivers Conserv.* 21:2671-2690.
- Sáenz, C. R., G. E. Rehfeldt, P. Duval y R. A. Lindig-Cisneros. 2012. *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology and Management.* 275:98-106.
- Sáenz, C. R., R. R. Guzman-Reyna y G. E. R. c. 2006 Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, Mexico Implications for seed zoning, conservation, tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management.* 229:340-350.
- SEMARNAT, (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. Cambio Climático, Ciencia, evidencias y acciones. México. 93 p.
- Soberón, J. y A. T. Peterson. 2011. Ecological niches shifts and environmental space anisotropy: a cautionary note. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 82:1348-1355.
- Tchebakova, N. M., E. Parfenova y A. J. Soja. 2009. The effects of climate, permafrost and fire on vegetation change in Siberia in a changing climate. *Environmental Research Letters.* 4:9-13.
- Theirillat, J. P. y A. Guisan. 2001. Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: amreview .*Climatic Change.* 109:50-77.
- Wang, X. Y., X. L. Huang, L. Y. Jiang y G. X. Qiao. 2010. Predicting potential distribution of chestnut phylloxerid (Hemiptera: Phylloxeridae) based on GARP and Maxent ecological niche models. *J. Appl. Entomol.* 8:45-54.
- Wiens, J. J., D. D. Ackerly, A. P. Allen, B. L. Anacker, L. B. Buckley, H. V. Cornell, E. I. Damschen, T. J. Davies, J. A. Grytnes, S. P. Harrison, B. A. Hawkins, R. D. Holt, C. M. McCain y P. R. Stephens. 2010. Niche conservatism as an emerging principle in ecology and conservation biology. *Ecology Letters.* 13:1310-1132.
- Worrall, J. J., L. Egeland, T. Eager, R. A. Mask, E. W. Johnson, P. A. Kemp y W. D. Shepperd. 2008. Rapid mortality of *Populus tremuloides* in southwestern Colorado, USA. *Forest Ecology and Management.* 255: 686-696.

CAPÍTULO I

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* EN LA CUENCA DE CUITZEO MICHOACÁN, MÉXICO.

1. INTRODUCCIÓN

Los encinos o robles pertenecientes al género *Quercus*, son uno de los componentes florísticos característicos de las zonas montañosas de México (Luna *et al.*, 2003). Como arbustos forman parte de diversos matorrales y como árboles conforman comunidades vegetales de los bosques templados (Encina y Villareal 2002). Son especies ecológicamente importantes, ya que son dominantes o codominantes (junto con los pinos) debido a la cantidad de funciones que desempeñan (Arizaga *et al.*, 2009).

Debido a su abundancia, ocupan el segundo lugar desde el punto de vista económico, por el aprovechamiento y los usos a los que se destinan, entre los que destacan: celulosa (54%), escuadría (30%) leña (7%) y carbón (6%) (Pérez *et al.*, 2006). En la cuenca de Cuitzeo, este recurso forestal es ampliamente explotado para la elaboración de leña, carbón y madera para escuadría (Aguilar-Romero 2010). Debido al interés económico y ecológico de los encinos en la cuenca de Cuitzeo, es importante determinar su distribución geográfica y conocer bajo qué condiciones ambientales se desarrollan con el fin establecer prioridades para su conservación.

La distribución espacial de las especies no es aleatoria, sino que obedece al intervalo o capacidad de tolerancia que cada especie tiene a factores ambientales como altitud, posición topográfica, temperatura, humedad y precipitación que se define como amplitud ecológica, lo cual permite evaluar su afinidad respecto a los factores ambientales y hace posible medir su probabilidad de presencia en el espacio geográfico (Nares *et al.*, 2012). Estos análisis se basan en modelos de nicho ecológico que relacionan parámetros ambientales y datos de presencias conocida de las especies (Soberón 2007; Peterson 2003; Ibarra *et al.*, 2010). La aplicación de esta metodología representa una línea de investigación en expansión ya que se han aplicado en múltiples áreas del conocimiento donde se han

empleado con éxito tanto en plantas como en animales, demostrando ser de gran utilidad (Peterson 2006; Babar *et al.*, 2012).

2. OBJETIVO

El objetivo general de este capítulo fue determinar la distribución potencial actual en *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* en la cuenca de Cuitzeo con variables ambientales de aproximadamente 200 m de resolución espacial.

3. METODOLOGÍA

Obtención de los datos de presencia

Para obtener los datos de presencia de las especies el trabajo se dividió en dos etapas (trabajo de gabinete y de campo) los cuales fueron obtenidos de las siguientes fuentes:

Trabajo de gabinete

- 1.- Herbario del Instituto de Ecología, A.C., México (IE-BAJÍO), Pátzcuaro Michoacán.
- 2.-Herbario de la facultad de Biología (Herbario_EBUM) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- 3.-Consulta a la base de datos en línea, Global Biodiversity Information Facility (GBIF)” (<http://www.gbif.org/>).
- 4.- Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB) (http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html).
- 5.- Unidad Informática para la Biodiversidad, Instituto de Biología, UNAM UNIBIO (<http://unibio.unam.mx/>).

Los puntos de presencia de las especies que no tenían referencia se georreferenciaron con el software GEOLocate (versión 3.22), el cual permite ubicar una localidad en base a puntos de referencia. Las localidades de presencia de las especies fueron geo-referenciadas a coordenadas geográficas esféricas longitud-latitud, en grados decimales, con Datum WGS84 (World Geodetic System 1984).

Se hizo una depuración de aquellas localidades repetidas que se encontraron en todas las bases de datos consultadas, esto se realizó con la finalidad de evitar una sobreestimación de los modelos.

Los registros finales obtenidos fueron: 52 para *Q. castanea*, 40 para *Q. crassipes*, 10 para *Q. frutex* y 9 en *Q. glaucoides*.

Trabajo de campo

Para complementar la base de datos de presencia se realizaron salidas al campo, donde se han reportado localidades de presencia de las especies. Estas coordenadas se obtuvieron usando un receptor GPS.

VARIABLES AMBIENTALES

Como parte de los insumos requeridos para desarrollar los modelos de distribución de las especies se utilizó un modelo digital de elevación (MDE) que se obtuvo del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 2.0) de INEGI. A partir de este mapa se generaron un mapa de pendiente y un mapa de aspecto (en grados). Estos mapas se realizaron en ArcGis versión 9.3, con la extensión Spatial Analyst.

VARIABLES CLIMÁTICAS

Las variables climáticas que se utilizaron fueron a partir de la base de datos de actuales de WORDCLIM (<http://www.worldclim.org/>), la cual contiene un total de 19 variables y un modelo digital de elevación, tienen una resolución espacial de 30” de arco

(aproximadamente 1 km). Estas variables han sido generadas a partir de la temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax) y precipitación media mensual (Ptotal), a partir de la interpolación de datos climáticos (correspondientes al periodo 1961-2000) obtenidos de estaciones meteorológicas (Hijmans *et al.*, 2005). Sin embargo, la cuenca de Cuitzeo, en términos hidrológicos es una unidad endorreica natural pequeña, siendo estas variables de baja resolución para el área de estudio. Para ello, se ajustó la resolución espacial 6" de arco (aproximadamente 200 m) (Téllez *et al.*, 2010). Las cuales fueron georeferenciadas en coordenadas geográficas esféricas (longitud, latitud), en grados decimales y Datum WGS84.

Para evitar problemas de multi-colinealidad de las variables climáticas que pueden resultar en un sobreajuste de los modelos (Loiselle *et al.*, 2008), se redujo el número de variables dado que las 19 están hechas a partir de tres (Tmin, Tmax y Ptotal). Esto se hizo mediante un análisis de correlación con el paquete estadístico STATISTICA versión 7, seleccionando aquellas menos correlacionadas con valores por debajo ($r < 0.5$), donde se obtuvieron 9 variables (Cuadro 4).

Cuadro. 4 Variables climáticas utilizadas en la modelación potencial actual de *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* en la cuenca de Cuitzeo.

B2	Oscilación diurna de la temperatura media mensual (t° máx- t° min)
B3	Isotermalidad (B2/B7) (* 100)
B4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar *100)
B7	Rango de Temperatura Anual (B5-B6)
B12	Precipitación anual (mm)
B13	Precipitación del mes más húmedo
B16	Precipitación del trimestre más húmedo
B18	Precipitación del trimestre más cálido (mm)
B19	Precipitación del trimestre más frío (mm)

Métodos de modelación

La distribución potencial de las especies de encinos fue realizada con dos métodos; GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) y MAXENT (Máxima Entropía).

GARP es un sistema heurístico (un mismo conjunto de datos origina mapas de probabilidad distintos) que busca correlaciones no aleatorias entre los puntos de presencia conocidas y las variables ambientales. Este algoritmo funciona iterativamente, aplicando distintas reglas de modelado como (atomic, logistic regresión, range rules y negated range). Para este trabajo se aplicaron los algoritmos y las opciones por default del Software, con 1000 iteraciones, 0.1 como límite de convergencia, 100 réplicas en cada análisis y se hicieron algunos ajustes en los parámetros de Software ya que fueron distintos en las especies con mayor número de registros (*Q. castanea* y *Q. crassipes*) y para las especies con pocos registros (*Q. frutex* y *Q. glaucoides*) (Cuadro 5).

Internamente GARP subdivide al azar los datos de presencia para utilizar un subconjunto de los mismos para entrenar y otro para validar los modelos. Por esta razón, para cada especie se dividió al azar el número total de datos históricos en un grupo de entrenamiento (50%) y uno de validación (50%) mediante la extensión Hawth's Tools (Anderson y Peterson 2003). Posteriormente se obtuvo un modelo de distribución binario con valores 1 (presencia) y 0 (ausencia) (Stockwell y Peters 1999).

Cuadro. 5 Parámetros utilizados para modelar en GARP.

Especies	Registros	Parámetros en GARP			
		Entrenamiento	Corridas	Parámetros de selección	
				Medida de omisión	Umbral de omisión
<i>Q. castanea</i>	52	50%	100	Extrínseco	Duro
<i>Q. crassipes</i>	40	50%	100	Extrínseco	Duro
<i>Q. frutex</i>	10	100%	100	Intrínseco	Duro
<i>Q. glaucoides</i>	9	100%	100	Intrínseco	Duro

Se realizaron iteraciones, donde se seleccionaron los 10 mejores modelos, se convirtieron de formato ASCII a Grid, para posteriormente sumarlos en la extensión de Spatial Analyst

con la finalidad de obtener un solo mapa con valor de 0 donde ningún modelo coincide hasta 10 donde coinciden 10 modelos, es decir los pixeles con mayor probabilidad, el cual fue utilizado para los modelos finales.

El segundo método de modelación fue MAXENT (Máxima Entropía) versión 3.3. Este método utiliza datos de presencia conocida de las especies y un conjunto de variables ambientales, para estimar la distribución potencial con base en la distribución de máxima entropía (la más cercana a la uniformidad), bajo esta distribución estimada, el valor de cada una de las características analizadas deberá coincidir con su valor empírico promedio. Los modelos desarrollados con MAXENT tienen valores que van de 0 hasta 1, indicando que un valor alto de la función de distribución en una celda representa condiciones muy favorables para la presencia de la especie, mientras que un valor bajo estaría indicando lo contrario (Phillips *et al.*, 2006; Phillips y Dudik 2008).

Como en el método anterior, los datos de presencia se dividieron al azar en 50% de prueba y 50% para validar los modelos. Para realizar los modelos se hicieron algunos ajustes en el Software, por ejemplo: en la aplicación *básico/archivo de muestra de la prueba* se pusieron los puntos para validar el modelo. También se utilizó la *aplicación avanzada/ aplicación de la regla del umbral/ entrenamiento del 10 percentil* (Papes y Gaubert 2007), para convertir los modelos en binario con valores de 1 (presencia) y 0 (ausencia).

Validación estadística de los modelos

Para validar los modelos se utilizaron el 50% de las localidades históricas que no fueron incorporadas en la modelación y los registros de campo; haciendo un total de 31 localidades para *Q. castanea*, 24 para *Q. crassipes*, 9 para *Q. frutex* y 10 en *Q. glaucoides* para la validación estadística.

Generalmente se utiliza el valor de AUC (Área Under the Curve) que es generado a partir de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic). Este análisis indica el rendimiento de una prueba de diagnóstico en términos de precisión; toma valores entre 1 (prueba perfecta) y 0.5 (prueba inútil). Esta área puede interpretarse como la probabilidad de que ante un par

de puntos, uno con presencia y otro sin presencia (de la especie), la prueba los califique correctamente. En este trabajo se utilizó una variante de esta prueba, la Roc Parcial, que toma en cuenta sólo aquellas regiones del espacio donde se han observado datos (presencias). La Roc parcial toma valores de >1 cuando los modelos fueron resueltos correctamente, y cercanos a 2 (prueba perfecta) cuando los modelos se alejan de ser azar, ($p = <0.05$) (Peterson *et al.*, 2008; Shipley *et al.*, 2013). Este análisis fue realizado con el software Partial Roc versión 1.0 en ambas metodologías.

Consenso de los modelos de distribución potencial de las especies

Los modelos finales de las especies se obtuvieron de la suma de los modelos de GARP y MAXENT, originando un mapa de consenso. Este mapa contiene cuatro clases: 1) área donde ninguno de los dos modelos predicen presencia; 2) área donde solo MAXENT predice presencia; 3) área donde solo GARP predice presencia y 4) áreas donde GARP y MAXENT predicen presencia de la especie, siendo esta la clase que se utilizó para el modelo final. Se validaron con una prueba de Chi-cuadrada ($p = <0.05$). Donde se tomó el 50% de los registros históricos no utilizados en la modelación y los registros de campo obtenidos para la validación.

Los modelos finales en cada una de las especies se ajustaron a un mapa de vegetación de la cuenca de Cuitzeo del año 2000 para saber en qué tipo de vegetación el modelo predice condiciones óptimas para la presencia de la especie.

Obtención de las características climáticas y topográficas de las especies de estudio

Se combinó el mapa de consenso (GARP y MAXENT) con las variables de temperatura y precipitación media anual para obtener el rango climático de las especies. Las características topográficas resultaron de la combinación de los mapas de consenso y un mapa de elevación del terreno, pendiente y orientación de ladera, esta última se determinó con un análisis de estadística circular con el Software Oriana versión 4.0. Los parámetros estadísticos que se tomaron en cuenta fue el vector medio (μ), indica la agrupación de los datos en dirección al ángulo en una escala circular de 0° a 360° ; tiene dos propiedades: 1)

su dirección (ángulo medio μ) y 2) su longitud (r), cuyo valor varía entre 0 y 1; valores grandes de r indican que las observaciones se agrupan más estrechamente alrededor de la media. El parámetro de concentración K para la distribución de von Mises (conocida como la distribución normal circular) donde valores pequeños indican una distribución uniforme y valores grandes una distribución normal, confirmando la preferencia direccional de los datos. El índice de **Rayleigh** calcula la probabilidad de la hipótesis nula de que los datos se distribuyen de manera uniforme, valores de Z altos indican menor probabilidad de que los datos se distribuyan uniforme ($p= 0.05$), indicando la homogeneidad de los datos confirmando así la preferencia hacia una orientación con un límite de confianza del 95 %.

4. RESULTADOS

Localidades de presencia (datos históricos y de campo)

Los datos de presencia de las especies para su distribución en la cuenca de Cuitzeo, se obtuvieron de cinco fuentes (Cuadro 6). Se encontró que las bases de datos que mayores registros presentan son el Herbario de la facultad de biología (EBUM), el Herbario del Instituto de Ecología, A.C., México (IE-BAJIO) y la Global Biodiversity Information Facility para las (GBIF). (Anexo 1). De los registros obtenidos se hizo una depuración de aquellos que se encontraron repetidos, de los cuales se obtuvo; 52 localidades para *Q. castanea*, 40 en el caso de *Q. crassipes* siendo estas con mayores registros encontrados y las que presentan menor número de registros para su distribución en la cuenca de Cuitzeo son *Q. frutex* 10 y *Q. glaucoides* con 9 localidades.

Cuadro. 6 Registros históricos de las especies de estudio.

ESPECIES	IE-BAJÍO ¹	Herbario EBUM ²	GBI F ³	REMIB ⁴	UNIBIO ⁵	TOTAL LOCALIDADES	LOCALIDADES DEPURADAS
<i>Q. castanea</i>	43	46	45	7	1	109	52
<i>Q. crassipes</i>	32	40	30	0	0	102	40
<i>Q. frutex</i>	9	11	0	0	0	20	10
<i>Q. glaucoides</i>	10	7	0	0	0	17	9

¹= Herbario del Instituto de Ecología, A.C., México.

²= EBUM Herbario de la Facultad de Biología de la UMSNH.

³= Global Biodiversity Information Facility.

⁴= Red Mundial de Información sobre Biodiversidad.

⁵= Unidad Informática para la Biodiversidad, Instituto de Biología, UNAM.

De las salidas de campo realizadas se obtuvieron algunos registros de presencia, principalmente de los municipios de Cuto de la Esperanza y Morelia. Para *Q. castanea* se registraron 5 localidades ubicados en Tiristarán y la Cañada del Rio chiquito, *Q. crassipes* 4 en Tiristarán, en *Q. frutex* fueron 4, en el Cerro el Águila, Cerro el Punhuato y La cañada del Rio chiquito y para *Q. glaucoides* 4, en el Cerro el Águila y Cerro el Punhuato (Cuadro 7).

Cuadro. 7 Registros de campo de las especies de estudio en la cuenca de Cuitzeo.

Especie	Estado	Municipio	Localidad	Altitud	Latitud	Longitud
<i>Q. castanea</i>	Michoacán	Cuto de la Esperanza	Tiristarán	2211	19.68012	-101.33006
		Cuto de la Esperanza	Tiristarán	2115	19.73015	-101.31013
		Cuto de la Esperanza	Tiristarán	2162	19.75006	-101.36004
		Cuto de la Esperanza	Tiristarán	2260	19.7415	-101.33007
		Morelia	Rio chiquito	2044	19.66512	-101.14222
<i>Q. crassipes</i>	Michoacán	Cuto de la esperanza	Tiristarán	2139	19.595217	-101.28447
		Cuto de la esperanza	Tiristarán	2150	19.75014	-101.38014
		Cuto de la esperanza	Tiristarán	2216	19.75011	-101.33005
		Cuto de la esperanza	Tiristarán	2200	19.76004	-101.3301
<i>Q. frutex</i>	Michoacán	Morelia	Cerro el Águila	2250	19.66508	-101.14284
		Morelia	Cerro el Águila	2280	19.648611	-101.34333
		Morelia	Cerro el Punhuato	2230	19.694621	101.14671
		Morelia	Cañada del rio chiquito	2216	19.704057	-101.12377
<i>Q. glaucoides</i>	Michoacán	Morelia	Cerro el Águila	2182	19.626703	-101.40677
			Cerro el Águila	2023	19.625410	-101.41313
			Cerro el Quinceo	2067	19.768127	-101.2531
			Cerro el Quinceo	2085	19.771843	-101.2550

Validación estadística de los modelos

Los modelos predictivos realizados con GARP y MAXENT fueron estadísticamente confiables, como se indican en los valores medios del análisis de ROC parcial ya que en todos los casos se observaron >1 , valor que indica que hubo un ajuste correcto de los datos de entrenamiento con los de prueba y que los modelos no fueron hechos al azar (Cuadro 8). Por otra parte, se observó que la combinación de los modelos de GARP y MAXENT (consenso) resultó altamente predictiva, como se muestran en el análisis de Chi-cuadrada (Cuadro 9).

Cuadro. 8 Valores de ROC parcial de los modelos

GARP				
	<i>Q. castanea</i>	<i>Q. crassipes</i>	<i>Q. frutex</i>	<i>Q. glaucoides</i>
Mínimo	1.00	1.03	1.86	0.99
Máximo	1.83	1.81	1.86	1.97
Media	1.60	1.42	1.86	1.48
Desviación estándar	0.08	0.20	0.09	0.3
MAXENT				
Mínimo	0.99	0.98	0.97	1.00
Máximo	1.27	1.2	1.04	1.21
Media	1.10	1.2	1.02	1.11
Desviación estándar	0.08	0.05	0.01	0.01

Cuadro. 9 Análisis de Chi-cuadrada del consenso de los modelos (GARP y MAXENT)

Especie	Áreas predichas por el modelo		Número de localidades dentro y fuera del área				X^2	<i>P</i>
			Observados		Esperados			
	Presencia	Ausencia	Dentro	Fuera	Dentro	Fuera		
<i>Q. castanea</i>	40790	44847	9.662090	0.408580	26	3	44.06	3.18085E-11
<i>Q. crassipes</i>	48955	34106	8.920127	0.310724	17	9	250.31	2.22148E-59
<i>Q. frutex</i>	18561	13421	0.845503	0.122272	5	0	20.53	5.85216E-06
<i>Q. glaucoides</i>	6351	9947	0.347166	0.090622	5	1	7148	2.79487E-17

Distribución potencial de las especies de estudio en la cuenca de Cuitzeo

El modelo de distribución potencial predice condiciones ecológicas aptas para *Q. castanea* de aproximadamente 1,631 km², ocupando el 40% de la cuenca de Cuitzeo. Las zonas con aptitud predichas se ubican principalmente al Sur donde se encuentra: Cuanajo, Acuitzio del Canaje y el Cerro la Trampa en estas áreas se ubican bosque de pino, matorral subtropical y áreas de agricultura, al Suroeste se ubica el Cerro el Águila, el Cerro del Quinceo y Cuto de la Esperanza donde se encuentra bosque de encino, pino, zonas de pastizal y agricultura, al Sureste, se encuentra la cañada del Rio chiquito y el Punhuato en bosque de pino-encino (Figura 10).

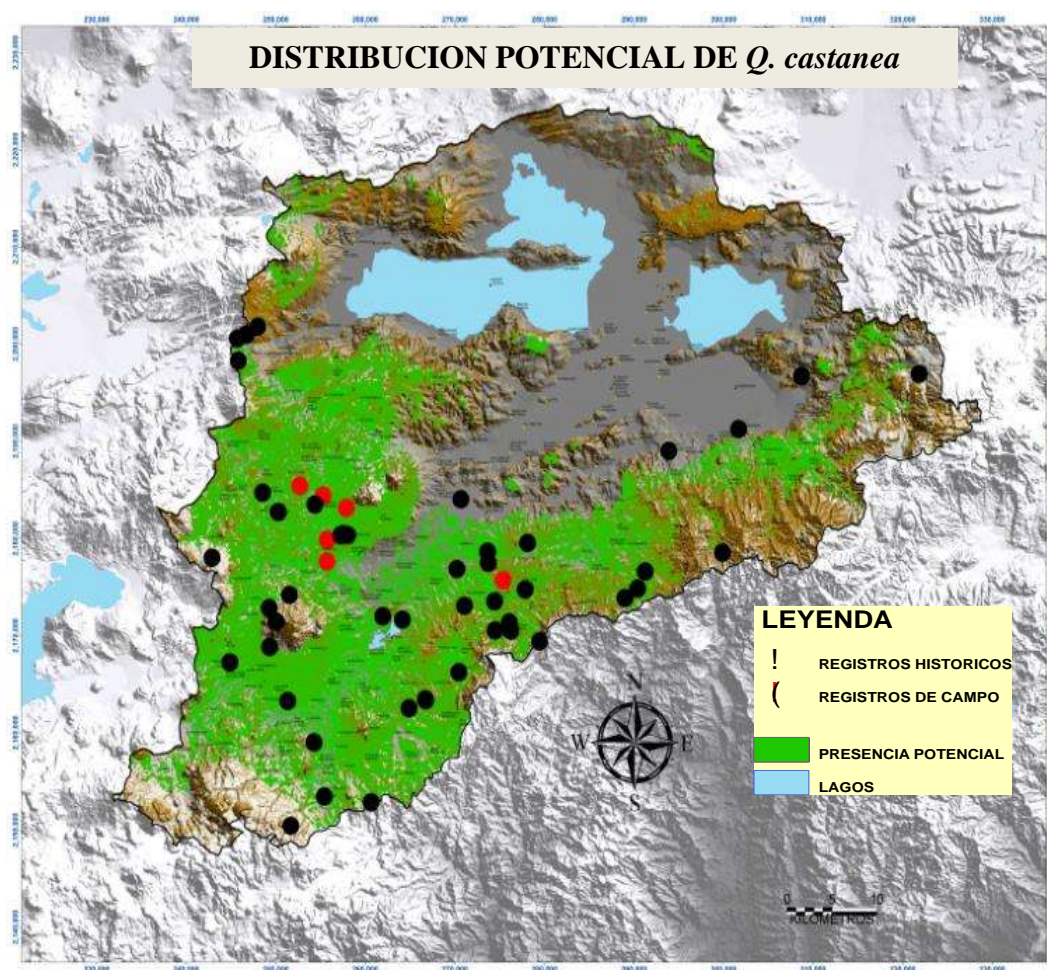


Figura. 10 Distribución potencial de *Q. castanea* en la cuenca de Cuitzeo.

Para *Q. crassipes* el modelo de distribución geográfica predijo 1,958.2 km² de áreas con aptitud, ocupando el 48.9% de la cuenca de Cuitzeo. Estas zonas con aptitud ecológica se ubican al Sur donde está el Cerro la Trampa, el Cerro la Nieve, el Cerro Burro, Cerro el Frijol, en bosque de abies, pino, matorral subtropical y zonas de agricultura, al Suroeste en todo el Cerro el Águila, Las Joyitas, Cuto de la Esperanza, el Cerro del Quinceo, en estas áreas se puede encontrar bosque de encino-pino, pastizal, matorral subtropical y zonas de agricultura, al Sureste, en la cañada del Río chiquito, el Cerro del Punhuato, San Miguel del Monte y Jesús del Monte en estas zonas se encuentra bosque de pino-encino, al Norte en el Cerro de las Cruces, Cerro las Ventanas, La Joya, Laguna Verde en pastizal y matorral subtropical (Figura 11).

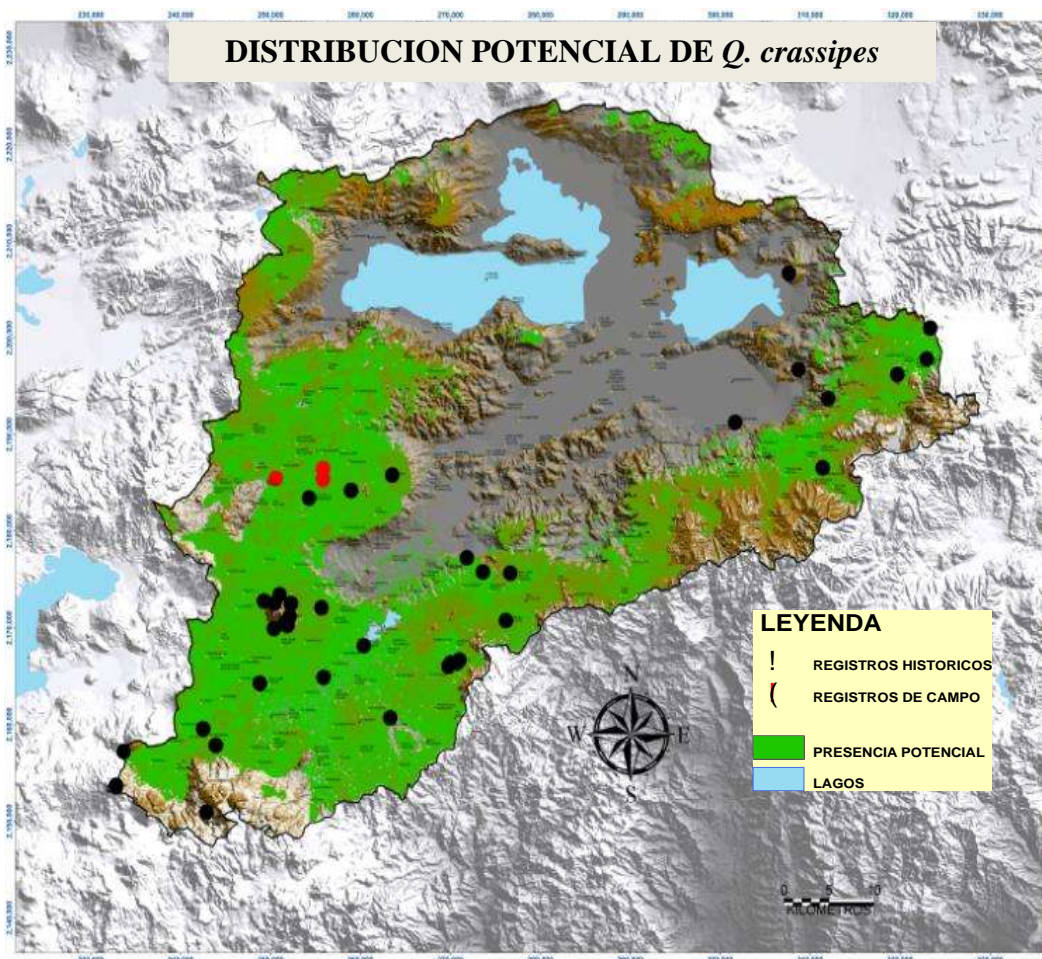


Figura. 11 Distribución potencial de *Q. crassipes* en la cuenca de Cuitzeo.

La distribución potencial predicha para *Q. frutex* fue de 742.44 km² con alrededor del 18.5% de la cuenca de Cuitzeo, ocupando áreas más restringidas. La vegetación predicha como aptas para la especie se encuentran al Suroeste, estas zonas con aptitud se ubican en las partes bajas del Cerro del Águila y del Cerro el Quinceo, así como también en Cuto de la Esperanza y Las Flores, donde se encuentran áreas de encino y zonas de agricultura, mientras que al Sureste, en San Miguel del Monte, Jesús del Monte, la cañada del Rio chiquito, San José de las Torres y la Resinera principalmente en bosque de pino-encino y al Norte en las partes bajas del Cerro de las Cruces y Cerro las Ventanas en matorral subtropical (Figura 12).

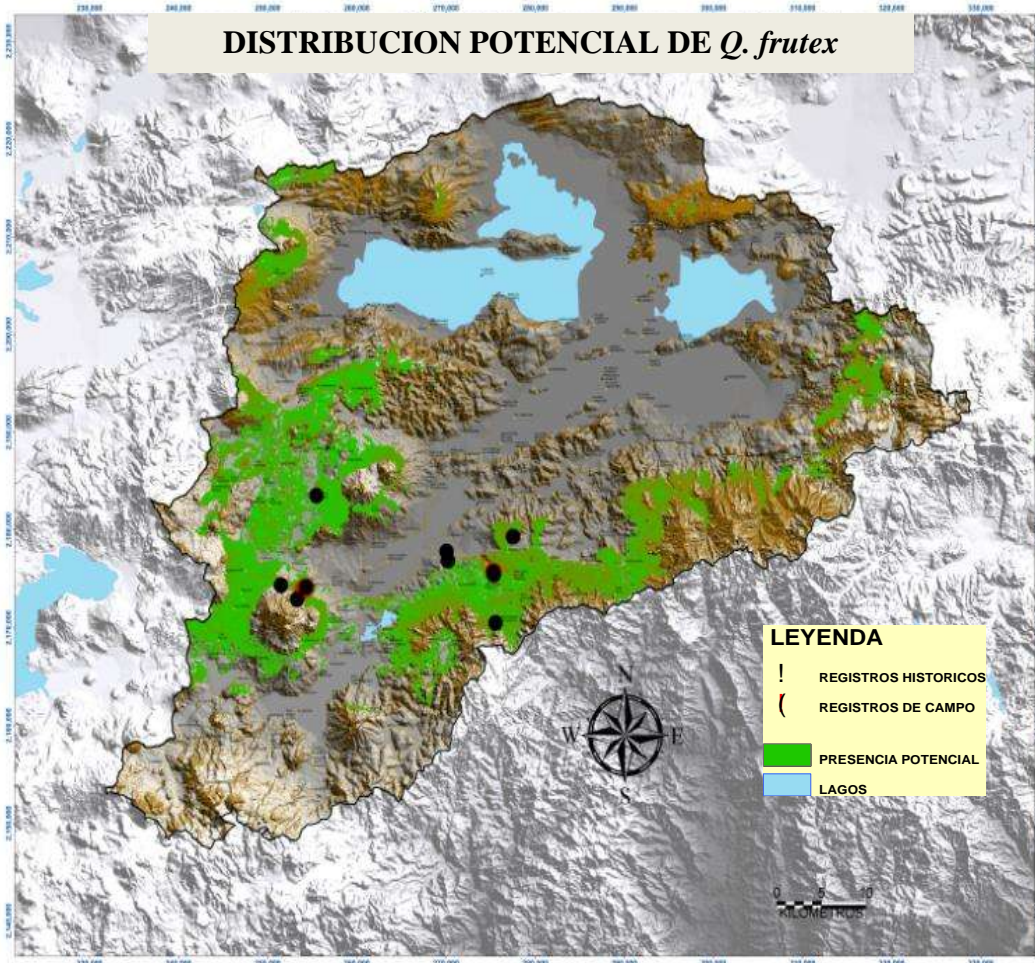


Figura. 12 Distribución potencial de *Q. frutex* en la cuenca de Cuitzeo.

El modelo predijo para *Q. glaucoides* 254.0 km² de áreas con condiciones aptas para la presencia de la especie, equivalente al 6.3% de la cuenca de Cuitzeo. Las áreas con aptitud potencial observadas fueron más restringidas, las cuales se ubican al Suroeste en las porciones bajas del Cerro el Águila subiendo por Iratzio, Las Pilas, Cuto de la Esperanza, Cerro del Quinceo, en bosque de encino, matorral subtropical, agricultura, al Sureste también se observaron áreas con aptitud ecológica, en el Cerro del Punhuato, San Miguel del Monte, Arroyo Colorado, Buena Vista, San José de las Torres, en estas zonas se encuentra vegetación de encino principalmente y pequeños manchones al Norte en las partes bajas del Cerro las Cruces, en matorral subtropical (Figura 13).

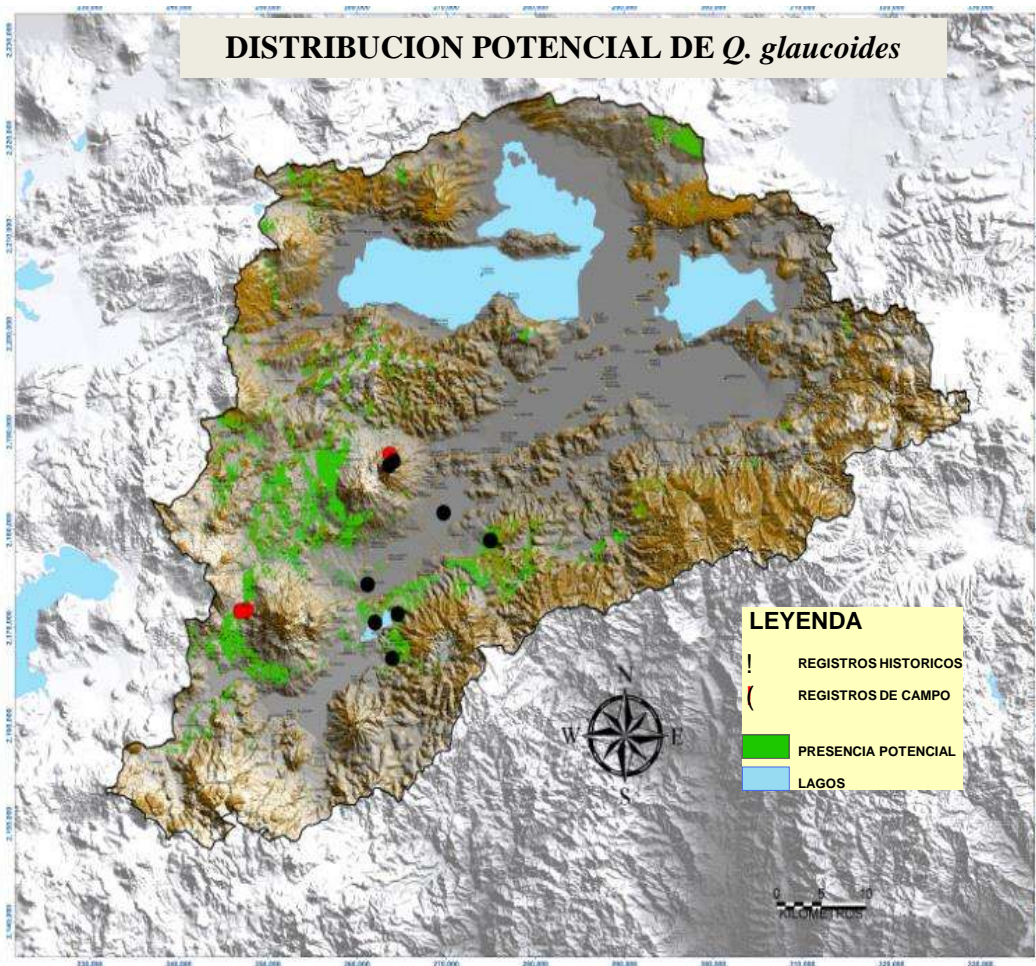


Figura. 13 Distribución potencial de *Q. glaucoides* en la cuenca de Cuitzeo.

Análisis de las características geográficas de las especies

De la combinación del consenso de los modelos (GARP y MAXENT) y del modelo digital de elevación, se obtuvo el rango altitudinal de las especies de estudio (Figura 14). La cuenca de Cuitzeo presenta una altimetría que va desde los 1,800 m.s.n.m hasta los 3,400 m.s.n.m. aproximadamente. *Q. castanea* se distribuye en un rango de 1,881 m.s.n.m a 2,536 m.s.n.m con un valor medio de $2,2191 \pm 130$ m.s.n.m, *Q. crassipes* se observó de 1,865 m.s.n.m hasta 2,810 m.s.n.m con una media de $2,244 \pm 138$ m.s.n.m, para *Q. frutex* su rango altitudinal va de 1,933 m.s.n.m hasta los 2,632 m.s.n.m y una media de $2,234 \pm 102$ m.s.n.m y en *Q. glaucoides* su rango va desde 1,885 m.s.n.m a los 2,484 m.s.n.m con una media de $2,178 \pm 101$. Los valores observados muestran una cierta similitud en la distribución altitudinal en las cuatro especies estudiadas.

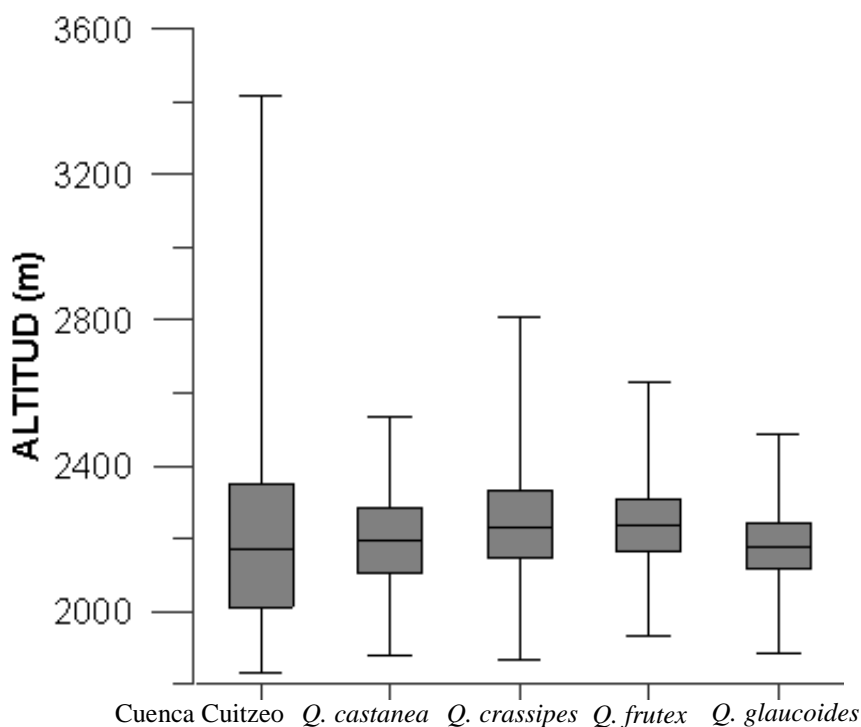


Figura. 14 Rango altitudinal de las especies de estudio. Variación (barras) Desviación estándar (cajas) y valor promedio (línea media) de la altitud en la cuenca de Cuitzeo y para las especies de estudio.

A partir de la combinación de los modelos de consenso (GARP y MAXENT) y el mapa de pendiente, se obtuvo la inclinación del terreno donde se distribuyen potencialmente las especies de estudio. En la cuenca de Cuitzeo, se pueden encontrar posiciones que van desde un rango de los 0° hasta los 38° con una media de 10 ± 7 aproximadamente. Los encinos estudiados pueden distribuirse desde inclinaciones suaves hasta pendiente pronunciada (Figura 15), donde *Q. castanea* se observó en un rango de 3° hasta 24° con una media de 10 ± 5.5 , para *Q. crassipes* entre 3° y 23° la media fue de 8 ± 4.5 , en *Q. frutex* puede distribuirse de los 3° hasta 25° y una media de 9 ± 5 y para *Q. glaucoides* un rango que va de 2° hasta los 21° y la media de 7 ± 4 .

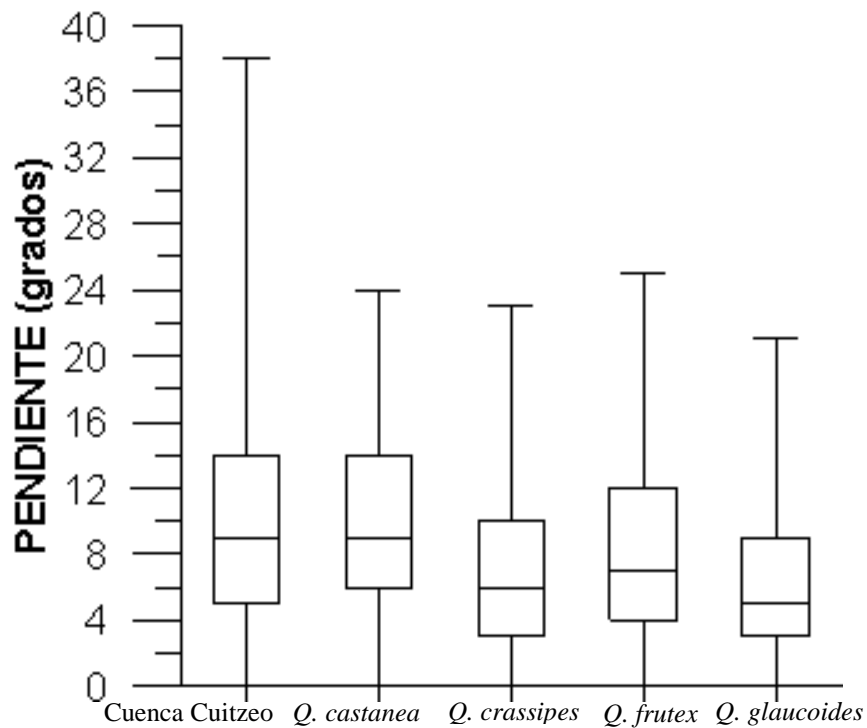


Figura. 15 Rango de pendiente de las especies de estudio. Variación (barras) Desviación estándar (cajas) y valor promedio (línea media) de la pendiente en la cuenca de Cuitzeo y para las especies de estudio

En el análisis de los modelos de consenso (GARP y MAXENT) de las especies y el mapa de orientación de ladera, se obtuvo la preferencia hacia alguna posición geográfica. Se observó que *Q. castanea* se distribuye en un vector medio $\mu= 233^{\circ}\pm 22$ ($r=0.021$) que corresponde a una orientación con preferencia en el cuadrante Suroeste, con un parámetro de concentración $K= 0.0042$ indicando una preferencia direccional de la especie y en la prueba de Rayleigh arrojó un valor de $Z=3.2$ ($P= 0.04$) esto indica que los datos se alejan de la homogeneidad lo cual confirma una ligera preferencia de la especie por esta orientación. En el caso de *Q. crassipes* $\mu=338^{\circ}\pm 14$ ($r=0.032$), concentración $K= 0.065$ y un valor de $Z=8.1$ ($P= 0.001$) correspondiendo a la porción Norte. Para *Q. frutex* $\mu=358^{\circ}\pm 12$ ($r=0.043$), concentración $K= 0.085$ y un valor de $Z= 11.2$ ($P=0.0001$) en la porción Norte, *Q. glaucoides* presenta un $\mu= 282^{\circ}\pm 3.4$ ($r=0.17$), concentración $K= 0.359$ y $Z= 32$ ($P= 0.05$) correspondiendo al Noroeste de la cuenca de Cuitzeo (Figura 16).

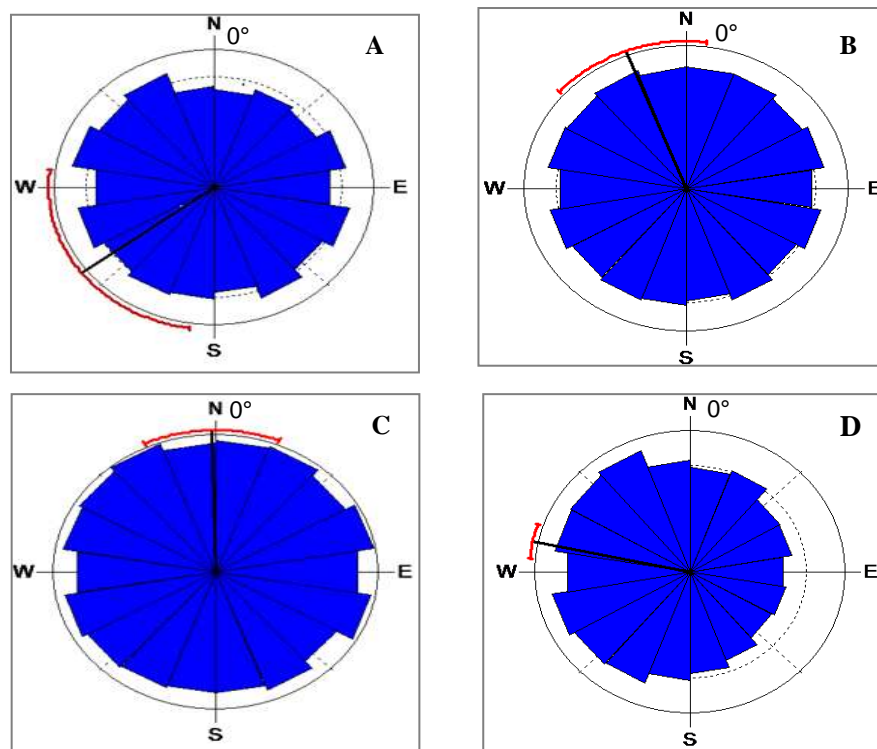


Figura. 16 Orientación de ladera de las especies de estudio. *Q. castanea* (A) *Q. crassipes* (B), *Q. frutex* (C) y (D) *Q. glaucoides* en la cuenca de Cuitzeo, donde el valor medio es la línea de color negro que parte del centro del diagrama hacia la periferia y la línea de color rojo indica el límite de confianza al 95%.

Análisis de las características climáticas de las especies

En la cuenca de Cuitzeo se presenta un rango de temperatura media anual que va desde los 10 °C hasta los 20°C con una media de 15°C±2.3. El intervalo de precipitación media anual de 700 mm a 1,500 mm y una media de 1, 220±236 aproximadamente. Se obtuvo el perfil bioclimático de cada una de las especies de estudio del consenso de los modelos (GARP y MAXENT). Se observó que las cuatro especies presentan un rango de temperatura media de 15 °C, óptimas para su desarrollo. En la precipitación media anual en el caso de *Q. castanea* fue de 1,051±160 mm, en *Q. crassipes* de 1,408±168 mm, *Q. frutex* de 1,059±112 mm y para *Q. glaucoides* de 980±100 mm (Cuadro 10). Los valores climáticos obtenidos ubica a las especies en un clima templado para su distribución en la cuenca de Cuitzeo (Figura 17).

Cuadro. 10 Datos climáticos de las especies de estudio.

ESPECIE	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)		
	Min	Máx	Media	Min	Max	Media
<i>Q. castanea</i>	13	18	15±1.0	745	1,393	1,051±160
<i>Q. crassipes</i>	12	18	15±1.1	763	1,408	1,408±168
<i>Q. frutex</i>	13	17	15±0.8	819	1,325	1,059±112
<i>Q. glaucoides</i>	14	17	15±0.9	800	1,255	989±100

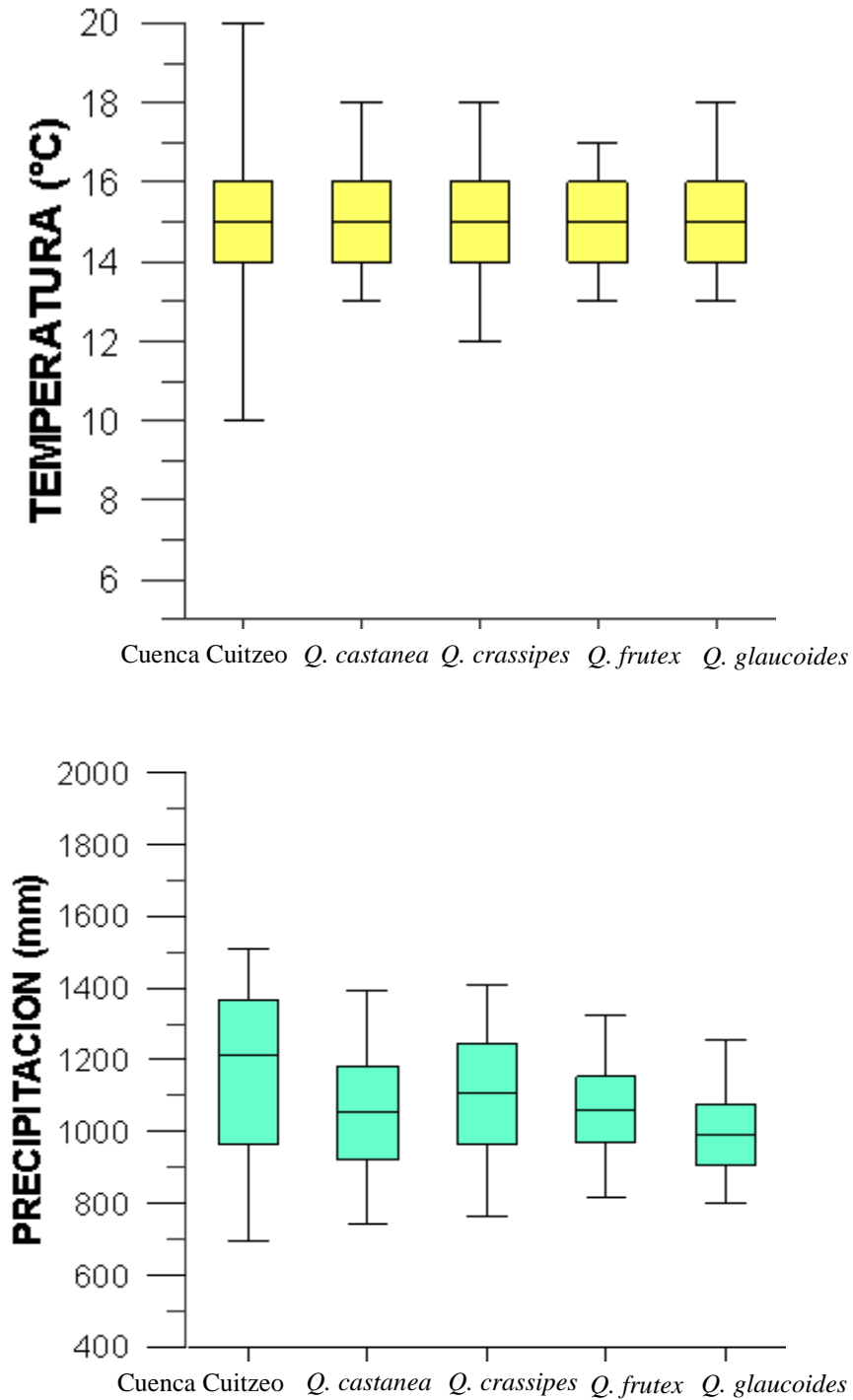


Figura. 17 Rangos de temperatura y precipitación de las especies de estudio. Variación (barras) Desviación estándar (cajas) y valor promedio (línea media) de la temperatura y precipitación anuales en la cuenca de Cuitzeo y para las especies de estudio.

5. DISCUSIÓN

Registros de presencia de las especies para su distribución en la cuenca de Cuitzeo

Los herbarios y base de datos en línea que poseen la información de los registros de presencia de las especies son muy importantes, ya que muestrear áreas muy grandes resultaría muy difícil. Sin embargo, dichas fuentes han sido criticadas ya que no toda la información posee criterios mínimos de revisión, generando una serie de errores taxonómicos y geográficos, por lo que es muy importante tener en cuenta este tipo de sesgos a la hora de realizar los modelos.

Para las especies estudiadas se encontró a *Q. castanea* y *Q. crassipes* con un mayor número de localidades, estos resultados confirman que son especies de distribución amplia en la cuenca como han sido reportadas (Arizaga *et al.*, 2009; Aguilar-Romero 2010), además en las observaciones que se realizaron en campo también se observaron un amplio número de individuos. En el caso de *Q. frutex* y *Q. glaucoides* los registros encontrados fueron más limitados, ya que solo han sido observados en 5 localidades dentro de la cuenca (Cerro el Quinceo, Cerro el Águila, San Miguel de Monte, el Punhuato y Jesús del Monte, principalmente), en campo también se observaron muy pocos individuos. Además, las han reportado como especies de distribución restringida (Arizaga *et al.*, 2009). Las causas de esto son diversas, pero la principal es la falta de muestreos sistemáticos de las especies, que en términos económicos son caros. Sin embargo, los modelos de distribución potencial obtenidos pueden ser utilizados para desarrollar una estrategia de muestreo para aquellas partes del área de estudio en las que se predicen la presencia del nicho climático de las especies.

Distribución potencial de las especies de estudio en la cuenca de Cuitzeo

En esta investigación se obtuvo la distribución potencial de las especies pero con variables ambientales de alta resolución, es un aspecto importante a considerar ya que, en general, son desarrolladas para áreas más grandes que la aquí estudiada, con la consecuente baja resolución. Una importante consecuencia de lo anterior, es una posiblemente pobre representación de las características climáticas locales, en comparación con la alta resolución.

Por otra parte, se utilizó modelos de consenso, es una opción de modelado, que ofrece resultados fiables a nivel específico. Se trata de una técnica aplicada recientemente al modelado de nicho ecológico. Dada la dificultad que representa la elección del método más adecuado, algunos autores sugieren la combinación de varios de estos métodos para reducir la variabilidad que se observa entre métodos. El empleo de esta opción parece ser prometedora, por lo cual, como resultado de este trabajo, consideramos que es una opción recomendable para trabajos futuros de este tipo.

En base a lo anterior, la combinación de los modelos de GARP y MAXENT mostraron que, *Q. castanea* y *Q. crassipes*, son las especies con mayores áreas aptas predichas para su distribución potencial, coincidiendo con la abundancia en el número de registros encontrados en las colecciones científicas y los reportes que se tiene para su distribución en la cuenca (Aguilar-Romero 2010), lo que demuestra que los modelos realizaron predicciones coherentes. Por otra parte, para *Q. frutex* y *Q. glaucoides* los modelos mostraron áreas con aptitud ecológica más restringida, respuesta que coincide con los pocos registros de presencia encontrados. Una posible explicación podría ser a que no han sido observadas con frecuencia, ya que las han reportado como especies de distribución restringida (Arizaga *et al.*, 2009), con estos resultados se observa que los modelos no sobreestimaron la distribución potencial para su presencia en la cuenca de Cuitzeo.

La distribución general predicha para la presencia de las cuatro especies, coincide principalmente con vegetación de encino y pino-encino, donde se encuentran la mayoría de las poblaciones de robles en la cuenca de Cuitzeo (Macedo-Santana 2011; Aguilar-Romero 2010). Además, se observaron otras áreas potencialmente aptas donde probablemente hubo encino y en la actualidad ya no existe por el cambio de uso de suelo, pero sigue siendo apto.

Este análisis espacial proporciona una aproximación razonable del nicho de las especies, representando el nicho fundamental donde podrían estar presentes, el cual podría orientar planes de conservación de este recurso forestal en la cuenca de Cuitzeo.

Características geográficas de las especies para su distribución en la cuenca de Cuitzeo

Se observó que *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* se distribuyen potencialmente en altitudes mayores con respecto *Q. glaucoide* que es la especie con un rango altitudinal menor. Estas observaciones coinciden con los rangos reportados para estas especies en bosques templado (Arizaga *et al.*, 2009), lo cual indica que los modelos realizaron una predicción razonable de esta característica para su distribución en la cuenca de Cuitzeo.

En el caso de la orientación de ladera *Q. castanea* presenta una ligera preferencia hacia la orientación Suroeste, es probable que reciba mayor radiación solar y menor humedad por el efecto de solana. Aunque, lo observado difiere de lo que Encina y Villareal en el 2002 reportaron, donde mencionan que los encinos rojos como es el caso de esta especie tiene preferencias por orientación Norte, esto en el estado de Coahuila, tomando en cuenta que se distribuyen en un bosque templado seco y desconocemos cuales son las característica de relieve del lugar. Mientras que en la cuenca de Cuitzeo las poblaciones de encinos se ubican al Sur en un bosque templado húmedo. Con estas observaciones, es muy probable que la preferencia hacia alguna orientación de las especies dependa en gran parte de características propias del lugar como el relieve, características del suelo, vegetación, clima etc. (González *et al.*, 1996 Zavala-Chávez 1998). Por lo que, es muy importante para el manejador de recursos forestales conocer aspectos ecológicos básicos de una especie, como una medida para realizar un manejo adecuado y racional a la hora de diseñar planes de conservación. Por otra parte *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoide*s presentan cierta preferencia por las laderas con orientación Norte, orientación para la que se da el efecto de umbría y que corresponde a situaciones de menor radiación y mayor humedad (Sternberg y Shoshany 2001; Encina y Villareal 2002; Bennie *et al.*, 2008; López *et al.*, 2012). Aunque, se recomienda realizar otros análisis estadísticos y verificación en campo para determinar con exactitud la preferencia por alguna ladera para su distribución en la cuenca de Cuitzeo.

Los resultados obtenidos permiten determinar los requerimientos para cada una de las especies, ya que no todas presentan las mismas necesidades ambientales. Estas características tienen un papel importante, no solo en la distribución, en el crecimiento y la estructura de la vegetación, a nivel de especies y de población, sino también es muy importante conocer los

requerimientos geográficos para tener mayor éxito al momento de realizar acciones de conservación. Por lo que su conocimiento es de gran relevancia (Sternberg y Shoshany 2001; Bennie *et al.*, 2008; Apaydin *et al.*, 2011).

Características climáticas de las especies de estudio

Los perfiles bioclimáticos de temperatura y precipitación obtenidos para las especies son de gran importancia, ya que permiten conocer el intervalo de tolerancia que cada una requiere para su establecimiento en la cuenca de Cuitzeo. De acuerdo a los modelos se observó que las cuatro especies tienen requerimientos similares tanto de temperatura media anual (entre los 12 y los 18°C) como de precipitación (desde los 700 hasta los 1500 mm anuales, ya que son especies que se le ha registrado en las mismas localidades o cercanas, lo que indica que existe una relación directa de altitud con el clima donde se distribuyen. Estos requerimientos corresponden a un clima templado, lo cual fue predicho por los modelos.

Dicha información es crucial en la distribución de las plantas en la superficie de la Tierra, debido a que determinan diversas características como la reproducción, el desarrollo y otras funciones fisiológicas (Solano y Feria 2007; Urbietta *et al.*, 2011). Por ello, el aporte de esta investigación es muy importante ya que no existen reportes de estas características para las especies estudiadas que limitan su distribución en la cuenca de Cuitzeo.

Los resultados obtenidos en esta investigación, proporcionan información razonable de las áreas potenciales donde pueden o podrían estar presentes las especies estudiadas. Por ello, dicha información podría utilizarse para definir acciones de conservación, restauración o reforestación; así mismo, podría ayudar a elegir áreas idóneas para realizar plantaciones comerciales. En este sentido, los resultados obtenidos permiten formular estrategias mejor enfocadas e implementarlas de manera más efectiva en un plan de manejo forestal.

6. CONCLUSIONES

- 1.- El uso de técnicas de modelaje espacial de la distribución de las especies, es una herramienta útil que permitió generar conocimiento de la distribución geográfica y ambiental de las especies de estudio en la cuenca de Cuitzeo.
- 2.- Conocer la distribución del nicho climático de las especie permitió visualizar que parte de la oferta ambiental de la cuenca de Cuitzeo es utilizada por las mismas, aproximándonos a su nicho ecológico realizado, lo cual es altamente relevante para establecer estrategias de conservación y manejo de este recurso.
- 3.- El conocer aquellas porciones del área de estudio en donde se presenta el nicho climático potencial de las especies, es importante porque permite detectar áreas potenciales para restauración y/o establecimiento de plantaciones comerciales
- 4.- Esta investigación sienta las bases para el desarrollo de estudios posteriores, que permitan una mejor comprensión de las especie y las condiciones necesarias para su presencia, contribuyendo a mejores estrategias de conservación y manejo forestal.

7.- BICLIOGRAFÍA

- Aguilar-Romero, R. 2010. Propiedades Físicas de la madera, alometría y crecimiento de tres especies (género *Quercus*) bajo manejo en la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia Michoacán. 70 p.
- Anderson, R. P., D. Lew y A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*. 162:211-232.
- Apaydin, H., A. S. Anli y F. Ozturk. 2011. Evaluation of topographical and geographical effects on some climatic parameters in the Central Anatolia Region of Turkey. *International Journal of Climatology*. 31:1264-1279.
- Arizaga, S., J. M. Cruz, M. S. Cabrales y M. A. B. González. Manual de la biodiversidad de encinos Michoacanos. 2009. 1 era edi. México D.F. 147 p.
- Babar, S., G. Amarnath, C. S. Reddy, A. Jentsch y S. Sudhakar. 2012. Species distribution models: ecological explanation and prediction of an endemic and endangered plant species (*Pterocarpus santalinus* L.f.). *Current Scienc*. 102 (8):1157-1165. .
- Bennie, J., B. Huntleya, A. Wiltshirea, M. O. Hill y R. Baxtera. 2008. Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecological Modelling*. 21 (6):47-59.
- Encina, J. A. D. y J. Á. Q. Villareal. 2002. Distribución y Aspectos Ecológicos del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Coahuila México. *Polibotánica*. 13:1-23.
- González, J. C. H., A. Bonet y M. T. Echeverría. (1996). Efecto de la orientación de la ladera sobre algunas comunidades arbustivas del semiárido central de la depresión del Ebro. *Mediterranea*. 21-31.
- Hijmans, R., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25:1965-1978.
- Ibarra, J. L. M., G. R. -Peraza, F. A. González-Farías, J. d. Anda, M. E. Zamudio-Resendiz, E. Martínez-Meyer y H. Macias-Cuellar. 2010. Modelo de Nicho ecológico para predecir la distribución potencial de fitoplancton en la Presa Hidroeléctrica Aguamilpa, Nayarit. México. *Revista Ambiente y Agua*. 5:61-75.
- Loiselle, B. A., P. M. Jorgensen, T. Consiglio, I. Jiménez, J. G. Blake, L. G. Lohmann y O. M. Montiel. 2008. Predicting species distributions from herbarium collections: does climate bias in collection sampling influence model outcomes?. *Biogeography*. 35:105-116.
- López, V. G., P. Z. Avelleyra, S. A. Hong, E. G. Lozada y Z. C. Santana. 2012. Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Botanical Sciences*. 90 453-457.
- Luna, A. d. L. J., L. M. Espinosa y B. R. Aguilar. 2003. Los usos leñosos de los encinos en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 072:107-117.

- Macedo-Santana, F. 2011. Variación en la estructura y composición de la comunidad vegetal leñosa y tipos de manejos en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán, México Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia. pp. 85.
- Nares, O. A. L., M. E. Mendoza y E. C. Gonzáles. 2012. Análisis y modelamiento espacial de información climática en la cuenca de Cuitzeo, México. *Investigaciones Geográficas*. 83:1152-1170.
- Papes, M. y P. Gaubert. 2007. Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions*. 13:890-902.
- Pérez, C., S. V. Jiménez y J. C. Romero. 2006. Anatomía de la madera de ocho especies de *Quercus* (FAGACEAE) de Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 12:63-94.
- Peterson, A. T. 2003. Predicting the geography of species invasions via ecological niche modeling. *The quarterly review of biology*. 78:419-433.
- Peterson, A. T., M. Papes y J. Soberon. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*. 13:63-72.
- Peterson, A. T. 2006. Uses and Requirements of Ecological Niche Models and Related Distributional Models Biodiversity. *Informatics*. 3:59-72.
- Phillips, S. J. y M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 31: 161-175.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distribution. *Ecological Modelling*. 190:231-259.
- Rzedowski, J. 1978. *La vegetación de México*. edición., México, 432 p.
- Shipley, J. R., A. Contina, N. Batbayar, E. S. Bridge, A. T. Peterson y J. F. Kelly. 2013. Niche Conservatism and Disjunct Populations: A Case Study with Painted Buntings (*Passerina ciris*). *Bio One*. 130 (3): 476-486.
- Soberón, J. 2007. Grennellian and Etonian niches and geographic distribution of species. *Ecological Letters*. 10:1-9.
- Solano, E. y P. T. Ferial. 2007. Ecological niche modeling and geographic distribution of the genus *Polianthes* L. (Agavaceae) in México: using niche modeling to improve assessments of risk status. *Biodivers Conserv*. 16:1885-1900.
- Sternberg, M. y M. Shoshany. 2001. Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: Comparison of a semiarid and an arid site in Israel. *Ecological Research*. 16:335-345.
- Stockwell, D. y D. Peters. 1999. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *Geographical Information Science*. 13:143-158.
- Téllez, V. O., V. Farías, P. D. Aranda, J. L. Stein, R. L. Saade y F. J. Botello. 2010. Mammalian diversity in climatic domains for Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81:863-874.

- Urbieto, I. R., L. V. García, M. A. Zavala y T. Marañón. 2011 Mediterranean pine and oak distribution in southern Spain: Is there a mismatch between regeneration and adult distribution?. *Journal of Vegetation Science*. 22:18-31.
- Zavala, F. C. 1998. Observación sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica*. 8:47-64

CAPÍTULO II

POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE CUATRO ESPECIES DE ENCINOS EN LA CUENCA DE CUITZEO.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio global en el clima del planeta que se ha venido registrando en los últimos años es atribuido en su mayor parte a las actividades humanas, específicamente a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC 2007). Estos gases alteran la composición de la atmosfera y tiene consecuencias en la variabilidad natural del clima, como el incremento de la temperatura y disminución de los regímenes de precipitación, con respecto a la observada durante períodos de tiempo comparables (Keller 2010). Factores climáticos que son de gran relevancia, ya que imponen límites para el establecimiento de los organismos en el planeta, de tal forma que si se modifican, también podrían cambiar, la estructura y composición de los ecosistemas (Rehfeldt *et al.*, 2012), ocasionando numerosas transformaciones; como alteraciones en gran variedad organismos, en lo que respecta la distribución geográfica, abundancia, colonización y extinción de las especies (Anciaes y Peterson 2006; Delgado y Duque 2009; Allen *et al.*, 2010). Donde se ha reportado que en el futuro podrían afectar el estatus de conservación de muchas especies, en especial aquellas que se encuentran en bosque templado o que tienen una distribución geográfica restringida (Delgado y Duque 2009; Breshears *et al.*, 2005; Candau y Fleming 2005). Por ello, entender la dinámica geográfica de las especies en los bosques en relación al cambio climático permitiría identificar el comportamiento de los organismos a nivel espacial y con ello analizar el impacto para priorizar estrategias de conservación en especies a nivel local (Pacheco *et al.*, 2010; Hsu *et al.*, 2012).

2. OBJETIVO

El objetivo de este capítulo es evaluar el impacto del cambio climático a partir de los escenarios futuros A2 (pesimista) y B1 (optimista) (según el modelo IPCC) sobre la distribución geográfica de *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucooides* en la cuenca de Cuitzeo.

3. METODOLOGÍA

Se evaluaron los posibles efectos del cambio climático en *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucooides*. Para ello, se utilizaron datos de presencia conocida de las especies obtenidas de herbarios y la base de datos en línea descritas en el capítulo 1. Dentro de las variables ambientales se utilizaron: un mapa de elevación en metros (MDE), un mapa de pendiente y otro de orientación de laderas (ambos en grados generados a partir del MDE).

Las variables climáticas utilizadas fueron actuales y futuras obtenidas de la base de datos de WORDCLIM (<http://www.worldclim.org/>), la cual contiene un total de 19 variables (oscilación diurna de la temperatura media mensual, isotermabilidad, estacionalidad de la temperatura, rango de temperatura, precipitación anual, precipitación del mes más húmedo, precipitación del trimestre más húmedo, precipitación del trimestre más cálido y precipitación del trimestre más frío) y un modelo digital de elevación con una resolución espacial de 30" de arco (aproximadamente 1 km, descrito en el capítulo 1 (Hijmans *et al.*, 2005). Se calculó la correlación entre las 19 variables para evitar la multicolinealidad, con el programa STATISTICA versión 7, ($r < 0.5$).

Las variables futuras que se utilizaron fueron obtenidas de los escenarios publicados por el Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC por sus siglas en inglés) del cuarto reporte publicado en el 2007, a partir de un Modelo de Circulación General Canadiense (CGCM3) acoplado océano-atmósfera, es decir evalúan la cantidad de CO₂ en el aire y en los océanos. Los escenarios fueron el A2 (pesimista) y el B1 (optimista). A1 predice las mayores emisiones de GEI, ya que fue realizado bajo los supuestos de un incremento de la

economía, población, tecnología y el uso indiscriminado de recursos naturales. El escenario B1 describe un incremento menor de GEI, donde el crecimiento económico y de la población es más lento; prevé un mundo donde predominan las soluciones locales como la sostenibilidad económica, social y ambiental. Ambos escenarios se proyectaron para el año 2030 y 2060 (IPCC 2000; IPCC 2007).

Los modelos se realizaron con GARP y MAXENT y fueron validados con el análisis de ROC parcial (Peterson 2008) (descrito en el capítulo 1). Posteriormente, se hizo una combinación de ambos algoritmos, que dio como resultado un mapa de consenso donde los dos métodos predicen áreas aptas para la distribución de las especies. Este mapa fue validado con un análisis de Chi-Cuadrada ($p < 0.05$). Finalmente, los resultados de los modelos se trabajaron en ArcMap versión 9.3.

Se hizo un análisis de las condiciones climáticas actuales y bajo los escenarios futuros de la Cuenca de Cuitzeo y se determinaron las pérdidas o ganancias de áreas en km^2 y en porcentaje (%) en cada una de los encinos estudiados.

4. RESULTADOS

Validación estadística de los modelos

Se validaron los modelos predictivos actuales realizados con GARP y MAXENT. Se observó que fueron estadísticamente confiables, como lo indican los valores del análisis de ROC parcial. Se observaron valores medios >1 , valor que indica que los modelos son confiables ya que se ajustaron correctamente los datos de entrenamiento con los de prueba, alejándose de ser realizados al azar (Cuadro 11). También se validó la combinación de los modelos (consenso) con un análisis de Chi-cuadrada, el cual mostró que fueron altamente predictivos (Cuadro 12)

Cuadro. 11 Valores de ROC parcial de los modelos.

GARP				
	<i>Q. castanea</i>	<i>Q. crassipes</i>	<i>Q. frutex</i>	<i>Q. glaucoides</i>
Mínimo	1.77	0.99	0.99	0.98
Máximo	1.88	1.20	1.01	1.02
Media	1.83	1.12	1.00	1.01
Desviación estándar	0.03	0.01	0.02	0.02
MAXENT				
Mínimo	0.98	0.98	0.99	1.00
Máximo	1.22	1.11	1.10	1.21
Media	1.10	1.01	1.08	1.10
Desviación estándar	0.05	0.01	0.03	0.01

Cuadro. 12 Análisis de Chi-cuadrada del consenso de los modelos (GARP y MAXENT).

Especie	Áreas predichas por Modelo		Número de localidades dentro o fuera del área				X^2	P
			Observados		Esperados			
	Presencia	Ausencia	Dentro	Fuera	Dentro	Fuera		
<i>Q. castanea</i>	2099	1685	11.09	0.34	25	4	56.49	5.6245E-14
<i>Q. crassipes</i>	2389	1684	9.71	0.34	17	9	224.46	9.61278E-51
<i>Q. frutex</i>	731	2568	0.740	0.52	5	0	24.91	5.98409E-07
<i>Q. glaucoides</i>	704	316	0.85	0.06	5	1	33.6	6.72867E-09

El análisis de las variables climáticas de temperatura y precipitación media anual actual y en cada uno de los escenarios futuros, se determinaron los cambios en el clima de la cuenca de Cuitzeo. En los dos escenarios (A2=pesimista y B1= optimista) se observó que podría ocurrir un incremento en la temperatura y disminuir la precipitación con respecto al actual. Siendo el escenario A2 el más drástico ya que predice un aumento de 0.69 °C para el año 2030 y de 1.9 °C para el 2060; en el escenario B1 el incremento podría ser menor de 0.34 °C y 1 °C respectivamente. En el caso de la precipitación, el A2 fue el que predijo mayor disminución: para el año 2030 podría reducirse hasta en un 17.1 % y para el 2060 podría perderse alrededor del 21.1 %; mientras que el B1 predice una reducción del 12.8% y 18.5% (Figura 18).

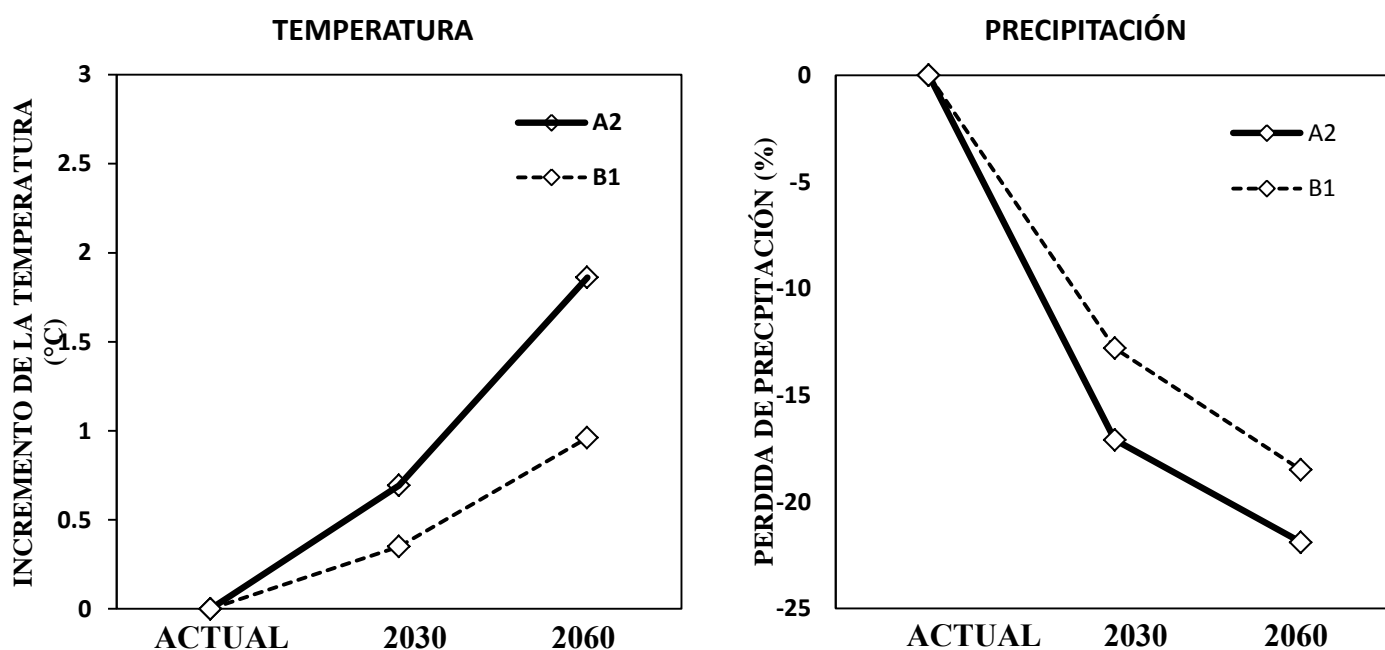


Figura. 18 Posibles cambios futuros en el clima de la cuenca de Cuitzeo. Modificaciones en la temperatura y precipitación media anual proyectados bajo los escenarios A2 (pesimista) y B1 (optimista) para el año 2030 y 2060.

El modelo de distribución actual predijo para *Q. castanea* una superficie total de 2,099 km² ocupando el 54.4 % de la cuenca de Cuitzeo. Los resultados sugieren que el cambio climático podría tener un impacto sustancial sobre la distribución geográfica de esta especie. El escenario A2 (pesimista) predice para el año 2030 una superficie con aptitud de 153 km², lo que supone una disminución del 92.4% con respecto a su distribución actual y para el 2060 podría llegar a desaparecer completamente. Por otra parte, en el escenario B1 (optimista) en el 2030 podrían conservarse únicamente 875 km², perdiéndose el 58.3 % de las condiciones aptas para su presencia; para el año 2060 el modelo predice 28 km², restringiéndose hasta el 98.2%. Los resultados observados en ambos modelos son drásticos ya que muestran una reducción de las partes más bajas aptas en la actualidad y como el nicho climático podría desplazarse hacia las porciones de mayor elevación del área de estudio (Figura 19).

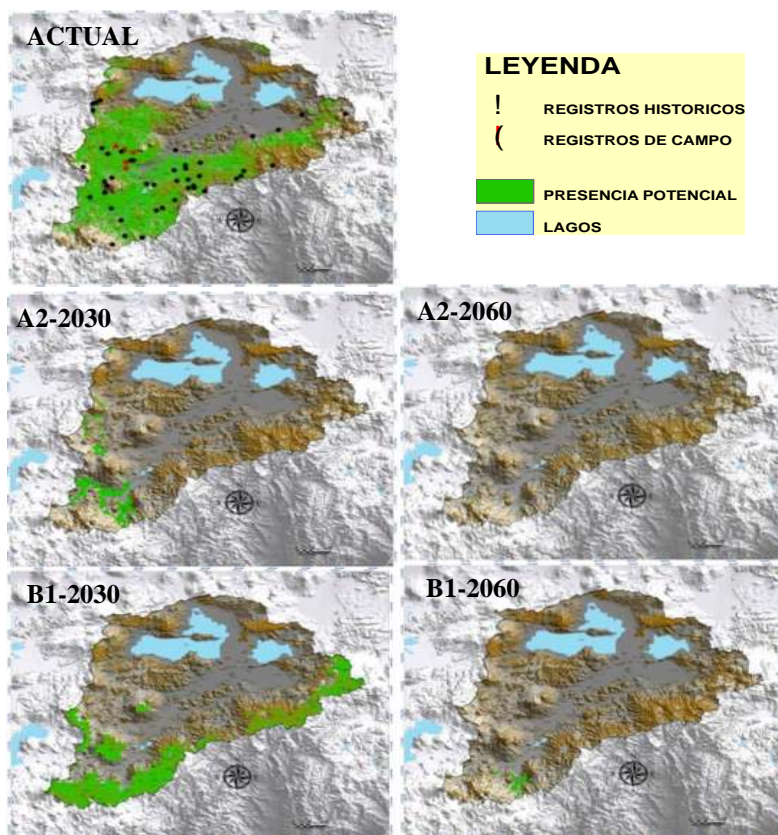


Figura. 19 Distribución actual de *Q. castanea* en la cuenca de Cuitzeo y sus efectos potenciales evaluados bajo los escenarios futuros A2 (pesimista) y B1 (optimista) para el año 2030 y 2060.

La distribución observada para *Q. crassipes* en el modelo actual fue de 2,389 km² equivalente al 59.2% de la cuenca de Cuitzeo con aptitud para la especie. Mientras que en los escenarios futuros evaluados, muestran que el cambio climático podría afectar la distribución potencial de la especie donde se distribuyen actualmente, desplazando su nicho climático hacia las mayores altitudes. El escenario A2 (pesimista) predice 860 km², desapareciendo aproximadamente el 64.0% de su nicho climático para el año 2030 y para el 2060 podría llegar a desaparecer. En el escenario B1 (optimista) para el 2030 el modelo predice 475 km² reduciéndose el 80.1% hacia las porciones de mayor elevación y para el 2060 solo 86 km² podrían conservarse reduciéndose hasta en un 96.4 % de las áreas con aptitud (Figura 20).

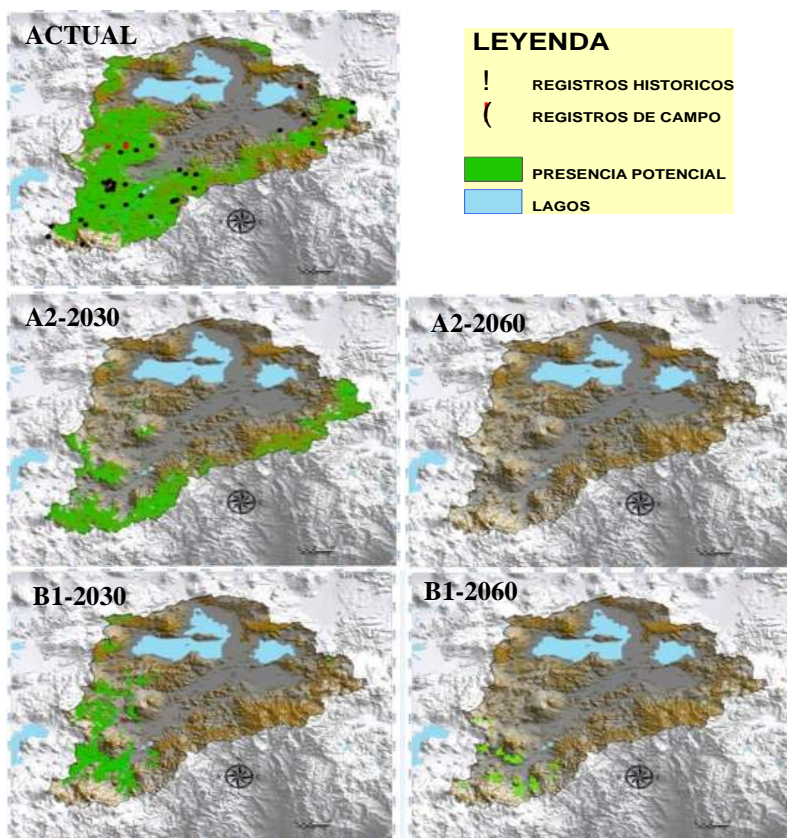


Figura. 20 Distribución actual de *Q. crassipes* en la cuenca de Cuitzeo y sus efectos potenciales evaluados bajo los escenarios futuros A2 (pesimista) y B1 (optimista) para el año 2030 y 2060.

Las áreas con aptitud ecológica potencial para la presencia de *Q. frutex* fue de 731 km² equivalente al 18.0 % de la cuenca de Cuitzeo para su distribución potencial actual. Sin embargo, de acuerdo a los escenarios futuros evaluados el cambio en las condiciones climáticas actuales podría impactar seriamente para su distribución futura. El escenario A2 (pesimista) desde el año 2030 predice una pérdida total de su nicho climático. En el escenario B1 (optimista) predice 31 km² con aptitud reduciéndose hasta un 95.7% con respecto al actual y para el 2060 podrían conservarse alrededor de 5 km² en las porciones de mayor altitud, reduciéndose en un 99.3 % (Figura 21).

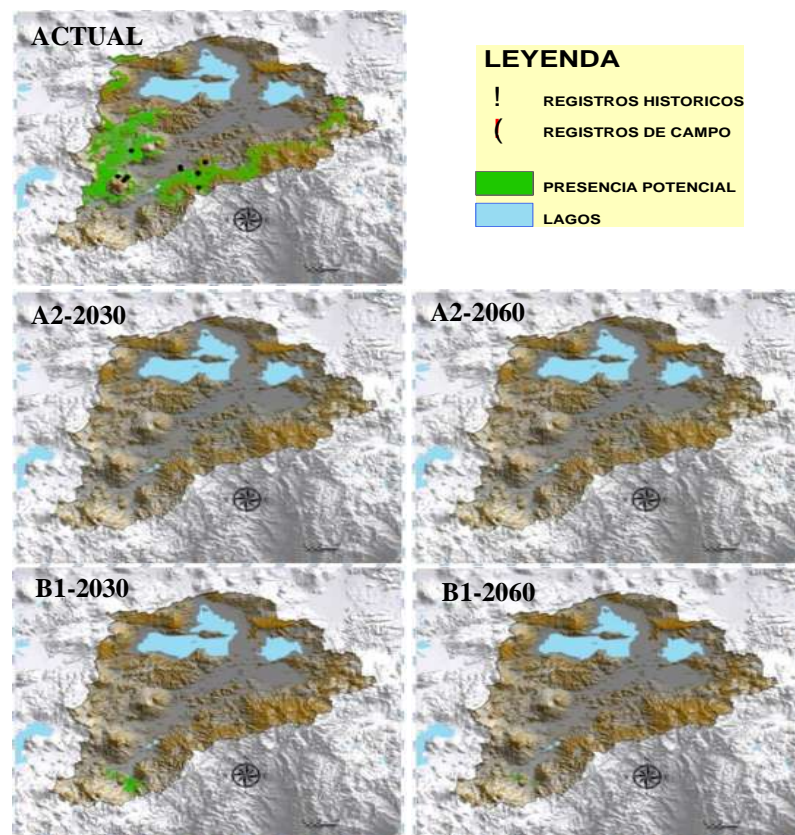


Figura. 21 Distribución actual de *Q. frutex* en la cuenca de Cuitzeo y sus efectos potenciales evaluados bajo los escenarios futuros A2 (pesimista) y B1 (optimista) para el año 2030 y 2060.

Para *Q. glaucoides* el modelo actual predijo 704 km² con condiciones aptas, ocupando el 17.6 % de la cuenca de Cuitzeo. Los modelos de cambio climático sugieren que estos cambios tendrán un importante efecto sobre la distribución geográfica de la especie. El escenario A2 (pesimista) mostró que desde el año 2030 podría llegar a perderse la totalidad del nicho climático que en el escenario actual es potencial. En el escenario B1 (optimista) se observó para el 2030 podría conservarse 21 km² en las zonas de mayor elevación en la cuenca, restringiéndose en un 97.0 % y para el 2060 solo 9 km² predice el modelo como aptas para la especie ya que podría perderse en un 98.7% (Figura 22).

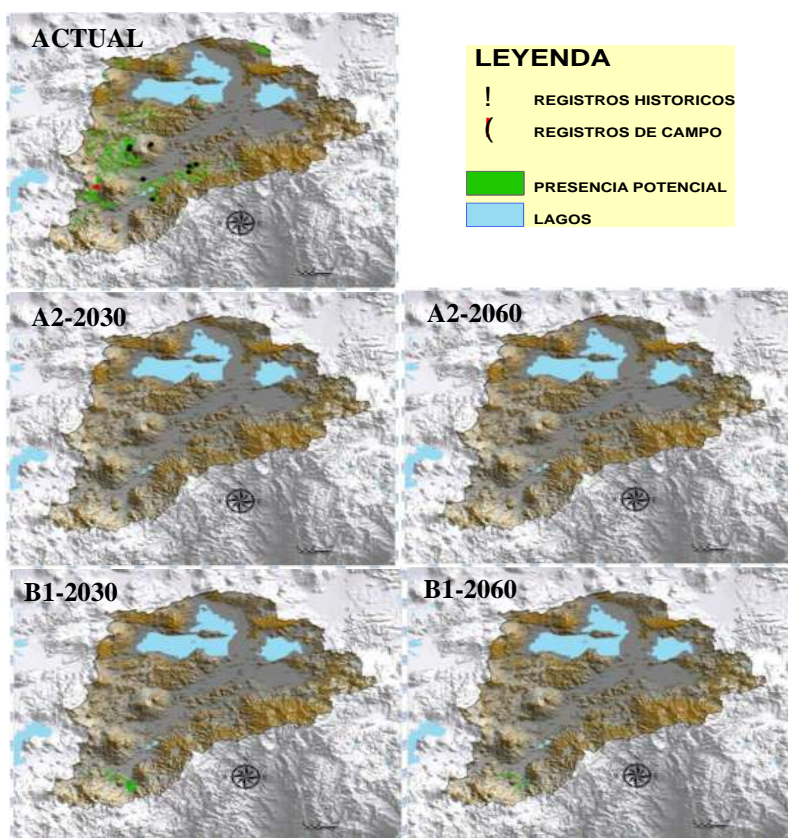


Figura. 22 Distribución actual de *Q. glaucoides* en la cuenca de Cuitzeo y sus efectos potenciales evaluados bajo los escenarios futuros A2 (pesimista) y B1 (optimista) para el año 2030 y 2060.

5. DISCUSIÓN

Numerosos estudios indican que el cambio climático ya ha alterado los patrones globales de la biodiversidad, mediante la modificación de la temperatura y precipitación en diversas zonas del planeta (Breshears *et al.*, 2005; Ackerly *et al.*, 2010; Allen *et al.*, Franklin *et al.*, 2013). Estos cambios en el clima están ampliamente explicados por la acumulación de los gases de efecto invernadero que al ir aumentando su concentración en la atmosfera causan mayor retención de calor en la superficie de la tierra y con ello modifica el clima global, regional y local (IPCC 2007; Gómez *et al.*, 2007). En esta investigación los resultados que se obtuvieron no son la excepción, ya que de acuerdo a los escenarios de cambio climático evaluados, las condiciones actuales en la cuenca de Cuitzeo podrían modificarse en los próximos años. El escenario A2 (pesimista) es el que mayores efectos negativos predice, como una tendencia de incremento de la temperatura y de disminución de la precipitación. El B1 (optimista) también podría modificar el clima, pero con una intensidad menor. Estos resultados indican que aún en el escenario más moderado de GEI en la cuenca podrían alterarse los rangos climáticos naturales. La tendencia de incremento en la temperatura y disminución de la precipitación coincide con lo que se ha reportado a nivel global (IPCC 2007). Además, para México también se ha reportado esta respuesta, en una investigación realizada por Sáenz y colaboradores en el 2010, donde se menciona que la temperatura podría incrementarse de 1.4 °C para el 2030, 2.2° C en el 2060 y para el 2090 de 3.4 °C con los escenarios utilizados en esta investigación. Con estas posibles modificaciones en el sistema climático, la biodiversidad en los actuales ecosistemas también se verá afectada.

De acuerdo con estas proyecciones, los modelos de nicho ecológico en ambos escenarios (A2 y B1) muestran una disminución considerable de las condiciones con aptitud potencial futura para la presencia de las cuatro especies estudiadas en la cuenca de Cuitzeo. El escenario A2 (pesimista) pronostica un efecto más drástico, ya que para *Q. castanea* y *Q. crassipes* para el año 2030 se podrían perder entre el 50 y 90% del área potencial y para el 2060 llegar a desaparecer en su totalidad. Por otra parte, para *Q. frutex* y *Q. glaucooides* desde el 2030 se observó una pérdida total de su nicho climático, con respecto al que en la

actualidad es potencial. Es claro que dichas especies, al presentar una distribución más restringida, son altamente vulnerables frente a un cambio en el clima de su hábitat, puesto que al estar en lugares específicos sus áreas se verán más afectadas. Lo anterior coincide con otras investigaciones que reportan el desplazamiento del nicho climático de las especies de encinos de bosque templado hacia las mayores altitudes (Barradas *et al.*, 2011; Camarero *et al.*, 2012), lo cual fue observado en este trabajo. Sin embargo, esto depende en gran medida de la respuesta de la especie, por ejemplo a migrar a sitios de mayor altitud, con temperatura y precipitación más favorables donde pudiera sobre vivir. El cual podría lograrse con la migración de la semilla, como se ha reportado en otras regiones en especies del género *Pinus* con una respuesta similar (Sáenz *et al.*, 2006; Camarero *et al.*, 2012; Franklin *et al.*, 2013). El efecto drástico del escenario pesimista se explica porque fue realizado bajo la proyección de un crecimiento exponencial de los Gases de Efecto Invernadero. Esta tendencia lamentablemente es similar a la que se está registrando en la actualidad y podría incrementarse en los próximos años (IPCC 2002; IPCC 2007; SEMARNAT 2009; Luna *et al.*, 2012).

Las modificaciones en el nicho climático refieren una reducción de sus zonas de distribución actual, mostrando que las áreas donde ya no existirían condiciones con aptitud para la presencia de estas especies serían en las zonas de menor altitud que en el escenario actual es potencial. Así, el nicho climático quedaría desplazado hacia las porciones de mayor elevación, que se encuentran al Sur de la cuenca de Cuitzeo, actualmente ocupadas por pino y abies principalmente. Estas predicciones resultan similares a las reportadas en otras investigaciones con especies de *Pinus* y *Quercus* (Camarero *et al.*, 2012; García *et al.*, 2013), ya que se espera que se han los más sensibles al calentamiento global (Candau y Fleming 2005; Allen *et al.*, 2010; Urbieta *et al.*, 2011; Rehfeldt *et al.*, 2012; García *et al.*, 2013).

Los resultados obtenidos en esta investigación, permite identificar qué áreas podrían ser estables a largo plazo y qué sitios presentan mayor sensibilidad ante el cambio climático global. Con lo observado, se sugiere que las áreas de ocupación idóneas probablemente se en concentrarán en altitudes superiores a las actuales.

Aunque son proyecciones, este tipo de investigaciones permite obtener una respuesta anticipada del posible impacto que podría tener este cambio climático en especies locales y cómo podría implicar para su conservación futura, ya que es claro que, de acuerdo a los modelos de cambio climático utilizados en esta investigación, la distribución futura de las especies de encinos podría verse modificado frente a un cambio en el clima global, llevando consigo un cambio en la estructura y composición florística del bosque de encino en la cuenca de Cuitzeo.

6. CONCLUSIONES

- 1.- Existen diversas alternativas para investigar la respuesta de la distribución de las especies al cambio climático, sin duda las más precisas serían las observaciones directas o investigaciones a largo plazo. Sin embargo, el modelaje de distribución de las especies al incluir el componente temporal, a través de la incorporación de variables ambientales para escenarios climáticos futuros, permite entender cuáles serían las posibles repercusiones sobre las especies, como una herramienta para planear su conservación.
- 2.- Con los modelos de distribución de especies obtenidos en esta investigación se pudo identificar las especies más vulnerables al cambio climático, esta información podrá ser utilizada para generar diversas estrategias de conservación y/o manejo a diferentes escalas.
- 3.- Indudablemente, las predicciones futuras tienen un margen de incertidumbre, pero a pesar de esto, es importante contar con diferentes escenarios, que anticipen los posibles efectos negativos del cambio climático a escalas locales, con la finalidad de que los tomadores de decisiones tengan la información necesaria que les permita implementar mejores acciones de conservación.

DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados de esta investigación muestran la utilidad de los modelos de distribución de especies o nicho ecológico. Son una herramienta útil para determinar el estado potencial y las características ecológicas que delimitan el hábitat de un organismo, con un alto grado de precisión. Con los algoritmos de modelación utilizados en este trabajo (GARP y MAXENT), fue posible obtener información relevante y confiable para estas especies, de las cuales se desconocían para su distribución potencial en la cuenca de Cuitzeo, información de gran utilidad para futuras actividades de conservación de este recurso forestal. Otra de las aplicaciones de esta metodología, fue el generar información sobre la distribución potencial futura de *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides* y con ello evaluar qué tan vulnerables podrían ser ante escenarios de cambio climático global. Para lo cual, los escenarios estiman un alto riesgo de pérdida del nicho climático, actualmente potencial de los encinos estudiados para su distribución en la cuenca de Cuitzeo. Estos métodos permiten obtener una respuesta anticipada y comprender la intensidad del cambio climático sobre especies locales.

Aunque la información obtenida es relevante, debe ser manejada con precaución tomando en cuenta que son aproximaciones de lo que podría suceder frente a estas modificaciones en el régimen climático, ya que solo se toman en cuenta el clima y se desconoce cómo estarían influyendo las variables bióticas. Con estas consideraciones, los escenarios climáticos lamentablemente indican que los cambios en un futuro cercano podrían ser drásticos, poniendo en riesgo las poblaciones de los robles estudiados. Por ello, se requiere de investigaciones que ayude a conocer los requerimientos ecológicos actuales de las especies y con ello prevenir posibles impactos en los organismos, sobre todo de especies con mayor sensibilidad ante un cambio en su hábitat, además de aquellas que se han de gran importancia económica y ecológica, como los encinos. Tomando en cuenta que son especies altamente explotadas a escala local, por lo que cada vez su hábitat se ve más transformado.

CONCLUSIONES GENERALES

1.- Estos estudios son cruciales en la actualidad para conocer más sobre las especies, ya que con la integración de información de registros de presencia, capas ambientales, métodos de modelación y con el uso de los Sistemas de Información Geográfica fue posible obtener información valiosa sobre las condiciones que determinan la distribución geográfica de las especies estudiadas en la cuenca de Cuitzeo.

2.- Los mapas de distribución potencial obtenidos podrían ser muy útiles a la hora de planificar labores de conservación, como restauración y reforestación, asimismo, pueden ser utilizados para planificar búsqueda de nuevas poblaciones de encinos donde no han sido registradas, ubicar sitios donde las especies puedan ser reintroducidos o áreas idóneas para realizar plantaciones comerciales en el caso de *Q. castanea* y *Q. crassipes*.

3.- Los modelos de distribución potencial son una herramienta muy importante en evaluaciones de cambio climático y su efecto en la biodiversidad, ya que pueden generar respuestas anticipadas para identificar las especies más vulnerables, como fue observado en los encinos estudiados en esta investigación.

RECOMENDACIONES

Mediante el proceso de la tesis se logró cumplir con los objetivos específicos planteados en el inicio. Sin embargo, al término de un proyecto de investigación, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo para estudios posteriores, por lo tanto se recomienda lo siguiente:

- Incluir mayor número de registros de presencia de la especie (es) objeto de estudio para obtener modelos con mayor confiabilidad, siendo uno de los principales insumos. Por lo que, se sugiere depositar ejemplares a los herbarios de aquellas especies que se tomen registros en campo, esto ayudara a tener un número suficiente de registros de especies.
- Realizar una depuración de los registros de presencia de forma altitudinal, ya que con este análisis se estaría tomando en cuenta aquellas localidades donde se sabe que históricamente ha estado la especie.
- Es muy importante tener en cuenta la resolución especial de las variables ambientales al momento de modelar a una escala local. Se recomienda realizar un ajuste a una escala más fina que un km^2 en investigaciones locales, con ello podría disminuir el sesgo en los resultados finales.
- Es recomendable realizar una validación en campo de los resultados finales así como también una consulta a un experto que ayude a corroborar las proyecciones potenciales generado por el modelo.
- Al realizar proyecciones a futuro con especies locales, es importante saber qué tipos de escenarios se pueden emplear ya que de eso depende la respuesta que se obtendrá. Por ejemplo, tener en cuenta el Modelo de Circulación General Global, es recomendable utilizar modelos acoplados ya que incluyen evaluaciones de Gases de Efecto Invernadero en el océano como terrestre. Por otra parte, es importante utilizar escenarios de cambio climático de bases de datos confiables y sobre todo con fundamentos que sustente tales evaluaciones, como el IPCC que es una organización intergubernamental reconocida.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, C. D., A. K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D. D. Breshears, P. González, R. Fensham, I. Zhang, J. Castro, N. Demidova, J.H. Lim, G. Allard, S. W. Running, A. Semerci y N. Cobb. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 259:660-684.
- Anciaes, M. y A. T. Peterson. 2006. Climate Change Efectos on Neotropical Manakin Diversity on Ecological Niche Modeling. *The Candor*. 108:778-791.
- Breshears, D. D., N. S. Cobb, K. P. Paul M. Richd, R. G. Baliceh, W. H. Rommei, J. H. Kastensf, M. L. Floydk, J. Belnapl, J. Anderson y C. W. Meyerd. 2005. Regional vegetation die off in response to global-change-type drought. *PNAS*. 102 (42):15144:15148.
- Candau, J. y R. A. Fleming. 2005. Landscape-scale spatial distribution of spruce budworm defoliation in relation to bioclimatic conditions. *Canadian Journal of Forest Research*. 35:2218-2232.
- Delgado, T. S. y D. Duque. 2009. Efecto del cambio climático en la diversidad vegetal del Corredor de conservación comunitaria Reserva ecológica El Angel-Bosque protector Golondrinas en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*. 8:27-36.
- Franklin, J., F. w. Davis, M. Ikegami, A. D. Syphard, L. E. Flints, A. L. Flint y L. Hannah. 2013. Modeling plant species distributions under future climates: how fine scale do climate projections need to be?. *Global Change Biology*. 19:473-483
- García, R. V., M. A. Zavala, M. B. Araujo y D. W. Purves. 2013. Chasing a moving target: projecting climate change-induced shifts in non-equilibrium tree species distributions. *Journal of Ecology*. 101:441-453.
- Gómez, J. D. D., A. I. M. Rivas y J. Á. T. Rueda. 2007. Distribución del Cedro rojo (*Cedrela odorata* L) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques*. 13:29-49.
- Grassl, H. 2011. Climate Change Challenges. *Surv Geophys*. 32:319-328.
- Hijmans, R., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25:1965-1978.
- Hsu, R. C., W. L. M. Tamis, N. Raes, G. R. d. Snoo, J. H. D. Wolf, G. Oostermeijer y S. H. Lin. 2012. Simulating climate change impacts on forests and associated vascular epiphytes in a subtropical island of East Asia. *Diversity and Distributions*. 18:334-347.
- IPCC. 2000. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: Resumen para responsables de políticas: Escenarios de emisiones. Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC: s.n.t. 27 p.
- IPCC. 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. s.n.t 85 p.

- IPCC. 2007. Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Equipo de redacción principal): Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación), Ginebra, Suiza. 104 p.
- Keller, S. 2010. Scientization: putting global climate change on the scientific agenda and the role of the IPCC. *Poiesis Prax.* 7:197-209.
- Luna, I. V., O. A. Ayala, R. C. Medina y C. A. R. Muñoz. 2012. Ecological niche modeling on the effect of climatic change and conservation of *Ternstroemia lineata* DC. (Ternstroemiaceae) in Mesoamerica. Published by NRC. Research Press. 90:637-650.
- Pacheco, S., L. R. Malizia y L. Cayuela. 2010. Effects of Climate Change on subtropical forest of South America. *Tropical Conservation Science.* 3:423-437.
- Rehfeldt, G. E., N. L. Crookston, C. S. Romero y E. M. Campbell. 2012. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications.* 22:119-141.
- Sáenz, C. R., R. R. Guzman-Reyna y G. E. R. c. 2006 Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, Mexico Implications for seed zoning, conservation, tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management.* 229: 340-350.
- SEMARNAT, S. d. M. A. y. R. N. 2009. Cambio Climático, Ciencia, evidencias y acciones. México.
- Urbietta, I. R., L. V. Garcia, M. A. Zavala y T. Marañón. 2011 Mediterranean pine and oak distribution in southern Spain: Is there a mismatch between regeneration and adult distribution?. *Journal of Vegetation Science.* 22:18-31.

ANEXOS

ANEXO 1 Localidades de presencia de *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucooides* para su distribución en la cuenca de Cuitzeo obtenidos de la revisión de colecciones científicas.

Especie	No	Estado	Municipio	Localidad	Año	Altitud	Latitud	Longitud
<i>Q. castanea</i>	1	Michoacán de Ocampo	Morelia	Camino San Jose de la Torra	1989		19.656688	-101.11877
<i>Q. castanea</i>	2	Michoacán de Ocampo	Charo	El vaquerito	191		19.674975	-100.99114
<i>Q. castanea</i>	3	Michoacán de Ocampo	Morelia	Loma Larga de Santa Maria	1984		19.681097	-101.158338
<i>Q. castanea</i>	4	Michoacán de Ocampo	Huaniqueo	NE del Pedregal Grande	1990		19.89727	-101.407247
<i>Q. castanea</i>	5	Michoacán de Ocampo	Quiroga	1 km al NE de Coenembo	1993		19.61837	-101.150142
<i>Q. castanea</i>	6	Michoacán de Ocampo	Huaniqueo	100 m de Pedregal Grande	1993		19.865494	-101.4273
<i>Q. castanea</i>	7	Michoacán de Ocampo	Morelia	5 km al W de La Concepción	1978		19.70586	-101.313326
<i>Q. castanea</i>	8	Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Cerro Zopilote	1985		19.461772	-101.329828
<i>Q. castanea</i>	9	Michoacán de Ocampo	Morelia	rea natural protegida Piedra del Indio, al S de Morelia	1978		19.640899	-101.183057
<i>Q. castanea</i>	10	Michoacán de Ocampo	Morelia	Atecuaro	1989		19.579074	-101.188379
<i>Q. castanea</i>	11	Michoacán de Ocampo	Morelia	Presa Cointzio	1999		19.627156	-101.249146
<i>Q. castanea</i>	12	Michoacán de Ocampo	Quiroga	Quiroga	1985		19.63	-101.27
<i>Q. castanea</i>	13	Michoacán de Ocampo	Lagunillas	Cerro de la Caja	1985		19.585	-101.432
<i>Q. castanea</i>	14	Michoacán de Ocampo	Morelia	erro del Águila, subiendo por el poblado de Lagunillas	1987		19.585	-101.432
<i>Q. castanea</i>	15	Michoacán de Ocampo	Morelia	Cerro del Águila, subiendo por Tacicuaru	1986		19.648498	-101.369567
<i>Q. castanea</i>	16	Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Cerro El Zopilote	1985		19.457	-101.28
<i>Q. castanea</i>	17	Michoacán de Ocampo	Morelia	Cerro Estiladero, al N de Buenavista	1985	2461	19.552544	-101.223083
<i>Q. castanea</i>	18	Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Cerro Las Peñitas	1985		19.434	-101.365
<i>Q. castanea</i>	19	Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Cerro Las Peñotas	1985		19.511813	-101.341573
<i>Q. castanea</i>	20	Michoacán de Ocampo	Charo	Charo	1987		19.650008	-101.012426
<i>Q. castanea</i>	21	Michoacán de Ocampo	Morelia	Cuto de la esperanza	1985		19.733073	-101.343733
<i>Q. castanea</i>	22	Michoacán de Ocampo	Quiroga	Desv. a San Joaquín, sobre la carr. 120 (El Devisadero)	1989		19.861452	-100.701547
<i>Q. castanea</i>	23	Michoacán de Ocampo	Morelia	E de San Miguel del Monte	1986	2176	19.625883	-101.135078
<i>Q. castanea</i>	24	Michoacán de Ocampo	Morelia	E of Morelia por Tzitio	1993		19.693374	-100.909128
<i>Q. castanea</i>	25	Michoacán de Ocampo	Morelia	El Cerrito, La Concepción	1995		19.704808	-101.3157
<i>Q. castanea</i>	26	Michoacán de Ocampo	Morelia	Morelia	1985		19.55	-101.37
<i>Q. castanea</i>	27	Michoacán de Ocampo	Morelia	Joyitas	1985	2150	19.725493	-101.382477
<i>Q. castanea</i>	28	Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Camino a Pino Real	1995		19.650008	-101.012426
<i>Q. castanea</i>	29	Michoacán de Ocampo	Morelia	La comalera	1986		19.85833333	-100.8269
<i>Q. castanea</i>	30	Michoacán de Ocampo	Morelia	La concepción	1983		19.705	-101.308334
<i>Q. castanea</i>	31	Michoacán de Ocampo	Morelia	Lado SE del Cerro El Águila, subiendo por Huatzanguio	1998	2376	19.623437	-101.3833
<i>Q. castanea</i>	32	Michoacán de Ocampo	Morelia	o SE del Cerro El Águila, subiendo por san nicolas obi	1999	2272	19.6	-101.39
<i>Q. castanea</i>	33	Michoacán de Ocampo	Quiroga	Lado W del Cerro El Águila subiendo por Iratzio	1990	2500	19.63615	-101.390896
<i>Q. castanea</i>	34	Michoacán de Ocampo	Morelia	Las trojes	1993		19.743172	-101.399437
<i>Q. castanea</i>	35	Michoacán de Ocampo	Morelia	Loma larga de Santa María	1984		19.7	-101.116667
<i>Q. castanea</i>	36	Michoacán de Ocampo	Morelia	Morelia	1984		19.739833	-101.188293
<i>Q. castanea</i>	37	Michoacán de Ocampo	Huaniqueo	Morelia	1993		19.553511	-101.223569
<i>Q. castanea</i>	38	Michoacán de Ocampo	Morelia	Pedregal Pequeño, ± 1 km al SE de Tendeparacua	1988		19.889703	-101.419392
<i>Q. castanea</i>	39	Michoacán de Ocampo	Charo	Pico Azul	1988	2328	19.608783	-101.102805
<i>Q. castanea</i>	40	Michoacán de Ocampo	Quiroga	Pontezuelas	1986		19.659	-100.999
<i>Q. castanea</i>	41	Michoacán de Ocampo	Querendaro	Puerto del Tigre al W de Morelia	1995		19.54486	-101.240754
<i>Q. castanea</i>	42	Michoacán de Ocampo	Quiroga	Querendaro	1986		19.808332	-100.89333
<i>Q. castanea</i>	43	Michoacán de Ocampo	Morelia	Quiroga	1986		19.681979	-101.452522
<i>Q. castanea</i>	44	Michoacán de Ocampo	Morelia	Río Chiquito, Cañada del Campestre	1989		19.691412	-101.159202
<i>Q. castanea</i>	45	Michoacán de Ocampo	Morelia	San Miguel del Monte	1988		19.618334	-101.13333
<i>Q. castanea</i>	46	Michoacán de Ocampo	Morelia	Santa María de Guido	1985		19.675	-101.191666
<i>Q. castanea</i>	47	Michoacán de Ocampo	Huaniqueo	Sur de Jesus del Monte	1993		19.645365	-101.151171
<i>Q. castanea</i>	48	Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Zinapécuaro	1984		19.886152	-101.428662
<i>Q. castanea</i>	49	Michoacán de Ocampo	Lagunillas	La caja	1985		19.858	-100.827
<i>Q. castanea</i>	50	Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	Cañada de los Angeles	1988		19.585	-101.432
<i>Q. castanea</i>	51	Michoacán de Ocampo	Morelia	Cerro Azul	1988		19.787248	-100.967365
<i>Q. castanea</i>	52	Michoacán de Ocampo	Morelia	Rio chiquito	1989	2140	19.61833	-101.1067

Especie	No	Estado	Municipio	Localidad	Año	Altitud	Latitud	Longitud
<i>Q. crassipes</i>	1	Michoacán de Ocampo	ACAMBARO	ACAMBARO	1987		19.948238	-100.837875
<i>Q. crassipes</i>	2	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Ichaqueo	1987		19.620426	-101.134219
<i>Q. crassipes</i>	3	Michoacán de Ocampo	Morelia	± 1.5 km al S de San Miguel del Monte	19992		19.3613	-101.618
<i>Q. crassipes</i>	4	Michoacán de Ocampo	MORELIA	± 2 km al SE de Cerro Las Tetillas	1985		19.665601	-101.15921
<i>Q. crassipes</i>	5	Michoacán de Ocampo	HUIRAMBA	1 km al S de Las Tablas	1985		19.51525	-101.453467
<i>Q. crassipes</i>	6	Michoacán de Ocampo	HUIRAMBA	1 km al S de Las Tablas	1986		19.51525	-101.453467
<i>Q. crassipes</i>	7	Michoacán de Ocampo	Morelia	Morelia	1986		19.61808	-101.1487
<i>Q. crassipes</i>	8	Michoacán de Ocampo	MORELIA	500 m al NE del cerro de Las Tetillas	1985	2190	19.664808	-101.130087
<i>Q. crassipes</i>	9	Michoacán de Ocampo	Morelia	Cerro El Águila	1985		19.61166	-101.363437
<i>Q. crassipes</i>	10	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Al sur de Atécuaro	1988		19.613271	-101.365576
<i>Q. crassipes</i>	11	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Alrededores de Atécuaro	1985		19.580442	-101.185503
<i>Q. crassipes</i>	12	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Atecuaro	1986		19.583	-101.183
<i>Q. crassipes</i>	13	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Cerro de la tetillas	1985		19.74	-101.3
<i>Q. crassipes</i>	14	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Cerro del Águila	1985		19.621666	-101.363335
<i>Q. crassipes</i>	15	Michoacán de Ocampo	LAGUNILLAS	erro del Águila, subiendo por el poblado de Lagunilla	1999	2520	19.635552	-101.391003
<i>Q. crassipes</i>	16	Michoacán de Ocampo	Morelia	cerro el aguila subiendo por san nicolas de obispo	1985	2670	19.678666	-101.176405
<i>Q. crassipes</i>	17	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Cerro El Águila, subiendo por San Nicolás Obispo	1987	2303	19.63	-101.33
<i>Q. crassipes</i>	18	Michoacán de Ocampo	PATZCUARO	Cerro el Frijol	1986	2700	19.46	-101.545
<i>Q. crassipes</i>	19	Michoacán de Ocampo	PÁTZCUARO	Lado W del Cerro el Frijol	1985	2600	19.4613	-101.545
<i>Q. crassipes</i>	20	Michoacán de Ocampo	PÁTZCUARO	Cerro El Tecolote	1986	2520	19.767	-100.8
<i>Q. crassipes</i>	21	Michoacán de Ocampo	QUIROGA	Cerro El Zirate, al N de Santa Fé de la Laguna	1995	2380	19.61	-101.38
<i>Q. crassipes</i>	22	Michoacán de Ocampo	Morelia	Cerro el Zirtae	1985		19.633563	-101.362143
<i>Q. crassipes</i>	23	Michoacán de Ocampo	ZINAPECUARO	Cerro Mozo	1995		19.855	-100.721664
<i>Q. crassipes</i>	24	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Cuto de la Esperanza	2007		19.732406	-101.34454
<i>Q. crassipes</i>	25	Michoacán de Ocampo	Zinapecuaro	El roblar a 5 km SE de jerahuaro	1987		19.869662	-100.690604
<i>Q. crassipes</i>	26	Michoacán de Ocampo	HUIRAMBA	Huiramba	1985		19.558567	-101.394135
<i>Q. crassipes</i>	27	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Lado SE del Cerro El Águila, subiendo por Huatzanguio	1986	2500	19.614483	-101.369009
<i>Q. crassipes</i>	28	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Lado W del Cerro El Águila subiendo por Iratzio	1988	2900	19.641647	-101.374502
<i>Q. crassipes</i>	29	Michoacán de Ocampo	LAGUNILLAS	Lagunillas	1989	2170	19.633563	-101.379824
<i>Q. crassipes</i>	30	Michoacán de Ocampo	ZINAPECUARO	Las mesas	1988		19.83163	-100.795081
<i>Q. crassipes</i>	31	Michoacán de Ocampo	HUIRAMBA	Las tablas	1992		19.5	-101.44
<i>Q. crassipes</i>	32	Michoacán de Ocampo	MORELIA	San Miguel del Monte	1988	2185	19.565037	-101.326844
<i>Q. crassipes</i>	33	Michoacán de Ocampo	Zinapecuaro	Por Ucareo	1985	2150	19.89863	-100.687234
<i>Q. crassipes</i>	34	Michoacán de Ocampo	QUERENDARO	Querendaro	1986		19.808332	-100.89333
<i>Q. crassipes</i>	35	Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Zinapecuaro	1987		19.767	-100.8
<i>Q. crassipes</i>	36	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Quinceo	1985		19.755	-101.25667
<i>Q. crassipes</i>	37	Michoacán de Ocampo	Morelia	SW de atecuaro	1985		19.580054	-101.192327
<i>Q. crassipes</i>	38	Michoacán de Ocampo	MORELIA	Rumbo Atécuaro	1985		19.577086	-101.194558
<i>Q. crassipes</i>	39	Michoacán de Ocampo	CUARO DE FIG	Zinapecuaro	1988		19.858334	-100.82694
<i>Q. crassipes</i>	40	Michoacán de Ocampo	Morelia	umecuaro	1999		19.52817	-101.255549

Especie	No	Estado	Municipio	Localidad	Año	Altitud	Latitud	Longitud
<i>Q. frutex</i>	1	Michoacan	Morelia	San Miguel del Monte, sobre el camino a Atécuaro	1992	1900	19.61802	-101.14012
<i>Q. frutex</i>	2	Michoacan	Morelia	Jesus del Monte	1986	2170	19.6188	-101.1445
<i>Q. frutex</i>	2	Michoacan	Morelia	Cerro El Águila, subiendo por San Nicolás Obispo			19.63712	-101.352701
<i>Q. frutex</i>	3	Michoacan	Morelia	Cerro del Águila, subiendo por Tacicuaro	2007	2350	19.733333	-101.333333
<i>Q. frutex</i>	4	Michoacan	Morelia	Santa Maria de guido	2007		19.675	-101.191666
<i>Q. frutex</i>	5	Michoacan	Morelia	Loma de Santa María		2400	19.683332	-101.19334
<i>Q. frutex</i>	6	Michoacan	Morelia	Cerro El Águila, subiendo por San Nicolás Obispo	2007	2350	19.65	-101.37
<i>Q. frutex</i>	7	Michoacan	Morelia	Cerro El Águila	2007		19.63712	-101.352701
<i>Q. frutex</i>	8	Michoacan	Morelia	Cerro el Quinceo		2315	-101.2601	19.7817431
<i>Q. frutex</i>	9	Michoacan	Morelia	Jesus del Monte	2008		19.6204	101.13453
<i>Q. frutex</i>	10	Michoacan	Morelia	Por Cuto de la Esperanza	2008		19.732326	-101.34554

Especie	No	Estado	Municipio	Localidad	Año	Altitud	Latitud	Longitud
<i>Q. glaucoides</i>	1	Michoacan	Morelia	Entre Cerro Prieto y El Punhuato	1998	1960	19.694854	-101.147571
<i>Q. glaucoides</i>	2	Michoacan	Morelia	El Punhuato	1997	2067	19.694727	-101.146826
<i>Q. glaucoides</i>	3	Michoacan	Morelia	La Mintzita	1984	2010	19.652155	-101.277385
<i>Q. glaucoides</i>	4	Michoacan	Morelia	Cerro el quinceo	1999		19.719859	-101.197459
<i>Q. glaucoides</i>	5	Michoacan	Morelia	5 km al S de Cointzio	1984	2060	19.588194	-101.25
<i>Q. glaucoides</i>	6	Michoacan	Morelia	800 m al SE del Cerro del Quinceo	1987		19.762936	-101.256571
<i>Q. glaucoides</i>	7	Michoacan	Morelia	Cointzio	1985		19.61795	-101.269519
<i>Q. glaucoides</i>	8	Michoacan	Morelia	Cerro el quinceo	1985	2100	19.766481	-101.251151
<i>Q. glaucoides</i>	9	Michoacan	Morelia	Por cointzio	1989		19.625226	-101.2448