



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera
División de Estudios de Posgrado
Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera



**Determinación de áreas potenciales para plantaciones
comerciales de 4 especies arbóreas mexicanas.**

Tesis

Presentada por:

Biol. María Isabel Villicaña Escobedo

Como requisito para obtener el título de:

Maestra en Ciencias y Tecnología de la Madera

Asesor: Dr. José Cruz de León

Co-Asesor Dr. Juan Manuel Ortega Rodríguez

Morelia, Michoacán. Octubre 2019.

INDICE GENERAL

Resumen.....	6
Abstract.....	7
1.- INTRODUCCIÓN.....	8
2.-MARCO TEÓRICO GENERAL.....	10
2.1. Nicho ecológico.....	10
2.2. Modelos de distribución de especies.....	11
2.3- Estudios de modelación de nicho ecológico en México.....	12
2.4 Cambio climático.....	14
2.5 Importancia de las plantaciones forestales.....	15
2.6 Descripción de las especies de estudio.....	16
2.6.1 <i>Quercus calophylla</i> Schltdl.....	16
2.6.1.2 Características anatómicas de la madera.....	18
2.6.1.3 Valores físicos y mecánicos de la madera.....	18
2.6.2 <i>Quercus laurina</i> Humb.....	20
2.6.2.1 Características anatómicas de la madera.....	22
2.6.2.2 Valores físicos y mecánicos de la madera.....	23
2.6.3 <i>Quercus obtusata</i> Humb.....	24
2.6.3.1 Características anatómicas de la madera.....	26
2.6.3.2 Valores físicos y mecánicos de la madera.....	26
2.6.4 <i>Quercus magnoliifolia</i> Née.....	28
2.6.4.1 Características anatómicas de la madera.....	30
2.7 Descripción del Área de estudio.....	31
2.7.1 Descripción de la República Mexicana.....	31
2.7.2 Descripción del estado de Michoacán.....	32
3.- JUSTIFICACIÓN.....	34
4.- OBJETIVOS.....	35
4.1 General.....	35
4.2 Particulares.....	35
6.- HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	36
7. METODOLOGÍA.....	37
7.1 Registros de presencia de las especies.....	37

7.2 Variables ambientales.....	37
7.3 Modelaje Maxent.....	38
8.- RESULTADOS.....	40
8.1 Localidades de presencia.....	40
8.2 Modelación de nicho ecológico.	40
8.3 Evaluación de los modelos de distribución.....	43
8.4 Áreas de la distribución para las especies en estudio.....	43
9.- DISCUSIÓN.....	45
10.- CONCLUSIONES.....	46
11.-BIBLIOGRAFÍA.....	47

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Caracteres diagnóstico de <i>Quercus calophylla</i> Schltl. (Romero-Rangel et al., 2014).....	16
Cuadro 2 Caracteres estéticos de la madera de <i>Quercus calophylla</i> Schltl.....	18
Cuadro 3 Características anatómicas de la madera de <i>Quercus calophylla</i> Schltl.....	18
Cuadro 4 Valores físicos de la madera de <i>Quercus calophylla</i> Schltl.....	119
Cuadro 5 Valores mecánicos de la madera de <i>Quercus calophylla</i> Schltl.....	19
Cuadro 6 Caracteres diagnóstico de <i>Quercus laurina</i> Humb.....	20
Cuadro 7 Caracteres estéticos de la madera de <i>Quercus laurina</i> Humb	22
Cuadro 8 Características anatómicas de la madera de <i>Quercus laurina</i> Schltl.....	22
Cuadro 9 Valores físicos y mecánicos de la madera de <i>Quercus laurina</i> Humb.....	23
Cuadro 10 Valores mecánicos de la madera de <i>Quercus laurina</i> Humb.....	23
Cuadro 11 Caracteres diagnóstico de <i>Quercus obtusata</i>	24
Cuadro 13 Características anatómicas de la madera de <i>Quercus obtusata</i> Humb.....	26
Cuadro 14 Valores físicos y mecánicos de la madera de <i>Quercus obtusata</i> Humb.....	26
Cuadro 15 Valores mecánicos de la madera de <i>Quercus obtusata</i> Humb.....	27
Cuadro 16 Caracteres diagnóstico de <i>Quercus magnoliifolia</i> Née.....	28
Cuadro 17 Caracteres estéticos de la madera de <i>Quercus magnoliifolia</i> Née.	30
Cuadro 18 Características anatómicas de la madera <i>Quercus magnoliifolia</i> Née.....	30
Cuadro 20 Numero de registros de presencia para cada una de las especies.....	40
Cuadro 21 Comparación de la distribución de <i>Quercus calophylla</i> para 2030 y 2060.....	40
Cuadro 22 Comparación de la distribución de <i>Quercus laurina</i> para 2030 y 2060.....	41
Cuadro 23 Comparación de la distribución de <i>Quercus obtusata</i> para 2030 y 2060.....	41
Cuadro 24 Comparación de la distribución de <i>Quercus magnoliifolia</i> para 2030 y 2060.....	42
Cuadro 25 Valores del estadístico ROC parcial.....	43
Cuadro 26 superficie de México para 2060.....	43
Cuadro 27 Superficie de México para 2030.	43
Cuadro 28 Superficie de Michoacán para 2060.....	44
Cuadro 29 Superficie de México para 2030.....	44

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Distribución actual de <i>Quercus calophylla</i> Schltdl.....	17
Figura 2 Distribución de <i>Quercus laurina</i> Humb.....	21
Figura 3 Distribución de <i>Quercus obtusata</i> Humb.	25
Figura 4 Distribución de <i>Quercus magnoliifolia</i> Née.....	29
Figura 5 Área de estudio.....	32
Figura 6 Ubicación del estado de Michoacán.....	33

Resumen

Las especies de encinos son un componente muy importante en los ecosistemas de bosques templados y tropicales. Tienen una gran importancia económica, ecológica, debido a las características de su madera es muy utilizada en construcción, también tiene uso medicinal, alimenticio, para la elaboración de artesanías, como forraje para para la alimentación de ganado porcino. Ecológicamente las especies de encinos son muy importantes para la regeneración de suelos degradados, así como la captación e infiltración de agua en el suelo. Debido a la gran importancia que tiene los encinos tanto para el uso del ser humano como ecológicamente es necesario conocer su distribución potencial; para lograrlo en la actualidad existen nuevas herramientas como los sistemas de información geográfica.

Para el desarrollo de este trabajo se realizó un revisión de las colecciones científicas disponibles en línea en el portal GBIF. Los resultados fueron los siguientes: se obtuvieron 4 bases de datos; una por cada especie en estudio, se obtuvo un total de 1447 registros de presencia para *Quercus laurina*, para *Quercus callophyla* 867 registros, para *Quercus obtusata* 1647 registros, para *Quercus magnoliifolia* 765 registros. Después se modeló la distribución potencial con la ayuda de un SIG, mediante el algoritmo Maxent el cual nos da un mapa de probabilidad de distribución potencial para cada una de las especies. Se evaluó cada modelo mediante el análisis de curva ROC parcial. La proyección de modelación se realizó para 2030 y 2060 en donde se puede observar cómo pierden área de distribución las especies en estudio. Por lo que este trabajo será de gran ayuda para la elaboración de estrategias de conservación, manejo y restauración de áreas boscosas, con especies de encinos en México y Michoacán.

Palabras clave: *Quercus*, distribución potencial, Maxent, México, Michoacán.

Abstract

Oak species are a very important component in the ecosystems of tropical and tempered forests. They have a great economic and ecological importance due to the fact of the way their wood is very used in construction, medicine, and to make crafts. Ecologically the oak species are very important to regenerate the degraded soils and to filter the water through the ground. It is very necessary to know their distribution because they are very important for the human being and environment. Currently there are new tools and ways to achieve it, like the geographic information systems.

For the development of this work we did a review of the available scientific collections online in GBIF. There were the results: we obtained four databases; one per each studied specie. We got the following registers: 1447 for *Quercus laurina*, 867 for *Quercus callophyla*, 1647 for *Quercus obtusata*, for 765 *Quercus magnolifolia*. Then we got a probability map of potential distribution for each of the species using a Maxent algorithm. We assessed each model through a partial curve analysis. We did the modeling projection for the 2030 and 2060 where we can notice how the studied species lose their distribution area. For that reason this will be a very useful project to do conservations strategies of the forested areas, with oak species in México and Michoacán.

Key words : Oak, potential distribution, Maxent.

1.- INTRODUCCIÓN

Determinar el área potencial de cultivo para una especie forestal es el primer paso en la planeación de un cultivo forestal, porque permite asegurar el establecimiento, el crecimiento y el desarrollo de las plantas.

Las plantaciones forestales, han sido muy importantes en el uso de la tierra desde varios siglos atrás, y aumentará su importancia en los próximos años tanto para la producción de madera con fines industriales, como para la generación de servicios por su importancia para la recuperación de tierras degradadas y en proceso de desertificación, así como para la captura de carbono. Las plantaciones forestales están llegando a un punto en que superarán a los bosques nativos en la producción de madera industrial en el mundo, con potencial para generar beneficios económicos, ambientales y sociales ([Prado-Donoso, 2015](#)).

Es necesario la implementación de las plantaciones forestales comerciales para aumentar la producción maderable para el abastecimiento de la industria forestal, así como reducir la presión sobre los bosques naturales, también fomentar la inversión privada y social en el sector forestal, y convertir áreas degradadas o improductivas en bosques productivos, contribuyendo al mejoramiento del ambiente en general.

Las especies que se estudian en el presente trabajo pertenecen al género *Quercus* (Fagaceae) el cual tiene una amplia distribución en todo el mundo. Se encuentran en casi todos los bosques templados del hemisferio norte, así como en algunas regiones tropicales y subtropical ([Valencia-A., 2004](#)).

Se conocen dos centros de diversificación de los encinos, uno de ellos es el sureste de Asia con alrededor de 125 especies, el segundo se presenta en México, en las zonas montañosas, en los bosques templados. No se sabe con exactitud el número de especies pero algunos autores estiman que oscila entre las 300 o 400 especies .

El género *Quercus* en México presenta 3 secciones: *Quercus* (encinos blancos) con 81 especies, *Lobatae* (encinos rojos) con 76 especies y *Protobalanus* (encinos intermedios o de copa dorada) con 4 de las 5 especies que están descritas ([Valencia-A., 2004](#)).

Existe gran interés en adquirir un mayor conocimiento del género *Quercus* debido a su gran diversidad e importancia ecológica y económica ([Valencia-A., 2004](#)). Las especies de *Quercus* son de gran importancia en la vegetación porque es un recurso renovable, sus frutos sirven de alimento para el ganado porcino, también se elabora café, de sus hojas se obtienen condimentos que se utiliza en la preparación de alimentos.

Los encinos son proveedores de servicios ambientales: producen oxígeno, capturan bióxido de carbono, filtran el ruido, reducen la erosión del suelo, infiltran el agua del subsuelo, regulan la temperatura atmosférica. La madera de los encinos tiene diferentes usos como lo es la construcción, elaboración de carbono, elaboración de mangos de diversas herramientas, instrumentos e implementos agrícolas, confección de artesanías y elaboración de muebles ([Arizaga, Martínez-Cruz, Salcedo-Cabral, & Bello-Gonzalez, 2009](#)).

Las especies del género de encinos son muy importantes en el sector forestal debido a las características de su madera la cual es muy resistente, tiene buen aspecto para la elaboración de muebles, artesanías, utensilios de cocina y de acuerdo a que es muy preciada su madera, por lo que ha disminuido a gran escala a consecuencia por la sustitución del bosque de pino encino por huertas de aguacates (el centro del estado), por lo que es importante generar información para su conservación y manejo.

Debido a la gran importancia que tiene este grupo taxonómico en el sector forestal es necesario conocer su distribución geográfica la cual está determinada por las condiciones ambientales; actualmente existen nuevas técnicas y programas computacionales disponibles con las que se puede obtener de manera muy simple áreas potenciales de distribución y de establecimiento de cultivos comerciales forestales. En los últimos años se ha expandido el uso de estas herramientas para el análisis de los patrones espaciales de presencia y ausencia de las especies. Los modelos de distribución de especies están en pleno desarrollo y expansión con nuevos métodos y estrategias para el tratamiento e interpretación ([Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011](#)).

2.-MARCO TEÓRICO GENERAL

2.1. Nicho ecológico.

Este trabajo se llevó a cabo mediante el modelaje de nicho ecológico el cual es una metodología basada en la teoría de nicho ecológico.

Por lo que se menciona a continuación las diferentes definiciones de nicho ecológico, se mencionan las más importantes.

El nicho ecológico es el lugar que ocupa una especie en una comunidad, el nicho resume las tolerancias y requerimientos de los organismos así como su rol funcional.

Joseph Grinnell (1917) fue el primero en desarrollar una definición de nicho: es la unidad de distribución más pequeña, dentro de la cual, cada especie se mantiene debido a sus limitaciones instintivas y estructurales ([Rangel & Escalante, 2008](#)).

Evelyn Hutchinson define el termino nicho como la suma de todos los factores que actúan en un organismo; así el nicho se define como un hipervolumen n-dimensional (1944), las variables pueden ser físicas o biológicas. De acuerdo a lo que establece Hutchinson se definen otros conceptos clave para entender lo que es el nicho ecológico.

El nicho fundamental: es el espacio donde están todos los aspectos (variables), en ausencia de otras especies, dicho en otras palabras en donde la especie puede vivir.

Otro concepto es el nicho realizado/efectivo: el cual es un subconjunto de nicho fundamental en el cual las especies están restringidas debido a sus interacciones interespecíficas, en otras palabras es el espacio ecológico y geográfico donde la especie vive ([Martinez & 2010](#)).

Por lo que se puede concluir que el nicho ecológico incluye a todos los factores bióticos y abióticos con los cuales cualquier organismo se relaciona, en un tiempo y espacio determinado. Formalmente el nicho ha sido descrito como un hipervolumen de n-dimensiones, donde cada dimensión corresponde a uno de los factores antes descritos. De esta forma, el nicho involucra a todos los recursos presentes del ambiente, las adaptaciones de los organismos y como se relacionan estos dos ([Rangel & Escalante, 2008](#)).

2.2. Modelos de distribución de especies.

Desde la década de los ochentas, los australianos comenzaban con la modelación “bioclimática” para estudios entomológicos. Ellos desarrollaron Bioclim, DOMAIN y posteriormente GARP. En la actualidad existen cerca de 15 métodos para modelado de nicho, la mayoría de los son de acceso libre ([Martinez & 2010](#)).

El modelado de nicho ecológico es un instrumento que nos permite analizar los factores ecológicos asociados a distintas poblaciones de determinada especie y que la influyen en distintos grados y modos, información que analizada por distintos tipos de algoritmos nos posibilita proyectar a nivel geográfico el área potencial que ocupa la especie. Para Soberón y Nakamura (2009) el propósito del modelado del nicho ecológico o de los modelados de distribución de especies y del modelado de hábitat son el mismo: identificar los sitios adecuados para la supervivencia de las poblaciones de una especie por medio de la identificación de sus requerimientos ambientales. Por lo que en sentido estricto estamos modelando el nicho efectivo o realizado ([Martinez & 2010](#)).

Un modelo se define como una representación parcial de la realidad que refleja algunas de sus propiedades. Un modelo son, por tanto, simplificaciones, debidas tanto a la necesidad de reducir la complejidad del objeto real como a nuestro desconocimiento de muchas de sus propiedades. Los modelos de distribución de especies son por tanto representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de las variables empleadas para generar dicha representación. La idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores. Estas variables suelen ser geológicas, topográficas o climáticas y se espera que con algunas de ellas, individualmente o en combinación, se puedan definir los factores ambientales que delimiten las condiciones favorables para la presencia de la especie ([Mateo, Felicísimo, & Muños, 2011](#)).

2.3- Estudios de modelación de nicho ecológico en México.

En el estado de Baja California se determinó la distribución de ocho especies exóticas de carácter invasor, se utilizó el programa de modelaje de MaxEnt, se utilizaron 19 variables climáticas y datos de presencia obtenidos de los registros de herbario. Se evaluaron los modelos para su habilidad de predicción. Los resultados muestran que la zona costera noroeste es el área con mayor probabilidad de presencia de las especies ([Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014](#)).

De acuerdo al trabajo realizado por ([Gutierrez & Trejo, 2014](#)) la distribución de *Quercus laurina* se reducirá a consecuencia del cambio climático de acuerdo a la proyección propuesta por dos modelos de circulación general con 2 escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y los resultados arrojan que habrá una disminución considerable de en sus áreas de distribución provocando una perdida poblacional severa y podría haber algunas extinciones locales.

Entre los estudios de este tipo, destacan el realizado en la cuenca de Cuitzeo, en el cual se evaluó la distribución potencial actual y bajo escenarios climáticos futuros de *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. frutex* y *Q. glaucoides*, con herramientas de modelaje de nicho ecológico, en donde los resultados obtenidos muestran un aumento de la temperatura y una disminución de la precipitación en la cuenca por lo que la distribución de las especies se va a ver altamente afectada ([Pimienta-Ramírez, 2014](#)).

Se obtuvo la distribución potencial actual y bajo escenarios de cambio climático de especies arbóreas tropicales en México, mediante el modelaje del nicho ecológico, en donde se muestra que *C. dugesii* se distribuye en el centro del país, mientras que *C. odorata* se distribuye en su mayoría en la vertiente del Golfo de México. También se observó que la especie *C. aesculifolia* presentó una distribución en la geográfica y ecológica más restringida y el nicho climático desaparecerá en ambos escenarios bajo cambio climático ([Reyes-Abrego, 2014](#)).

En un estudio donde se generaron modelos de nicho ecológico para estimar la distribución potencial de la especie *Ceiba aesculifolia* en la cuenca de Cuitzeo, el modelo generado estima un área de distribución de 1,318.28 km² y donde coincide con

cuatro tipos de vegetación agricultura de riego, bosque de *Quercus* abierto, matorral subtropical y áreas perturbadas ([Jiménez-Campos, 2015](#)).

([Garza-Lopez et al., 2016](#)) determinaron la distribución potencial del hábitat propicio para *Swietenia macrophylla* para la península de Yucatán, México y para Guatemala, Belice y este de Honduras con el propósito de contar con criterios para sugerir medidas de manejo encaminadas a reacoplar las poblaciones contemporáneas al clima que le beneficiará en el 2030. Utilizando el algoritmo MaxEnt obtuvieron que para el año 2030 habrá una pérdida de un 60% de su hábitat climático, lo que implica que habría un desplazamiento hacia la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

([Martinez-Mendez, Aguirre-Planter, Eguiarte, & Jaramillo-Correa, 2016](#)) Desarrollaron el modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. Se obtuvieron los modelos para dos variedades de *Abies* reconocidas en México, utilizando el algoritmo Maxent y variables bioclimáticas. Los resultados sugieren que *A. concolor* tiene el nicho ecológico más diferenciado con respecto a los demás abetos mexicanos.

2.4 Cambio climático.

México, es un país de vocación forestal, con 88 millones de hectáreas de superficie arbolada, cuenta con el potencial necesario para ofrecer al mundo acciones de mitigación al cambio climático, a través del uso sustentable de sus recursos forestales.

El cambio climático se caracteriza por un alto grado de heterogeneidad en los orígenes de las emisiones, los impactos climáticos y la capacidad para la mitigación y adaptación. De las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), el 35% corresponden al sector energético, el 24% a la agricultura, selvicultura y otros usos del suelo, el 18 % a la industria, el 14% al transporte, el 6% a la edificación y el 3% a los residuos ([Biodiversidad, Climático, Meteorología, & Ambiental, 2015](#)).

Los factores principales que impulsan el aumento de las emisiones globales de gases de efecto invernadero son el crecimiento de la economía y de la población. Estos dos factores han estado vinculados históricamente con los niveles de emisiones dicha relación no variara si no realizan esfuerzos adicionales.

Se han realizado proyecciones las cuales definen diferentes escenarios posibles de emisión de GEI hasta el año 2100. Para entonces el IPCC recomienda que la temperatura media del planeta no aumente más de 2°C en comparación con niveles preindustriales.

Para la mitigación del cambio climático será necesario des carbonizar el sector energético, reducir la demanda de energía así como lograr que los consumidores de energía final cambien a combustibles bajos de carbono, incluyendo la electricidad ([Biodiversidad et al., 2015](#)).

2.5 Importancia de las plantaciones forestales.

Una plantación forestal consiste en el establecimiento de árboles que conforman una masa boscosa y que tiene un diseño, tamaño y especies definidas para cumplir los objetivos específicos como plantación productiva, fuente energética, protección de zonas agrícolas, protección de espejos de agua, corrección de problemas ([Trujillo, 2005](#)).

De acuerdo al objetivo por el cual se pretende establecer la plantación forestal, se determinara la densidad de la siembra, los rendimientos y los costos que implicara la plantación, de acuerdo a la selección de las especies más adecuadas y su programación para la producción. Un factor que es altamente determinante es la calidad genética del material vegetal y buena calidad de los árboles en vivero.

Existe una clasificación de las plantaciones forestales: a) plantación determinada por el ecosistema en el cual se realizó la plantación; b) plantación en función de la composición florística de la plantación; c) Plantación determinada por el origen de las especies plantadas; d) plantación con el destino de la producción ([Gaillard, 2003](#)).

Al momento de establecer una plantación forestal es muy importante tomar en consideración las condiciones ambientales para la sobrevivencia de las plantas porque pueden variar afectando o favoreciendo la plantación. Otro aspecto muy importante es el clima factor que determina el crecimiento de las plantas y que responde a condiciones de circulación atmosférica, temperatura y precipitación ([Trujillo, 2005](#)).

2.6 Descripción de las especies de estudio.

2.6.1 *Quercus calophylla* Schltldl.

CARÁCTER DIAGNÓSTICO	QUERCUS CALOPHYLLA SCHLTDL
ALTURA DE INDIVIDUO	De 6 a 20 (30) m de alto.
FOLLAJE	Caducifolio.
CORTEZA	Gris, fisurada.
RAMILLAS	Amarillentas, de (1.5)2 a 3(3.5) mm de diámetro.
YEMAS	Ovoides de (2)3 a 5(7) mm de largo.
HOJAS MADURAS	Obovadas o elípticas de 10 a 17(20) cm de largo por 5 a 11 (14) cm de ancho.
INDUMENTO	Denso blanco – amarillento.
FORMA	Fasciculados cortos y simples dispersos.
MARGEN	Revoluto, cartilaginoso, dentado-serrado 10 dientes de cada lado.
NUMERO DE VENAS	Venación secundaria de 7 a 15 de cada lado, rectas.
FRUTO	Anual o bianual.
CÚPULA	Hemisféricas 9 a 13 mm largo por 19 a 23 de diámetro.

Cuadro 1 Caracteres diagnóstico de *Quercus calophylla* Schltldl. (Romero-Rangel et al., 2014)

Distribución: en Michoacán, se encuentra en la parte noroeste y este de la Depresión del Río Lerma; parte central, suroeste y este de la Cordillera Neovolcánica y parte oeste de la Sierra Madre del Sur. En México: Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora y Veracruz. En Guatemala.

Hábitat: laderas de cerro, cañadas húmedas, barrancas, terrenos planos en ocasiones en transición con el bosque mesófilo de montaña, frecuentemente formando parte del bosque húmedo con *Pinus* y *Abies* y con otros encinos. Regularmente en suelos profundos y en menos proporción suelos someros y pedregosos. Se localiza entre 1200-2700 m. Especies arbóreas asociadas: *Pinus pseudostrobus*, *P. douglasiana*, *P.*

montezumae, *P. michoacana*, *P. lawsonii* y *P. leiophylla*, *Quercus castanea*, *Q. obtusata*, *Q. acutifolia*, *Q. martinezii*, *Q. laurina*, *Q. rugosa*, *Q. crassifolia*, *Abies religiosa* y *Arbutus xalapensis*.

Nombres comunes: encino de asta, encino blanco, encino aguacatillo, roble, bellotero, encino rosillo, corturapi y urupcu.

Uso regional: leña, carbón, postes para cerca, mangos y cabos para herramienta e implementos agrícolas, horcones, rayos de carretera, redilla para camiones, cajas de empaque y alimentación ([Gonzalez & Labat, 1987](#)).

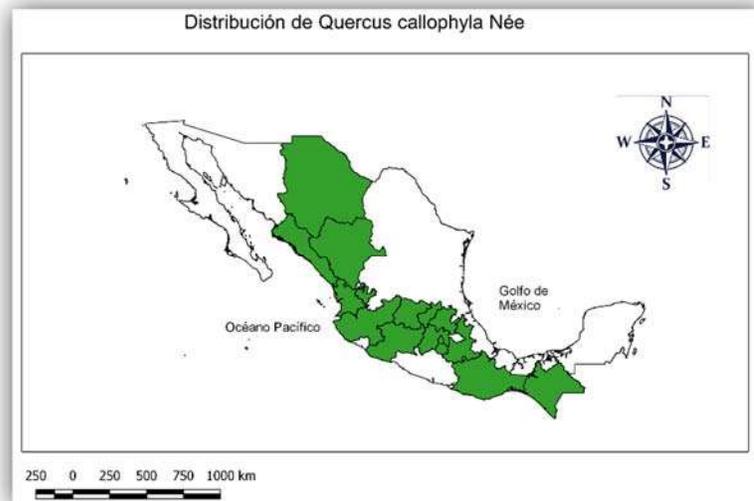


Figura 1 Distribución actual de *Quercus calophylla* Schtdl.

2.6.1.2 Características anatómicas de la madera.

La madera de los encinos tiene diferentes usos, se obtienen artesanías, mangos para herramientas, utensilios para cocina, postes para cercas, también se utiliza en la elaboración de muebles, en construcción por lo que es importante conocer las características de la madera de cada una de las especies en estudio, en la siguiente tabla se muestran los caracteres estéticos ver cuadro 2; en el cuadro 3 se muestran las características microscópicas y macroscópicas las cuales nos dicen si de la madera se puede utilizar para la elaboración de papel.

CARACTERES ESTÉTICOS						
COLOR	OLOR	SABOR	BRILLO	VETEADO	TEXTURA	HILO
Albura: castaño muy pálido Duramen: gris rosáceo	No tiene	No tiene	Alto	Pronunciado	Gruesa	Recto

Cuadro 2 Caracteres estéticos de la madera de *Quercus calophylla* Schtdl.

CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS						
VASOS						
POROS			ELEMENTOS VASCULARES			
Dist.	Disposición	No. X mm ²	Diam. Tang.	Long.	Placa perforada	Puntuación
Solitarios, la mayoría de contorno oval y algunos circulares	Arreglados en hileras son poco numerosos	5 (1-10)/mm ²	Mediano 140 (60-240) µm	Mediana, 440 (250-720) µm	Simplex paredes terminales oblicuas.	Areoladas alternas de forma oval.
PARENQUIMA						
AXIAL			RADIAL			
			UNISERIADOS		POLISERIADOS	
TIPO	CLE	ALTURA	No. X mm ²	ANCHURA	ALTURA	
Difuso en agregados	Uniseriados y multiseriados	8 (2-25) células	7(4-10)/mm	700 (200-900) µm	0.3 a 3 cm	
FIBRAS						
TIPO	LONGITUD		DIAMETRO		GROSOR DE PARED	
Libriformes, algunas con septos	Mediana de 1300 (905-2100) µm		Fino 12 (7-20) µm		Gruesas de 17 (10-32) µm	

Cuadro 3 Características anatómicas de la madera de *Quercus calophylla* Schtdl.

2.6.1.3 Valores físicos y mecánicos de la madera.

Es necesario conocer los valores físicos y mecánicos de la madera de encinos para hacer un adecuado uso de ella, en el cuadro 4 se muestran los valores físicos, en la tabla 5 se muestran los valores mecánicos.

Valore físicos			
Especies	Densidad básica	Contracción volumétrica %	Coefficiente de anisotropía
<i>Q. candicans</i>	0.684	17.39	2.58

Cuadro 4 Valores físicos de la madera de *Quercus calophylla* Schltld.

Valores mecánicos							
Especie	Dureza (N)		Flexión (MPa)		Compresión		Cortante (MPa)
	lateral	extremos	MOR	MOE	paralela	perpendicular	EMAX
					EMAX	ELP	
<i>Q. candicans</i>	5740	5830	60.1	11492	29.0	6.2	8.8

Cuadro 5 Valores mecánicos de la madera de *Quercus calophylla* Schltld.

2.6.2 *Quercus laurina* Humb.

CARÁCTER DIAGNÓSTICO	QUERCUS LAURINA HUMB.
ALTURA DE INDIVIDUO	De 10 a 30m de alto.
FOLLAJE	Caducifolio.
CORTEZA	Gris oscuro, con grietas poco profundas.
RAMILLAS	Grises de (0.4)1 a 2.5 cm de diámetro.
YEMAS	Ovoides de 1.5 a 4 mm de largo.
HOJAS MADURAS	Lanceoladas de 4.2 a 9.5 de largo por 1.3 a 4 de ancho.
INDUMENTO	Fasciculados pequeños.
FORMA	Glabrescentes, lenticelas de 0.5 a 3 mm de largo.
MARGEN	Plano o revoluto algo engrisado.
NÚMERO DE VENAS SECUNDARIAS	Venación secundaria 4 a 12 en cada lado, rectas o ligeramente curvadas.
FRUTO	Anuales o bianuales.
CÚPULA	Cúpula hemisférica de 13 a 16 mm de largo por 10 a 15 de diámetro.

Cuadro 6 Caracteres diagnóstico de *Quercus laurina* Humb. (Romero-Rangel et al., 2014)

Distribución: en Michoacán presenta una distribución más o menos continua a lo largo de la Cordillera Neovolcánica y pequeños manchones en la parte sur de la Depresión del Río Lerma, así como en la parte sur de la Depresión del Río Lerma, así como en la parte central y oeste de la Sierra Madre del Sur. En México: Colima, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Nayarit, Oaxaca y Sinaloa.

Hábitat: laderas de cerro, barrancas húmedas, sitios montañosos, suelos generalmente profundos, someros, rara vez rocosos; en ocasiones forma parte del bosque mesófilo de montaña, usualmente asociado a especies de encino, pino, oyamel y otras como son *Quercus rugosa*, *Q. crassipes*, *Q. candicans*, *Q. martinezzi* y *Q. magnoliifolia*; *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. michoacana* y *P. leiophylla*; *Abies religiosa*; *Symplocos prionophylla*, *Ternstroemia pringlei*, *Clethra mexicana*, *Stryrax ramirezii* y *Tilia mexicana*. Se distribuye entre los 1500-3200 m.

Nombres comunes: encino laurelillo, encino prieto, encino colorado, encino blanco, encino chilillo y encino uricua.

Uso regional: leña, carbón, postes para cerca, cabos para herramientas, arados, redilas y vaquetas para tambor ([Gonzalez & Labat, 1987](#)).

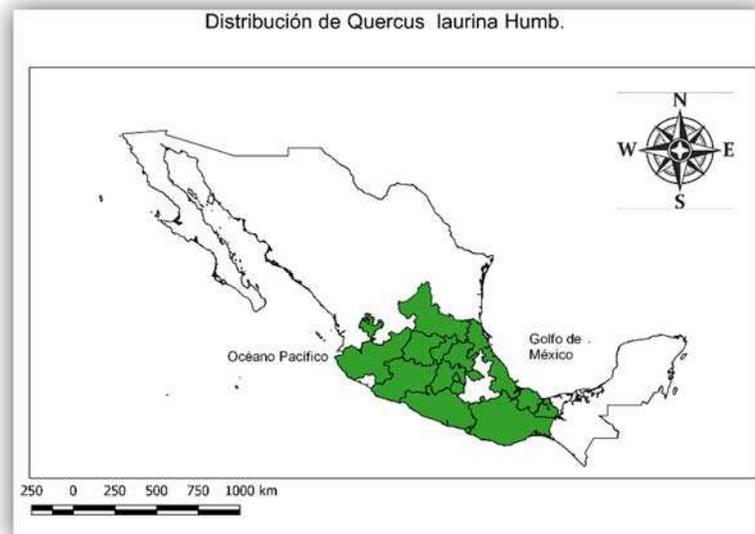


Figura 2 Distribución de *Quercus laurina* Humb.

2.6.2.1 Características anatómicas de la madera.

En los cuadros 7 y 8 se presentan los caracteres estéticos de la madera *Quercus laurina* Humb; en el cuadro 8 se presentan las características microscópicas y macroscópicas de la madera para hacer un adecuado uso de ella.

CARACTERES ESTÉTICOS						
COLOR	OLOR	SABOR	BRILLO	VETEADO	TEXTURA	HILO
A: castaño pálido D: castaño con vetas oscuras	No se percibe	No se percibe	Mediano	Pronunciado	Gruesa	Recto

Cuadro 7 Caracteres estéticos de la madera de *Quercus laurina* Humb

CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS						
VASOS						
POROS			ELEMENTOS VASCULARES			
Dist.	Disposición	No. X mm ²	Diam. Tang.	Long.	Placa perforada	Puntuación
Difusa con tendencia a semicircular	Solitarios formando hileras radiales largas	2- 6 mm ²	30-247 µm	Corta 182-475 µm	Oblicua con perforación simple	Areoladas alternas
PARENQUIMA						
AXIAL			RADIAL			
			UNISERIADOS		POLISERIADOS (AGREGADOS)	
TIPO	CLASE	ALTURA	No. X mm ²	ANCHURA	ALTURA (mm)	
Apotraqueal Difuso, difuso agregado y paratraqueal vasocéntrico	Uniseriados y poliseriados	22	16	721-424 µm	1-15 mm	
FIBRAS						
TIPO		LONGITUD	DIAMETRO		GROSOR DE PARED	
Fitotraqueidas y libriformes		1131-2000 µm	Fino 15-25 µm		4-8 µm	

Cuadro 8 Características anatómicas de la madera de *Quercus laurina* Schtdl.

2.6.2.2 Valores físicos y mecánicos de la madera.

En el cuadro 9 se presentan los valores físicos de la madera *Quercus laurina* Humb; así como en el cuadro 10 se presentan los valores mecánicos dichos valores nos dan información de la calidad de la madera para saber que uso le podemos dar.

Valore físicos			
Especies	Densidad básica	Contracción volumétrica %	Coefficiente de anisotropía
<i>Q. laurina</i>	0.652	18.48	2.63

Cuadro 9 Valores físicos y mecánicos de la madera de *Quercus laurina* Humb.

Valores mecánicos							
Especie	Dureza (N)		Flexión (MPa)		Compresión		Cortante (MPa)
	lateral	extremos	MOR	MOE	paralela	perpendicular	EMAX
					EMAX	ELP	
<i>Q. laurina</i>	6740	6620	73.6	14620	37.9	8.6	10.1

Cuadro 10 Valores mecánicos de la madera de *Quercus laurina* Humb.

2.6.3 *Quercus obtusata* Humb.

CARÁCTER DIAGNÓSTICO	<i>QUERCUS OBTUSATA HUMB.</i>
ALTURA DEL INDIVIDUO	De 3 a 15 (25) m de alto.
FOLLAJE	Caducifolio.
CORTEZA	Gris, escamosa.
RAMILLAS	Rojizas a grises o negras de (1)2 a 4 mm de diámetro.
YEMAS	Ovoides de 2.6 a 4.2mm de largo.
HOJAS MADURAS	Obovadas a largamente obovadas, rugosas, a veces elípticas de 10 a 18 cm de largo por 4 a 8cm de ancho.
INDUMENTO	Glandulares, simples.
FORMA	Estrelladas entrelazadas.
MARGEN	Engrosado, revoluta con 5 a 8 dientes u ondulaciones de cada lado.
NÚMERO DE VENAS SECUNDARIAS	Venación secundaria 11 a 12 en cada lado, rectas o ligeramente curvadas.
FRUTO	Annual.
CÚPULA	Hemisféricas, poco a muy profundas de 5 a 12 mm de largo por 11 a 23 mm de diámetro.

Cuadro 11 Caracteres diagnóstico de *Quercus obtusata* Humb. (Romero-Rangel et al., 2014)

Distribución: en Michoacán presenta una distribución más o menos continua a lo largo de la Cordillera Neovolcánica y pequeños manchones en la parte norte de la Depresión del Rio Lerma, además en la parte norte y este de la Sierra Madre del Sur. En México: San Luis Potosí, Distrito Federal (Cuajimalpa), Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí y Zacatecas.

Hábitat: laderas de cerro, barrancas, terrenos planos, “malpaís”, suelos someros o profundos, arenosos o arcillosos, pedregosos o con roca basáltica, lugares secos o muy

húmedos; generalmente en bosques puros de encino, pino-encino o bien mezclado con elementos propios del matorral subtropical, selva baja o bosque mesófilo de montaña.

Especies arbóreas asociadas: *Pinus lawsonii*, *P. michoacana*, *P. douglasiana*, *P. pseudostrobus*, *P. oocarpa*, *P. montezumae* y *P. pringlei*; *Quercus rugosa*, *Q. glaucoides*, *Q. desertícola*, *Q. castanea*, *Q. crassipes*, *Q. candicans*, *Q. conspersa*, *Q. scytophylla*, *Q. acutifolia*, *Q. martinezii*, *Q. magnoliifolia*, *Q. laeta*, *Q. gentryi*, *Q. resinosa*; *Acacia pennatula*, *Verbesina sphaerocephala*, *Opuntia* spp. *Acacia* spp., *Bursera* spp. *Ipomea murucoides*, *Styrax ramirezii*, *Clusia salvinii*, *Arbutus xalapensis*, *Symplocos prionophylla* y *Meliosma dentada*. Se distribuye entre los 1500-2600 m.

Nombres comunes: encino blanco, encino prieto, encino roble, encino rojo, encino chino, tocuz, uricua y charari.

Uso regional: leña, carbón, postes para cerca, implementos agrícolas (arados), horcones, cabos para herramienta, curtir pieles, medicinal (corteza) y material para construcción ([Gonzalez & Labat, 1987](#)).

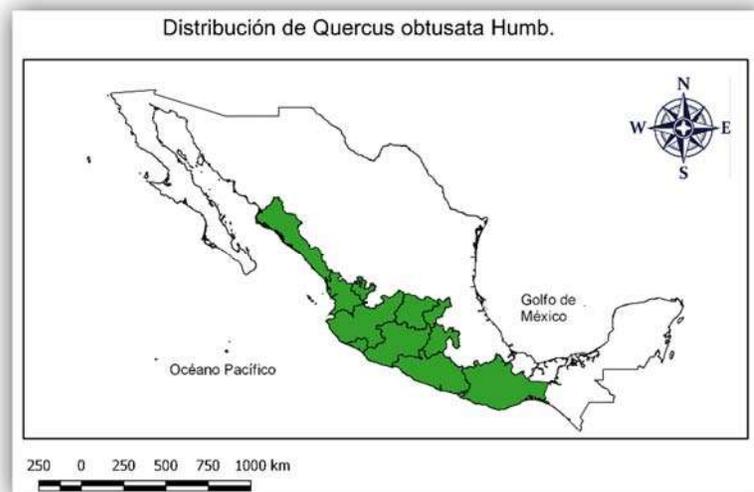


Figura 3 Distribución de *Quercus obtusata* Humb.

2.6.3.1 Características anatómicas de la madera.

En el cuadro 12 se muestran los caracteres estéticos de la madera de *Quercus obtusata Humb.* Los cuales nos dicen que tan fácil es de trabajar esa madera, así como que olor tiene, que sabor tiene. En el cuadro 13 se muestran las características microscópicas y macroscópicas las cuales nos dicen el tamaño de las células que conforman la madera para poder darle un buen uso a la madera.

CARACTERES ESTÉTICOS						
COLOR	OLOR	SABOR	BRILLO	VETEADO	TEXTURA	HILO
Albura: Castaño claro Duramen: castaño oscuro	No se percibe	Amargo	Medio	Pronunciado	Gruesa	Recto

Cuadro 12 Caracteres estéticos de la madera *Quercus obtusata* Humb.

CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS						
VASOS						
POROS			ELEMENTOS VASCULARES			
Distribución	Disposición	No. X mm ²	Diam. Tang.	Long.	Placa perforada	Puntuación
Difusa	Solitarios	2-6 mm ²	40-202 µm	Mediana 253-525 µm	Oblicua con perforación simple	Areoladas alternas
PARENQUIMA						
AXIAL		RADIAL				
		UNISERIADOS		POLISERIADOS (AGREGADOS)		
TIPO	CLASE	ALTURA	No. X mm ²	ANCHURA	ALTURA (mm)	
Apotraqueal difuso, difuso agregado y paratraqueal vasicentrico	Uniseriados biseriados y poliseriados	46	19	192-1364 µm	4-79mm	
FIBRAS						
TIPO	LONGITUD	DIAMETRO		GROSOR DE PARED		
Fibrotraqueidas y libriformes	829-1676 µm	Fino 12-27 µm		4-7 µm		

Cuadro 13 Características anatómicas de la madera de *Quercus obtusata* Humb.

2.6.3.2 Valores físicos y mecánicos de la madera.

En la tabla 14 se muestran los valores físicos de *Quercus obtusata* Humb. Así como en la tabla 15 se presentan los valores mecánicos, al conocer estos valores ayuda para conocer sus posibles usos.

Valores físicos			
Especies	Densidad básica	Contracción volumétrica %	Coefficiente de anisotropía
<i>Q. obtusata</i>	0.756	20.13	2.31

Cuadro 14 Valores físicos y mecánicos de la madera de *Quercus obtusata* Humb.

Valores mecánicos							
Especie	Dureza (N)		Flexión (MPa)		Compresión		Cortante (MPa)
	lateral	extremos	MOR	MOE	paralela	Perpendicular	EMAX
					EMAX	ELP	
<i>Q. obtusata</i>	8910	8960	79.9	142635	40.9	10.9	11.2

Cuadro 15 Valores mecánicos de la madera de *Quercus obtusata* Humb.

2.6.4 *Quercus magnoliifolia* Née.

QUERCUS MAGNOLIIFOLIA NÉE.	
CARÁCTER DIAGNÓSTICO	
ALTURA DE INDIVIDUO	De 8 a 15 m de alto.
FOLLAJE	Caducifolio.
CORTEZA	Gris, escamosa.
RAMILLAS	Amarillentas de 2 a 5 mm diámetro.
YEMAS	Ovoides de 1.5ª 5 mm de largo.
HOJAS MADURAS	Elípticas anchas o obovadas de 10 a 23 cm de largo por 6 a 14 cm de ancho.
INDUMENTO	Denso de Tricomas fasciculados glandulares.
FORMA	Glabrescentes, lenticelas muy notorias.
MARGEN	Margen engrosado, ligeramente revuelto, crenado con 9 a 14 crenas de cada lado.
NÚMERO DE VENAS SECUNDARIAS	De 11 a 16 en cada lado rectas a ligeramente curvadas.
FRUTO	Anual, solitario en grupos de dos.
CÚPULA	Hemisféricas de 1.1 a 1.5 cm de largo por 1.4 a 2.5 cm de diámetro

Cuadro 16 Caracteres diagnóstico de *Quercus magnoliifolia* Née. (Romero-Rangel et al., 2014)

Distribución: en Michoacán parte sur, central y este de la Cordillera Neovolcánica, parte norte y sur de la Depresión del Río Balsas, así como parte norte, sur y este de la Sierra Madre del Sur. En México: Colima, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Nayarit, Oaxaca y Sinaloa. En Centroamérica.

Hábitat: laderas de cerro y barrancas, terrenos planos, suelos someros y pedregosos o profundos i con rocas ígneas, lugares generalmente secos; frecuentemente asociado a pinos, encinos y a elementos propios de la selva baja, como son *Pinus oocarpa*, *P. michoacana*, *P. lawsonii* y *P. douglasiana*; *Quercus resinosa*, *Q. obtusata*, *Q. conspersa*, *Q. glaucoides*, *Q. castanea*, *Q. peduncularis* y *Q. laurina*; *Bursera spp.*, *Guazuma ulmifolia*, *Acacia farnesiana*, *Ficus sp.* Y *Cordia eleaegnoides*. Se distribuye entre los 600-2800m.

Nombres comunes: encino amarillo, encino prieto, encino blanco, encino bermejo y encino avellano.

Uso regional: leña, carbón, postes para cerca, horcones, madera aserrada, extracción de celulosa ([Gonzalez & Labat, 1987](#)).

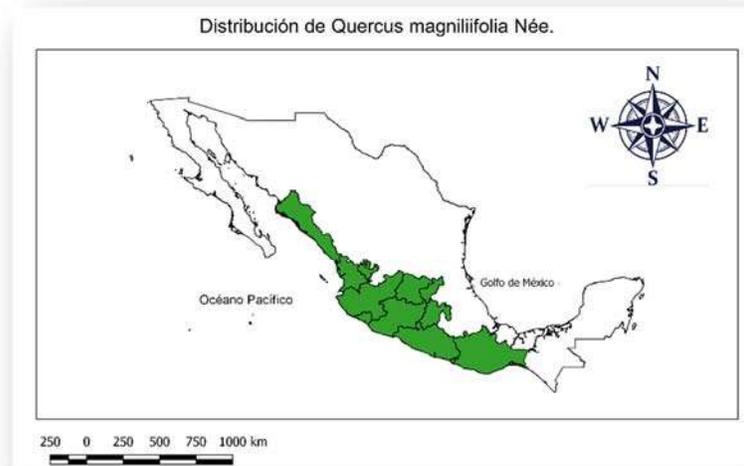


Figura 4 Distribución de *Quercus magniliifolia* Née.

2.6.4.1 Características anatómicas de la madera.

En el cuadro 17 se muestran los caracteres estéticos de la madera de *Quercus magnoliifolia* Née. También en el cuadro 18 se muestran las características microscópicas y macroscópicas de la madera para tener un mayor conocimiento de las características para darle un mejor uso.

CARACTERES ESTÉTICOS						
COLOR	OLOR	SABOR	BRILLO	VETEADO	TEXTURA	HILO
Albura: Castaño pálido Duramen: castaño amarillento con jaspeaduras blancas	No característico	No característico	Mediano	Pronunciado	Gruesa	Recto

Cuadro 17 Caracteres estéticos de la madera de *Quercus magnoliifolia* Née.

CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS						
VASOS						
POROS			ELEMENTOS VASCULARES			
Distribución.	Disposición	No. X mm ²	Diam. Tang.	Long.	Placa perforada	Puntuación
Difusa	Solitarios en arreglo flamiforme	4-6 mm ²	86-226 µm	Mediana 186-408 µm	Simple	Areoladas alternas
PARENQUIMA						
AXIAL		RADIAL				
		UNISERIADOS		POLISERIADOS (AGREGADOS)		
TIPO	CLASE	ALTURA	No. X mm ²	ANCHURA	ALTURA (mm)	
Vasicentrico y en bandas confluentes	Uniseriados y poliseriados homogéneos algunos poliseriados son agregados	242	10	619-1472 µm	4-79mm	
FIBRAS						
TIPO	LONGITUD		DIAMETRO		GROSOR DE PARED	
Fibrotraqueidas y libriformes	831-2550µm		Fino 14-29 µm		4-11 µm	

Cuadro 18 Características anatómicas de la madera *Quercus magnoliifolia* Née.

2.7 Descripción del Área de estudio.

2.7.1 Descripción de la República Mexicana.

La gran diversidad de formas que presenta el relieve de México, hace que sea uno de los países del mundo con mayores características y variedades topográficas contrastantes, heterogéneas y poseedor de un gran potencial de recursos naturales.

Las diversas conformaciones topográficas, desempeñan un papel importante en las actividades económicas y sociales de un país, puesto que influyen en las características climáticas, en el tipo de suelos y en la vegetación; estos, a su vez lo hacen en las actividades agrícolas, ganaderas, forestales e industriales, así como en los asentamientos humanos.

El territorio mexicano cuenta con 2000 000 de Km², el cual se encuentra ubicado en una zona de transición climática, con condiciones de aridez en el norte, de humedad tropical y subtropical en el sur y de climas templados o fríos en las regiones elevadas. De los países que conforman el continente americano México es uno de los países con un territorio probablemente el más complejo en características y uno de los más ricos en variedad de paisajes. ([Instituto Nacional de Estadística, 1991](#))

En el mundo se han descrito hasta la fecha entre 1.7 y 2 millones de especies, aunque algunos estudios sugieren que esta cifra podría incrementarse en el futuro con la descripción de nuevas especies entre los 5 y los 30 millones. A pesar de representar tan sólo 1.5% de la superficie terrestre del planeta, se estima que en México habita entre 10 y 12% de las especies del mundo.

A la fecha, en México se conocen cerca de 65 mil especies de invertebrados, en su mayoría insectos. Con respecto a los vertebrados, se tienen registradas 5 512 especies (lo que representa alrededor de 10% de las conocidas en el mundo), de las cuales la mayoría son peces (2 716) y aves (1 096 especies). En riqueza de reptiles, el país ocupa el segundo lugar mundial, el tercero en mamíferos (con 535) y el cuarto en anfibios. En lo que respecta a la flora nacional, México está entre los cinco países con mayor número de especies de plantas vasculares: se han descrito poco más de 25 mil especies (la

mayoría angiospermas: 23 791 especies), lo que equivale aproximadamente a 9.1% de las especies descritas en el mundo.

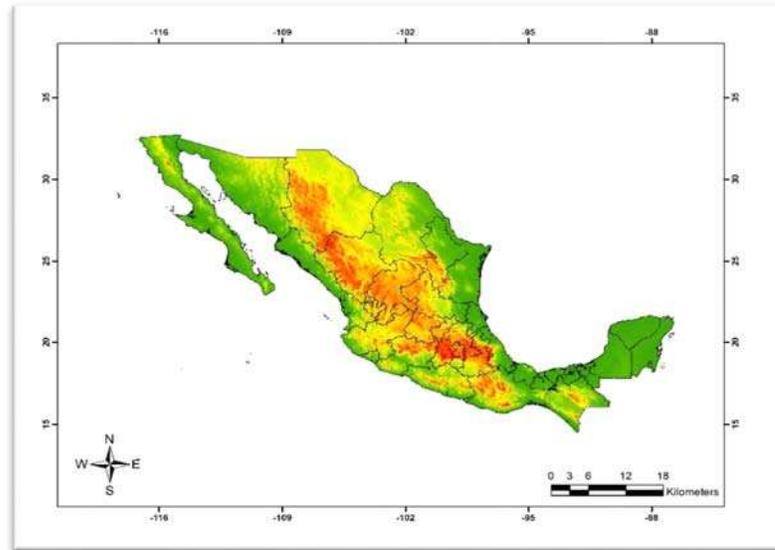


Figura 5 Área de estudio.

2.7.2 Descripción del estado de Michoacán.

El estado de Michoacán de Ocampo forma parte de la región centro-occidente de México, se localiza entre los 20°23'44" y 18°09'49" de latitud norte y los 100°04'48" y 103°44'20" de longitud oeste (INEGI, 1985).

Comprende una superficie de 58 836.95 km², por lo que ocupa el décimo sexto lugar nacional en extensión, representa un 3% del territorio nacional. Cuenta con 210.5 km lineales del litoral, en donde se desarrollan actividades pesqueras y turísticas. Cuenta con 113 municipios y económicamente depende en gran medida de la agricultura; destacando los cultivos de aguacate, garbanzo, limón, ajonjolí, sorgo y fresa (INEGI, 1985).

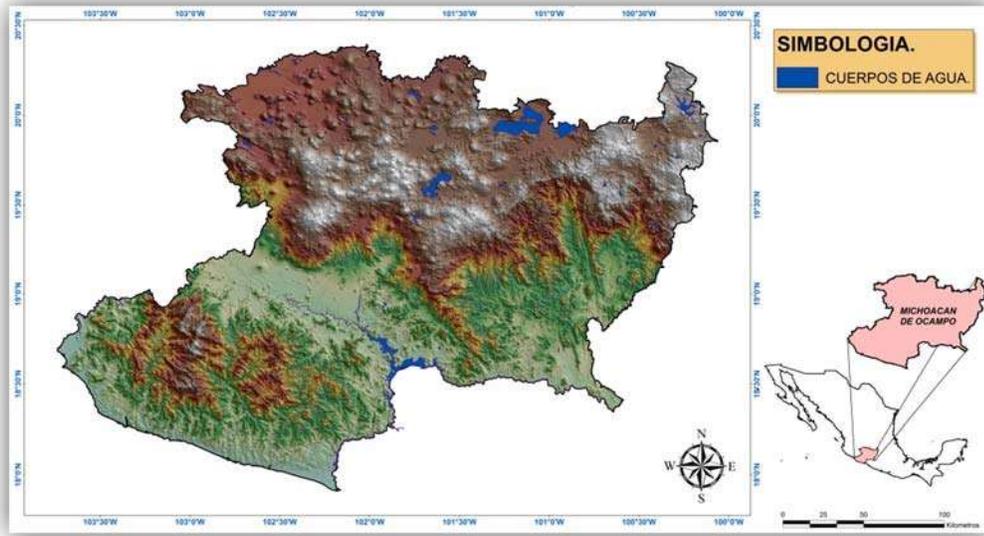


Figura 6 Ubicación del estado de Michoacán.

3.- JUSTIFICACIÓN.

Las características de la madera de las especies *Quercus laurina*, *Q. callophyla*, *Q. obtusata* y *Q. magnoliifolia* las hace atractivas por el potencial económico que representan. En este contexto, la información generada en el presente trabajo servirá como criterio para proponer sitios potenciales en los planes de desarrollo de plantaciones comerciales de las especies, redundando en las estrategias de conservación y manejo.

4.- OBJETIVOS

4.1 General

Generar mapas de áreas potenciales para plantaciones comerciales de *Quercus laurina*, *Q. callophyla*, *Q. obtusata* y *Q. magnoliifolia* a nivel nacional y del estado de Michoacán.

4.2 Particulares

- Obtener áreas potenciales para plantaciones comerciales de *Quercus callophyla*, *Q. candicans*, *Q. obtusata*, *Q. magnoliifolia* en México, bajo el escenario ensamble_rcp30_2030.
- Obtener áreas potenciales para plantaciones comerciales de *Quercus callophyla*, *Q. candicans*, *Q. obtusata*, *Q. magnoliifolia* en Michoacán , bajo el escenario ensamble_rcp30_2030.
- Obtener áreas potenciales para plantaciones comerciales de *Quercus callophyla*, *Q. candicans*, *Q. obtusata*, *Q. magnoliifolia* en México, bajo el escenario ensamble_rcp60_2060.
- Obtener áreas potenciales para plantaciones comerciales de *Quercus callophyla*, *Q. candicans*, *Q. obtusata*, *Q. magnoliifolia* en Michoacán , bajo el escenario ensamble_rcp60_2060.

6.- HIPÓTESIS DE TRABAJO.

Los requerimientos climáticos de las especies de estudio permitirán, mediante los modelos de nicho ecológico, definir áreas geográficas en donde las condiciones ambientales presenten una aptitud potencial para el establecimiento de plantaciones forestales.

7. METODOLOGÍA.

7.1 Registros de presencia de las especies.

Se llevó a cabo una revisión de herbarios en línea, en el portal de la Global Biodiversity Information Facility, www.GBIF.com, de la cual se obtuvo una base de datos que fue depurada espacialmente eliminando los registros que no presentaran coordenadas geográficas, así como taxonómicamente haciendo revisión en www.tropicos.com, www.theplantlist.org, para corroborar su nombre científico.

Para la georreferencia de las localidades de presencia, se usó el sistema de coordenadas geográficas expresado en grados decimales, utilizando el datum WGS84.

7.2 Variables ambientales.

Las variables climáticas son las capas necesarias para el funcionamiento de los algoritmos de modelaje del nicho ecológico. En este trabajo se utilizaron tres conjuntos de variables climáticas en formato ascii-raster, descargadas de <https://forest.moscowfsi.wsu.edu/> el primer conjunto de variables fueron para el año 2030, el segundo conjunto de variables fueron para el año 2060 En la siguiente tabla se mencionan las variables utilizadas:

CLAVE	DESCRIPCION
D100	Fecha juliana la suma de grados-días>5 grados C alcanza los 100
DD0	Grados días <0 grados C (basado en la temperatura media mensual)
DD5	Grado-días>5 grados C (basado en la temperatura media mensual)
FDAY	Fecha juliana de la primera fecha de congelación del otoño.
FFP	Duración del periodo libre de heladas.
GSDD5	Grado-días>5 grados C acumulando dentro del periodo libre de heladas.
GSP	Precipitación en la temperatura de crecimiento, de abril o septiembre.
MAP	Precipitación media anual.
MAT_TENTHS	Temperatura media anual.
MMAX_TENTHS	Temperatura máxima media en el mes más cálido.
MMIN_TENTHS	Temperatura mínima media en el mes más frío.
MMINDD0	Grado días <0 grados C (basado en la temperatura mínima mensual media)
MTCM_TENTHS	Temperatura media en el mes más frío.
MTWM_TENTHS	Temperatura media en el más cálido.
SDAY	Fecha juliana de la última fecha de congelación de la primavera.
SMRP	Precipitación de verano: (Julio+Agosto)
SMRPB	Balace de precipitación de verano (Julilio+Agosto+Septiembre)
SMRSPRPB	Balace de precipitación de verano/primavera (Julio+Agosto) (Abril+Mayo)
SPRP	Precipitación de primavera Abril+Mayo.
WINP	Precipitación de invierno (Noviembre +Diciembre+Enero+Febrero)

Cuadro 19 Variables ambientales utilizadas para la modelación de nicho ecológico.

Se descargaron tres conjuntos de variables: unas para el clima actual, otras para la predicción a futuro a 2060 y para 2030 cabe mencionar que las variables llevan el mismo nombre.

7.3 Modelaje Maxent.

El modelado de la distribución potencial de las especies se realizó mediante el programa Maxent. El cual es un método de inteligencia artificial que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie. MaxEnt estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía (lo más uniforme posible) sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según esta distribución coincide con su media empírica. El resultado del modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales. Un valor alto de la función de distribución en una celda determinada indica que ésta presenta condiciones muy favorables para la presencia de la especie. MaxEnt puede utilizar variables cualitativas, otorgando a cada valor de la variable un peso relativo al número total de puntos de presencia que contiene ([Martinez & 2010](#))

Los puntos de localización usados para este análisis fueron tomados de las base de datos mencionadas con anterioridad. Se utilizó una replicación de tipo validación cruzada con 500 iteraciones y un límite de convergencia de 0.00001. Los parámetros utilizados para generar los modelos fueron los incluidos por defecto dentro de Maxent. Los mapas se obtuvieron en escala logística y fueron exportados en formato ESRI ASCII, para su post-procesamiento en un SIG, a fin de obtener la representación cartográfica de los modelos para su presentación ([Martinez & 2010](#)).

Maxent estima la una probabilidad de distribución mediante la máxima entropía la cual es una teoría de la informática y que nos dice que tan aleatorio es algo. Es algo un poco anti-intuitivo pero cuando todos los elementos de un conjunto son equiprobables, su entropía es máxima o sea la entropía máxima es igual al evento más probable ([Rangel & Escalante, 2008](#)).

Maxent trata de encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía sujeta a las limitaciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales en el área de estudio. El encuentra las distribuciones por medio del algoritmo Sequential update algorithm ([Martinez & 2010](#)).

8.- RESULTADOS.

8.1 Localidades de presencia.

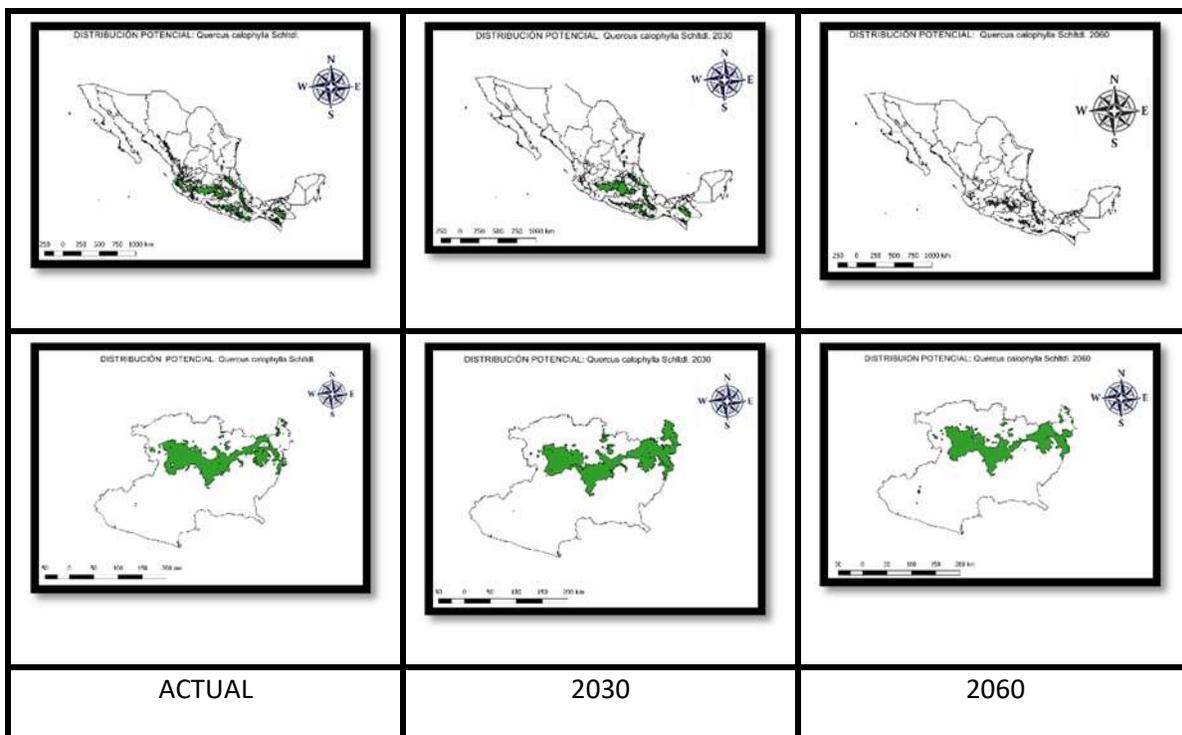
Se obtuvieron 4 bases de datos una para cada una especie en el siguiente cuadro se presentan el número de registros de presencia obtenidos para cada especie

ESPECIE	NO DE REGISTROS DE PRESENCIA
<i>QUERCUS CALLOPHYLIA</i>	867
<i>QUERCUS LAURINA</i>	1447
<i>QUERCUS OBTUSATA</i>	1647
<i>QUERCUS MAGNOLIIFOLIA</i>	765

Cuadro 20 Número de registros de presencia para cada una de las especies.

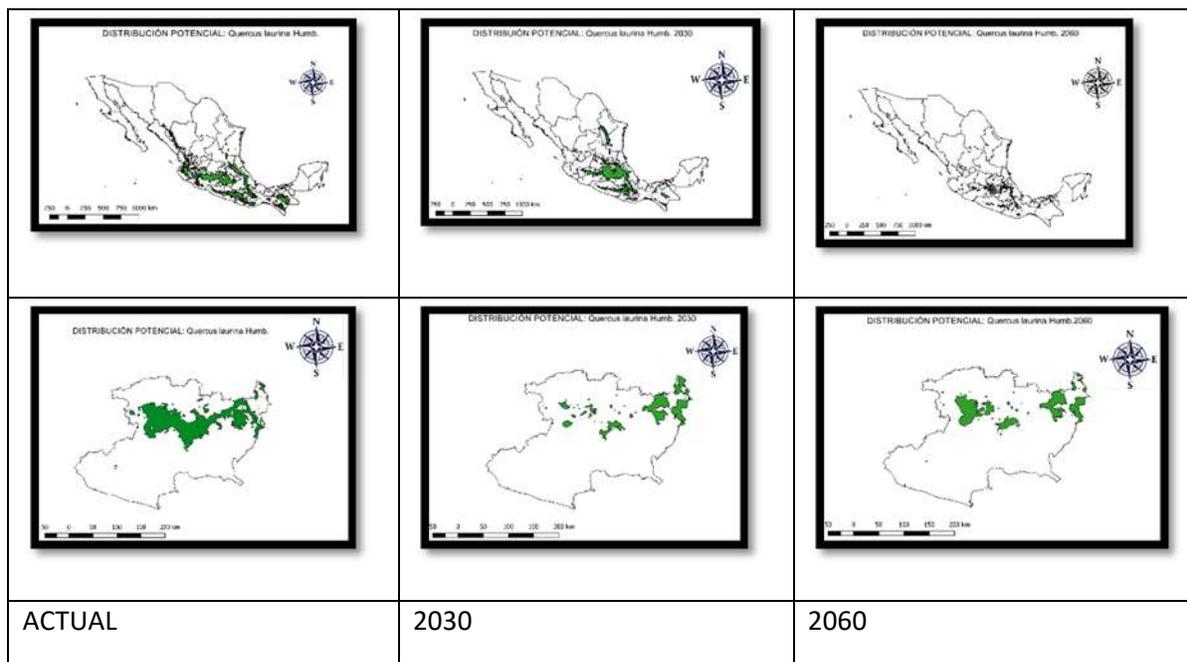
8.2 Modelación de nicho ecológico.

8.2.1 Modelos de distribución para *Quercus callophyla*.



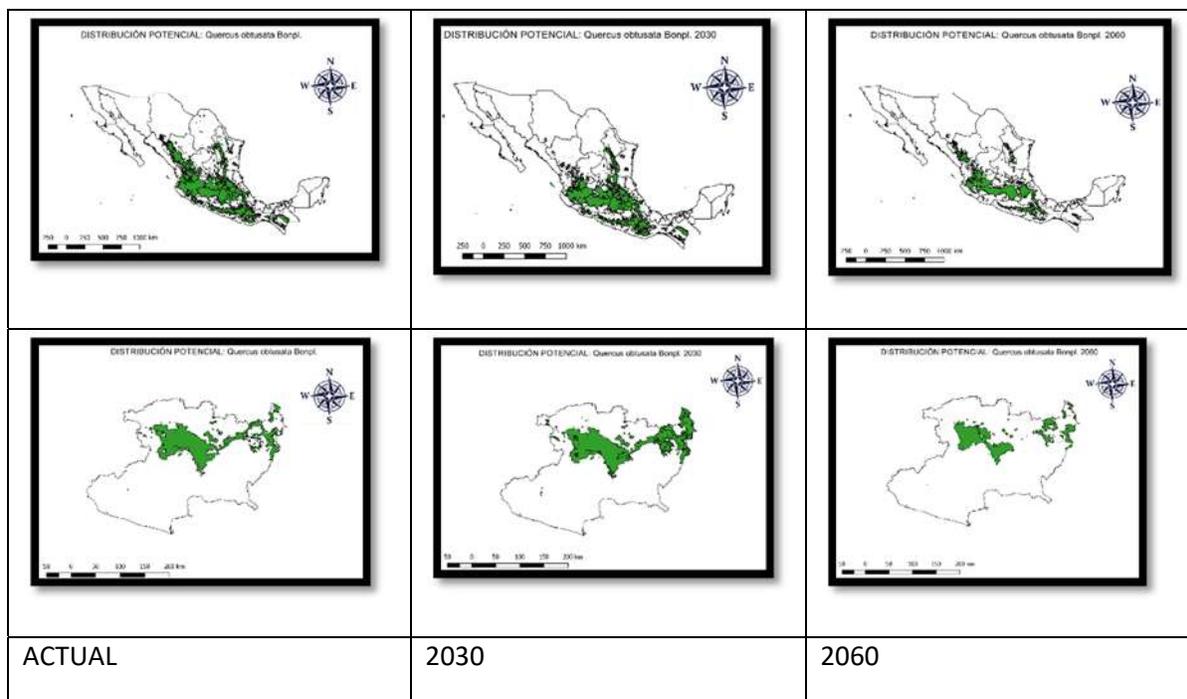
Cuadro 21 Comparación de la distribución de *Quercus callophyla* para 2030 y 2060.

8.2.2 Modelos de distribución para *Quercus laurina*.



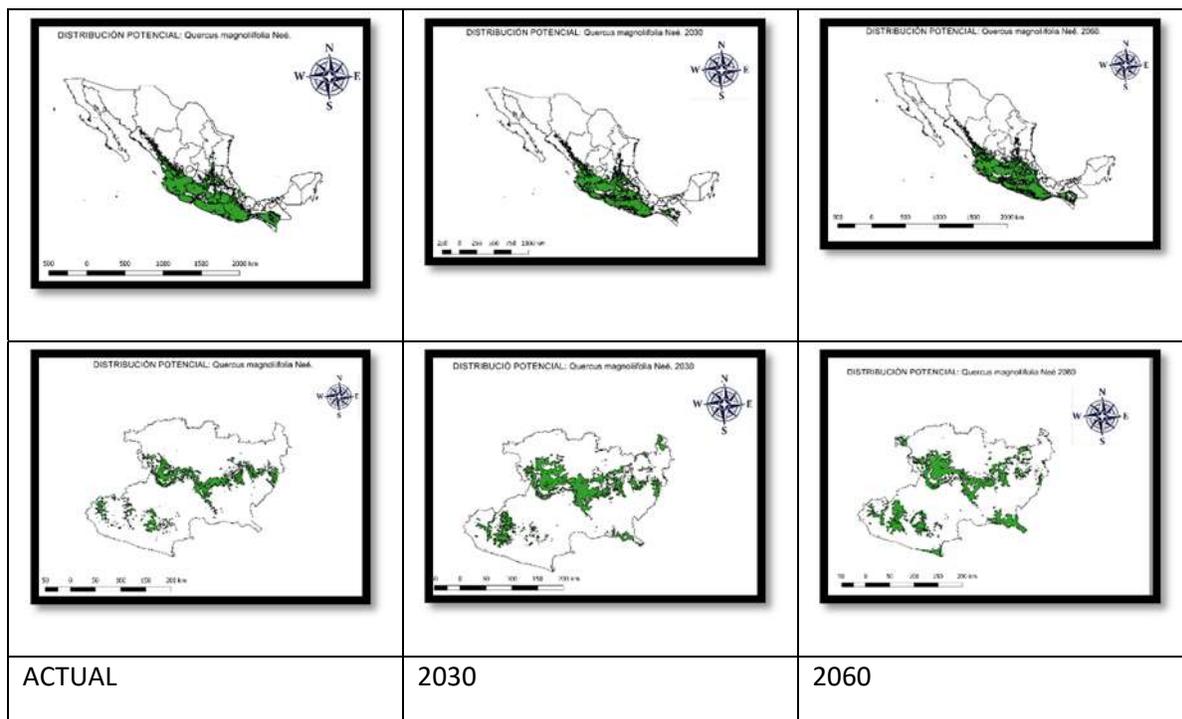
Cuadro 22 Comparación de la distribución de *Quercus laurina* para 2030 y 2060.

8.2.3 Modelos de distribución para *Quercus obtusata*.



Cuadro 23 Comparación de la distribución de *Quercus obtusata* para 2030 y 2060.

8.2.4 Modelos de distribución para *Quercus magnoliifolia*.



Cuadro 24 Comparación de la distribución de *Quercus magnoliifolia* para 2030 y 2060.

8.3 Evaluación de los modelos de distribución.

Cada uno de los modelos obtenidos se evaluó mediante el estadístico ROC parcial. A continuación se muestran los valores obtenidos para los modelos de Maxent (cuadro 21)

ESPECIE	PROMEDIO 2030	PROMEDIO 2060
QUERCUS CALLOPHYL	1.88	1.89
QUERCUS LAURINA	1.90	1.90
QUERCUS OBTUSATA	1.90	1.90
QUERCUS MAGNOLIIFOLIA	1.88	1.89

Cuadro 25 Valores del estadístico ROC parcial.

8.4 Áreas de la distribución para las especies en estudio.

ESPECIE	SUPERFICIE ACTUAL MÉXICO	SUPERFICIE RCP60 MÉXICO	PERDIDA/GANANCIA
<i>Quercus laurina</i>	71,071 km ²	33,396 km ²	-37,675km ²
<i>Quercus callophyla</i>	72,986 km ²	36,299 km ²	-36,687km ²
<i>Quercus obtusata</i>	24,905 km ²	17,969 km ²	-7,206 km ²
<i>Quercus magnoliifolia</i>	39,107km ²	34,909 km ²	-4,198 km ²

Cuadro 26 superficie de México para 2060.

ESPECIE	SUPERFICIE ACTUAL MÉXICO	SUPERFICIE RCP30 MÉXICO	PERDIDA/GANANCIA
<i>Quercus laurina</i>	13,915 km ²	10,695 km ²	-3,220 km ²
<i>Quercus callophyla</i>	13,815km ²	10,400 km ²	-3,415 km ²
<i>Quercus obtusata</i>	35,450 km ²	26,200 km ²	-9,250 km ²
<i>Quercus magnoliifolia</i>	37,094 km ²	32,105 km ²	-4,989 km ²

Cuadro 27 Superficie de México para 2030.

<i>ESPECIE</i>	<i>SUPERFICIE ACTUAL MICHOACÁN</i>	<i>SUPERFICIE RCP60 MICHOACÁN</i>	<i>PERDIDA/GANANCIA</i>
<i>Quercus laurina</i>	10,929 km ²	4,801 km ²	-6,128
<i>Quercus callophyla</i>	13,462 km ²	9,335 km ²	-4,127
<i>Quercus obtusata</i>	8,009 km ²	5,289 km ²	-2,720
<i>Quercus magnoliifolia</i>	11,701 km ²	10,090 km ²	-1,611

Cuadro 28 Superficie de Michoacán para 2060.

<i>ESPECIE</i>	<i>SUPERFICIE ACTUAL MICHOACÁN</i>	<i>SUPERFICIE RCP30 MICHOACÁN</i>	<i>PERDIDA/GANANCIA</i>
<i>Quercus laurina</i>	9,131 km ²	3,646 km ²	-54848
<i>Quercus callophyla</i>	9,147 km ²	10,269 km ²	1,122
<i>Quercus obtusata</i>	8,009 km ²	9,664 km ²	1,655
<i>Quercus magnoliifolia</i>	5,569 km ²	8,915 km ²	3,346

Cuadro 29 Superficie de México para 2030.

9.- DISCUSIÓN.

En los resultados obtenidos en este trabajo se puede observar que la distribución de las cuatro especies en estudio se verá afectada por el aumento de temperatura, para todas las especies hay una reducción de área en su distribución.

De acuerdo al trabajo realizado por ([Gutierrez & Trejo, 2014](#)), en donde también mencionan que la distribución de *Q. laurina* se verá reducida ante el cambio climático; y con los resultados obtenidos se puede observar que las especies van a ser afectadas por el cambio climático.

([Chavez, 1998](#)) Menciona que la distribución de los encinos se ha visto afectada por el cambio climático el cual ha ocurrido a nivel mundial, posiblemente los cambios a climas más cálidos y secos han favorecido de manera reincidente a los encinos. Otros factores como la sobreexplotación de recursos forestales, cambios en el uso del suelo, incendios etc. Han intervenido para que la distribución se vea afectada.

([Luna-Jose, Montalvo-Espiosa, & Rendon-Aguilar, 2003](#)) Describen los diferentes usos que se le da a la madera de los encinos, se enlistan 5 categorías de uso: se utilizan como medicina, como alimento, como artesanal para la elaboración de diferentes objetos, como forraje para alimentar al gado porcino y caprino, como taninos y colorante dada la gran importancia de estas especies es importante tomar medidas de conservación para el cuidado de estas especies, dado a la pérdida de superficie que se observa en los resultados de ese trabajo.

Los resultados obtenidos en este trabajo son importantes para tomar medidas para la conservación de estas especies, dado el uso e importancia que tienen en los ecosistemas, en la recuperación de suelos degradados, es importante considerar el establecimiento de plantaciones forestales las cuales ayudan a la mitigación del cambio climático.

10.- CONCLUSIONES.

Al realizar este trabajo se puede observar que el área de distribución de las especies se verá afectada por el cambio de las condiciones climáticas por lo que es necesario:

- Desarrollar estrategias para el establecimiento de plantaciones comerciales en las áreas de aptitud que genero el modelo.
- Revisar si las áreas de aptitud del modelo se encuentran en áreas naturales protegidas para mejorar el aprovechamiento así como la regeneración del bosque.
- Desarrollar estrategias para colecta de semillas de las especies para su propagación futura.
- Crear un banco de semillas de estas especies para tenerlas almacenadas y poder generar plantas.
- En este trabajo se obtuvieron áreas de aptitud para el establecimiento de plantaciones comerciales teniendo un mayor grado de confianza en la supervivencia de las plantas.
- En este trabajo se puede concluir que la distribución de las especies en estudio se reducirá por efecto de cambio climático.
- En este trabajo se obtuvieron áreas de aptitud para el establecimiento de plantaciones comerciales teniendo un mayor grado de confianza en la supervivencia de las plantas.

11.-BIBLIOGRAFÍA.

- Arizaga, S., Martínez-Cruz, J., Salcedo-Cabrales, M., & Bello-Gonzalez, M. A. (2009). Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos *INE-SEMARTNAT*.
- Biodiversidad, F., Climático, O. E. d. C., Meteorología, A. E. d., & Ambiental, C. N. d. E. (2015). Cambio Climático: Mitigación
- Chavez, F. Z. (1998). Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotanica*, 8, 47-64.
- Gaillard, C. C. (2003). *Plantaciones Forestales: Oportunidades para el Desarrollo Sostenible*.
- Garza-Lopez, M., Ortega-Rodriguez, J. M., Zamudio-Sanchez, F. J., Lóez-Toledo, J. F., Domínguez-Álvarez, F. A., & Sáenz-Romero, C. (2016). Calakmul como refugio de *Swietenia macrophylla* King ante el cambio climático. *Botanical Sciences*, 94(1), 43-50.
- Gonzalez, M. A. B., & Labat, J.-N. (1987). *Los encinos de (Quercus) del estado de Michoacán México*. . Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos
- Gutierrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de biodiversidad*, 85, 179-188.
- Instituto Nacional de Estadística, G. e. I. (1991). *Datos básicos de la geografía de México*
- Jiménez-Campos, M. (2015). *Distribución de Ceiba aesculifolia (Kunth) Britten & Baker f. (Malvaceae), en la Cuenca de Cuitzeo Michoacán México.*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia.
- Luna-Jose, A. D. L., Montalvo-Espiosa, L., & Rendon-Aguilar, B. (2003). Los usos no leñosos de los encinos en México. *Bol. Soc.Bot.Mex*, 72, 107-117.
- Martínez-Mendez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., & Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94, 5-24.
- Martínez, N., & (2010). *Apuntes sobre Modelación de Nichos Ecológicos*.
- Mateo, R. G., Felicísimo, A. M., & Muños, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 217-240.
- Palma-Ordaz, S., & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 92(4), 587-597.
- Pimienta-Ramírez, L. E. (2014). *Distribución Potencial actual y bajo escenarios climáticos futuros de cuatro especies de encino en la cuenca de Cuitzeo Michoacán México.*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. . *Geografía Norte Grande*(48).
- Prado-Donoso, J. A. (2015). *Plantaciones Forestales. Mas allá de los arboles*. .
- Rangel, P. I., & Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*, 3.
- Reyes-Abrego, G. A. (2014). *Distribución potencial actual y bajo escenarios de cambio climático de especies arbóreas tropicales en México, mediante el modelaje del nicho ecológico*. . Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia.
- Trujillo, E. (2005). Plantación Forestal: Planeación para el éxito. *El semillero*
- Valencia-A., S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. . *Biol.Soc.Bot.Mex.*, 75, 33-53.