

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA**

TESIS

**ÁREAS POTENCIALES PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE
PLANTACIONES
DENDROENERGÉTICAS COMO
ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROFORESTALES**

PRESENTA

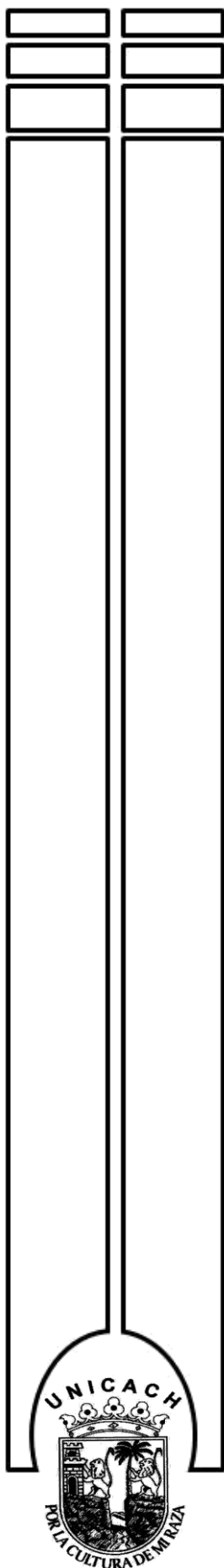
DIREYLI NUCAMENDI AVENDAÑO

DIRECTOR

DR. MIGUEL PRADO LÓPEZ

Villa Corzo, Chiapas

Noviembre 2025



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA**

TESIS

**ÁREAS POTENCIALES PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE
PLANTACIONES
DENDROENERGÉTICAS COMO
ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROFORESTALES**

PRESENTA

DIREYLI NUCAMENDI AVENDAÑO

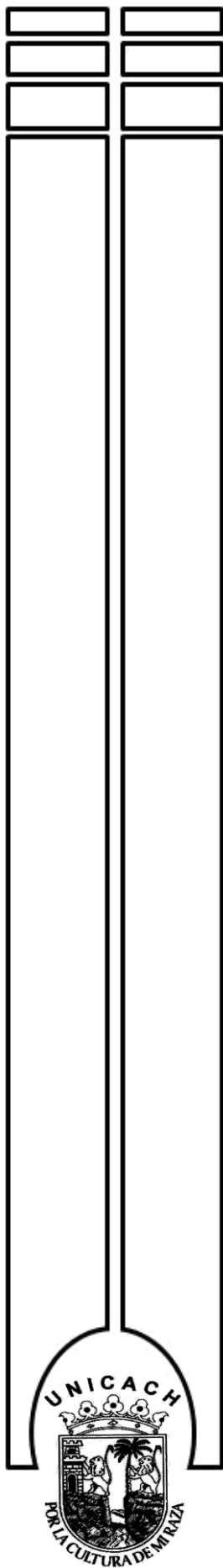
DR. MIGUEL PRADO LÓPEZ (DIRECTOR)

DR. RUBÉN MARTÍNEZ CAMILO (CODIRECTOR)

DR. NOÉ DURÁN PUGA (ASESOR)

Villa Corzo, Chiapas

Noviembre 2025





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA ACADÉMICA

Dirección de Investigación y Posgrado

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 07 de noviembre de 2025

Oficio No. SA/DIP/1354/2025

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Direyli Nucamendi Avendaño

CVU: 1273979

Candidata al Grado de Maestra en Ciencias Agroforestales

Facultad de Ingeniería

UNICACH

Presente

Con fundamento en la **opinión favorable** emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas como estrategia de restauración** y como Director de tesis el Dr. Miguel Prado López (CVU: 215004) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo **autoriza** la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestra en Ciencias Agroforestales**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento, así como entregar en esta Dirección una copia de la **Constancia de Entrega de Documento Recepcional** que expide el Centro Universitario de Información y Documentación (CUID) de esta Casa de estudios, en sustitución al ejemplar empastado.

ATENTAMENTE
"POR LA CULTURA DE MI RAZA"

Dra. Dulce Karol Ramírez López
DIRECTORA



C.c.p. Dr. Segundo Jordán Grantes Alborez. Director de la Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Dr. Miguel Ángel Salas Marina. Coordinador del Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Archivo/minutario.

EP/CKR/agalpr



2025, Año de la mujer indígena
Año de Rosario Castellanos



Ciudad Universitaria, Libramiento Norte
Poniente 1150, Col. Lajas Macías
C.P. 29039 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Tel: (961) 6179440 Ext. 4360
investigacionyposgrado@unicach.mx

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza cuando todo parecía incierto, por ser mi fuente de
esperanza y sabiduría.

A mi abuelita Georgina, que sigue siendo mi inspiración para hacer esto
posible, aunque sea desde el cielo. Este logro no es solo mío, también es de
ella, como un día se lo dije.

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (antes CONAHCYT) por el apoyo financiero otorgado con la beca No. 845166, lo que permitió el desarrollo de esta investigación.

Extiendo mi reconocimiento a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) por ofrecerme la oportunidad de continuar mi desarrollo académico y hacer posible la culminación de esta etapa profesional.

Agradezco profundamente al Dr. Miguel Prado López, quien con su respaldo y acompañamiento académico y personal hizo posible el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Rubén Martínez Camilo, agradezco su acompañamiento tanto personal como académico, reconozco que gracias a sus aportes este proceso pudo culminarse de manera satisfactoria.

A Derio Antonio Jiménez López, reconozco y agradezco profundamente sus aportes, los cuales hicieron posible la obtención de buenos resultados. Dejando en mí conocimientos muy valiosos.

Al Dr. Noé Durán Puga, por sus aportes en la revisión de esta tesis, permitiendo la culminación de este proceso académico.

A mi compañera y amiga Yesi, por sus palabras de aliento en momentos difíciles, por ser una gran amiga.

A mi compañero de vida que ha estado en cada aventura académica, creyendo en mí y ayudándome a creer en mi potencial.

A mis padres y hermanos que con su apoyo me han hecho creer que puedo lograr cualquier meta que me proponga.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN GENERAL	5
OBJETIVOS.....	10
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
RESULTADOS.....	11
CAPITULO I.....	11
DISCUSIÓN GENERAL	47
CONCLUSION GENERAL	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51
CONGRESOS Y EVENTOS	64
RETRIBUCIÓN SOCIAL	67

RESUMEN GENERAL

La alta dependencia de leña en Chiapas genera una fuerte presión sobre los bosques primarios, principalmente en especies de *Quercus*. Por ello, este estudio plantea una alternativa para satisfacer la demanda energética y, al mismo tiempo, promover la restauración productiva mediante el aprovechamiento de paisajes con vegetación secundaria. El estudio tuvo como objetivo identificar la distribución potencial de cinco especies de *Quercus* (*Q. crassifolia*, *Q. crispipilis*, *Q. laurina*, *Q. peduncularis* y *Q. sapotifolia*) y priorizar áreas idóneas para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas que reduzcan la extracción de leña en ecosistemas primarios. Se compiló y depuró una base de datos con registros geográficos provenientes de herbarios, bases de datos globales y trabajo de campo, posteriormente se realizó el filtrado geográfico y la curación taxonómica. Se modeló el nicho ecológico con Wallace/MaxEnt, empleando variables bioclimáticas de WorldClim. Las proyecciones se sobrelaparon con la cartografía de vegetación secundaria y las superficies potenciales se compararon mediante pruebas no paramétricas (Kruskal–Wallis y análisis *post hoc*). *Q. peduncularis* presentó la mayor distribución potencial en Chiapas y *Q. laurina* registró la mayor proporción de su superficie potencial dentro de zonas de vegetación secundaria, lo que resalta su capacidad de adaptación a ambientes con distintos niveles de disturbio. En conjunto, la distribución potencial de ambas especies estuvo determinada principalmente por variables térmicas y de precipitación, las cuales condicionaron la extensión y localización de las áreas idóneas para su establecimiento. Este trabajo ofrece una base teórica para priorizar bosques secundarios como

escenarios de plantaciones dendroenergéticas con especies locales, proponiendo lineamientos para ensayos de establecimiento, integración a cadenas de valor (leña, carbón y pellets) y esquemas de gobernanza comunitaria que fortalezcan la conectividad del paisaje, la conservación del suelo y la transición energética rural.

Palabras clave: Bioenergía, Conservación forestal, Fagaceae, Idoneidad climática, Planificación territorial

ABSTRACT

The high dependence on fuelwood in Chiapas continues to exert significant pressure on primary forests, primarily on native *Quercus* species. Therefore, this study proposes a strategic alternative to meet energy demand and, at the same time, promote productive restoration by utilizing landscapes with secondary vegetation. The study aimed to identify the potential distribution of five species: *Q. crassifolia*, *Q. crispipilis*, *Q. laurina*, *Q. peduncularis*, and *Q. sapotifolia*, and prioritize suitable areas for establishing wood-energy plantations that reduce fuelwood extraction in primary ecosystems. A database was compiled and refined with geographic records from herbaria, global databases, and fieldwork, followed by geographic filtering and taxonomic curation. The ecological niche was modeled with Wallace/MaxEnt, using bioclimatic variables from WorldClim. The best models were selected based on *AUC* and *AICc*. Projections were overlaid with secondary vegetation mapping, and potential areas were compared using nonparametric tests (Kruskal–Wallis and post hoc analysis). *Q. peduncularis* had the largest potential distribution in Chiapas, and *Q. laurina* recorded the highest proportion of its potential area within secondary vegetation zones, highlighting its adaptability to environments with different levels of disturbance. Overall, the potential distribution of both species was primarily determined by thermal and precipitation variables, which influenced the extent and location of suitable areas for their establishment. This work provides a theoretical basis for prioritizing secondary forests as scenarios for wood-energy plantations with local species, proposing guidelines for establishment trials, integration into value chains

(firewood, charcoal, and pellets), and community governance schemes that strengthen landscape connectivity, soil conservation, and the rural energy transition.

Keywords: Bioenergy, Climate suitability, Fagaceae, Forest conservation Territorial planning

INTRODUCCIÓN GENERAL

Uso actual de la leña

Actualmente, existen motivos suficientes para afirmar que la madera desempeñará un papel importante en el sistema energético mundial en las próximas décadas, ya que el rápido desarrollo de la bioenergía está determinado por el aumento en la producción y procesamiento de la madera como recurso energético renovable (Debrynyuk, 2017). La energía basada en biomasa tiene un gran potencial para minimizar el impacto ambiental asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), además de contribuir al crecimiento socioeconómico y a la reducción de desechos (Mukhdlor et al., 2021). De hecho, la producción sostenible de biomasa puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático (Haqiqi et al., 2022). En este contexto, la leña representa un recurso bioenergético clave que, además de satisfacer necesidades domésticas, puede consolidarse como una estrategia bioenergética del futuro si se maneja de manera sustentable. En México, la leña continúa siendo una fuente de energía esencial, especialmente en las zonas rurales (Pérez et al., 2022).

El uso de recursos dendroenergéticos, principalmente de leña y carbón, se destaca como un tema de relevancia socioeconómica a nivel global. A pesar de los avances tecnológicos, estos recursos siguen siendo fundamentales para satisfacer necesidades energéticas, especialmente en contextos rurales (Jiménez-Mendoza et al., 2023a). En América Latina, donde 81% de la población reside en zonas rurales, la leña es prioritaria como fuente principal de combustible (Aliaga Palomino y Huamani Labra, 2023). En México, se estima que aproximadamente 26% de población depende de la

leña para cocinar (Pérez et al., 2022), siendo Chiapas uno de los estados con mayor demanda, llegando a requerir 2.5 millones de toneladas en 2018 (Raj Aryal et al., 2018).

El crecimiento demográfico, los incendios forestales, la ampliación de la frontera agrícola y la reducción de bosques, son algunas de las problemáticas socioambientales actuales que se asocian al abastecimiento de la leña. En la actualidad, aproximadamente 34 % de la leña que se aprovecha a nivel mundial, es producto de actividades de recolección que se realizan de forma insostenible, lo que aumenta la degradación de los bosques (Arévalo-Morocho et al., 2023). En consecuencia, estas alteraciones pueden causar la pérdida de biodiversidad debido a la fragmentación y a la disminución sustancial de los bosques nativos.

Dentro de este contexto, las especies del género *Quercus*, adquieren relevancia ya que es la base de la economía local en algunas regiones rurales de México (Hernández-Ramos et al., 2022b). Este género es reconocido a nivel mundial por su diversidad, con dos centros de diversidad en América y Asia. México alberga el centro de diversidad más grande, lo que lo convierte en un país con una riqueza significativa de especies (Nixon, 2001). Sin embargo, esta riqueza se ve amenazada por el impacto ambiental negativo provocado por las actividades humanas, donde las especies de encinos son dominantes o codominantes, exacerbando aún más la situación (Sabás-Rosales et al., 2015). En este escenario, el cambio de uso de suelo y la fragmentación del paisaje continúan modificando la distribución y dinámica poblacional de estas especies, por lo que resulta necesario fortalecer esquemas de manejo adaptativo y restauración que integren criterios ecológicos y socioeconómicos (Ranius et al., 2018).

Implicaciones ambientales y sociales del uso de leña

La extracción y el consumo de leña generan impactos ambientales significativos cuando no se gestionan de forma sostenible, especialmente en escenarios de deforestación, erosión del suelo y pérdida de biodiversidad (Haqiqi et al., 2022). En el estado de Chiapas, aproximadamente la mitad de los hogares dependen de la leña como fuente primaria de energía para cocinar, con un consumo diario per cápita que oscila entre 0.7 y 7 kg (Marquez-Reynoso et al., 2017). Esta alta demanda ejerce una fuerte presión sobre los bosques locales, reduciendo la disponibilidad de especies leñosas y alterando su dinámica ecológica. Según el Sistema de Información Energética (SENER), en 2018 la demanda estatal de leña alcanzó aproximadamente 2.5 millones de toneladas (Raj Aryal et al., 2018). No obstante, existen municipios donde el consumo diario supera el promedio estatal, como es el caso de Villaflores, en la región Frailesca, caracterizado por una población predominantemente rural y una intensa actividad agrícola. En este municipio, el consumo promedio de leña asciende a 9.5 kg por persona al día, lo que contribuye de manera significativa a los procesos de degradación forestal y pérdida de biodiversidad (Raj Aryal et al., 2018).

Especies más utilizadas y características de la leña

Las especies forestales de México, en particular los bosques de coníferas y robles, concentran más del 95 % de la producción maderable del país y albergan altos niveles

de biodiversidad (Díaz-Núñez et al., 2016). En regiones como Chiapas, los robles (género *Quercus*) son de las especies más utilizadas como fuente de leña, debido a su abundancia, poder calorífico y disponibilidad en zonas en diferentes tipos de vegetación. La calidad de la leña depende de propiedades físicas como la densidad aparente y el contenido de humedad, que determinan su facilidad de combustión. Una leña ideal debe poseer alta densidad y bajo contenido de humedad (Baqir et al., 2017), características que permiten una combustión más eficiente y reducen emisiones contaminantes.

Hacia un uso sustentable de la leña y restauración productiva

Para satisfacer la creciente demanda energética y reducir la presión sobre los bosques naturales, es necesario promover estrategias de producción sustentable de biomasa. Entre ellas, se encuentran la movilización de residuos forestales de operaciones comerciales, el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas y la restauración de paisajes degradados (Mola-Yudego et al., 2017; S. Brancalion et al., 2019). La reforestación y restauración productiva han demostrado aumentar la diversidad vegetal y mejorar los servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica y la reducción de la erosión del suelo (Guzmán-Mendoza et al., 2020). Además, la plantación de árboles en tierras deforestadas puede incrementar los sumideros de carbono y contribuir a la mitigación del cambio climático (Katembo Kasekete et al., 2022). En este sentido, la restauración productiva basada en especies nativas de alto potencial bioenergético

representa una alternativa viable para vincular la transición energética con la conservación de los ecosistemas.

El modelado del nicho ecológico emerge como una herramienta vital, proporcionando información detallada sobre la distribución potencial de especies forestales en áreas perturbadas por actividades humanas (Arévalo-Morocho et al., 2023), que además proporciona una aproximación de los factores ambientales más importantes que intervienen en la distribución actual y futura de las especies permitiendo la formulación de estrategias bioenergéticas innovadoras (Mola-Yudego et al., 2017). Incluyendo la creación de plantaciones específicamente destinadas a la producción de energía.

Ya que actualmente, las plantaciones forestales forman parte de la restauración productiva (Katembo Kasekete et al., 2022), mejorando así la resiliencia de los paisajes degradados y deforestados y proporcionando beneficios ecológicos y socioeconómicos a largo plazo (S. Brancalion et al., 2019). En este estudio se aborda específicamente el modelado de nicho ecológico para especies del género *Quercus*. El objetivo es identificar áreas potenciales para su desarrollo y proponer estrategias de plantaciones dendroenergéticas, contribuyendo de manera significativa a la restauración productiva de los ecosistemas, integrando enfoques innovadores basados en la ecología de la especie.

En consecuencia, se plantea responder la siguiente interrogante: ¿Qué variables ambientales definen la distribución potencial de las especies del género *Quercus*, en Chiapas? Adicionalmente, el conocimiento de la distribución geográfica y ecológica de

las especies de este género en México proporcionará información útil para identificar zonas potenciales para futuras plantaciones y para su conservación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar la distribución potencial de especies del género *Quercus* en Chiapas mediante herramientas de modelación espacial, con el propósito de identificar áreas prioritarias para su aprovechamiento sostenible y el establecimiento de plantaciones orientadas a la restauración productiva.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el área de distribución potencial para *Q. crassifolia*, *Q. crispipilis*, *Q. laurina*, *Q. peduncularis* y *Q. sapotifolia* en Chiapas.
2. Evaluar la superficie óptima para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas enfocadas en la restauración y enriquecimiento de vegetación secundaria.

RESULTADOS

CAPITULO I

Artículo 1. Áreas potenciales para plantaciones dendroenergéticas de *Quercus* en
Chiapas

El siguiente artículo fue sometido a la revista Madera y Bosques y se encuentra en
proceso de revisión.

Artículo 1. Áreas potenciales para plantaciones dendroenergéticas de *Quercus* en Chiapas

Potential areas for *Quercus* dendroenergy plantations in Chiapas

RESUMEN

La alta dependencia de la leña en Chiapas (México) requiere alternativas sostenibles que integren abastecimiento energético y conservación forestal. En este estudio se construyó una base de datos de 5030 registros provenientes de GBIF, CONABIO, herbario MO y trabajo de campo. Posteriormente se generaron modelos de distribución potencial para cinco especies de *Quercus* (*Q. crassifolia*, *Q. crispipilis*, *Q. laurina*, *Q. peduncularis* y *Q. sapotifolia*). Los modelos se generaron en Wallace empleando el algoritmo MaxEnt con variables bioclimáticas de WorldClim. Se realizó el sobrelape de la distribución potencial de cada especie con una capa de vegetación secundaria para identificar áreas potenciales para establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. Los resultados muestran que *Q. peduncularis* presentó la mayor superficie potencial (2 910 695 ha), mientras que *Q. laurina* registró la mayor proporción de área potencial en vegetación secundaria (48.23%). Las variables térmicas y pluviométricas fueron determinantes en la idoneidad climática. Estos hallazgos sugieren que las áreas de vegetación secundaria constituyen escenarios prioritarios para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas, al posibilitar el uso planificado de especies nativas de *Quercus* sin sustituir bosques primarios. Esta estrategia puede fortalecer la transición energética rural y contribuir a la restauración productiva del paisaje en Chiapas.

PALABRAS CLAVE: biomasa leñosa, estrategia territorial, gobernanza local, modelado de nicho ecológico, seguridad energética, restauración productiva

ABSTRACT

The high dependence on firewood in Chiapas (Mexico) necessitates sustainable alternatives that integrate energy supply and forest conservation. In this study, a database of 5030 records sourced from GBIF, CONABIO, the MO herbarium, and fieldwork was constructed. Subsequently, potential distribution models were generated for five *Quercus* species (*Q. crassifolia*, *Q. crispipilis*, *Q. laurina*, *Q. peduncularis* and *Q. sapotifolia*) The models were generated in Wallace using the MaxEnt algorithm with bioclimatic variables from WorldClim. The potential distribution of each species was overlapped with the secondary vegetation layer to identify potential areas for the establishment of dendroenergy plantations. The results indicate that *Q. peduncularis* showed the largest potential area (2 910 695 ha), while *Q. laurina* registered the highest proportion of its potential area in secondary vegetation (48.23%). Thermal and rainfall variables were determining factors in climatic suitability. These findings suggest that secondary vegetation areas constitute priority scenarios for the establishment of dendroenergy plantations, by enabling the planned use of native *Quercus* species without replacing primary forests. This strategy can strengthen the rural energy transition and contribute to the productive restoration of the landscape in Chiapas.

KEYWORDS: ecological niche modeling, energy security, local governance, territorial strategy, productive restoration, woody biomass

INTRODUCCIÓN

Pese a los esfuerzos para fomentar el aprovechamiento energético planificado de la biomasa y el suministro energético fiable, moderno y económicamente accesible para todos, la demanda energética basada en biomasa sigue siendo alta (Pérez et al., 2022). Tan sólo en México, cerca del 67% de los hogares (28 millones de personas) dependen de la leña para cubrir sus necesidades energéticas (Schilmann et al., 2021) y se estima que el consumo combinado de carbón vegetal y leña podría aumentar entre 1% y 158% para 2030 (Serrano-Medrano et al., 2013). La leña es un recurso esencial para el sector doméstico, principalmente en el medio rural. Pero también lo es en actividades productivas de pequeña escala como panaderías, alfarerías y producción de ladrillos artesanales, siendo estas actividades las que demandan un uso mayor respecto a las actividades domésticas (Quiroz-Carranza y Orellana, 2010; Schilmann et al., 2021).

En el estado de Chiapas, la dependencia de la leña como principal fuente de energía es especialmente crítica, debido al alto porcentaje de hogares que la utilizan de forma exclusiva y a la fuerte resistencia cultural a dejar el uso de leña (Burgos Lugo, 2010; Troncoso et al., 2019). Considerando que la leña continuará siendo un recurso energético indispensable, por cuestiones culturales y socioeconómicas, se vuelve prioritario planificar alternativas sustentables de abastecimiento como la implementación de plantaciones dendroenergéticas integradas en esquemas de restauración productiva. Las plantaciones dendroenergéticas son cultivos de árboles diseñados para producir biomasa leñosa (Mola-Yudego et al., 2017). Por ejemplo, en las montañas de Guerrero (México), la organización indígena “Xuajin Me’ Phaa” implementó proyectos agroforestales en milpas y traspatios utilizando especies nativas del género *Quercus* que fueron seleccionadas por su valor dendroenergético, así como su capacidad para restaurar

funciones ecológicas (Ceccon y Pérez, 2016). Sin embargo, para disminuir la presión de los bosques a través de las plantaciones dendroenergéticas se requiere de un enfoque integrador que incluya la restauración productiva. Una estrategia adecuada para recuperar la productividad del suelo en beneficio de la población local (Ceccon, 2013). Considerando especies de interés dendroenergético que se puedan usar en estas plantaciones, tales como *Acacia cochliantha*, *A. pennatula* y especies pertenecientes al género *Quercus* (Vázquez et al., 2014; Ruiz-Aquino et al., 2019).

El género *Quercus* es el segundo recurso forestal maderero en México, después del género *Pinus* (Núñez-Retana et al., 2019). Las especies de *Quercus* son las más utilizadas como leña y elaboración de carbón por el poder calorífico (19.3–19.4 MJ/kg) con respecto a muchas otras especies de sitios templados y a la mayoría de los residuos agrícolas (Ruiz-Aquino et al., 2015; Jiménez-Mendoza et al., 2023b). Estas especies también representan un componente clave en los ecosistemas templados del hemisferio norte y componentes principales de los bosques primarios (Wang et al., 2023). El género *Quercus* es resistente a las sequías, por lo que suele crecer en suelos degradados contribuyendo a la resiliencia del paisaje y a la estabilidad ecológica (Gil-Pelegrín et al., 2017). Si bien se reconoce el valor ecológico, social y energético de las especies de *Quercus*, aún se requieren estudios que integren datos sobre su distribución potencial con criterios bioenergéticos para orientar su uso en plantaciones que restauren funciones ecológicas y a la vez provean beneficios socioeconómicos. Esta falta de integración limita la toma de decisiones informadas para el manejo sostenible de los recursos naturales en regiones con alta dependencia de la leña como Chiapas. En este contexto, y en alineación con la Ley de

Biocombustibles (SENER, 2025) es importante integrar metodologías que ayuden a impulsar la producción y el manejo sostenible de los recursos naturales.

Los modelos de nicho ecológico son herramientas analíticas que proveen de insumos para la gestión sostenible de los recursos naturales. Utilizan registros de presencia de especies de interés energético y de variables ambientales (por ejemplo, clima y suelo) para predecir la presencia de especies en áreas en donde no se han registrado (Phillips et al., 2017). Estos modelos pueden ser un buen aliado para encontrar áreas idóneas para implementar plantaciones dendroenergéticas con fines de restauración productiva. El modelado de nicho ecológico ofrece una base teórica para el desarrollo de modelos de distribución potencial de especies (Guisan y Zimmermann, 2000; Guisan et al., 2013). De acuerdo con Hutchinson (1957), el nicho ecológico es el conjunto multidimensional de condiciones ambientales y recursos que permiten a una especie mantener poblaciones viables. Uno de los métodos más usados para la construcción de estos modelos es MaxEnt que hace estimaciones de la distribución de las especies a partir de registros de recolección (Phillips et al., 2006; Leal-Nares et al., 2012). A pesar de los avances en el modelado de distribución potencial de especies, persisten lagunas importantes en cuanto a su aplicación directa en estrategias de restauración productiva, particularmente con especies del género *Quercus*.

OBJETIVO

Identificar áreas de distribución potencial para *Q. crassifolia*, *Q. crispipilis*, *Q. laurina*, *Q. peduncularis* y *Q. sapotifolia* como herramienta para ayudar al establecimiento de plantaciones dendroenergéticas en Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El estudio se enfocó en los límites políticos del estado de Chiapas, México (Fig. 1). Respecto a México, se ubica al suroeste, colindando con los estados de Oaxaca, Veracruz y Tabasco, y con el país vecino de Guatemala. Chiapas tiene una superficie de 74 415 km², que incluye una gama de escenarios ambientales, desde tierras bajas a nivel del mar, hasta cordilleras montañosas que alcanzan los 3000 m s.n.m. (Velázquez-Pérez et al., 2025). Esta amplitud altitudinal determina diferentes comunidades vegetales, especialmente de climas templados como el bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino y bosque mesófilo de montaña, que en conjunto abarcan cerca de 15 000 km² (Martínez-Icó et al., 2015). Estas comunidades se caracterizan por la presencia o dominancia de diferentes especies de *Quercus*, que son elementos distintivos en las regiones montañosas de Chiapas, principalmente en la Sierra Madre de Chiapas, Altiplanicie Central, Montañas del Norte y Montañas de Oriente (González-Espinosa y Ramírez-Marcial, 2006).

Construcción de la base de datos

Se construyó una base de datos con los registros de todas las especies de *Quercus* registradas en Chiapas. La conformación de esta base de datos siguió tres fases: (1) Recopilación de información, (2) filtrado geográfico y (3) curación taxonómica (Fig. 2).

Recopilación de la información

Se descargaron 4175 registros de especies del género *Quercus* del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF, 2023), 2705 del Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad de México (SNIB-REMIB), administrado por la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO, 2018) y 546 del herbario MO. Además, se agregaron 92 registros de especies de *Quercus* recopilados mediante trabajo de campo a través de estudios de vegetación en Chiapas (Martínez-Camilo et al., 2018, 2019).

Filtrado geográfico

Se aplicó un filtro geográfico con la herramienta “Clip” utilizando Qgis versión 3.36.1 (QGIS Development Team 2023) para obtener solo los registros que estaban dentro de los límites geográficos del estado de Chiapas. Se detectaron y eliminaron errores espaciales (es decir, registros con valores iguales de latitud y longitud, coordenadas cero, , dentro de un radio de 2 km de instituciones de biodiversidad conocidas y registros ubicados en el océano) utilizando el paquete “CoordinateCleaner” (Zizka et al., 2019) y posteriormente se eliminaron duplicados. Esta tarea y las subsecuentes se realizó en R versión 3.5.2 (R Core Team 2023). Se utilizaron los paquetes “data.table” (Barrett et al., 2025), “dplyr” (Wickham et al., 2025a) y “tidyr” (Wickham

et al., 2025b) para la manipulación de datos, así como “sf” (Pebesma, 2018), “ggplot2” (Wickham, 2016) y “ggspatial” (Dunnington, 2025) para la manipulación y visualización de registros en el espacio geográfico. Estos procesos fueron necesarios para conformar una base de datos con registros confiables para los modelos de distribución potencial, ya que la gran cantidad de registros obtenidos de las cuatro fuentes antes descritas (2458) incluían numerosos registros cuya procedencia no correspondía a Chiapas, contenían errores espaciales o estaban duplicados.

Curación taxonómica y nomenclatural

Los nombres científicos fueron validados y estandarizados utilizando el paquete “rWCVP” (Brown et al., 2023), en conjunto con la base de datos del World Checklist of Vascular Plants (WCVP), asegurando la consistencia taxonómica en todos los registros. Finalmente, las bases limpias fueron integradas en una única base de datos unificada con ayuda del paquete “bdc” (Ribeiro et al., 2022). Este conjunto final de datos sirvió como insumo para los análisis de distribución potencial de especies. La fase final en la construcción de la base de datos consistió en homogeneizar la nomenclatura de los nombres de cada especie, verificando si se trata de un nombre válido. Utilizando las listas de especies de plantas vasculares para México de Villaseñor (2016), la lista de especies de *Quercus* para Latinoamérica de Bartholomew y Almeda (2023) y las bases de datos de World Flora Online (<https://www.worldfloraonline.org/>), Plants of the World (<https://powo.science.kew.org/>) y Tropicos (<https://www.tropicos.org/home>). Cada fase del proceso fue diseñada con el objetivo de maximizar la precisión y la fiabilidad de la base de datos, facilitando así su reproducibilidad y garantizando la consistencia en los resultados obtenidos.

Selección de especies

De las 43 especies del género *Quercus* identificadas para Chiapas se seleccionaron cinco para el modelado de su distribución potencial: *Q. crassifolia*, *Q. crispipilis*, *Q. laurina*, *Q. peduncularis* y *Q. sapotifolia*. El criterio de selección de estas especies fue la relevancia que tienen en el uso bioenergético local (leña y carbón), debido a su alta durabilidad y capacidad calorífica (Vega-Ortega et al., 2020; Ruan-Soto et al., 2022; Jiménez-Mendoza et al., 2023b).

Selección de variables ambientales

Se seleccionaron 19 capas bioclimáticas (BIO1 a BIO19) provenientes de la base de datos de WorldClim (Fick y Hijmans, 2017). Esta base tiene una resolución espacial de 30 segundos de arco (~1 km²). Se utilizaron estas capas para capturar las condiciones ambientales asociadas a cada registro.

Modelación

Los modelos de distribución potencial para cada especie del género *Quercus* se generaron utilizando el paquete Wallace (Kass et al., 2018) en R (R Core Team, 2023). Para definir el área de calibración “M”, se utilizó el shapefile del estado de Chiapas obtenido del producto Cartografía Geoestadística Urbana elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015), al cual se le aplicó un búfer de 0.009 grados para delimitar el área de muestreo

ambiental y de fondo. Esta extensión se usó para todas las especies como proxy de M, en función de su distribución conocida dentro del estado (Muñoz et al., 2016).

Se utilizaron registros de presencia georreferenciados previamente curados. Todas las especies que se utilizaron tenían más de 10 registros. Se aplicó un filtrado espacial (thinning) con una distancia mínima de 1 km entre registros, usando el módulo interno de Wallace basado en el paquete spThin, con el fin de reducir el sesgo espacial y ambiental (Aiello-Lammens et al., 2015). Las variables ambientales empleadas fueron las 19 variables bioclimáticas de WorldClim (BIO1–BIO19), de las cuales se extrajeron los valores para los puntos de presencia y para 10 000 puntos de fondo generados aleatoriamente dentro de los límites de Chiapas (Muñoz-Reja Mora, 2018). Para la partición de los datos, se utilizó el método no espacial Jackknife (k = número de registros), que es una técnica de validación cruzada utilizada para optimizar modelos de nicho ecológico cuando se cuenta con pocos registros de ocurrencia (Shcheglovitova y Anderson, 2013). Consiste en construir múltiples modelos dejando fuera, en cada iteración, un solo punto de ocurrencia para usarlo como evaluación, mientras el resto se usa para entrenar el modelo. Este proceso se repite para todos los registros y se prueban diferentes combinaciones de parámetros (como el tipo de funciones y el nivel de regularización en MaxEnt) para identificar la configuración que minimiza el error de omisión y mejora la capacidad predictiva del modelo, evitando así el sobreajuste (Shcheglovitova y Anderson, 2013). Los modelos se construyeron mediante el algoritmo de Máxima Entropía implementado como “maxnet” (Phillips et al., 2006), a través de la interfaz de ENMeval v2.0 en Wallace. Se evaluaron combinaciones de dos tipos de clases de características (L y LQ) junto con cuatro valores del multiplicador de regularización ($RM = 0.5, 1.5, 2.5$ y 3.5), lo que resultó en un total de 8 modelos por especie.

La selección del mejor modelo se basó en el valor más alto de auc.train y valor más bajo de delta.AICc, estos valores permiten identificar modelos con un equilibrio entre ajuste y complejidad (Warren y Seifert, 2011). El modelo seleccionado fue proyectado en formato cloglog (Phillips et al., 2017), el cual estima la probabilidad de presencia de la especie en una escala continua. Posteriormente, se aplicó el umbral del percentil 10 (p10) para convertir el modelo continuo en uno binario: las celdas con valores iguales o superiores al umbral se consideraron como presencia (valor = 1), y como ausencia (valor = 0). Finalmente, se generaron curvas de respuesta para las variables ambientales más relevantes y se llevó a cabo un análisis de Jackknife para identificar la contribución individual de cada variable al modelo. Los resultados fueron visualizados como mapas de idoneidad binaria.

Para evaluar si hay diferencias significativas en la superficie de distribución potencial entre especies se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal y Wallis, 1952), adecuada para comparar la distribución de una variable continua entre más de dos grupos independientes, utilizando el área por celda (m²) obtenida de los modelos generados como variable. Esta variable representa la superficie ocupada por cada celda del ráster de salida para cada una de las cinco especies modeladas. Una vez detectada una diferencia global significativa, se realizó un análisis *post hoc* (prueba de Dunn), utilizando la corrección de Holm para el ajuste de valores de p con el fin de controlar el error tipo I en comparaciones múltiples. Estas pruebas permitieron identificar cuáles pares de especies presentaban diferencias estadísticamente significativas en su superficie de distribución potencial. Se utilizaron los paquetes “tidyverse” (Wickham et al., 2019) para la manipulación de datos, “FSA” (Ogle et al., 2018) para la prueba

de Dunn, “rstatix” (Kassambara. A, 2023a). para los ajustes de valores p, y “ggpubr” (Kassambara. A, 2023b) para la visualización gráfica de los resultados.

Incorporación de la capa de vegetación secundaria

Después de modelar la distribución de cada especie, se utilizaron las capas de vegetación secundaria de encino, encino-pino y pino-encino proporcionadas por INEGI (2020) para sobrelapar las áreas de distribución de cada especie con las áreas de vegetación secundaria. La finalidad es la de determinar áreas propicias para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. Este análisis responde a que el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas no busca sustituir bosques conservados, sino aprovechar las oportunidades que ofrecen los bosques secundarios como espacios idóneos para su implementación. En estas áreas, la presencia natural de diversas especies de *Quercus* permite diseñar plantaciones que atiendan la demanda de leña y, al mismo tiempo, contribuir a la conservación (Julianne, 2013). Además, al tratarse de ecosistemas previamente intervenidos, se busca reintroducir especies que históricamente han formado parte de su estructura, promoviendo así la restauración de la cobertura forestal (Aryal et al., 2014). Esta estrategia favorece no sólo la conservación *in situ* de los encinos, sino también el desarrollo de un manejo sostenible orientado a la recuperación gradual del bosque.

RESULTADOS

Para cada especie se evaluaron ocho modelos de distribución potencial. En la mayoría de los casos, el mejor desempeño se obtuvo con modelos que integran funciones lineales y cuadráticas, como ocurrió en *Q. peduncularis*, *Q. sapotifolia*, *Q. laurina* y *Q. crispipilis*. En contraste, para *Q. crassifolia* el modelo con mejor ajuste correspondió al tipo lineal. Los detalles de los valores de desempeño se presentan en la Tabla 1.

La mayor superficie de distribución potencial se identificó para *Q. peduncularis* con (2 910 695 ha) y *Q. sapotifolia* (2 108 432 ha), que incluyen cerca del 39% y 28%, respectivamente, del territorio de Chiapas. La distribución de ambas especies se concentró en los Altos y las Sierras del Sur de Chiapas. Por su parte, *Q. laurina* (158 673 ha) concentró su distribución en la Sierra Madre de Chiapas, *Q. crispipilis* (867 305) con predominio en los Altos de Chiapas y las Sierras del Norte y *Q. crassifolia* que registró la menor superficie de distribución potencial (856 418) en los Altos de Chiapas y las Sierras del Norte (Fig. 3).

La distribución potencial de *Q. peduncularis* estuvo determinada por el rango diurno medio de temperatura (BIO2) y la temperatura media anual (BIO1), con aportes adicionales de la precipitación del trimestre más húmedo (BIO16) y del mes más húmedo (BIO13). En *Q. sapotifolia*, la distribución estuvo determinada por el rango anual de temperatura (BIO7), junto con la precipitación del mes más húmedo (BIO13) y el trimestre más seco (BIO17), todas con efectos positivos (Tabla 1). Para *Q. laurina*, la precipitación del trimestre más húmedo (BIO16) y la temperatura mínima del mes más frío (BIO6), ambas con efecto negativo, lo que refleja una sensibilidad a precipitaciones excesivas y a extremos térmicos. En *Q. crispipilis* la precipitación del trimestre más cálido (BIO18), con un efecto positivo. Finalmente, en *Q. crassifolia*, la

precipitación del trimestre más húmedo (BIO16), seguida por la precipitación anual (BIO12) y la del mes más húmedo (BIO13) (Tabla 1).

El análisis de la superficie por celda mostró diferencias significativas entre especies (prueba de Kruskal-Wallis: $H = 12.55$, $p = 0.0137$). La prueba post hoc (Mann-Whitney U, corrección de Holm) indicó diferencia significativa únicamente entre *Q. laurina* y *Q. peduncularis* ($p = 0.030$).

Respecto a la relación con la vegetación secundaria, *Q. laurina* presentó el mayor porcentaje de su distribución potencial en este tipo de vegetación (con 48.23%), seguida por *Q. crispipilis* y *Q. crassifolia* (42%, en ambos casos). En contraste, *Q. sapotifolia* mostró solo un 27.10%, mientras que *Q. peduncularis* registró la menor proporción con 24.76% (Fig. 4).

DISCUSIÓN

La modelación bioclimática y el análisis de vegetación secundaria realizada en este estudio indican que es factible establecer plantaciones dendroenergéticas en zonas degradadas de Chiapas. Este enfoque vincula la transición energética con la restauración productiva al sustituir extracción de leña en bosques primarios por una oferta planificada. Esta propuesta de producción agroforestal podría ayudar a disminuir la presión sobre bosques primarios y generar beneficios en carbono, suelo y conectividad del paisaje.

A través de la identificación de diferencias climáticas entre especies, contrastes espaciales y alta intersección con vegetación secundaria. Los modelos de distribución potencial integran variables bioclimáticas y espaciales, facilitando la asignación de especies a ambientes específicos según su tolerancia ecológica y potencial de adaptación. En este estudio se encontró que, la

idoneidad climática para el género *Quercus* está condicionada por gradientes térmicos y pluviométricos. Por ejemplo, *Q. laurina* es una especie altamente sensible a extremos húmedos y fríos, mientras que *Q. peduncularis* y *Q. sapotifolia* están principalmente modulados por la amplitud térmica.

Uno de los principales aportes prácticos de este estudio es la consideración de la idoneidad climática en conjunto con la presencia de vegetación secundaria como área de oportunidad para enriquecimiento de acahuales y esfuerzos de restauración productiva. El hecho de que *Q. laurina* presente un 48% de preferencia para establecerse en vegetación secundaria, le hace una especie clave para la reconversión de paisajes con disturbio antropogénico alto. Estos resultados demuestran que es posible el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas sin sustituir bosques primarios, y por el contrario, potenciar matrices del paisaje con mosaicos secundarios donde la integración de encinos puede restaurar funciones del ecosistema y proveer biomasa leñosa de manera planificada y de fácil acceso a las comunidades. Estas observaciones refuerzan el hecho de que los bosques secundarios en el trópico mexicano deberían ser escenarios prioritarios de intervención (Cortés-Calderón et al., 2021) debido a que conservan alta riqueza vegetal y ofrecen oportunidades de restauración y captura de carbono (Puc-Kauil et al., 2024; Williams et al., 2024).

El uso de *Quercus* en plantaciones agroforestales, no solo representa una oportunidad para facilitar el acceso de recursos bioenergéticos en comunidades rurales de Chiapas, también es posible establecer cadenas de suministro de recursos dendroenergéticos. Como la elaboración de pellets con residuos del género *Quercus* que cumplen con estándares fisicomecánicos similares a los valores energéticos de la madera ($18\text{--}19 \text{ MJ kg}^{-1}$) (Jiménez-Mendoza et al., 2025). Por otro

lado, la carbonización controlada de la madera de *Quercus* puede elevar el valor calorífico por arriba de 30 MJ kg⁻¹ según la especie (Contreras-Trejo et al., 2025). Estas opciones tecnológicas permitirían diversificar las actividades productivas de las comunidades rurales a través de la producción de leña, pellets y carbón, además de abastecer las demandas locales y mercados regionales.

El desempeño alcanzado por los modelos de MaxEnt (AUC: 0.82–0.95) resulta suficiente para sustentar la identificación de zonas con alta idoneidad ecológica para las especies de *Quercus* (Blank y Blaustein, 2012), resaltando la importancia de las herramientas de modelación para orientar el manejo sostenible de especies forestales que representan la seguridad energética rural (SENER, 2025). Dando paso a proponer áreas de vegetación secundaria de encino y pino-encino para el establecimiento escalonado de plantaciones dendroenergéticas. Cabe señalar que este estudio es sólo una aproximación desde el modelo de nicho ecológico por lo que se deben realizar pruebas de rendimiento energético (m³ ha⁻¹ año⁻¹) y calidad energética por especie y contemplar cadenas de peletización, carbonización y estandarización de secado de leña para el aprovechamiento sustentable de estos recursos.

Finalmente para la operacionalización del establecimiento de plantaciones dendroenergéticas se sugiere la incorporación de variables edafológicas y topográficas como pH, textura, profundidad efectiva, índice de posición topográfica como predictores para mejorar la precisión de zonas con aptitud ambiental debido a que se ha registrado que la supervivencia inicial de *Quercus* está regulada por el estrés hídrico y el tipo de suelo (Hernández-Ramos et al., 2022a). Será necesario también validar con datos de establecimiento en campo a través de ensayos de vivero y sobrevivencia en los primeros 3 años.

Es necesario considerar que las plantaciones dendroenergéticas en ecosistemas antropizados pueden competir con la regeneración natural de los bosques (Hua et al., 2022) por lo que es necesario analizar los compromisos entre provisión de energía y otros servicios ecosistémicos. Para mitigar estos posibles compromisos, se sugiere evitar el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas en monocultivos e incluir mezclas de especies nativas en modelos agroforestales que permitan la diversificación productiva y ambiental. Algunas sugerencias para el establecimiento de estos sistemas agroforestales incluyen la incorporación de un enfoque a nivel de mosaicos del paisaje y retención de hábitat naturales que mejoren la multifuncionalidad (Eggers et al., 2020). También será necesario que se tomen en cuenta enfoques participativos y pago por servicios ambientales que complementen los objetivos de conservación-restauración (Mead, 2005). La gestión de recursos dendroenergéticos en el trópico mexicano exige también la organización local en modelos locales de manejo y beneficios compartidos, de tal manera que se diseñen mecanismos de gobernanza, equidad de género y participación comunitaria para lograr un manejo eficiente de estas plantaciones.

La restauración de los bosques con dominancia de *Quercus* sólo puede aspirar a ser integral si incluye los aspectos biofísicos a la par de los aspectos económicos, sociales, políticos y culturales. Aunque los mapas muestran amplia cobertura potencial, su traducción a superficie realmente disponible está condicionada por uso/cobertura actual, tenencia (ejidal/comunal/privada) y normatividad, así como accesibilidad y conflictos de uso. A ello se suman los desafíos del cambio climático, que para el centro y sur de México incluyen un incremento proyectado de 1.3 a 3 °C en la temperatura media anual, y una reducción en la precipitación de hasta 18% hacia mediados del siglo XXI (Gómez-Mendoza y Arriaga, 2007;

Galicia et al., 2015). Estas condiciones representan una amenaza para la persistencia de *Quercus*, particularmente para *Q. crispipilis* y *Q. peduncularis*, que han sido identificadas como especies climáticamente vulnerables con posibles reducciones de hasta 48% en su área de distribución (Gómez-Mendoza y Arriaga, 2007).

En conjunto, los resultados de este estudio aportan una base sólida para la integración de especies del género *Quercus* en plantaciones dendroenergéticas representando una oportunidad tangible para conciliar la conservación de los bosques con la seguridad energética rural. En este contexto, la planificación territorial sustentada en modelos bioclimáticos, junto con la participación comunitaria, será clave para avanzar hacia una gestión sostenible de los recursos forestales.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman que las plantaciones dendroenergéticas con especies nativas de *Quercus* representan una alternativa viable para vincular la seguridad energética rural con la restauración productiva de paisajes degradados en Chiapas. La modelación bioclimática permitió identificar zonas con alta idoneidad ambiental, principalmente en áreas de vegetación secundaria, donde la integración de especies como *Q. laurina*, *Q. crispipilis* y *Q. crassifolia* puede potenciar la recuperación ecológica sin sustituir bosques primarios. Estas evidencias destacan la importancia de incorporar criterios ecológicos, climáticos y socioeconómicos en la planificación territorial, orientando políticas de manejo forestal sostenible que promuevan el aprovechamiento planificado de biomasa y fortalezcan la transición energética local.

REFERENCIAS

- Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B., & Anderson, R. P. (2015). spThin: An R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38(5), 541–545. <https://doi.org/10.1111/ecog.01132>
- Aliaga Palomino, R. M., & Huamani Labra, K. (2023). Caracterización energética del recurso forestal en las comunidades del distrito de Pichos-Huancavelica. En *Universidad Nacional del Centro del Perú*.
- Arévalo-Morocho, C., Jácome-Aguirre, G., Ortega-Andrade, S., Rosales-Enríquez, O., & Rodríguez-Echeverry, J. (2023). Evaluación del cambio del paisaje boscoso y su impacto en la distribución de *Dipsas elegans* en el norte de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 79, 231–250. <https://doi.org/10.14198/INGEO.23541>
- Aryal, D. R., De Jong, B. H. J., Ochoa-Gaona, S., Esparza-Olguin, L., & Mendoza-Vega, J. (2014). Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 195, 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.06.005>
- Babst, F., Poulter, B., Trouet, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanic, T., Panayotov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciais, P., & Frank, D. (2013). Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Global ecology and biogeography*, 22, 706–717. <https://doi.org/10.1111/geb.12023>

- Baqir, M., Kothari, R., & Singh, R. P. (2017). Characterization and ranking of subtropical trees in a rural plantation forest of Uttar Pradesh, India, as fuel wood using fuel wood value index (FVI). *Environment, Development and Sustainability*, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-0057-z>
- Blank, L., & Blaustein, L. (2012). Using ecological niche modeling to predict the distributions of two endangered amphibian species in aquatic breeding sites. *Hydrobiologia*, 693(1), 157–167. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1101-5>
- Burgos Lugo, D. E. (2010). Uso de la leña: normatividad, consumo y contaminación intramuros en Rincón Chamula, Chiapas, México. En *El Colegio de la Frontera Sur*.
- Ceccon, E. (2013). Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9, pp. 1689–1699).
- Ceccon, E., & Pérez, D. R. (2016). *Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales en América Latina y el Caribe*.
- Contreras-Trejo, J. C., Carrillo-Parra, A., Ngangyo-Heya, M., Rutiaga-Quñones, J. G., Chávez-Simental, J. A., & Goche-Télles, J. R. (2025). Carbonisation of *Quercus* spp. Wood: temperature, yield and energy characteristics. *Processes*, 13, 1–21. <https://doi.org/10.3390/pr13072302>
- Cortés-Calderón, S., Mora, F., Arreola-Villa, F., & Balvanera, P. (2021). Ecosystem services supply and interactions along secondary tropical dry forests succession. *Forest Ecology and Management*, 482, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118858>

- Czupy, I., Szakálosné Mátyás, K., Horváth, A. L., Horváth, B., Beszédes, S., & Vágvolgyi. (2019). Operation of energy wood plantation with special regard to harvesting technology and timber logistics. *Earth and Environmental Science*, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/307/1/012009>
- Debrynyuk, Y. (2017). Plantation forestry and energy plantations in Ukraine: resource potential and development prospects. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(8), 45–51.
- Díaz-Núñez, V., Sosa-Ramírez, J., & Pérez-Salicrup, D. R. (2016). Vegetation patch dynamics and tree diversity in a conifer and oak forest in central Mexico. *Botanical Sciences*, 94(2), 229–240. <https://doi.org/10.17129/botsci.284>
- Eggers, J., Melin, Y., Lundström, J., Bergström, D., & Öhman, K. (2020). Management strategies for wood fuel harvesting-trade-offs with biodiversity and forest ecosystem services. *Sustainability*, 12, 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12104089>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37, 1–14. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Galicia, L., Potvin, C., & Messier, C. (2015). Maintaining the high diversity of pine and oak species in Mexican temperate forests: a new management approach combining functional zoning and ecosystem adaptability. *Canadian Journal of Forest Research*, 45, 1358–1368. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0561>
- Gil-Pelegrín, E., Peguero-Pina, J. J., & Sancho-Knapik, D. (2017). *Oaks Physiological Ecology. Exploring the Functional Diversity of Genus Quercus L.* <https://doi.org/10.1007/978-3-319->

- Gómez-Mendoza, L., & Arriaga, L. (2007). Modelando el Efecto del Cambio Climático en la Distribución de Especies de Roble y Pino de México. *Conservation Biology*, 21(6), 1545–1555. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1546>
- González-Espinosa, M., & Ramírez-Marcial, N. (2006). Ecología y restauración de los bosques de Quercus de Chiapas, sur de México Mario. En *Memorias del I Seminario Internacional de Roble y Ecosistemas Asociados* (pp. 203–213).
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I. T., Regan, T. J., Brotons, L., Mcdonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T. G., Rhodes, J. R., Maggini, R., Setterfield, S. A., Elith, J., Schwartz, M. W., Wintle, B. A., Broennimann, O., Austin, M., ... Buckley, Y. M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16, 1424–1435. <https://doi.org/10.1111/ele.12189>
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2–3), 147–186. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Guzmán-Mendoza, R., Calzontzi-Marín, J., Salas-Araiza, M. D., & Leyte-Manrique, A. (2020). Changes in vegetation diversity of temperate forests in central Mexico under different levels of reforestation. *Forestist*, 1–9. <https://doi.org/10.5152/forestist.2020.20011>
- Haqiqi, M. T., Hudaya, D., Septiana, H. A., Ramadhan, R., Ah, Y., Suwinarti, W., & Amirta, R. (2022). Short communication : Analysis of the ultimate wood composition of a forest plantation species , Eucalyptus pellita , to estimate its bioelectricity potency. *BIODIVERSITAS*, 23(5), 2389–2394. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230516>

- Hernández-Ramos, J., Ángeles-Pérez, G., Pérez-Miranda, R., Reyes-Hernández, V. J., & Razo-Zárate, R. (2022a). Crown morphometry for *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. and *Quercus rugosa* Née in Hidalgo, Mexico. *Ciencia Florestal*, 32(3), 1418–1438.
<https://doi.org/10.5902/1980509865276>
- Hernández-Ramos, J., Ángeles-Pérez, G., Pérez-Miranda, R., Reyes-Hernández, V. J., & Razo-Zárate, R. (2022b). Morfometría de copa para *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. y *Quercus rugosa* Née en Hidalgo, México. *Ciencia Florestal*, 32(3), 1418–1438.
<https://doi.org/10.5902/1980509865276>
- Hua, F., Adrian Bruijnzeel, L., Meli, P., Martin, P. A., Zhang, J., Nakagawa, S., Miao, X., Wang, W., McEvoy, C., Peña-Arancibia, J. L., Brancalion, P. H. S., Smith, P., Edwards, D. P., & Balmford, A. (2022). The biodiversity and ecosystem service contributions and trade-offs of forest restoration approaches. *Science*, 376, 839–844.
<https://doi.org/10.1126/science.abl4649>
- Ikuta, Q., Zobel, J., Knight, J., Knott, J., Stephens, B., Partington, N. J., & Windmuller-Campione, M. A. (2025). Mapping Oak (*Quercus* spp.) regeneration potential within the Nantahala National forest. *Journal of Forestry*, 1–24. <https://doi.org/10.1007/s44392-025-00042-z>
- Jiménez-Mendoza, M. E., Ruiz-Aquino, F., Aquino-Vásquez, C., Santiago-García, W., Santiago-Juárez, W., Rutiaga-Quñones, J. G., & Fuente-Carrasco, M. E. (2023a). Aprovechamiento de leña en una comunidad de la Sierra Sur de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(76), 22–49. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1300>

- Jiménez-Mendoza, M. E., Ruiz-Aquino, F., Aquino-Vásquez, C., Santiago-García, W., Santiago-Juárez, W., Rutiaga-Quiñones, J. G., & Fuente-Carrasco, M. E. (2023b). Use of firewood in a community in the Southern Sierra of Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(76), 22–49. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1300>
- Jiménez-Mendoza, M. E., Ruiz-Aquino, F., Rutiaga-Quiñones, J. G., Feria-Reyes, R., Santiago-García, W., Suárez-Mota, M. E., Puc-Kauil, R., & Gabriel-Parra, R. (2025). Chemical and energetic evaluation of densified biomass of *Quercus laurina* and *Quercus rugosa* for bioenergy production. *Forests*, 16, 1–11. <https://doi.org/10.3390/f16050856>
- Julianne, J. B. (2013). Firewood Extraction as a Catalyst of Pine-Oak Forest Degradation in the Highlands of Chiapas, Mexico. En *University of Washington* (Vol. 1).
- Kass, J. M., Vilela, B., Aiello-Lammens, M. E., Muscarella, R., Merow, C., & Anderson, R. P. (2018). Wallace: A flexible platform for reproducible modeling of species niches and distributions built for community expansion. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 1151–1156. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12945>
- Katembo Kasekete, D., Ligot, G., Mate Mweru, J.-P., Drouet, T., Rousseau, M., Moango, A., & Bourland, N. (2022). Growth, productivity, biomass and carbon stock in *Eucalyptus saligna* and *Grevillea robusta* plantations in north kivu, democratic republic of the Congo. *Forests*, 13, 1–24.
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21527941>

- Leal-Nares, Ó., Mendoza, M. E., Pérez-Salicrup, D., Geneletti, D., López-Granados, E., & Carranza, E. (2012). Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 1152–1170. <https://doi.org/10.7550/rmb.27199>
- Marquez-Reynoso, M. I., Ramírez-Marcial, N., Cortina-Villar, S., & Ochoa-Gaona, S. (2017). Purpose, preferences and fuel value index of trees used for firewood in El Ocote Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico. *Biomass and Bioenergy*, 100, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.006>
- Martínez-Camilo, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Cayuela, L., & Pérez-Farrera, M. Á. (2018). Tropical tree species diversity in a mountain system in southern Mexico: local and regional patterns and determinant factors. *Biotropica*, 0, 1–11. <https://doi.org/10.1111/btp.12535>
- Martínez-Camilo, R., Martínez-Meléndez, N., Martínez-Meléndez, M., Pérez-Farrera, M. Á., & Jiménez-López, D. A. (2019). Why continue with floristic checklists in Mexico? The case of the Tacaná-Boquerón Priority Terrestrial Region, in the Mexican State of Chiapas. *Botanical Sciences*, 97(4), 741–753. <https://doi.org/10.17129/botsci.2174>
- Martínez-Icó, M., Cetzal-Ix, W., Noguera-Savelli, E., & Hernández-Juárez, R. (2015). Flora vascular de la comunidad de Bazom, Los Altos de Chiapas, México. *Botanical Sciences*, 93(1), 53–72. <https://doi.org/10.17129/botsci.136>
- Mead, D. J. (2005). Forests for energy and the role of planted trees. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24, 407–421. <https://doi.org/10.1080/07352680500316391>

- Mola-Yudego, B., Arevalo, J., Díaz-yáñez, O., Dimitriou, I., Haapala, A., Khanam, T., & Selkimäki, M. (2017). Reviewing wood biomass potentials for energy in Europe : the role of forests and fast growing plantations. *Biofuels*, 8, 401–410.
<https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1271627>
- Mukhdlor, A., Haqiqi, M. T., Tirkaamiana, T., Suwinarti, W., & Amirta, R. (2021). *Assessment of Wood Biomass Productivity from Anthocephalus macrophyllus Forest Plantation for Energy Production*. 11, 21–25.
- Muñoz-Reja Mora, L. M. (2018). *Elaboración de un modelo predictivo de distribución potencial del cultivo chenopodium quinoa willd. Basado en necesidades edafoclimáticas con objeto de determinar las zonas de correcta adaptación en Extremadura*.
<http://hdl.handle.net/10662/7606>
- Muñoz, A., Santos, X., & Felicísimo, Á. M. (2016). Local-scale models reveal ecological niche variability in amphibian and reptile communities from two contrasting biogeographic regions. *PeerJ*, 1–20. <https://doi.org/10.7717/peerj.2405>
- Nixon, K. C. (2001). *Ecology and conservation of neotropical montane oak forests*.
- Núñez-Retana, V. D., Wehenkel, C., Vega-Nieva, D. J., García-Quezada, J., & Carrillo-Parra, A. (2019). The bioenergetic potential of four oak species from northeastern Mexico. *Forests*, 10, 1–15. <https://doi.org/10.3390/f10100869>
- Pawson, S. M., Brin, A., Brockerhoff, E. G., Lamb, D., Payn, T. W., Paquette, A., & Parrotta, J. A. (2013). Plantation forests, climate change and biodiversity. *Biodivers conserv*, 1–25.
<https://doi.org/10.1007/s10531-013-0458-8>

- Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M., & Chirici, G. (2019). Species distribution modelling to support forest management. A literature review. *Ecological Modelling*, 411, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108817>
- Pérez, G., Islas-Samperio, J. M., Grande-Acosta, G. K., & Manzini, F. (2022). Socioeconomic and environmental aspects of traditional firewood for cooking on the example of rural and peri-urban Mexican households. *Energies*, 15(4904), 1–30.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40, 887–893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Puc-Kauil, R., Ángeles-Pérez, G., Plascencia-Escalante, F. O., Beltrán-Rodríguez, L., Briceño-Méndez, M. A., Sánchez-Gutiérrez, F., Montoya-Reyes, F., Ruiz-Aquino, F., García-Cuevas, X., & Ortiz, J. (2024). Second-growth forests of the Mexican tropics are reservoirs of timber species similar to old-growth forest: Perspectives for sustainable forest management. *Trees, Forests and People*, 16, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100565>
- Quiroz-Carranza, J., & Orellana, R. (2010). Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 16(2), 47–67. <https://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/view/1172>
- Raj Aryal, D., Ruiz Corzo, R., López Cruz, A., Velázquez Sanabria, C., Gómez Castro, H.,

- Guevara Hernández, F., Pinto Ruiz, R., Venegas Venegas, J. A., Ley de Coss, A., Morales Ruiz, D., & Euán Chi, I. (2018). Biomass accumulation in forests with high pressure of fuelwood extraction in Chiapas, Mexico. *Revista Árvore*, 42(3), 1–6.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882018000300007>
- Ranius, T., Hämäläinen, A., Egnell, G., Olsson, B., Eklöf, K., Stendahl, J., Rudolphi, J., Sténs, A., & Felton, A. (2018). The effects of logging residue extraction for energy on ecosystem services and biodiversity: A synthesis. *Journal of Environmental Management*, 209, 409–425. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.048>
- Ruan-Soto, F., Bolom Ton, F., Cano Contreras, E. J., Domínguez Torres, L., Guerrero Martínez, F., & Mariaca Méndez, R. (2022). *Ethnobotany of the Highlands of Chiapas*.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-77089-5_17-1
- Ruiz-Aquino, F., González-Peña, M. M., Valdez-Hernández, J. I., Revilla, U. S., & Romero-Manzanares, A. (2015). Chemical characterization and fuel properties of wood and bark of two oaks from Oaxaca, Mexico. *Industrial Crops and Products*, 65, 90–95.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.024>
- Ruiz-Aquino, F., Ruiz-Ángel, S., Santiago-García, W., Fuente-Carrasco, M. E., Sotomayor-Castellanos, J. R., & Carrillo-Parra, A. (2019). Energy characteristics of wood and charcoal of selected tree species in Mexico. *Wood Research*, 64(1), 71–82.
- S. Brancalion, P. H., Niamir, A., Broadbent, E., Crouzeilles, R., M. Barros, F. S., Almeyda Zambrano, A. M., Baccini, A., Aronson, J., Goetz, S., J. Leighton, R., N. Strassburg, B. B., Wilson, S., & Chazdon, R. L. (2019). Global restoration opportunities in tropical rainforest

landscapes. *Science ecology*, 1–12.

Sabás-Rosales, J. L., Sosa-Ramírez, J., & Luna-Ruiz, J. D. J. (2015). Diversidad, distribución y caracterización básica del hábitat de los encinos (*Quercus*: Fagaceae) del estado de San Luis Potosí, México. *Botanical Sciences*, 93(4), 881–897. <https://doi.org/10.17129/botsci.205>

Schilmann, A., Ruiz-García, V., Serrano-Medrano, M., De La Sierra De La Vega, L. A., Olaya-García, B., Estevez-García, J. A., Berrueta, V., Riojas-Rodríguez, H., & Masera, O. (2021). Just and fair household energy transition in rural Latin American households: Are we moving forward? *Environmental Research Letters*, 16(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac28b2>

SENER. (2025). Ley de Biocombustibles. *Secretaría de Energía*, 1–18.

Serrano-Medrano, M., Arias-Chalico, T., Ghilardi, A., & Masera, O. (2013). Spatial and temporal projection of fuelwood and charcoal consumption in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.11.007>

Shcheglovitova, M., & Anderson, R. P. (2013). Estimating optimal complexity for ecological niche models: A jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecological Modelling*, 269, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.08.011>

Troncoso, K., Segurado, P., Aguilar, M., & Soares da Silva, A. (2019). Adoption of LPG for cooking in two rural communities of Chiapas, Mexico. *Energy Policy*, 133, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110925>

Vázquez, R., Islas, J., Toledo, I., & Aguillón, J. (2014). Evaluating the energy and the carbon

- stored from tropical acacias: The first steps. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 13(1), 34–49. <https://doi.org/10.1504/IJESD.2014.056410>
- Vega-Ortega, M. Á., Llanderal-Mendoza, J., Gerez-Fernández, P., & López Binnqüist, C. (2020). Genetic diversity in oak populations under intensive management for fuelwood in the Sierra de Zongolica, Mexico. *Annals of Applied Biology*, 1–18. <https://doi.org/10.1111/aab.12639>
- Velázquez-Pérez, C., Arreola Lizarraga, J. A., Marroquín Morales, P., & Romero-Berny, E. I. (2025). Ecosistemas de carbono azul en Chiapas , México : la relevancia de su conservación. *Recursos Naturales y Sociedad*, 11(1), 288–303.
- Wang, Y., Xu, C., Wang, Q., Jiang, Y., & Qin, L. (2023). Germplasm Resources of Oaks (*Quercus* L.) in China: Utilization and Prospects. *Biology*, 12, 1–18. <https://doi.org/10.3390/biology12010076>
- Warren, D. L., & Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: The importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*, 21(2), 335–342. <https://doi.org/10.1890/10-1171.1>
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T., Miller, E., Bache, S., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D., Spinu, V., ... Yutani, H. (2019). Welcome to the Tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1–6. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Williams, B. A., Beyer, H. L., Fagan, M. E., Chazdon, R. L., Schmoeller, M., Sprenkle-Hyppolite, S., Griscom, B. W., Watson, J. E. M., Tedesco, A. M., Gonzalez-Roglich, M.,

Daldegan, G. A., Bodin, B., Celentano, D., Wilson, S. J., Rhodes, J. R., Alexandre, N. S., Kim, D. H., Bastos, D., & Crouzeilles, R. (2024). Global potential for natural regeneration in deforested tropical regions. *Nature*, 636, 131–137. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08106-4>

Tabla 1. Características de los modelos de distribución y variables bioclimáticas que determinan la presencia de la distribución potencial de las especies de *Quercus* en Chiapas.

Especie	auc.train	delta.AIC c	cbi.train	Superficie (ha)	Variables bioclimáticas
<i>Q. peduncularis</i>	0.826	0	0.973	2 910 695	BIO1, BIO2, BIO6, BIO7
<i>Q. sapotifolia</i>	0.883	0	0.891	2 108 432	BIO7, BIO13, BIO17
<i>Q. laurina</i>	0.943	0	0.916	1 158 673	BIO14, BIO15, BIO16
<i>Q. crispipilis</i>	0.952	0	0.949	867 305	BIO10, BIO18
<i>Q. crassifolia</i>	0.946	0	0.837	856 418	BIO4, BIO8, BIO12, BIO13, BIO14

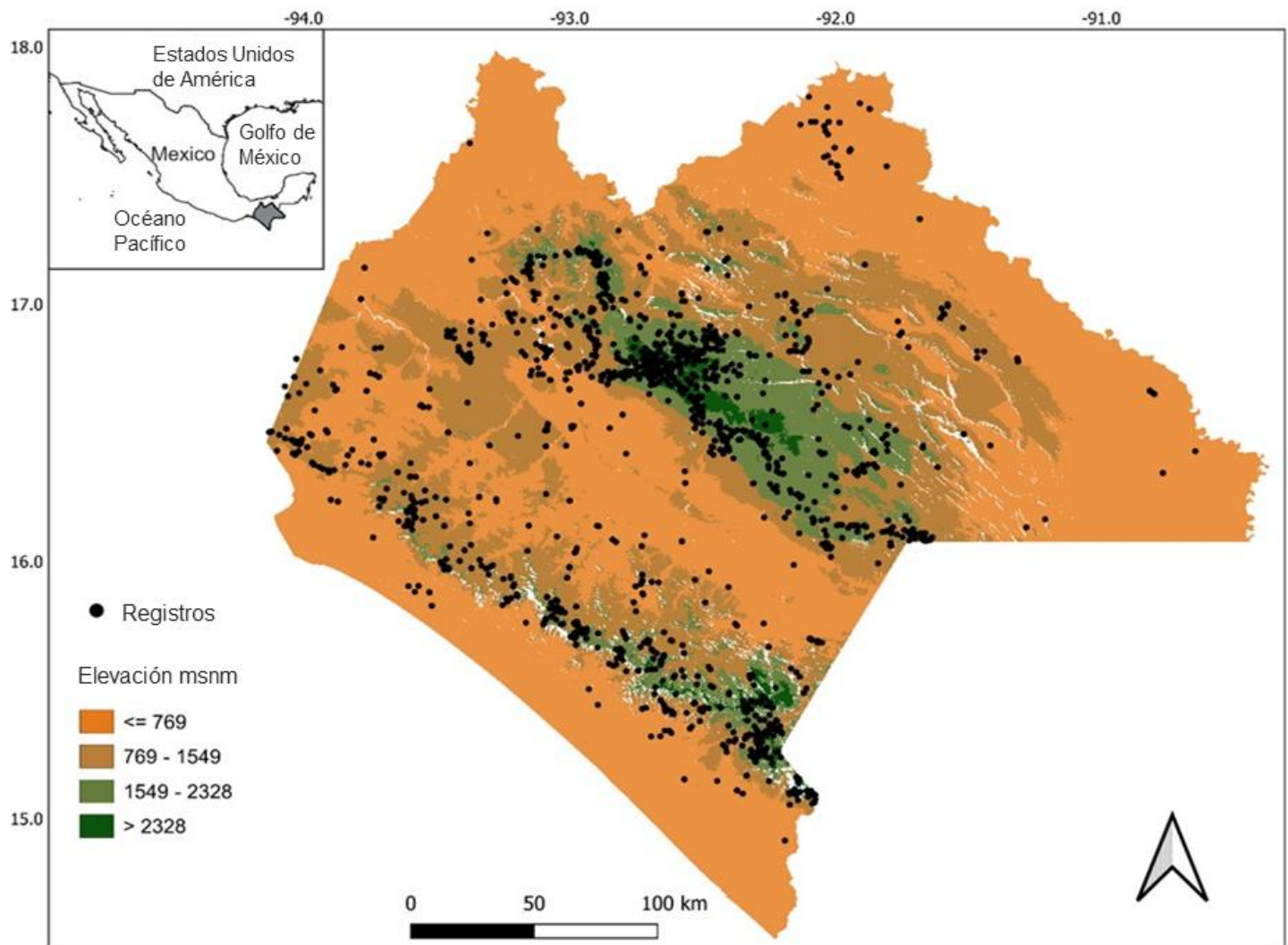


Fig 1. Registros geográficos de todas las especies de *Quercus* en Chiapas, México, identificadas en este estudio, representados en gradientes altitudinales. Cada punto representa la presencia de un registro.

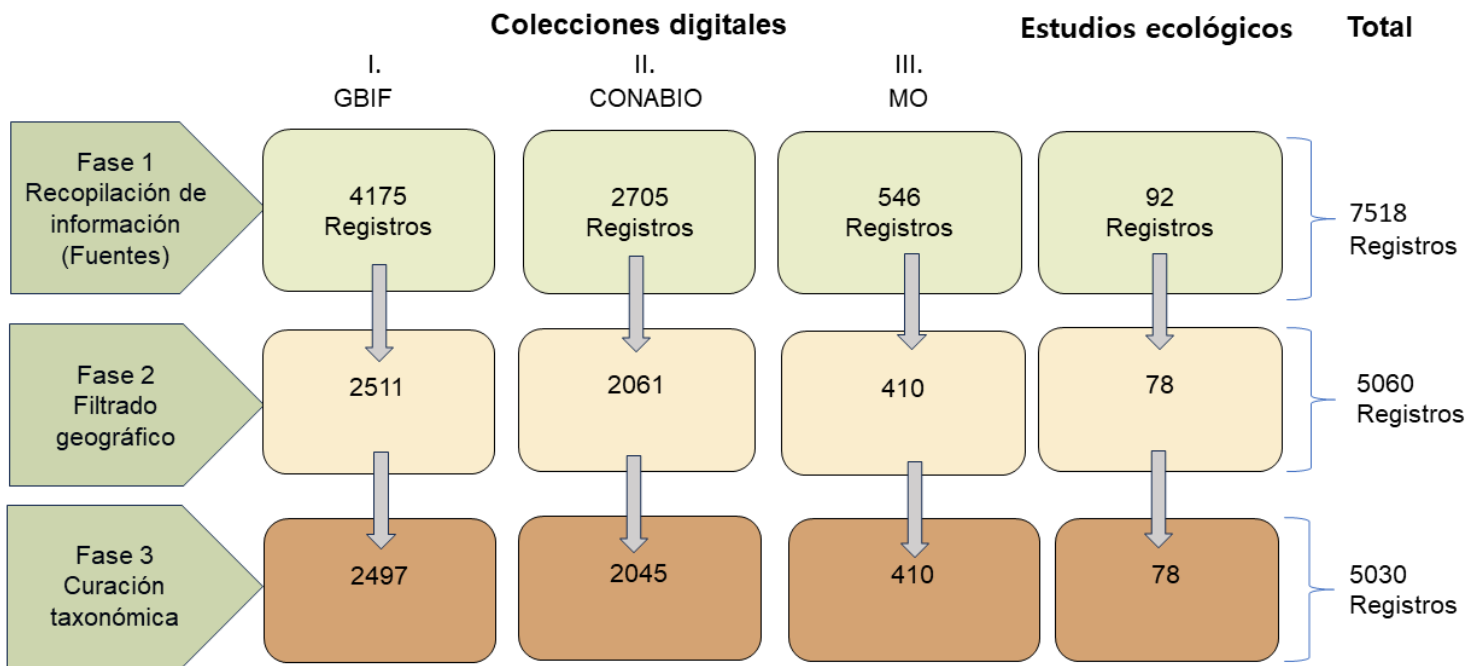


Fig 2. Flujo de trabajo que representa las tres fases de construcción de la base de datos de especies del género *Quercus* en Chiapas, México. Se presenta el número de registros correspondientes a cada fuente de información en cada fase.

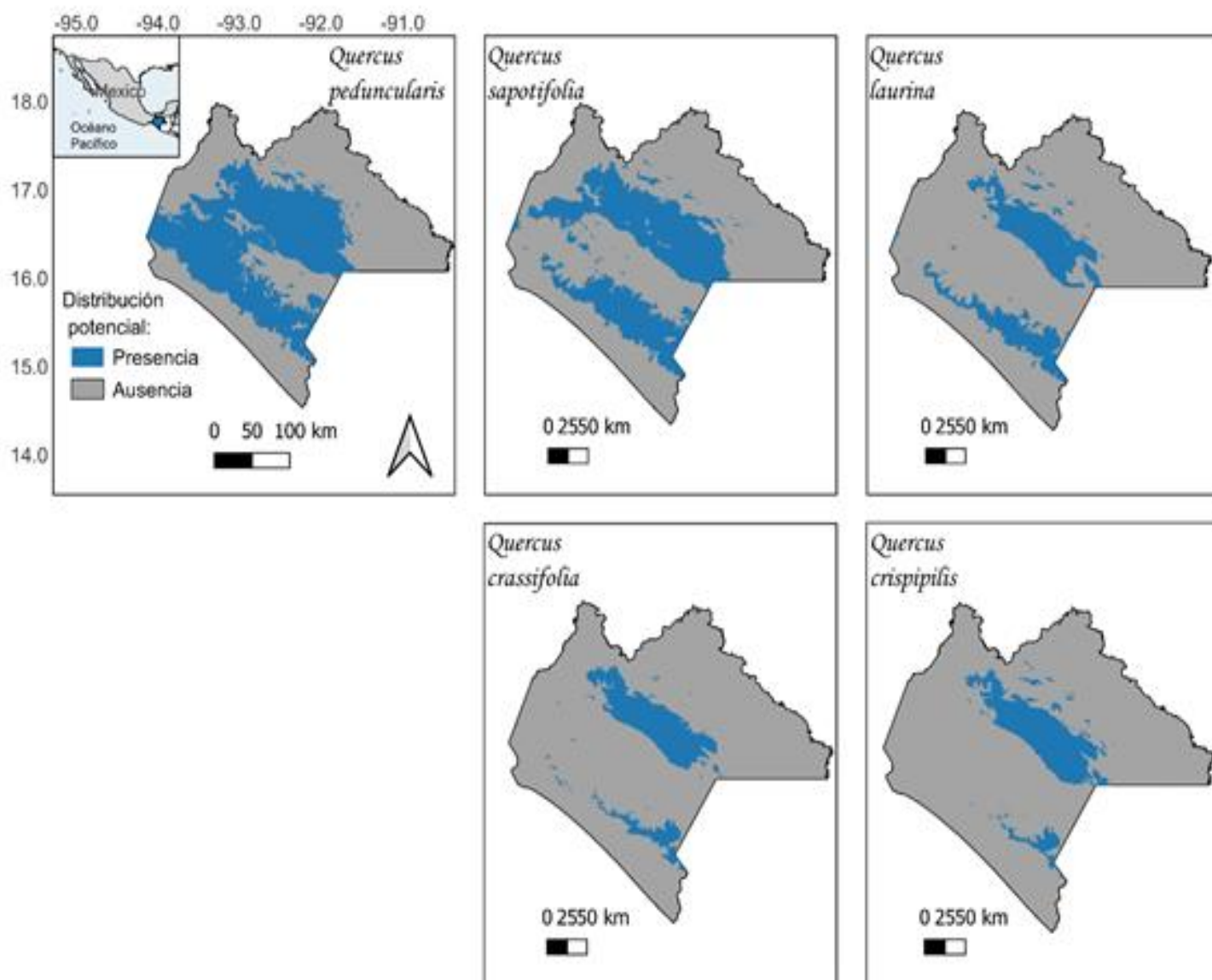


Fig 3. Distribución potencial de cinco especies del género *Quercus* en Chiapas.

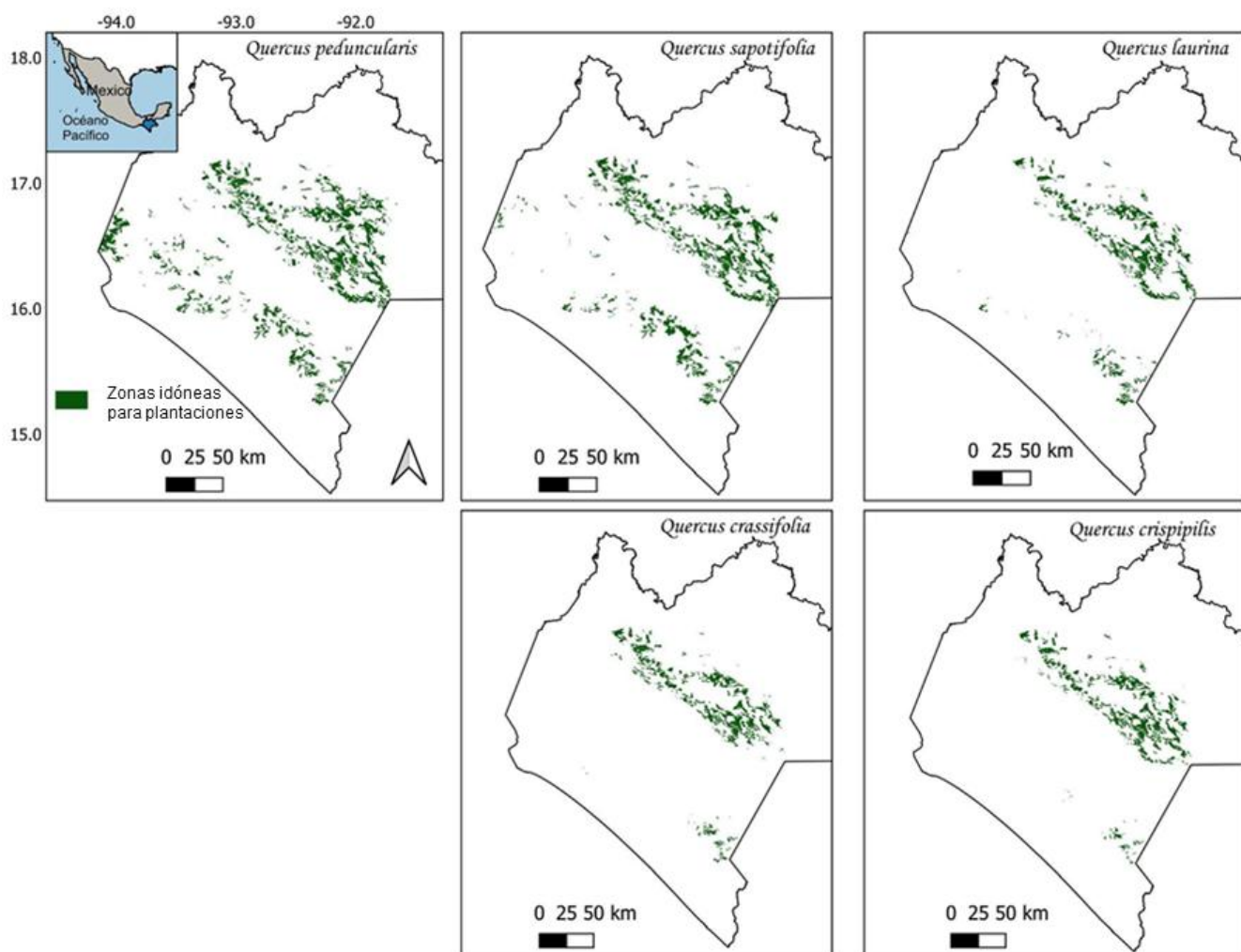


Fig 4. Superficie de la distribución potencial de especies de *Quercus* que corresponde con áreas de vegetación secundaria, consideradas como zonas idóneas para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas.

DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados de este estudio muestran la distribución potencial de las especies de *Quercus* en Chiapas y su relación con la vegetación secundaria, lo que permite identificar áreas idóneas para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. Entre las especies evaluadas, *Q. laurina* presentó la mayor proporción de cobertura en vegetación secundaria (48.23%), seguida de *Q. crassifolia* (43.01%) y *Q. crispipilis* (42.93%), lo que evidencia su viabilidad para establecerse en áreas con disturbio antrópico. En contraste, *Q. peduncularis* (24.76%) y *Q. sapotifolia* (27.10%) mostraron menor presencia relativa en estos ambientes, lo que orienta a priorizar su manejo en parches de bosques mejor conservados. Estos datos no sólo subrayan la importancia de los bosques secundarios como espacios de oportunidad para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas, también refuerzan el papel de las plantaciones como alternativa para reducir la presión sobre los bosques primarios (González-Espinosa y Ramírez-Marcial, 2006).

La integración de las especies de *Quercus* en programas de restauración productiva debe considerar no solo su distribución potencial, sino también su grado de compatibilidad con ambientes secundarios y su respuesta ecológica diferencial. En este sentido, *Q. laurina*, *Q. crassifolia* y *Q. crispipilis* se perfilan como especies clave para la recuperación de áreas degradadas, ya que su mayor presencia relativa en vegetación secundaria indica una mayor capacidad para establecerse en paisajes sometidos a disturbio, tal como se ha mencionado en otros estudios (Ikuta et al., 2025). Su incorporación en plantaciones dendroenergéticas permitiría no solo generar biomasa

para uso energético, sino también restaurar funciones ecológicas vinculadas a la sucesión natural.

Actualmente, las plantaciones forestales como una estrategia que forma parte de la restauración productiva a gran escala en tierras no boscosas y/o deforestadas se considera una de las formas de restaurar ecosistemas degradados por la deforestación y combatir el calentamiento global. Los bosques productores de alta biomasa, como las plantaciones jóvenes en los trópicos y subtrópicos, pueden aumentar el sumidero de carbono terrestre y, por lo tanto, ralentizar la acumulación de CO² en la atmósfera (Katembo Kasekete et al., 2022)

Aunque las plantaciones dendroenergéticas representan una proporción relativamente pequeña de la superficie forestal a nivel global, generan un debate constante sobre su contribución a la sostenibilidad forestal y su impacto en la conservación de la biodiversidad (Pawson et al., 2013). Los responsables de la toma de decisiones necesitan información sobre la presencia espacial actual de las especies forestales, para así identificar la influencia de los factores ecológicos y ambientales (por ejemplo, temperatura, precipitación) y la posible erosión o expansión de sus envolturas de idoneidad para detectar tanto las áreas amenazadas como los posibles refugios (Pecchi et al., 2019). En este sentido se propone una estrecha relación entre los modelos de idoneidad ambiental con la planeación del establecimiento de las plantaciones dendroenergéticas, de esta forma se podrían proponer protocolos acertados en cuanto al establecimiento de especies forestales y sus requerimientos ambientales.

Este estudio representa un modelo de análisis previo al establecimiento de una plantación dendroenergética. Ya que describe las condiciones disponibles y ambientales del área en donde se puede proponer, así como la interacción con las especies que pueden ser viables. Los mapas de idoneidad ambiental, por su parte, hacen más eficaz la formulación de la fase de planificación o en la elaboración de posibles oportunidades dendroenergéticas (Czupy et al., 2019). Es necesario mencionar que los modelos de vegetación están sujetos a una incertidumbre considerable. Parece ser que la estimación de la productividad forestal se ve actualmente obstaculizada por nuestra comprensión limitada de los factores climáticos de la formación de la madera en función de las especies, las condiciones ecológicas y geográficas (Babst et al., 2013).

CONCLUSION GENERAL

Los resultados obtenidos demuestran que las plantaciones dendroenergéticas con especies nativas de *Quercus* representan una alternativa viable para integrar la seguridad energética rural con la restauración ecológica de paisajes degradados en Chiapas. El modelado bioclimático permitió identificar áreas de alta idoneidad ambiental, principalmente en zonas de vegetación secundaria, lo que evidencia el potencial de estas especies para establecerse en ambientes perturbados sin sustituir bosques primarios. Entre las especies evaluadas, *Q. peduncularis* mostró la mayor distribución potencial, mientras que *Q. laurina* registró la mayor proporción en vegetación secundaria, destacando su relevancia ecológica y restauradora. Estos hallazgos sustentan la planificación territorial basada en criterios climáticos y ecológicos, promoviendo el uso sostenible de los recursos dendroenergéticos. Asimismo, la integración de estas especies en sistemas productivos diversificados puede fortalecer la gobernanza local, generar beneficios económicos y contribuir a la transición energética rural mediante la gestión planificada de biomasa. En conjunto, el estudio ofrece un marco replicable que vincula conservación, restauración y producción energética, aportando elementos técnicos y científicos para orientar políticas de manejo forestal sostenible en Chiapas y otras regiones con alta dependencia de la leña.

BIBLIOGRAFÍA

- Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B., & Anderson, R. P. (2015). spThin: An R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38(5), 541–545.
<https://doi.org/10.1111/ecog.01132>
- Aliaga Palomino, R. M., & Huamani Labra, K. (2023). Caracterización energética del recurso forestal en las comunidades del distrito de Pichos-Huancavelica. En *Universidad Nacional del Centro del Perú*.
- Arévalo-Morocho, C., Jácome-Aguirre, G., Ortega-Andrade, S., Rosales-Enríquez, O., & Rodríguez-Echeverry, J. (2023). Evaluación del cambio del paisaje boscoso y su impacto en la distribución de *Dipsas elegans* en el norte de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 79, 231–250. <https://doi.org/10.14198/INGEO.23541>
- Aryal, D. R., De Jong, B. H. J., Ochoa-Gaona, S., Esparza-Olguin, L., & Mendoza-Vega, J. (2014). Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 195, 220–230.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.06.005>
- Babst, F., Poulter, B., Trouet, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanic, T., Panayotov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciais, P., & Frank, D. (2013). Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Global ecology and biogeography*, 22, 706–717.
<https://doi.org/10.1111/geb.12023>

- Baqir, M., Kothari, R., & Singh, R. P. (2017). Characterization and ranking of subtropical trees in a rural plantation forest of Uttar Pradesh, India, as fuel wood using fuel wood value index (FVI). *Environment, Development and Sustainability*, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-0057-z>
- Blank, L., & Blaustein, L. (2012). Using ecological niche modeling to predict the distributions of two endangered amphibian species in aquatic breeding sites. *Hydrobiologia*, 693(1), 157–167. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1101-5>
- Burgos Lugo, D. E. (2010). Uso de la leña: normatividad, consumo y contaminación intramuros en Rincón Chamula, Chiapas, México. En *El Colegio de la Frontera Sur*.
- Ceccon, E. (2013). Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9, pp. 1689–1699).
- Ceccon, E., & Pérez, D. R. (2016). *Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales en América Latina y el Caribe*.
- Contreras-Trejo, J. C., Carrillo-Parra, A., Ngangyo-Heya, M., Rutiaga-Quiñones, J. G., Chávez-Simental, J. A., & Goche-Télles, J. R. (2025). Carbonisation of *Quercus* spp. Wood: temperature, yield and energy characteristics. *Processes*, 13, 1–21. <https://doi.org/10.3390/pr13072302>
- Cortés-Calderón, S., Mora, F., Arreola-Villa, F., & Balvanera, P. (2021). Ecosystem services supply and interactions along secondary tropical dry forests succession. *Forest Ecology and Management*, 482, 1–10.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118858>

Czupy, I., Szakálosné Mátyás, K., Horváth, A. L., Horváth, B., Beszédes, S., & Vágvolgyi. (2019). Operation of energy wood plantation with special regard to harvesting technology and timber logistics. *Earth and Environmental Science*, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/307/1/012009>

Debrynyuk, Y. (2017). Plantation forestry and energy plantations in Ukraine: resource potential and development prospects. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(8), 45–51.

Díaz-Núñez, V., Sosa-Ramírez, J., & Pérez-Salicrup, D. R. (2016). Vegetation patch dynamics and tree diversity in a conifer and oak forest in central Mexico. *Botanical Sciences*, 94(2), 229–240. <https://doi.org/10.17129/botsci.284>

Eggers, J., Melin, Y., Lundström, J., Bergström, D., & Öhman, K. (2020). Management strategies for wood fuel harvesting-trade-offs with biodiversity and forest ecosystem services. *Sustainability*, 12, 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12104089>

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37, 1–14. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Galicia, L., Potvin, C., & Messier, C. (2015). Maintaining the high diversity of pine and oak species in Mexican temperate forests: a new management approach combining functional zoning and ecosystem adaptability. *Canadian Journal of Forest Research*, 45, 1358–1368. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0561>

Gil-Pelegrín, E., Peguero-Pina, J. J., & Sancho-Knapik, D. (2017). *Oaks Physiological Ecology. Exploring the Functional Diversity of Genus Quercus L.*
https://doi.org/10.1007/978-3-319-69099-5_9

Gómez-Mendoza, L., & Arriaga, L. (2007). Modelando el Efecto del Cambio Climático en la Distribución de Especies de Roble y Pino de México. *Conservation Biology*, 21(6), 1545–1555. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1546>

González-Espinosa, M., & Ramírez-Marcial, N. (2006). Ecología y restauración de los bosques de Quercus de Chiapas, sur de México Mario. En *Memorias del I Seminario Internacional de Roble y Ecosistemas Asociados* (pp. 203–213).

Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I. T., Regan, T. J., Brotons, L., Mcdonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T. G., Rhodes, J. R., Maggini, R., Setterfield, S. A., Elith, J., Schwartz, M. W., Wintle, B. A., Broennimann, O., Austin, M., ... Buckley, Y. M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16, 1424–1435. <https://doi.org/10.1111/ele.12189>

Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2–3), 147–186. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)

Guzmán-Mendoza, R., Calzontzi-Marín, J., Salas-Araiza, M. D., & Leyte-Manrique, A. (2020). Changes in vegetation diversity of temperate forests in central Mexico under different levels of reforestation. *Forestist*, 1–9.

<https://doi.org/10.5152/forestist.2020.20011>

Haqiqi, M. T., Hudaya, D., Septiana, H. A., Ramadhan, R., Ah, Y., Suwinarti, W., & Amirta, R. (2022). Short communication : Analysis of the ultimate wood composition of a forest plantation species , *Eucalyptus pellita* , to estimate its bioelectricity potency. *BIODIVERSITAS*, 23(5), 2389–2394.

<https://doi.org/10.13057/biodiv/d230516>

Hernández-Ramos, J., Ángeles-Pérez, G., Pérez-Miranda, R., Reyes-Hernández, V. J., & Razo-Zárate, R. (2022a). Crown morphometry for *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. and *Quercus rugosa* Née in Hidalgo, Mexico. *Ciencia Florestal*, 32(3), 1418–1438. <https://doi.org/10.5902/1980509865276>

Hernández-Ramos, J., Ángeles-Pérez, G., Pérez-Miranda, R., Reyes-Hernández, V. J., & Razo-Zárate, R. (2022b). Morfometría de copa para *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. y *Quercus rugosa* Née en Hidalgo, México. *Ciencia Florestal*, 32(3), 1418–1438. <https://doi.org/10.5902/1980509865276>

Hua, F., Adrian Bruijnzeel, L., Meli, P., Martin, P. A., Zhang, J., Nakagawa, S., Miao, X., Wang, W., McEvoy, C., Peña-Arancibia, J. L., Brancalion, P. H. S., Smith, P., Edwards, D. P., & Balmford, A. (2022). The biodiversity and ecosystem service contributions and trade-offs of forest restoration approaches. *Science*, 376, 839–844. <https://doi.org/10.1126/science.abl4649>

Ikuta, Q., Zobel, J., Knight, J., Knott, J., Stephens, B., Partington, N. J., & Windmuller-Campione, M. A. (2025). Mapping Oak (*Quercus* spp.) regeneration potential within

the Nantahala National forest. *Journal of Forestry*, 1–24.

<https://doi.org/10.1007/s44392-025-00042-z>

Jiménez-Mendoza, M. E., Ruiz-Aquino, F., Aquino-Vásquez, C., Santiago-García, W., Santiago-Juárez, W., Rutiaga-Quiñones, J. G., & Fuente-Carrasco, M. E. (2023a). Aprovechamiento de leña en una comunidad de la Sierra Sur de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(76), 22–49.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1300>

Jiménez-Mendoza, M. E., Ruiz-Aquino, F., Aquino-Vásquez, C., Santiago-García, W., Santiago-Juárez, W., Rutiaga-Quiñones, J. G., & Fuente-Carrasco, M. E. (2023b). Use of firewood in a community in the Southern Sierra of Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(76), 22–49.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1300>

Jiménez-Mendoza, M. E., Ruiz-Aquino, F., Rutiaga-Quiñones, J. G., Feria-Reyes, R., Santiago-García, W., Suárez-Mota, M. E., Puc-Kauil, R., & Gabriel-Parra, R. (2025). Chemical and energetic evaluation of densified biomass of *Quercus laurina* and *Quercus rugosa* for bioenergy production. *Forests*, 16, 1–11.

<https://doi.org/10.3390/f16050856>

Julianne, J. B. (2013). Firewood Extraction as a Catalyst of Pine-Oak Forest Degradation in the Highlands of Chiapas, Mexico. En *University of Washington* (Vol. 1).

Kass, J. M., Vilela, B., Aiello-Lammens, M. E., Muscarella, R., Merow, C., & Anderson,

- R. P. (2018). Wallace: A flexible platform for reproducible modeling of species niches and distributions built for community expansion. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 1151–1156. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12945>
- Katembo Kasekete, D., Ligot, G., Mate Mweru, J.-P., Drouet, T., Rousseau, M., Moango, A., & Bourland, N. (2022). Growth, productivity, biomass and carbon stock in *Eucalyptus saligna* and *Grevillea robusta* plantations in north kivu, democratic republic of the Congo. *Forests*, 13, 1–24.
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21527941>
- Leal-Nares, Ó., Mendoza, M. E., Pérez-Salicrup, D., Geneletti, D., López-Granados, E., & Carranza, E. (2012). Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 1152–1170. <https://doi.org/10.7550/rmb.27199>
- Marquez-Reynoso, M. I., Ramírez-Marcial, N., Cortina-Villar, S., & Ochoa-Gaona, S. (2017). Purpose, preferences and fuel value index of trees used for firewood in El Ocote Biosphere Reserve , Chiapas , Mexico. *Biomass and Bioenergy*, 100, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.006>
- Martínez-Camilo, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Cayuela, L., & Pérez-Farrera, M. Á. (2018). Tropical tree species diversity in a mountain system in southern Mexico: local and regional patterns and determinant factors. *Biotropica*, 0,

1–11. <https://doi.org/10.1111/btp.12535>

Martínez-Camilo, R., Martínez-Meléndez, N., Martínez-Meléndez, M., Pérez-Farrera, M. Á., & Jiménez-López, D. A. (2019). Why continue with floristic checklists in Mexico? The case of the Tacaná-Boquerón Priority Terrestrial Region, in the Mexican State of Chiapas. *Botanical Sciences*, 97(4), 741–753.

<https://doi.org/10.17129/botsci.2174>

Martínez-Icó, M., Cetzal-Ix, W., Noguera-Savelli, E., & Hernández-Juárez, R. (2015).

Flora vascular de la comunidad de Bazom, Los Altos de Chiapas, México. *Botanical Sciences*, 93(1), 53–72. <https://doi.org/10.17129/botsci.136>

Mead, D. J. (2005). Forests for energy and the role of planted trees. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24, 407–421. <https://doi.org/10.1080/07352680500316391>

Mola-Yudego, B., Arevalo, J., Díaz-yáñez, O., Dimitriou, I., Haapala, A., Khanam, T., & Selkimäki, M. (2017). Reviewing wood biomass potentials for energy in Europe : the role of forests and fast growing plantations. *Biofuels*, 8, 401–410.

<https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1271627>

Mukhdlor, A., Haqiqi, M. T., Tirkaamiana, T., Suwinarti, W., & Amirta, R. (2021).

Assessment of Wood Biomass Productivity from Anthocephalus macrophyllus Forest Plantation for Energy Production. 11, 21–25.

Muñoz-Reja Mora, L. M. (2018). *Elaboración de un modelo predictivo de distribución potencial del cultivo chenopodium quinoa willd. Basado en necesidades edafoclimáticas con objeto de determinar las zonas de correcta adaptación en*

Extremadura. <http://hdl.handle.net/10662/7606>

Muñoz, A., Santos, X., & Felicísimo, Á. M. (2016). Local-scale models reveal ecological niche variability in amphibian and reptile communities from two contrasting biogeographic regions. *PeerJ*, 1–20. <https://doi.org/10.7717/peerj.2405>

Nixon, K. C. (2001). *Ecology and conservation of neotropical montane oak forests*.

Núñez-Retana, V. D., Wehenkel, C., Vega-Nieva, D. J., García-Quezada, J., & Carrillo-Parra, A. (2019). The bioenergetic potential of four oak species from northeastern Mexico. *Forests*, 10, 1–15. <https://doi.org/10.3390/f10100869>

Pawson, S. M., Brin, A., Brockerhoff, E. G., Lamb, D., Payn, T. W., Paquette, A., & Parrotta, J. A. (2013). Plantation forests, climate change and biodiversity. *Biodivers conserv*, 1–25. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0458-8>

Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M., & Chirici, G. (2019). Species distribution modelling to support forest management. A literature review. *Ecological Modelling*, 411, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108817>

Pérez, G., Islas-Samperio, J. M., Grande-Acosta, G. K., & Manzini, F. (2022). Socioeconomic and environmental aspects of traditional firewood for cooking on the example of rural and peri-urban Mexican households. *Energies*, 15(4904), 1–30.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40, 887–

893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

Puc-Kauil, R., Ángeles-Pérez, G., Plascencia-Escalante, F. O., Beltrán-Rodríguez, L., Briceño-Méndez, M. A., Sánchez-Gutiérrez, F., Montoya-Reyes, F., Ruiz-Aquino, F., García-Cuevas, X., & Ortiz, J. (2024). Second-growth forests of the Mexican tropics are reservoirs of timber species similar to old-growth forest: Perspectives for sustainable forest management. *Trees, Forests and People*, 16, 1–11.

<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100565>

Quiroz-Carranza, J., & Orellana, R. (2010). Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 16(2), 47–67. <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/1172>

Raj Aryal, D., Ruiz Corzo, R., López Cruz, A., Velázquez Sanabria, C., Gómez Castro, H., Guevara Hernández, F., Pinto Ruiz, R., Venegas Venegas, J. A., Ley de Coss, A., Morales Ruiz, D., & Euán Chi, I. (2018). Biomass accumulation in forests with high pressure of fuelwood extraction in Chiapas, Mexico. *Revista Árvore*, 42(3), 1–6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882018000300007>

Ranius, T., Hämäläinen, A., Egnell, G., Olsson, B., Eklöf, K., Stendahl, J., Rudolphi, J., Sténs, A., & Felton, A. (2018). The effects of logging residue extraction for energy on ecosystem services and biodiversity: A synthesis. *Journal of Environmental*

Management, 209, 409–425. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.048>

Ruan-Soto, F., Bolom Ton, F., Cano Contreras, E. J., Domínguez Torres, L., Guerrero Martínez, F., & Mariaca Méndez, R. (2022). *Ethnobotany of the Highlands of Chiapas*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77089-5_17-1

Ruiz-Aquino, F., González-Peña, M. M., Valdez-Hernández, J. I., Revilla, U. S., & Romero-Manzanares, A. (2015). Chemical characterization and fuel properties of wood and bark of two oaks from Oaxaca, Mexico. *Industrial Crops and Products*, 65, 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.024>

Ruiz-Aquino, F., Ruiz-Ángel, S., Santiago-García, W., Fuente-Carrasco, M. E., Sotomayor-Castellanos, J. R., & Carrillo-Parra, A. (2019). Energy characteristics of wood and charcoal of selected tree species in Mexico. *Wood Research*, 64(1), 71–82.

S. Brancalion, P. H., Niamir, A., Broadbent, E., Crouzeilles, R., M. Barros, F. S., Almeyda Zambrano, A. M., Baccini, A., Aronson, J., Goetz, S., J. Leighton, R., N. Strassburg, B. B., Wilson, S., & Chazdon, R. L. (2019). Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. *Science ecology*, 1–12.

Sabás-Rosales, J. L., Sosa-Ramírez, J., & Luna-Ruiz, J. D. J. (2015). Diversidad, distribución y caracterización básica del hábitat de los encinos (Quercus: Fagaceae) del estado de San Luis Potosí, México. *Botanical Sciences*, 93(4), 881–897. <https://doi.org/10.17129/botsci.205>

Schilmann, A., Ruiz-García, V., Serrano-Medrano, M., De La Sierra De La Vega, L. A.,

- Olaya-García, B., Estevez-García, J. A., Berrueta, V., Riojas-Rodríguez, H., & Masera, O. (2021). Just and fair household energy transition in rural Latin American households: Are we moving forward? *Environmental Research Letters*, 16(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac28b2>
- SENER. (2025). Ley de Biocombustibles. *Secretaría de Energía*, 1–18.
- Serrano-Medrano, M., Arias-Chalico, T., Ghilardi, A., & Masera, O. (2013). Spatial and temporal projection of fuelwood and charcoal consumption in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.11.007>
- Shcheglovitova, M., & Anderson, R. P. (2013). Estimating optimal complexity for ecological niche models: A jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecological Modelling*, 269, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.08.011>
- Troncoso, K., Segurado, P., Aguilar, M., & Soares da Silva, A. (2019). Adoption of LPG for cooking in two rural communities of Chiapas, Mexico. *Energy Policy*, 133, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110925>
- Vázquez, R., Islas, J., Toledo, I., & Aguillón, J. (2014). Evaluating the energy and the carbon stored from tropical acacias: The first steps. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 13(1), 34–49. <https://doi.org/10.1504/IJESD.2014.056410>
- Vega-Ortega, M. Á., Llanderal-Mendoza, J., Gerez-Fernández, P., & López Binnqüist, C. (2020). Genetic diversity in oak populations under intensive management for fuelwood in the Sierra de Zongolica, Mexico. *Annals of Applied Biology*, 1–18.

<https://doi.org/10.1111/aab.12639>

Velázquez-Pérez, C., Arreola Lizarraga, J. A., Marroquín Morales, P., & Romero-Berny, E. I. (2025). Ecosistemas de carbono azul en Chiapas , México : la relevancia de su conservación. *Recursos Naturales y Sociedad*, 11(1), 288–303.

Wang, Y., Xu, C., Wang, Q., Jiang, Y., & Qin, L. (2023). Germplasm Resources of Oaks (Quercus L.) in China: Utilization and Prospects. *Biology*, 12, 1–18.

<https://doi.org/10.3390/biology12010076>

Warren, D. L., & Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: The importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*, 21(2), 335–342. <https://doi.org/10.1890/10-1171.1>

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L., François, R., Grolemond, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T., Miller, E., Bache, S., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D., Spinu, V., ... Yutani, H. (2019). Welcome to the Tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1–6. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>

Williams, B. A., Beyer, H. L., Fagan, M. E., Chazdon, R. L., Schmoeller, M., Sprenkle-Hyppolite, S., Griscom, B. W., Watson, J. E. M., Tedesco, A. M., Gonzalez-Roglich, M., Daldegan, G. A., Bodin, B., Celentano, D., Wilson, S. J., Rhodes, J. R., Alexandre, N. S., Kim, D. H., Bastos, D., & Crouzeilles, R. (2024). Global potential for natural regeneration in deforested tropical regions. *Nature*, 636, 131–137. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08106-4>

CONGRESOS Y EVENTOS



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO
"ENTRADA EN LA OBRA. ACCIÓN EN LA FE"



**XVI CONGRESO
MEXICANO**
DE RECURSOS FORESTALES
VILLAHERMOSA, TAB. 15-18 NOV. 2023



Sociedad Mexicana de
Recursos Forestales, A.C.

Otorga la presente

CONSTANCIA

a:

DIREYLI NUCAMENDI AVENDAÑO, MIGUEL PRADO LÓPEZ Y RUBEN MARTÍNEZ CAMILO

por su destacada participación en la ponencia titulada:

"DENDROENERGÍA Y DESARROLLO LOCAL: OPORTUNIDADES SOSTENIBLES PARA MICROEMPRESAS EN CHIAPAS", presentada en el XVI Congreso Mexicano de Recursos Forestales 2023, celebrado del 15 al 18 de noviembre del 2023, en la ciudad de Villahermosa, Tabasco.

Villahermosa, Tab., 18 de noviembre de 2023



Dr. Nicolás González Cortes
Presidente del comité organizador



Dr. José Javier Corral Rivas
Presidente del la SOMEREF

Verificación de autenticidad



Folio: C0334





30 AÑOS



Ciencia • Biodiversidad • Sustentabilidad



SCME
SOCIEDAD CIENTÍFICA
MEXICANA DE ECOLOGÍA

EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR Y LA SOCIEDAD CIENTÍFICA MEXICANA DE ECOLOGÍA

Otorga la presente

CONSTANCIA

a

**Direyli Nucamendi Avendaño, Miguel Prado López, Rubén Martínez Camilo, Derio
Antonio Jiménez López**

Por su contribución en la modalidad **Ponencia oral**, titulada

**Desde el inventario geoespacial hasta el modelado de la distribución potencial de
Quercus en Chiapas**

en el **IX CONGRESO MEXICANO DE ECOLOGÍA**
celebrado del 6 al 11 de octubre de 2024

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

Dr. Antonio Saldivar Moreno
Director General de ECOSUR

Dr. Arturo Flores Martinez
Presidente de SCME

Dr. Jorge Leonel León Cortés
Presidente del Comité Organizador

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS
Facultad de Ingeniería

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A

Direyli Nucamendi Avendaño, Dr. Miguel Prado López

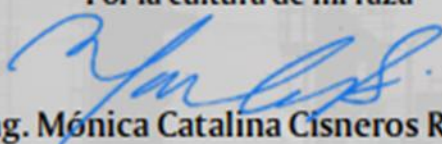
Dr. Rubén Martínez Camilo

Por haber obtenido el primer lugar en el concurso de Carteles con el tema
"Diversidad de Quercus en Chiapas, recurso clave para bioenergía y la regeneración
ecológica" en el marco de la XLII Semana de Ingeniería "Medio Ambiente y
Seguridad Industrial", celebrado los días 16, 17 y 18 de octubre de 2024.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 18 de octubre del 2024.

ATENTAMENTE

"Por la cultura de mi raza"


Ing. Mónica Catalina Cisneros Ramos
Directora



RETRIBUCIÓN SOCIAL



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



Maestría en
Ciencias
Agroforestales

Constancia de actividades de retribución social

Ciudad de México, a 04 de julio del 2024

A QUIEN CORRESPONDA

Presente.-

En cumplimiento a lo establecido en el **Artículo 19, Capítulo VIII. De la Conclusión de la Beca o Apoyo**, del **Reglamento de Becas del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías** y en el marco de la Convocatoria **BECAS CONAHCYT NACIONALES 2023**, hago constar que el (la) **C. DIREYLI NUCAMENDI AVENDAÑO** con número de **CVU 1273979** beneficiado (a) con una beca para obtener el grado de **MAESTRO** en el programa **MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROFORESTALES**, que se imparte en **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS, SEDE VILLA CORZO**, realizó las actividades de retribución social durante el periodo de vigencia de la beca, tiempo en el que fue **alumno (a)** regular de esta Institución.

Asimismo, hago constar que, conforme a lo establecido en la Ley General de Archivos, la coordinación del posgrado organiza y conserva la evidencia documental de dichas actividades en caso de que el CONAHCYT o cualquier otra instancia la requiera.

Sin más por el momento, le envío un cordial saludo.

DR. MIGUEL ANGEL SALAS MARINA
Coordinador de la Maestría en Ciencias Agroforestales



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS AGROFORESTALES
SEDE VILLA CORZO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES,
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



[Firma]

Direylli Nucamendi Avendaño

Nombre y firma de la persona becaria
1273979

[Firma]
Miguel Prado López
Nombre y firma de la persona
responsable de supervisar la actividad
de retribución social en el programa
de posgrado
(Director)

Vo. Bo.

[Firma]
Dr. Miguel Ángel Salas Marina
Coordinador de la Maestría en
Ciencias Agroforestales



[Firma]
Rubén Martínez Camilo
Nombre y firma de la persona
responsable de supervisar la actividad
de retribución social en el programa
de posgrado
(Co-director interno / externo)

[Firma]
Nee Ourán Puga
Nombre y firma de la persona
responsable de supervisar la
actividad de retribución social en el
programa de posgrado
(Co-director interno / externo)



LA SECRETARÍA ACADÉMICA DE LA
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

Otorga

CONSTANCIA

A la

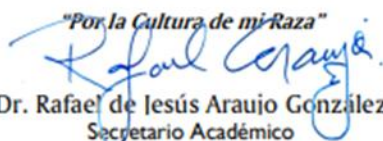
Ing. Direyli Nucamendi Avendaño

Por su participación como Instructora en el Curso:

**Diseño de Sistemas Agroforestales para la
restauración productiva de suelos degradados**

Realizado del 06 al 10 de mayo de 2024,
con una duración de 10 horas, Modalidad Presencial,
en la Subsede Villa Corzo.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a 10 de mayo de 2024.

"Por la Cultura de mi Raza"

Dr. Rafael de Jesús Araujo González
Secretario Académico



LA SECRETARÍA ACADÉMICA DE LA
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

Otorga

CONSTANCIA

A

Direyli Nucamendi Avendaño

Por su participación en el Curso-Taller:
Curso-Taller Género y Desarrollo Sustentable

Realizado el 20 de junio de 2024,
con una duración de 03 horas, Modalidad Presencial,
en la Subsede Villa Corzo.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a 20 de junio de 2024.

"Por la Cultura de mi Raza"

Dr. Rafael de Jesús Araujo González
Secretario Académico